



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ**

**HUGO ALVES SOARES LOUREIRO**

**MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DEGRADADAS NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO PEDRO (RJ) – Estudos  
Experimentais em Voçoroca e Utilização de Geotêxteis de Fibra de  
Bananeira**

RIO DE JANEIRO

Março de 2013

**Hugo Alves Soares Loureiro**

**MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DEGRADADAS NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO PEDRO (RJ) – Estudos Experimentais em Voçoroca  
e Utilização de Geotêxteis de Fibra de Bananeira**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (Planejamento e Gestão Ambiental), Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Antonio José Teixeira Guerra  
Coorientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra

**Rio de Janeiro  
Março de 2013**

## FICHA CATALOGRÁFICA

L892 Loureiro, Hugo Alves Soares.  
Monitoramento e diagnóstico de áreas degradadas na bacia hidrográfica do rio São Pedro (RJ): estudos experimentais em voçoroca e utilização de geotêxteis de fibra de bananeira/ Hugo Alves Soares Loureiro. – Rio de Janeiro: UFRJ, 2013.  
216 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 2013.

Orientador: Antonio José Teixeira Guerra  
Co-orientador: José Fernando Rodrigues Bezerra

1. Geomorfologia Experimental. 2. Monitoramento de voçorocas. 3. Pinos de erosão. 4. Geotêxteis. – Teses. I. Guerra, Antonio José Teixeira (Orient.). II. Bezerra, José Fernando Rodrigues (Co-orient.). III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia. IV. Título.

CDD: 551.4

Hugo Alves Soares Loureiro.

MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DEGRADADAS NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO PEDRO (RJ) – Estudos Experimentais em Voçoroca  
e Utilização de Geotêxteis de Fibra de Bananeira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (Planejamento e Gestão Ambiental), Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_, por

---

Antonio José Teixeira Guerra, Ph.D. (Departamento de Geografia – IGEO/UFRJ)

---

Mônica dos Santos Marçal, D.Sc. (Departamento de Geografia – IGEO/UFRJ)

---

Antônio Soares da Silva, D.Sc. (Departamento de Geografia – UERJ)

Dedico à minha *vó*, Wandilza Alves Soares, *in memoriam*, pelo prazer e honra de sua vívida companhia por quase 27 anos repletos de amor mútuo, e homenagem: “mas como é grande o meu amor por você”.

## AGRADECIMENTOS

À Deus e todas as Forças e Energias Divinas e/ou Santas e do Bem existentes, que me concederam a graça de estar perfeitamente ileso, inteiro e vivo para cumprir esta etapa, com o desejo de cumprir outras tantas mais com tamanha ajuda.

À minha *vó*, Wandilza Alves Soares, *in memoriam*, por ter acompanhado, se orgulhado e se preocupado com os dias e noites que passei em frente ao computador fazendo trabalhos na graduação e no mestrado, mas que nunca me impediram que trocássemos muito amor, carinho e cuidados um com o outro.

À todos que me deram força e palavras de afeto no momento mais difícil de minha vida até aqui, que foi a partida de minha *vó*.

À minha mãe, Regina Célia Alves Soares Loureiro, minha tia, Sonia Alves e meus primos Samantha e Rudy, que estamos sempre prontos para cuidarmos uns dos outros, com muito amor e união. Também, à tia Rose, que sempre nos incentiva e cuida, presente sempre que preciso e para dividir momentos como este.

Ao meu pai, Alexandre Masson Ferreira Loureiro, pelo amor, amizade e cuidado. À minha avó Lourdes e meu *maninho* Matheus Borges Masson, pelo amor, carinho e chamego de sempre.

Ao meu orientador, Antonio José Teixeira Guerra, pela atenção quando necessária e, certamente, por toda a paciência com minhas complicações para o cumprimento de prazos e pela compreensão nos momentos mais difíceis.

Ao Prof. Mike Fullen, da Universidade de Wolverhampton, por toda a atenção dada em sua visita ao Brasil, estendendo-se à Inglaterra, sempre trocando e-mails interessantes, pela ajuda com a ideia dos pinos de erosão e pelas palavras de conforto em momento difícil.

Ao Coordenador do PPGG, Nelson Fernandes, por toda a compreensão.

Ao CNPq pela bolsa de mestrado e pelo financiamento das pesquisas através dos projetos do LAGESOLOS.

Às professoras Mônica dos Santos Marçal e Telma Mendes da Silva, agradecimentos especiais, pela confiança na minha pessoa e na minha capacidade, por suas atenções e preocupação, que me proporcionaram um momento de emoção, agradecimento e alegria que jamais esquecerei.

À Sara Neves, por tantas coisas, ajudas imprescindíveis em muita coisa, em trabalhos de campo, congresso, laboratório e muito carinho e amizade.

À Stella (Peres) Mendes Ferreira, outro agradecimento dos especiais, sempre me ajudando a enxergar melhor os caminhos de um mestrado e da vida.

Ao Raphael Brizzi, outro que foi fundamental nesta caminhada, em vários trabalhos de campo de ajuda inestimável, além de incontáveis gargalhadas e brincadeiras.

Ao Luiz Fernando Tavares, também fundamental, sempre disposto a ajudar em campo e laboratório, presente em muitos momentos importantes.

Ao Fernando Bezerra, co-orientador, pela enorme disposição, ajuda e ensinamentos com a recuperação da área degradada, sempre pronto a ajudar.

Aos professores Antônio Soares e Evaristo de Castro Júnior, por participarem da banca de qualificação, com boas críticas e sugestões, e pelo bom humor costumeiro. E novamente ao prof. Antônio Soares pela ajuda com as análises de carbono orgânico na UERJ e participar da Banca da Defesa.

À Juliana Nascimento Pena e à Márcia Martins, que ajudaram bastante nos trabalhos de campo do meio para o final da pesquisa e se tornaram duas boas companhias com sua amizade.

Ao Rafael Amorim, laboratorista da UERJ, que além dos ensinamentos com os procedimentos de laboratório, foi um amigo e companhia para sermos os últimos a sair do prédio da UERJ, cada dia um recorde de horário mais tardio. Também à Beatriz Triane pelas ajudas com a tabela e umas amostras.

Ao seu Paulo, por tanto esforço na recuperação e tantas histórias, risadas e sabedoria.

À todos os amigos de LAGESOLOS, antigos ou novos, que me ajudaram em uma ou outra etapas importantes nesses anos de mestrado ou que contribuíram de alguma forma: minha amiga Isabel Maggessisi; meus camaradas Luiz Lima e Fábio Lima; o bom e o mau humor da Tatiana T. Guerra; Thiago Muniz; Renato Hingel, sempre junto; meu amigo Fred; minha amiga Lu (Luana Balbino); meu irmão gêmeo, Helton, ileso, inteiro e vivo junto comigo; Carmen e a princesinha Maria Júlia, que foi comigo ao seu 1º trabalho de campo; Urubatan; Gabriel; Victor; Alessandro; Luana M.; Silvia; Daniel; Luana R. e Cláudio Lessa.

Aos muitos funcionários da casa. Como os amigos do Setor de Transportes do IGEO, que foram um capítulo à parte com tantos trabalhos de campo requisitados e bem sucedidos, mesmo com ataque de boi brado e Kombi enguiçada, por todas as dicas, ajudas, perrengues, histórias, brincadeiras e risadas: Cláudio, Vanderlei, Eduardo, Paulinho, Edinaldo e Sidnei. Nas outras áreas à Ana Beatriz e Evanir, da Secretaria da Pós, sempre solícitas e pacientes comigo; à Luiza e às meninas da Biblioteca do PPGG, sempre bacanas também. À Cristina, do IGEO, sempre prestativa. Ao Seu Nelson, do financeiro das Pós-graduações do IGEO, por toda a simpatia, boa conversa e ótimo trabalho.

Ao meu amigo-irmão, Danilo Oliveira, simplesmente por tudo, porque só ele mesmo para me aturar e sempre ter palavras de incentivo, na vida pessoal, acadêmica e profissional, dar o excelente ombro para dividir alegrias e tristezas, sucessos e fracassos. São apenas meros algo mais de 20 anos de amizade verdadeira e para sempre.

À uma grande amiga, Tainá Laeta, por tantas conversas agradáveis e seu jeito direto e sem papas na língua, com muitas risadas e dividindo diversos tipos de alegrias e papos-cabeça.

À Raquel Sousa, pela dica que me levou aos primeiros contatos em Glicério, minha área de estudo neste mestrado e pelo abraço mais gostoso de todo o Fundão. E a TODOS os demais amigos da minha querida turma de graduação 2006/1, que dominamos vários anos de mestrado e doutorado a partir de 2010/1, que ajudaram com algum pedido de socorro ou apenas com a amizade e bons momentos.

A todos de outros laboratórios, como por exemplo, Geocart, Espaço e NEMPHE, que me ajudaram de alguma forma.

Ao Sr. Francisco, por permitir a realização das pesquisas em sua propriedade, sendo bastante solícito; ao Carlinhos, responsável pela fazenda, pelas ajudas, “salvamentos”, conversas e brincadeiras; e ao pessoal de Glicério pelas ajudas, conversas, receptividade e simpatia: Sérgio (restaurante), Célia Jatobá (biblioteca), Paulo Moraes e Paulo (pousada).

Ao Daniel, que ao se salvar batendo seu carro ao que eu dirigia e nos fez capotar em plena Ponte Rio-Niterói, me fez ter certeza de como a vida “é bonita, é bonita e é bonita” e deve ser vivida da melhor maneira, uma benção para ser aproveitada de modo feliz.

Aos Professores Manoel Fernandes, André Avelar, Antonio Guerra, meu orientador, Ana Luiza, Laura Mendes (UFRRJ), entre outros, com os quais pude conviver e conhecer melhor e aprender bastante durante a organização do 9º SINAGEO. E aos companheiros de organização do 9º SINAGEO, principalmente, Aline Melos; meu amigo, Thiago Monico; minha amiga Patrícia Mota; Suelen; e tantos outros.

Ao Prof. Chico Esteves, do NUPEM/UFRRJ, sempre interessado pela pesquisa na bacia do rio Macaé, por sua amizade, simpatia e disponibilidade de ajuda, além da oportunidade de interdisciplinaridade, convidando-me para dar uma aula em sua disciplina.

À minha amiga e vizinha, Lecy, pela amizade e apoio constantes; e ao Seu Vicente, pela ajuda com a vaga na garagem para guardar o carro emprestado utilizado para campo.

E a todos mais que eu possa não ter lembrado neste último momento de correria, mas que certamente tenham contribuído de alguma forma, que sem dúvida teve sua importância.

“O homem precisa entender que de sua boa convivência com a natureza depende sua subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição. Pois a sua essência é a natureza, a sua origem e o seu fim”.

Autor desconhecido

## RESUMO

LOUREIRO, Hugo Alves Soares. Monitoramento e diagnóstico de áreas degradadas na bacia do rio São Pedro (RJ) – estudos experimentais em voçoroca e utilização de geotêxteis de fibra de bananeira. Dissertação de mestrado. PPGG/UFRJ, Rio de Janeiro, 2013. 214p.

Esta dissertação estudou a erosão dos solos causada pela ação da água sobre as encostas, através da condução de experimentos de campo e laboratório sobre uma voçoroca em atividade e algumas encostas de seu entorno. Como objetivos, foram realizados dois tipos de monitoramento dessa feição erosiva e análises do solo da área, para diagnosticar a degradação e dar início à recuperação de parte da área degradada, testando a eficiência de geotêxteis de fibras de bananeira. Para a realização da pesquisa foi levantada a bibliografia referente ao tema, durante todo o período de realização do curso. Os devidos mapas foram utilizados para compor a caracterização da área de estudos como um todo, a bacia hidrográfica do rio São Pedro, norte fluminense. Foram realizados diversos trabalhos de campo, desde a procura por uma área compatível, até os monitoramentos e recuperação realizados. As análises laboratoriais permitiram verificar a erodibilidade dos solos. A maioria dos resultados apontou solos de textura franco arenosos para camadas mais profundas, e franco argilo arenosos, para camadas mais superficiais. Isso demonstrou que os teores de silte são mais elevados em subsuperfície, principalmente somados aos altos teores de areia fina, conferindo alta erodibilidade a esses materiais, e maior suscetibilidade em caso de serem expostos aos agentes erosivos. Os monitoramentos das bordas e dos pinos de erosão se mostraram potencialmente complementares. Por estes, chegou-se a taxas de erosão de 2,49 toneladas de massa de solo, algo em torno de um ano de estudos. Considerando o tamanho da área a que se referem tais taxas, que foram mensuradas na menor voçoroca da área, a erosão poderia chegar a 100 toneladas por hectare. Integrando estes fatores, aos baixos teores de matéria orgânica e carbono orgânico, comumente abaixo de 3,5% e 2,0%, respectivamente; à acidez apresentada pelos solos, embora não crítica; à compactação apresentada pelos solos, sempre com valores próximos a 1,50 g/cm<sup>3</sup>, ou mais elevados e à porosidade abaixo de 45%; o diagnóstico aponta níveis preocupantes de degradação da área estudada, visivelmente percebida pela presença marcante de terracetes de pisoteio do gado e de voçorocas em expansão rápida. O início de recuperação foi bem sucedido com a utilização inédita das fibras de bananeira para a confecção de geotêxteis biodegradáveis. A cobertura vegetal se desenvolveu e estabeleceu em poucos meses, com o auxílio dos geotêxteis, expondo a aptidão das telas feitas com materiais da bananeira para a recuperação da área. Além dessas conclusões, afirma-se a necessidade de melhorar o diagnóstico, agregando elementos não considerados aqui, para o melhor aproveitamento das técnicas empregadas e a sua sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Geomorfologia Experimental; Monitoramento de voçorocas; Pinos de erosão; Geotêxteis.

## ABSTRACT

LOUREIRO, Hugo Alves Soares. Monitoramento e diagnóstico de áreas degradadas na bacia do rio São Pedro (RJ) – estudos experimentais em voçoroca e utilização de geotêxteis de fibra de bananeira. Dissertação de mestrado. PPGG/UFRJ, Rio de Janeiro, 2013. 214p.

This dissertation has investigated soil erosion caused by water on the slopes, by conducting field and laboratory experiments on an active gully and some of the surrounding slopes. As objectives, two types of gully monitoring were adopted and some soil analyses were carried out to assess land degradation and could start the recovery of a little area, testing in it the effectiveness of geotextiles made from banana's fibers. Bibliographic references about the theme were searched all over the course period, to give the research bases needed. Some important maps were used to compose the study area characterization as a whole, the São Pedro's river basin, at the north State of Rio de Janeiro. A lot of field trips were conducted, firstly to find a compatible area and then to make the monitoring procedures and the recovery tests. Laboratory analysis allowed verifying soil erodibility of the study area, and most of the results pointed out sandy loam soils to deeper layers and sandy clay loam soils to more superficial layers. It demonstrates that silt contents are greatest in subsurface, especially added to high fine sand contents, which gives this materials a high erodibility level and turns greater its erosion susceptibility, when exposed to erosive agents. Monitoring with erosion pegs and pins showed to have a complementary potential. Through these procedures it was achieved an erosion rate of 2.49 tons of soil mass loss during approximately a year of investigations. Considering only the little gully of the area, the erosion could reach  $100 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Integrating these factors to the lower contents of organic matter and organic carbon, commonly below of 3.5% and 2.0%, respectively; the acidity of the soils, although not in critical rates; soil compaction, always close to  $1.50 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  or higher, and porosity below 45%; the diagnosis showed alarming levels of land degradation on the study area, clearly noticed by the marked presence of cattle trampling terracetes and rapidly expanding gullies. The recuperation was successful with the unpublished use of banana's fibers to manufacture biological geotextiles. The vegetation cover has developed and established in a few months with geotextiles help, exposing the aptitude of the geotextiles made from Banana's materials to recover this degraded land. In addition to these conclusions, it is claimed the need for more important elements to be considered, in order to increase the diagnosis results, so the techniques could be improved and help with sustainability.

**Key-words:** Experimental Geomorphology; Gully monitoring; Erosion pins; Geotextiles.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Mapa de localização da área de estudo.

FIGURA 2. Mapa de Uso e Cobertura da Terra da bacia hidrográfica do rio São Pedro.

FIGURA 3. Área de estudo nas encostas do sopé do Pico do Frade. À esquerda, a voçoroca monitorada, a menor das três; no centro, área com dois grandes voçorocamentos; e à direita, encosta com deslizamentos.

FIGURA 4. Voçoroca escolhida para os monitoramentos, a menor e mais acessível das três voçorocas da área.

FIGURA 5. Voçorocamentos vizinhos profundos levaram 3 a 6 anos para chegar ao estágio atual.

FIGURA 6. Área de estudo, com terras muito degradadas. Destaque para os deslizamentos ocorridos após mês chuvoso, em março de 2011.

FIGURA 7. Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio São Pedro.

FIGURA 8. Mapa Geomorfológico da bacia hidrográfica do rio São Pedro.

FIGURA 9. Mapa de Solos da bacia hidrográfica do rio São Pedro.

FIGURA 10. Gráfico de Schröder para a pluviosidade da estação Fazenda Oratório da ANA em série histórica de 40 anos, entre 1968 e 2008.

FIGURA 11. Média de pluviosidade da estação Fazenda Oratório da ANA para o período de 1968 a 2008.

FIGURA 12. Representação de monitoramento de voçoroca com estacas.

FIGURA 13. Voçoroca escolhida para monitoramentos e demais experimentos.

FIGURA 14. Lado esquerdo da cabeceira da voçoroca apresenta maior atividade: (a) Janeiro de 2011; (b) Maio de 2012.

FIGURA 15. Colocação da estaca 1A, principal referência para o monitoramento.

FIGURA 16. Colocação das estacas 6A e 6B e medição com trena de 50 metros.

FIGURA 17. Esquema representativo da posição de cada uma das estacas colocadas para monitoramento do recuo das bordas da Voçoroca Experimental.

FIGURA 18. (a) monitoramento das estacas 3A e 3a em março de 2011; (b) monitoramento da estaca 3A, distante da borda 8,46m, em janeiro de 2012.

FIGURA 19. Regras gerais da instalação dos pinos de erosão nas paredes da voçoroca monitorada.

FIGURA 20. Instalação do 1º pino de erosão da 2ª coluna de pinos da cabeceira esquerda (CE 2.1), a 0,5m do topo do solo.

FIGURA 21. Pinos nº 2 e 3 da 1ª coluna da lateral direita (LD 1.2 e LD 1.3), seguindo a distância de 1,0m entre eles.

FIGURA 22. Esquema representativo da posição de cada área de pinos nas paredes da voçoroca monitorada.

FIGURA 23. Representação de prisma e área formados pela distribuição dos pinos nas paredes da voçoroca monitorada.

FIGURA 24. Representação esquemática da ideia de dobrar uma folha de papel para compreender a transformação de uma “área de solo” em “volume de solo”.

FIGURA 25. Diferentes tipos de fibra de bananeiras disponíveis.

FIGURA 26. Processo de separação dos diferentes tipos de fibra da bananeira.

FIGURA 27. Varal para secagem das fibras já separadas no galpão de preparo e confecção.

FIGURA 28. Etapas da confecção da geotêxtil e dezenas de geotêxteis (nº 6) produzidas pelos artesãos da cooperativa *Gente de Fibra*.

FIGURA 29. Coleta de amostra deformada no intervalo 0-0,5 m de profundidade pelo lado direito da cabeceira da voçoroca.

FIGURA 30. Coleta de material do chão da voçoroca, na saída direita.

FIGURA 31. Coleta de amostra deformada com trado holandês no médio curso da bacia do rio São Pedro, Macaé/RJ.

FIGURA 32. Coleta de amostras indeformadas com amostrador volumétrico, na bacia do rio São Pedro.

FIGURA 33. Pipetagem da fração argila durante a análise granulométrica.

FIGURA 34. Forno mufla, aberto, no Laboratório de Geomorfologia Maria Regina Mousinho de Meis/UFRJ.

FIGURA 35. (a) erlenmeyers com 0,5g da amostra CE 2,5-3,0m com ácido ortofosfórico e gotas de difenilamina adicionados, prontos para titulação; (b) durante a titulação com sulfato ferroso amoniaco apresentando cor azulada; (c) momento em que muda a coloração para verde, encerrando a titulação, anotando-se o volume gasto de solução.

FIGURA 36. Medidor de pH Analyser modelo pH 300 M.

FIGURA 37. Área com terracetes bastante degradados pela passagem do gado, ao lado da voçoroca monitorada.

FIGURA 38. Área retalhada manualmente com uso de ferramentas.

FIGURA 39. Aplicação de NPK no solo.

FIGURA 40. Aplicação do adubo orgânico com húmus de minhoca e esterco bovino, espalhado manualmente sobre o solo.

FIGURA 41. Fixação dos geotêxteis de fibra de bananeira na área em recuperação.

FIGURA 42. Área amostral de 1 m<sup>2</sup> com marco instalado ao centro, destacado em vermelho.

FIGURA 43. Pluviógrafo instalado em parcela de erosão de solos na mesma fazenda da área monitorada não registrou a pluviosidade para todo o período da pesquisa.

FIGURA 44. (a) cabeceira da voçoroca em 25 de fevereiro de 2011, sem solapamentos recentes; (b) cabeceira em 26 de abril do mesmo ano, com bastante material solapado durante as fortes chuvas.

FIGURA 45. (a) Em janeiro, antes das chuvas; (b) foto tirada em 15 de março durante chuva intensa.

FIGURA 46. Esquema representando a possibilidade de erro na medição da estaca 5B. Hipótese de recuo paralelo ao traçado da medição.

FIGURA 47. Estaca 6A desenterrada pela erosão laminar, curiosamente de pé, antes de ser monitorada, em novembro de 2011.

FIGURA 48. Estaca 9B totalmente enterrada devido à passagem/pisoteio do gabo sobre ela, em novembro de 2011.

FIGURA 49. Bovinos causaram pequenos problemas ao estaqueamento envolta da voçoroca ao pastarem pela área.

FIGURA 50. Área entre os pinos CE 2.3 e 2.4 (destacados em vermelho, acima e abaixo, respectivamente) nos meses de novembro de 2011 (à esquerda) e dezembro de 2011 (à direita); destacada em azul uma parte inalterada para comparação das diferenças registradas.

FIGURA 51. Área dos pinos CE 2.3 e 2.4, totalmente modificada pela ação da água, em janeiro de 2012, na comparação com os dois meses anteriores.

FIGURA 52. Área dos pinos CE 2.3 e 2.4 apresentando filetes subverticais de escoamento superficial (*flutes*) na alcova de regressão, em maio de 2011, mês de instalação dos pinos de erosão.

FIGURA 53. A erosão por queda de água atua no material das paredes da voçoroca e também remobiliza os sedimentos já solapados; imagem de abril de 2011.

FIGURA 54. Formação de poça durante evento chuvoso, devido à queda de água dos fluxos superficiais concentrados, em 21 de maio de 2012.

FIGURA 55. Durante eventos chuvosos, forma-se uma queda d'água na cabeceira, causada pelos fluxos concentrados gerados nos caminhos preferenciais, como o caminho de gado traçado na imagem registrada sob chuva intensa, em 15 de março de 2011.

FIGURA 56. Pluviosidade registrada pela estação Fazenda Oratório da ANA, organizada em totais mensais e respectivas máximas em 24h, entre fevereiro de 2011 e maio de 2012.

FIGURA 57. Pino CE 2.4 apresentou constantes mudanças nos monitoramentos de (a) maio, (b) setembro e (c) novembro de 2011.

FIGURA 58. Pino CE 2.4 nos monitoramentos de novembro e dezembro de 2011, respectivamente.

FIGURA 59. Material de fácil dispersão onde estavam os pinos CE 2.3 e 2.4 foi retrabalhado pela ação da água das chuvas, removendo-os.

FIGURA 60. (a) Pino CD 1.1 na instalação dos pinos na voçoroca, em maio de 2011; (b) e no monitoramento de janeiro de 2012, registrando seu primeiro solapamento.

FIGURA 61. (a) Pino CE 2.1 na instalação dos pinos na voçoroca, em maio de 2011 (ponto prateado acima do metro de madeira); (b) e no monitoramento de janeiro de 2012 (em vermelho), soterrado pelo solapamento do solo a sua volta.

FIGURA 62. Comparação da 3ª coluna da CE da voçoroca: (a) em maio de 2011; (b) no monitoramento de janeiro de 2012, destacando-se (em branco) o pino CE 3.1 torto ou pendurado após solapamento do solo, e a remoção do pino CE 3.2.

FIGURA 63. Representação esquemática da pressão sobre a massa de solo na alcova de regressão.

FIGURA 64. Material solapado na área da alcova de regressão, registro de janeiro de 2012.

FIGURA 65. Pino CE 1.1 (círculo menor) nos monitoramento de setembro e novembro de 2011. Os três elementos no canto superior esquerdo de cada foto destacam a mudança ocorrida, com a queda do bloco de solo que envolvia os primeiros 7,7 cm do pino.

FIGURA 66. Pino PE 3.1 instalado com 0,5 cm de exposição, em maio de 2011 (a); e totalmente coberto por partículas retrabalhadas de solo, em novembro de 2011 (b).

FIGURA 67. Pino PE 3.2 (a) em maio de 2011 e (b) em novembro de 2011, coberto por partículas friáveis ou soltas.

FIGURA 68. Pino PAT 3.1 registrou 6,0 cm de exposição em agosto.

FIGURA 69. Agosto de 2011 surpreendeu pelo aspecto seco em campo.

FIGURA 70. Pinos CE 2.2 (destacado de branco) e CE 3.2 (destacado de vermelho) removidos junto ao solapamento do solo; registro de abril de 2012.

FIGURA 71. Desenho esquemático da distribuição dos pinos da CE, formando prismas para a visualização adequada aos raciocínios necessários para a aplicação dos cálculos das taxas estimativas da perda mínima de solo na área ativa da voçoroca monitorada.

FIGURA 72. Desenho esquemático do raciocínio para transformar uma medida de área em medida de volume, no caso dos solos, lembrando a coleta de amostras volumétricas ou indeformadas de solos.

FIGURA 73. Material de solo erodido das paredes e das bordas é gradativamente transportado pelos fortes fluxos de água das chuvas, principalmente aqueles vindos da cabeceira para dentro da voçoroca (a); e as partículas finas depositam-se por cima das mais grosseiras quando a suspensão do solo seca, sendo mais fáceis de serem carregadas pelos fluxos em novos eventos pluviométricos.

FIGURA 74. Intensos fluxos de escoamento superficial, com abundância de sedimentos transportados, durante grande evento chuvoso em março de 2011, com registro de 376,1 mm de pluviosidade total.

FIGURA 75. Imagem do *Google Earth* de 14 de agosto de 2003. Em vermelho a área da voçoroca monitorada. Em branco a área dos dois grandes voçorocamentos da fazenda. Nota-se que nos locais onde se encontram as três voçorocas já há incisões no solo, sendo a maior delas referente à voçoroca monitorada.

FIGURA 76. Imagem do *Google Earth* de 1º de maio de 2007. Em um período de menos de quatro anos, a evolução da maior voçoroca já aparentava ser bastante acelerada. A voçoroca monitorada também apresentou boa evolução.

FIGURA 77. Imagem do *Google Earth* de 29 de junho de 2011, mostrando a configuração mais atualizada da evolução das feições. Em mais quatro anos, o avanço das duas voçorocas maiores é

surpreendente. É perceptível um avanço também da voçoroca monitorada, porém, mais modesto. Destacados em amarelo, um deslizamento que poderá originar uma voçoroca (à esquerda) e o início de uma nova voçoroca, atualmente em evolução (à direita).

FIGURA 78. Destacada em vermelho a área por onde recuou a borda e solapou solo da parede da voçoroca monitorada, em março de 2012.

FIGURA 79. Lateral direita da voçoroca possui parte ativa, mas predomina a estabilidade conferida pela revegetação natural.

FIGURA 80. Saída esquerda da voçoroca apresenta saprolito e escamas.

FIGURA 81. Distribuição dos pontos de coleta nas encostas da área de estudo. “E” significa “encostas” e “EMV” significa “Encosta da Maior Voçoroca”. Fonte: Google Earth, 2013.

FIGURA 82. Coleta da amostra volumétrica no ponto E-4 apresentou elevada densidade aparente e baixa porosidade, devido a forte presença de terracetes.

FIGURA 83. Representação de partes do traçado de antiga estrada, fortemente marcada no terreno, desde o começo do caminho que chega à saída da voçoroca monitorada para além das cabeceiras das voçorocas maiores.

FIGURA 84. (a) Voçoroca monitorada em fevereiro de 2011, com alcova de regressão em atividade; (b) em dezembro de 2012 a alcova de regressão encontrava-se completamente entulhada de sedimentos.

FIGURA 85. Voçoroca em dezembro de 2012, bastante modificada após 6 meses sem trabalhos ou visitas à campo.

FIGURA 86. Área-teste em 1º de março de 2012, antes do retaludamento, com presença marcante de terracetes de pisoteio de gado.

FIGURA 87. Retaludamento manual do trecho da encosta para recuperação.

FIGURA 88. Resultado do retaludamento da encosta.

FIGURA 89. Aplicação de insumos, semeadura das sementes onde já havia insumos e instalação gradual dos geotêxteis, no dia 3 de março de 2012.

FIGURA 90. União de geotêxteis em grupos de quatro a até 10 telas em uma unidade inteiriça.

FIGURA 91. Classificação supervisionada (fotocomparação) de PA-1, indicando cobertura vegetal nula, mas solo protegido por geotêxteis, em 03 de março de 2012.

FIGURA 92. Classificação supervisionada (fotocomparação) de PA-2, indicando cobertura vegetal nula, mas solo protegido por geotêxteis, em 03 de março de 2012.

FIGURA 93. Em 30 de março, as gramíneas apresentavam bom desenvolvimento, mas notam-se alguns cortes nas pontas e o “tombamento” de boa parte dessa cobertura vegetal, devido ao episódio do gado, alimentando-se e pisoteando na área-teste.

FIGURA 94. Fotocomparação de PA-1 em 30 de março de 2012.

FIGURA 95. Fotocomparação de PA-2 em 30 de março de 2012.

FIGURA 96. Pluviosidade registrada pela estação Fazenda Oratório da ANA, destacando o período da recuperação da área degradada, em março de 2012, até maio do mesmo ano.

FIGURA 97. Fotocomparação de PA-1 em 21 de maio de 2012, destacando a concentração da cobertura vegetal mais afastada da borda da voçoroca, fato ocorrido em maior ou menor proporção nas extremidades da área-teste para a recuperação.

FIGURA 98. Fotocomparação de PA-2 em 21 de maio de 2012, com destaque para a fotografia e a classificação supervisionada, ambas apontando o bom nível de desenvolvimento da vegetação em 79 dias desde a semeadura e colocação dos geotêxteis.

FIGURA 99. Diferentes estágios de desenvolvimento da cobertura vegetal. Retardo do crescimento observado nas gramíneas verde claro pode ser devido à maior declividade do local.

FIGURA 100. Declividade mais elevada pode contribuir com crescimento mais lento observado nas gramíneas que apresentaram tom mais claro de verde.

FIGURA 101. Visão lateral e próxima da área-teste de geotêxteis de bananeira, em 3 de março.

FIGURA 102. Visão lateral e próxima da área-teste de geotêxteis de bananeira, em 30 de março.

FIGURA 103. Visão lateral e próxima da área-teste de geotêxteis de bananeira, em 21 de maio.

FIGURA 104. Visão frontal da área de estudo, destaque para a recuperação da área degradada. Foto de 3 de março.

FIGURA 105. Visão frontal da área de estudo, destaque para a recuperação da área degradada. Foto de 30 de março.

FIGURA 106. Visão frontal da área de estudo, destaque para a recuperação da área degradada. Foto de 11 de abril.

FIGURA 107. Visão frontal da área de estudo, destaque para a recuperação da área degradada. Foto de 21 de maio.

FIGURA 108. Em dezembro de 2012, durante visita à área, a cobertura vegetal se mostrou estabelecida na área recuperada.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Classificação dos fatores de degradação das terras. Fonte: FAO (1980 *in* ARAÚJO *et al.*, 2009).

TABELA 2. Frações granulométricas; EMBRAPA (1997).

TABELA 3. Levantamento de materiais disponíveis e necessários, com orçamento.

TABELA 4. Taxas de recuo das bordas da voçoroca, monitorado com uso de estacas. (\*) Houve perda de estaca próxima da borda. Fonte dos dados de Precipitação: ANA (Fazenda Oratório).

TABELA 5. Taxas de exposição dos pinos de erosão nas paredes da voçoroca, indicando a dinâmica da erosão na evolução da feição. Resultados mais significativos destacados em vermelho (LOUREIRO, 2012). C = pino totalmente coberto; x = pino removido pela erosão; R = pino afetado pela recuperação da área degradada; nd = não confere dado.

TABELA 6. Volume de solo erodido calculado de acordo com os prismas formados pelo ordenamento dos pinos da Cabeceira Esquerda da voçoroca monitorada.

TABELA 7. Massa de solo erodida das paredes da voçoroca na área da Cabeceira Esquerda. (\*) Presença de alguns valores aproximados em kg e t.

TABELA 8. Erosão mensurada linearmente nos monitoramentos das estacas e dos pinos.

TABELA 9. Resultados das análises granulométricas (método da pipeta) e classificação textural na voçoroca (LOUREIRO, 2012).

TABELA 10. Resultados das análises granulométricas (método da pipeta) e classificação textural nas encostas (LOUREIRO, 2012).

TABELA 11. Resultados de densidade aparente, densidade real ou de partículas e porosidade total da voçoroca monitorada (LOUREIRO, 2012). S = superior; I = inferior.

TABELA 12. Resultados dos pontos das encostas para densidade aparente, densidade real ou de partículas e porosidade total (LOUREIRO, 2012).

TABELA 13. Resultados do pH dos solos da voçoroca monitorada, analisados em KCl e água (LOUREIRO, 2012).

TABELA 14. Resultados do pH dos solos das encostas do entorno da feição monitorada, analisados em KCl e água (LOUREIRO, 2012).

TABELA 15. Teores de carbono orgânico e matéria orgânica da voçoroca monitorada, resultado da utilização dos métodos de queima e de oxidação, e valores médios dos teores entre os dois métodos (LOUREIRO, 2012).

TABELA 16. Teores de carbono orgânico e matéria orgânica das encostas do entorno da voçoroca monitorada, resultado da utilização dos métodos de queima e de oxidação, e valores médios dos teores entre os dois métodos (LOUREIRO, 2012).

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

CPRM – Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais)

DVD – *Digital Versatile Disc*

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GLASOD - *Global Assessment of Soil Degradation*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LAGEFIS – Laboratório de Geografia Física

LAGESOLOS – Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos

UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

USLE – *Universal Soil Loss Equation*

RUSLE – *Revised Universal Soil Loss Equation*

WEPP – *Water Erosion Prediction Project Model*

## LISTA DE SÍMBOLOS

@ – arroba

$x/y$  – divisão de “x” por “y”

$x \cdot y$  – multiplicação de “x” por “y”

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
2.1. OBJETIVO GERAL .....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO PEDRO</b> .....	4
3.1. GEOLOGIA .....	11
3.2. GEOMORFOLOGIA .....	14
3.3. SOLOS .....	17
3.4. CLIMA .....	19
3.5. COBERTURA VEGETAL .....	21
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL</b> .....	22
4.1. ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS .....	22
4.1.1. Técnicas de monitoramentos em campo: as estacas e os pinos de erosão .....	24
4.2. EROSÃO DOS SOLOS .....	27
4.2.1. Erodibilidade dos solos .....	28
4.2.2. Desenvolvimento do processo erosivo – da erosão laminar à erosão por voçorocas .....	34
4.3. DEGRADAÇÃO DO SOLO E RECUPERAÇÃO OU REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS .....	41
4.4. O USO DOS GEOTÊXTEIS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS .....	46
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	50
5.1. ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO .....	50
5.2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO .....	52
5.3. TRABALHO DE CAMPO .....	53
5.3.1. Monitoramento da voçoroca .....	53

5.3.1.1. monitoramento com estacas .....	53
5.3.1.2. monitoramento com pinos de erosão .....	56
5.3.1.2.1 cálculos utilizados para quantificar a erosão .....	59
5.3.2. Produção de geotêxteis com fibra de bananeira .....	62
5.3.3. Coleta de amostras de solo .....	66
5.3.4. Registro fotográfico e audiovisual .....	70
5.4. ANÁLISES DE LABORATÓRIO .....	71
5.4.1. Textura .....	71
5.4.2. Densidade aparente .....	73
5.4.3. Densidade de partículas .....	73
5.4.4. Porosidade .....	73
5.4.5. Matéria orgânica e carbono orgânico .....	74
5.4.5.1. método direto – perda de massa (peso) por ignição .....	75
5.4.5.2. método indireto – análise química do carbono orgânico .....	77
5.4.6. pH .....	80
5.5. RECUPERAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA .....	80
5.6. FOTOCOMPARAÇÃO APLICADA AOS GEOTÊXTEIS .....	85
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>86</b>
6.1. MONITORAMENTO DAS BORDAS COM ESTAQUEAMENTO .....	86
6.2. MONITORAMENTO COM PINOS DE EROSIÃO .....	96
6.2.1. Quantificações das perdas de solo .....	115
6.3. ERODIBILIDADE DOS SOLOS – PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS .....	130
6.4. DIAGNÓSTICO DA ÁREA DEGRADADA NA BACIA DO RIO SÃO PEDRO .....	148
6.5. INÍCIO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA COM GEOTÊXTEIS DE FIBRA DE BANANEIRA .....	154
<b>7. CONCLUSÕES .....</b>	<b>175</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>180</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A degradação dos solos é um grave problema enfrentado em qualquer parte do mundo. A alteração e redução da qualidade dos solos impactam de variadas maneiras as atividades humanas, sejam elas econômicas, culturais, ou de ocupação de uma determinada área. Essa perda de qualidade se dá pelo mau uso das terras, manejo inadequado, e até mesmo ações que visem a melhoria de tais terras, mas que não tenham sido devidamente aplicadas, caso não tenham sido consideradas as principais variáveis e características de cada local (MORGAN, 2005; ARAÚJO *et.al.*, 2009).

Entre diversos processos que causam a degradação do solo, está a erosão, especificamente aquela que ocorre pela ação da água sobre e sob o solo. Sobre o solo, a água das chuvas pode desagregar e transportar as suas partículas através dos processos erosivos salpicamento e escoamento superficial (*splash* e *runoff*). Sob o solo a água que infiltra pode romper a estabilidade da massa de solo, causando movimentos de massa de mínimas a grandes proporções, ou através de dutos formados pelo escoamento subsuperficial, solapar terrenos inteiros. Esses processos de erosão atuam degradando a paisagem e podem constituir-se em riscos diversos a atividades e vidas humanas.

Têm surgido, então, nas últimas décadas, maiores preocupações com o meio ambiente de um modo geral, tanto na sociedade como, principalmente, no meio acadêmico-científico. Deste surgem, nas mais variadas áreas do conhecimento, metodologias que se propõem a colaborar de alguma forma.

Nesse sentido, a presente pesquisa abordará a temática da erosão e degradação dos solos, em áreas de atividades agropecuárias, de modo a colaborar com a ciência geográfica, através da geomorfologia, para a compreensão dos processos atuantes na bacia hidrográfica do rio São Pedro, norte do Estado do Rio de Janeiro. Nesta, os sinais da degradação, causada pela erosão por ação da água, são facilmente notados e constantemente presente na paisagem em, praticamente, qualquer ponto da bacia, seja pela predominância de voçorocas no médio curso, seja pela presença marcante de ravinas no baixo curso.

Buscando conter de alguma forma o processo erosivo, seja com a sua redução ou cessação, e compreender a dinâmica da região, a pesquisa realizou estudos sobre a erodibilidade dos solos em encostas com significativos níveis de degradação para fazer o seu diagnóstico; diferentes tipos de monitoramento de uma voçoroca ativa; e iniciou a recuperação de trecho degradado por erosão laminar e terracetes de pisoteio do gado ao lado da voçoroca monitorada, com a proposta de utilizar material local, contribuindo para a sustentabilidade da região. Para isto, a pesquisa se debruçou na utilização dos geotêxteis, produzidos com fibras de bananeira, cultura predominante da região.

Esta dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG/UFRJ) é resultado de pesquisas realizadas pelo projeto do Edital Universal do CNPq, intitulado “Diagnóstico Ambiental, Monitoramento e Recuperação de Áreas Degradadas por Atividades Agropecuárias na Bacia do Rio São Pedro – RJ”, financiado por CNPq/CT-Agronegócio, Edital nº 44/2008, desenvolvido no Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos (LAGESOLOS) do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo **monitorar** e **diagnosticar** a degradação dos solos gerada pela erosão hídrica e **iniciar a recuperação** da área degradada, com a utilização de geotêxteis produzidos a partir de fibras de bananeira.

Para o alcance deste objetivo geral foram realizados os objetivos específicos que se seguem.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a **erodibilidade dos solos**, da feição erosiva monitorada e das encostas de seu entorno, através de análises de textura, densidade aparente, porosidade, pH, teor de matéria orgânica e teor de carbono orgânico;
- Correlacionar os condicionantes erosivos analisados e os resultados do monitoramento da erosão com **dados de pluviosidade** adquiridos através de diferentes fontes disponíveis para a área de estudo;
- Mensuração dos processos de evolução da feição erosiva através de **estaqueamento** e **pinos de erosão**, em suas bordas e em suas paredes, a fim de verificar o seu recuo e a remoção de sedimentos, respectivamente;
- **Avaliar a eficácia** da utilização dos geotêxteis de fibra de bananeira na recuperação de área degradada por erosão, durante os primeiros meses de sua instalação, dentro do período chuvoso.

### 3. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO PEDRO

A bacia do rio São Pedro (Figura 1) situa-se na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, coordenadas 22°00' – 22°30' de latitude sul e 41°45' – 42°15' de longitude oeste. É uma das principais afluentes da bacia do rio Macaé, pela margem esquerda de seu baixo curso, desaguando em seu trecho retificado. Possui uma área de aproximadamente 490 km<sup>2</sup> e seus divisores fazem limite com o município de Trajano de Moraes, cortam Conceição de Macabú e Macaé, no qual se insere em maior parte. Ao norte a bacia é limitada pela Serra dos Crubixais, Serra da Cruz, Serra de São João e Serra Santo Agostinho, e a oeste pela Serra de Macaé, onde se localiza a nascente do rio São Pedro (COTRIM, 2004; NEVES, 2011). O canal principal é de 6<sup>a</sup> ordem, percorrendo 50 Km, aproximadamente (COTRIM, 2004; LIMA, R. 2008). Fazem parte da bacia os distritos de Córrego do Ouro, Glicério e Frade, que constituem a Serra Macaense, como é localmente conhecida a região (CIDE, 1989; COTRIM, 2004).

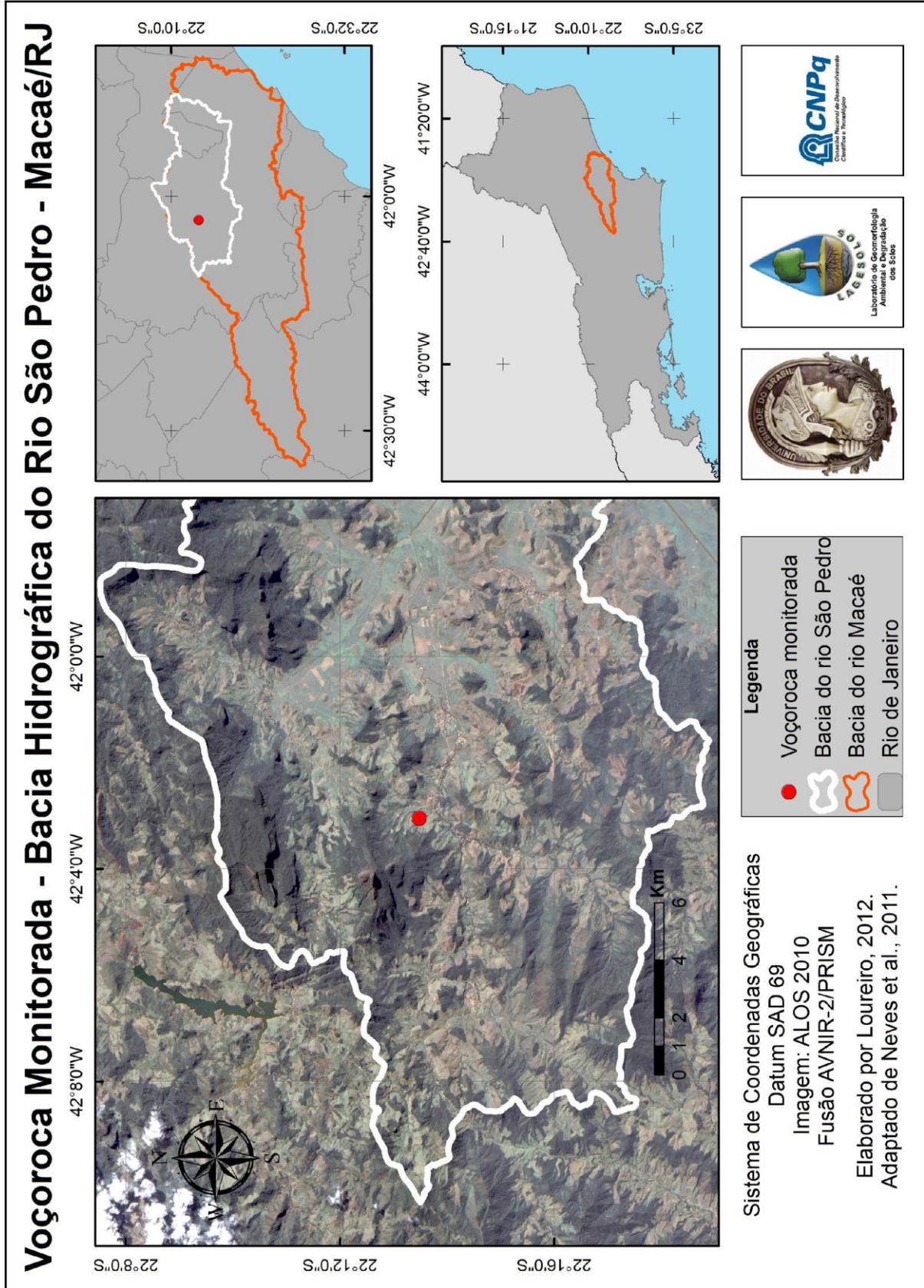


FIGURA 1. Mapa de localização da área de estudo.

A bacia sofreu, ao longo dos séculos, com impactos diretos, como modificações no canal, com represamentos e retificações, estes sendo considerados na década de 70 como meios de “recuperar” a área para o uso econômico (FIDERJ, 1977). Isso reflete o pensamento da época, de transformar o meio ambiente em prol dos benefícios econômicos, sem considerar quaisquer impactos negativos ao meio ambiente. Impactos indiretos, de uso da terra, como a retirada da cobertura vegetal de amplas áreas para a implantação de atividades agropecuárias, modificaram significativamente seu sistema hidrológico, principalmente, através da ação dos processos erosivos, nas encostas e nas margens dos canais.

Segundo Costa (1999 *in* ASSUMPÇÃO, 2009) e Marçal e Luz (2003 *in* ASSUMPÇÃO, 2009), o histórico de ocupação da região do baixo curso do rio Macaé, o que inclui a bacia do rio São Pedro, mostra que desde o início do século XX até a década de 1970 a pecuária bovina avançou significativamente, gerando pisoteio excessivo do solo, formando terracetes nas encostas, e somada à substituição da vegetação original pelas pastagens, reduziu o potencial de regeneração dos solos, tornando-os mais pobres em nutrientes, levando à erosão acelerada. Também contribuiu com este cenário o estabelecimento da Petrobrás na região, a partir da década de 1970, acarretando em necessidade maior de uso dos recursos hídricos entre outras demandas (ASSUMPÇÃO, 2009).

Os sedimentos retirados das encostas chegam aos canais podendo assoreá-los, o que modifica a dinâmica fluvial, buscando novos ajustes dos canais, e que se refletem nas encostas, aumentando ainda mais a erosão. Segundo moradores dos distritos de Glicério e Frade, nas fortes chuvas nos últimos anos, como em 2011, o principal rio da região, o São Pedro, tem atingido áreas onde nunca havia chegado antes, invadindo partes da estrada e áreas de propriedades que ficam às suas margens. Neste mesmo ano (2011), a Prefeitura de Macaé iniciou, em Glicério, a retirada de moradores das áreas de APP (Áreas de Proteção Permanente) às margens do rio São Pedro, sabidamente classificadas como áreas de risco, incluindo neste processo, a demolição das residências nestes locais.

Ainda assim, há significativos remanescentes da Mata Atlântica, no alto curso, estendendo-se por morros e encostas da Serra do Mar. Na planície fluvial, com altitudes

bem menores, há grandes áreas de campos, cultivando-se, principalmente, arroz e feijão, e muitas áreas de pasto (MARÇAL & LUZ, 2003; MOTE, 2008).

De acordo com o mapeamento de uso e cobertura do solo, em Neves (2011), apenas para o médio curso da bacia, as áreas de florestas correspondem a 52,21%, enquanto as áreas de pastagens e agricultura a 40,32%. Atualmente, o distrito de Glicério mantém como principal atividade a pecuária, seguida por diversas plantações de banana espalhadas pela bacia, e pelo turismo (esportes radicais, ecoturismo e turismo histórico), que apesar de ser ainda incipiente, possui potencial ([www.serramacaense.com.br](http://www.serramacaense.com.br), acessado em 01 de outubro de 2010).

A EMUHSA (Empresa Pública Municipal de Urbanização Habitação Saneamento e Água), através de relatórios, demonstra a existência de tentativas de articulação entre a gestão de conflitos e o uso da água, mas há carência de projetos e estratégias de reabilitação de áreas degradadas (EMUHSA, 2004).

A frequência e a magnitude das feições erosivas tornam-se preocupantes, ao longo de toda a bacia, uma vez que a degradação em algumas encostas torna-se irreversível. Neves *et al.* (2011) identificaram 125 feições erosivas, das quais quase 50% são voçorocas. Somado a isto, a erosão laminar (29,6% das feições mapeadas) e a presença constante de terracetes de pisoteio de gado expõem a capacidade de remoção das partículas dos solos da área. O cruzamento dos mapas de uso e cobertura da terra com o de feições erosivas (NEVES *et al.*, 2011; NEVES, 2011), indica de modo claro a correlação entre uso, cobertura e degradação dos solos, mostrando a ocorrência maciça da erosão acelerada nas áreas antrópicas agropecuárias, mais especificamente, nas áreas de pastagem (Figura 2).

**Mapa de Feições Erosivas por Tipo de Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Rio São Pedro - RJ**

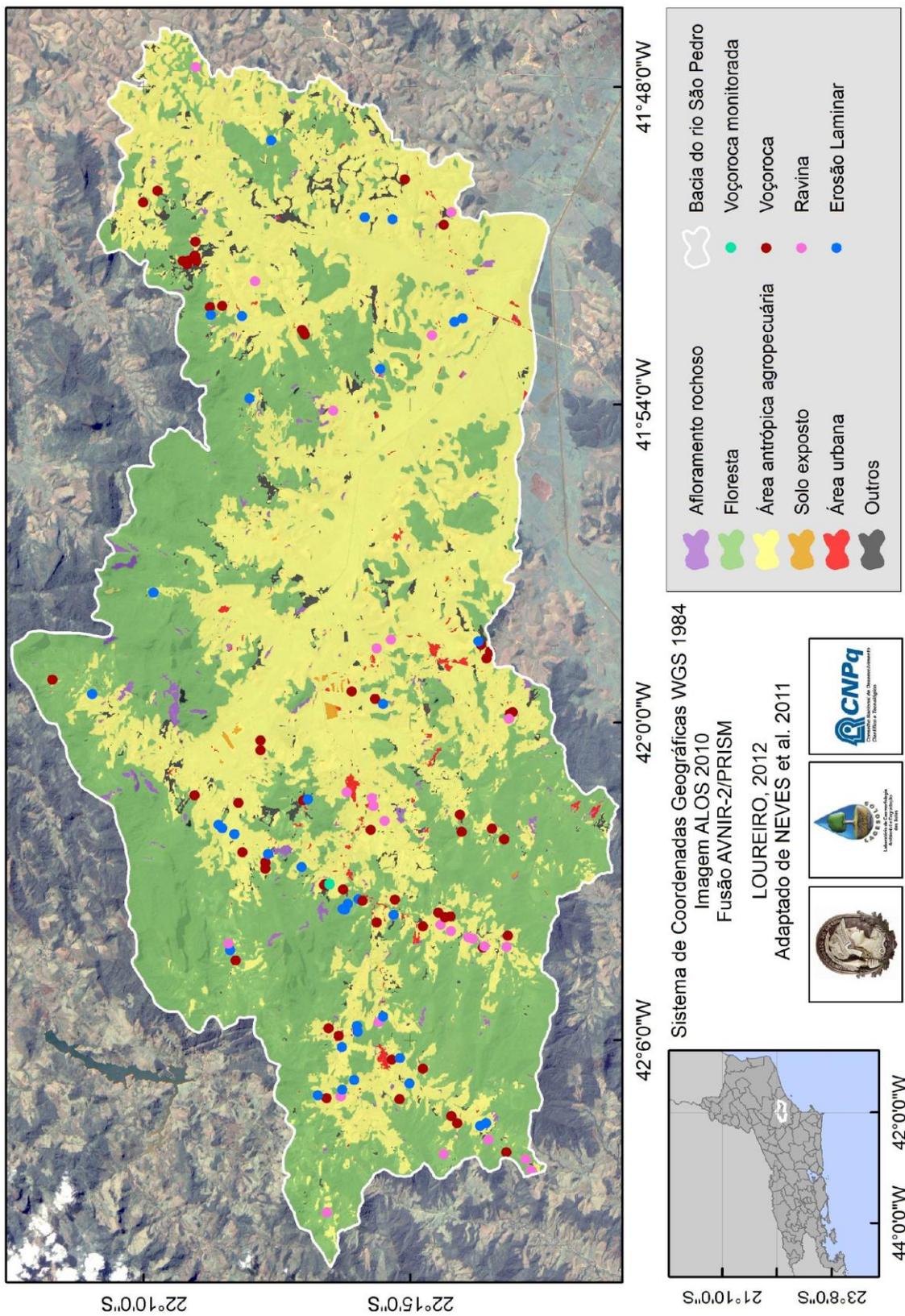


FIGURA 2. Mapa de Uso e Cobertura da Terra da bacia hidrográfica do rio São Pedro (NEVES *et al*, 2011).

Nesse sentido, a área escolhida para os estudos de erosão e recuperação de área degradada possui grande destaque na paisagem. A área localiza-se no sopé do cartão postal local, o Pico do Frade, no médio curso da bacia hidrográfica do rio São Pedro. Há três voçorocas geradas na mesma época, sendo as duas maiores em rápida evolução entre 2003 (surgimento) e 2007 a 2010. No ano de 2011, no mês de março, ocorreram deslizamentos em outra encosta, devido à chuva contínua na região, que caiu durante dias ou semanas, o que mostra a constante e acelerada ação dos processos erosivos na área (Figuras 3, 4, 5 e 6).



FIGURA 3. Área de estudo nas encostas do sopé do Pico do Frade. À esquerda, apontada em branco, a voçoroca monitorada, a menor das três; no centro, destacado em vermelho, área com dois grandes voçorocamentos; e à direita, apontada em azul, encosta com deslizamentos (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).



FIGURA 4. Voçoroca escolhida para os monitoramentos, a menor e mais acessível das três voçorocas da área (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).



FIGURA 5. Voçorocamentos vizinhos profundos levaram entre 3 e 6 anos para chegar ao estágio atual, segundo visualização de imagens no *software Google Earth* e comunicação com o responsável da Fazenda, Sr. Carlos Alberto (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

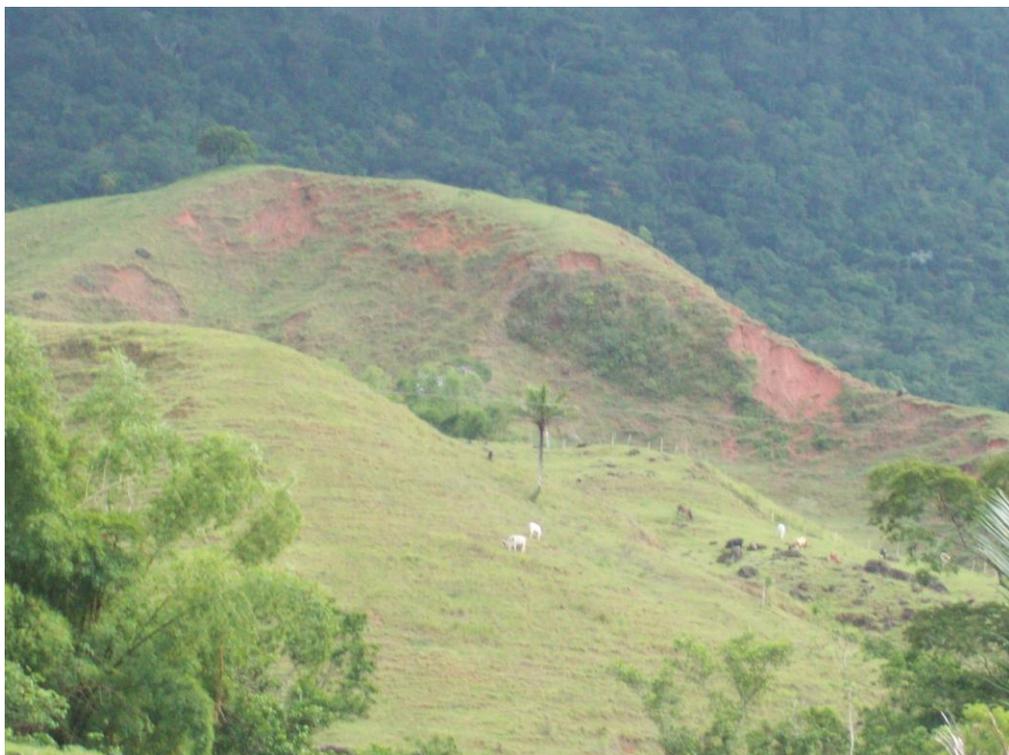


FIGURA 6. Área de estudo, com terras muito degradadas. Destaque para todos os deslizamentos ocorridos nesta encosta, após mês chuvoso, em março de 2011 (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

### 3.1. GEOLOGIA

O Estado do Rio de Janeiro insere-se na Província estrutural Mantiqueira, tida como a mais complexa província afetada pelo Ciclo Orogênico Neoproterozóico/Cambriano (Brasiliano) na América do Sul, que gerou a Faixa (de dobramentos) Ribeira (SILVA E CUNHA, 2001; ALMEIDA, 1977). As rochas metamórficas e ígneas de idade pré-cambriana a eopaleozóica presentes na região sofreram a reativação tectônica Meso-cenozóica extencional Wealdeniana, associada à abertura do Oceano Atlântico, e consequente separação dos continentes sul-americano e africano (ALMEIDA, 1967; SAADI, 1990). Isto gerou uma série de falhamentos normais e soerguimento de blocos, a exemplo dos maciços costeiros, da Serra da Mantiqueira e da Serra do Mar (ASMUS & FERRARI, 1978; HEILBRON et al., 1995).

A bacia do rio São Pedro, e conseqüentemente a do rio Macaé, faz parte da Serra do Mar, estando inserida neste contexto geológico da região Sudeste do Brasil e sua evolução, sendo em maior parte terrenos metamórficos de alto grau do Proterozóico, cujas principais litologias aflorantes são gnaisses, granitos e migmatitos (SILVA E CUNHA, 2001; FONSECA, 1998). A área se enquadra na região dos grandes lineamentos e fraturamentos do Estado do Rio de Janeiro, de predomínio de direção E-NE (SILVA E CUNHA, 2001; ALMEIDA e CARNEIRO, 1998; LIMA, R. 2008).

De acordo com o mapa geológico (Figura 7), elaborado em escala 1:100.000 pela CPRM (2009), as unidades litológicas identificadas na bacia do rio São Pedro são: as do Grupo São Fidélis; Suíte Imbé, anteriormente correspondente à Suíte Desengano no mapeamento de 1:400.000 da CPRM (2001); Suíte Cordeiro; Suíte Suruí (Granito Sana); Enxame de diques da Serra do Mar; e os Depósitos quaternários (depósitos colúvio-aluvionares e depósitos gravitacionais – de tálus). Abaixo seguem suas principais características (CPRM, 2009 *in* HINGEL, 2012).

- **Grupo São Fidélis** – pertence ao Complexo Paraíba do Sul, principalmente constituído por diversos tipos de **gnaisses** e **migmatitos**, de idades meso/neoproterozóica. Possui natureza metassedimentar (kinzigitos, silimanita-granada-biotita gnaisses e paragneisses quartzo-feldspáticos). Há presença de quartzitos, anfibólitos, rochas metacarbonáticas e calcissilicáticas, e ocorrência generalizada de bolsões e veios de leucossomas graníticos

derivados de fusão parcial *in situ* e injeções. É a unidade predominante na área de estudo, principalmente os **kinzigitos**. Estes são compostos de **granada biotita gnaiss**, bandado com intercalações de silimanita-granito gnaiss, quartizito, anfibolito e rochas calcissilicáticas. Ao sul e a nordeste dos limites da bacia do rio São Pedro há **silimanita-granada-biotita gnaiss** bandado ou homogêneo, que percebido pelo contexto possui orientação SW-NE;

- **Suíte Imbé** – formada por **ortognaisses** mesocráticos com megacristais de feldspato, coexistindo minerais típicos de afiliação sedimentar (silimanita e muscovita) e ígnea (horblenda e biotita parda). Tem em sua composição quartzo, pagiolásio, microlina e biotita como minerais essenciais. Na bacia hidrográfica do rio São Pedro ocupa as cabeceiras de drenagem nos divisores ao norte, a partir do médio e no baixo curso, pela margem esquerda do canal principal;
- **Suíte Cordeiro** – ortognaiss leucocrático a hololeucocrático de composição granítica, de foliação fraca a bem desenvolvida e arranjos locais diatexíticos. É muito pouco representativa dentro da bacia do rio São Pedro, com uma pequena área aparecendo à direita do Granito Sana;
- **Suíte Suruí ou Granito Sana** – são **corpos de granito** pós-tectônico de granulação fina, isotrópico, maciço, equigranular, com biotita e muscovita. Associam-se aos produtos finais da granitogênese brasileira, apresentando-se como **formas circulares discordantes** das estruturas regionais NE-SW das encaixantes. Esta unidade tem influência marcante na bacia do rio São Pedro, representada por três grandes corpos no médio curso, ao norte (o menor), ao centro e ao sul (sua parte mais inteiriça), sendo responsável principal por grandes afloramentos rochosos, que dão características peculiares nesta parte da bacia. O melhor exemplo é o Pico do Frade, ponto turístico da região, que divide esta parte da bacia em, pelo menos, dois lados;
- **Enxame de diques da Serra do Mar** – são **diques de diabásios, gabros e basaltos** de afinidade toleítica. São relacionados à reativação Wealdeniana, do final do Paleozóico e início do Mesozóico. Sua ocorrência está restrita à Serra de São Pedro, ao norte da bacia, com o mesmo alinhamento das escarpas serranas, de NE-SW;

• **Depósitos quaternários** – correspondem às coberturas **colúvio-aluvionares**, formadas por depósitos cascalhosos, argilo-arenosos e areno-argilosos, de grande variação composicional e granulométrica. À base e à meia encosta se formam por fluxos gravitacionais e movimentos de massa, como rastejo ou escorregamento, e formam rampas de colúvio e **depósito de talus**. Ao longo dos cursos dos rios encontram-se os depósitos fluviais, em seus canais ou nas margens e na planície de inundação. Estão presentes ao longo da bacia, principalmente nos fundos de vales e no sopé das encostas.

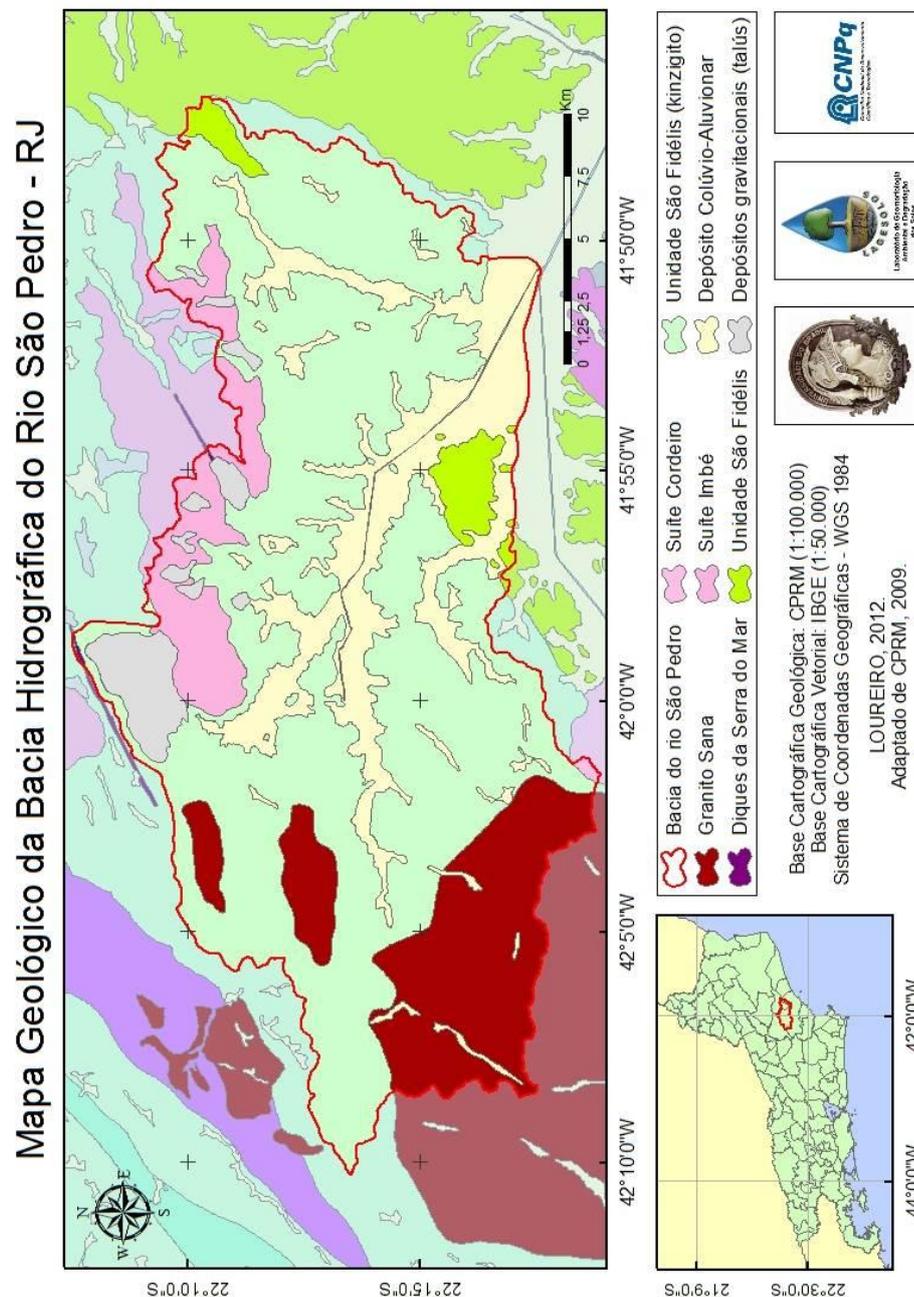


FIGURA 7. Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio São Pedro (LOUREIRO, 2012 adaptado de CPRM, 2009).

### 3.2. GEOMORFOLOGIA

A compartimentação geomorfológica do Estado do Rio de Janeiro se dá em duas unidades morfoestruturais: **Cinturão Orogênico do Atlântico** e **Bacias Sedimentares Cenozóicas** (DANTAS, 2000; CPRM, 2001). Destacam-se os relevos de grande variação altimétrica, o paralelismo de serras e vales e as intrusões ígneas, expondo a influência das características geológicas em sua morfologia, mesmo após longas fases erosivas sofridas.

Da unidade Cinturão Orogênico do Atlântico, destaca-se a Faixa de dobramentos Ribeira, a qual abrange todo o Estado do Rio de Janeiro. De um modo geral, a Serra do Mar possui altitudes que variam entre 800-1200, 1200-1800m, ou ainda mais de 2.000 metros nos pontos culminantes. Surge como uma imponente barreira montanhosa, disposta aparentemente em paralelo à linha de costa, caracterizada ora como paredão escarpado junto ao mar, ora como escarpas com contornos sinuosos devido ao grau de dissecação gerado pelos pequenos rios (IBGE, 1977).

Em uma visão regional, a bacia hidrográfica do rio São Pedro situa-se numa faixa leste da Serra do Mar, na qual perde o aspecto de barreira montanhosa passando ao padrão de um conjunto de serras paralelas entre si, separadas pelos vales dos rios principais que cortam a região Norte Fluminense, caso dos rios São João, Macaé, Macabu e Imbé (DANTAS, 2000). São bastante elevadas as altitudes, chegando a atingir mais de 1.000m, ou mesmo com picos de quase 2.000m. As escarpas serranas de Macaé tem orientação WSW-ENE, e a leste, onde se localiza a área de estudos, constitui um relevo de transição dos terrenos planos e das colinas isoladas da planície fluvial do rio Macaé, conseqüentemente do rio São Pedro, com a zona montanhosa do alto curso da bacia do rio Macabu, que possui divisores comuns às bacias dos rios São Pedro e Macaé. Na base destas escarpas estão, por exemplo, os distritos de Frade e Glicério, de onde parte o dismantelamento gradual do paredão montanhoso em direção ao distrito de Córrego do Ouro, causada pela ação erosiva (em tempo geológico) do rio São Pedro (DANTAS, 2000).

Neste ponto, há uma extensa área colinosa, de topografia uniforme, com topos nivelados de baixa amplitude, tendo cotas de altitude variando entre os 40 e 100 metros. É uma área caracterizada por uma depressão marginal delimitada pela escarpa da serra macaense e pelas baixadas fluviais e fluviolagunares dos rios Macaé e São Pedro, e drenada

por seus tributários. Dentro deste domínio colinoso há morrotes e morros baixos de cotas entre 150 a 250m, além de colinas mais altas em direção às escarpas, com cotas de 100 a 160m (DANTAS, 2000).

Já as Bacias Sedimentares Cenozóicas, resultam da tectônica extensional pós-cretácia, e possuem idade terciária, sendo denominadas “Sistema de *Rifts* da Serra do Mar” (ALMEIDA, 1976 *in* DANTAS, 2000). Regionalmente, são representadas, na área de estudos, pelos extensos fundos de vales dos rios São Pedro e Macaé, com seus depósitos de sedimentos fluviais. Esses são delimitados tanto pelas colinas isoladas como pelas íngremes vertentes no sopé da escarpa serrana. Neste trecho as obras de retificação rebaixaram o nível do lençol freático, drenando as planícies alagadiças (DANTAS, 2000).

O mapa geomorfológico da bacia do rio São Pedro (Figura 8) aqui utilizado foi extraído do mapeamento do Estado do Rio de Janeiro realizado por Silva (2002), em escala 1:50.000, e seguiu o critério de classificação morfológica por desnivelamento altimétrico e seus significados topográficos, que se seguem (SILVA, 2002 e 2009):

- **Serras Escarpadas (superiores a 400 metros)** – correspondentes às áreas mais elevadas e suas encostas íngremes e mudanças abruptas entre os compartimentos;
- **Serras Reafeiçoadas e/ou Serras Locais (200 a 400 metros)** – junção dos compartimentos de 200-300m e 300-400m que representam elevações isoladas e feições de transição do relevo entre compartimentos diferentes, com altitudes distintas. A drenagem dos compartimentos mais baixos se encaixa progressivamente, fazendo com que o degrau não demonstre fisionomia de escarpa bem definida e íngreme e/ou serras erguidas no interior de domínios colinosos;
- **Morros (100 a 200 metros)** – compartimentos com maior índice de desnivelamento (ombreiras), colinas convexo-côncavas de encostas íngremes, topos convexos e vales encaixados, podendo ocorrer isoladas ou contínuas/transicionais em meio de planícies fluviais;
- **Colinas (20 a 100 metros)** – possuem encostas íngremes, vales e reentrâncias de cabeceiras de drenagem entulhados e estreitos, e topos convexos resultados da litologia de embasamento cristalino em elevado grau de alteração; compreendem também um

agrupamento de classes de 20-40m, 40-60m e 60-80m que correspondem a classes de colinas suaves, de topos suavizados gerados do retrabalhamento de materiais sedimentares;

- **Planícies Flúvio-marinhas (0 a 20 metros)** – são as áreas de planícies preenchidas pelos depósitos de sedimentos quaternários de origem fluvial, com feições de topografia plana-horizontal a sub-horizontal.

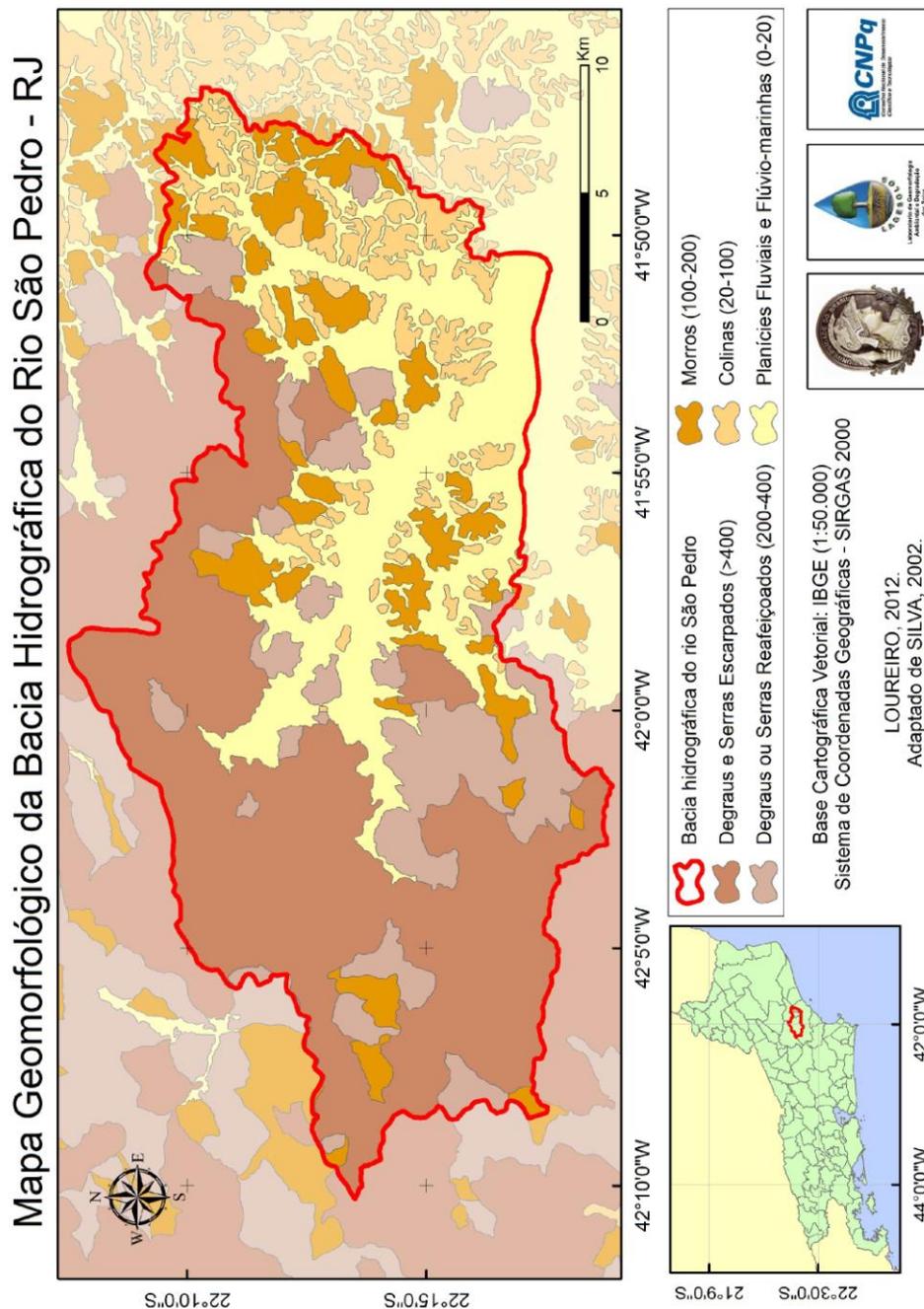


FIGURA 8. Mapa Geomorfológico da bacia hidrográfica do rio São Pedro (LOUREIRO, 2012 *adaptado de* SILVA, 2002).

### 3.3. SOLOS

Segundo o mapeamento de CARVALHO FILHO *et al.* (2003), na escala 1:250.000 (Figura 9), e baseado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), predominam na bacia os Cambissolos, seguidos pelos Latossolos Vermelho-Amarelos.

Os Cambissolos preenchem todo o alto curso, a maior parte do médio e as partes mais elevadas do baixo. Ocorrem em relevos montanhosos, escarpados e forte ondulados (SILVA, 2002; CARVALHO FILHO *et al.*, 2003). A declividade dessas áreas somada aos altos índices de pluviosidade produz um solo pouco desenvolvido, de horizonte B incipiente. Possuem características variáveis, geralmente influenciadas pelo material de origem, teores de silte relativamente elevados e diferenciação modesta entre horizontes A-Bi-C. Geralmente, ocorrem associados aos Latossolos Vermelho-Amarelos, diferenciados pela menor espessura do horizonte B dos Cambissolos, ou associados aos Neossolos Litólicos e aos Afloramentos rochosos (CARVALHO FILHO *et al.*, 2000).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos preenchem a grande maioria dos solos nas encostas do baixo curso da bacia do rio São Pedro, em relevos dissecados (SILVA, 2002), forte ondulado, ondulado e montanhoso (CARVALHO FILHO *et al.*, 2003). Bem desenvolvidos, costumam ser muito profundos, tendo espessura do *solum* normalmente maior que 2m, altamente permeáveis e drenados, e horizonte B podendo apresentar tons mais amarelados, baixos teores de óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) e reduzido incremento de argila em profundidade (CARVALHO FILHO *et al.*, 2000).

No médio curso, sobre relevos escarpados e montanhosos ocorrem também os Neossolos Litólicos, além da presença de Afloramentos Rochosos, como o Pico do Frade, com seus 1.429 m, e dos paredões que formam, no médio e no baixo curso da bacia do rio São Pedro, os seus divisores ao norte. Há ainda os Argissolos Vermelho-Amarelos ao centro-oeste do médio curso e ao extremo nordeste do baixo curso, e os Argissolos Vermelhos em pequeno trecho a Leste. Esses ocorrem sobre relevo que varia de suave a forte ondulado e montanhoso (CARVALHO FILHO *et al.*, 2003). São solos profundos bem drenados, de textura média/argilosa ou média/muito argilosa, de horizonte B textural (CARVALHO FILHO *et al.*, 2000).

No baixo curso, em relevo plano, aparecem Neossolos Flúvicos, que possuem alta fertilidade; Gleissolos; e Organossolos, de drenagem muito problemática, permanecendo encharcados durante grande parte do ano, necessitando abertura de canais de drenagem para permitir o uso agrícola.

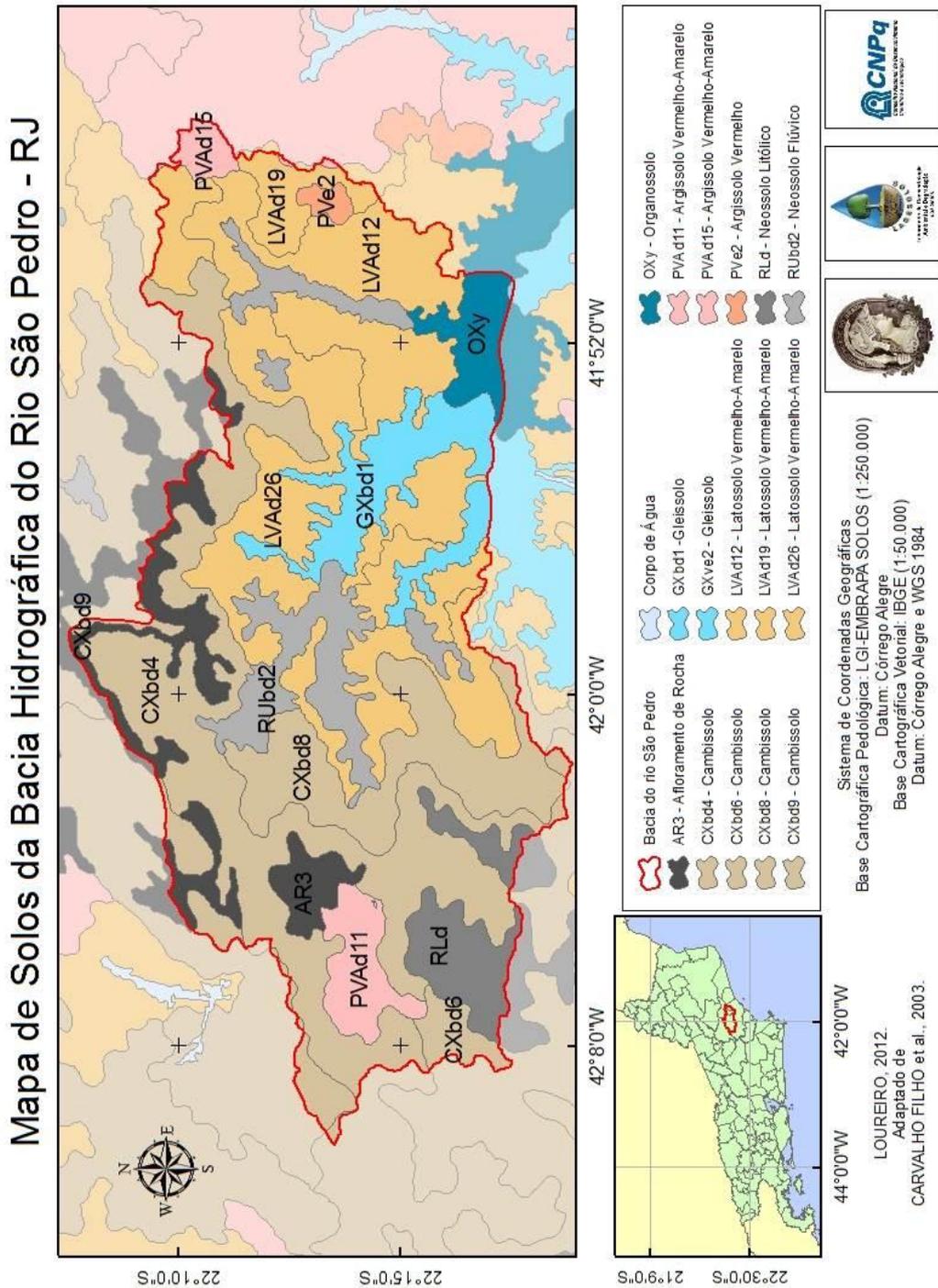


FIGURA 9. Mapa de Solos da bacia hidrográfica do rio São Pedro (LOUREIRO, 2012 adaptado de CARVALHO FILHO et al., 2003).

### 3.4. CLIMA

Tratando-se de uma bacia de grande variedade geomorfológica, as temperaturas são, também, variadas entre o alto, o médio e o baixo curso, durante o ano. De acordo com os domínios climáticos do Estado do Rio de Janeiro (SILVA, 2002), pode-se afirmar que a bacia do rio São Pedro se encaixa nos domínios **clima quente** e **clima subquente**. O primeiro possui média superior a 18°C, com invernos amenos nos quais o frio se relaciona diretamente com as massas de ar polares e com verões quentes e longos, indo de outubro a março. O segundo sofre influência da altitude e, por isso, possui ao menos um mês mais frio, podendo chegar a 15°C e médias mínimas diárias de 10 a 6°C. Nas baixadas costeiras, nos sopés e/ou baixas encostas da Serra do Mar a temperatura pode variar acima de 22°C no verão a 20°C no inverno.

Além da variedade climática em termos de temperatura, a orografia influencia fortemente a precipitação. De um modo geral, na Serra do Mar, em termos anuais, há uma estação seca bem delimitada em meses de inverno, época em que as baixadas possuem precipitação média inferior a 1.500 mm, e as áreas elevadas chegam a apresentar totais pluviométricos superiores a 2.000 mm/ano em média. Mensalmente, os índices mais elevados para localidades no sopé da Serra do Mar ultrapassam 60 mm nos meses de inverno (MEIS, 1976 *in* SILVA, 2002).

Nascimento *et al.* (2010), estudando a pluviosidade associada às vazões na bacia do rio Macaé, se utilizam dos dados das Estações Pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) inseridas nesta. Os dados da Estação Fazenda Oratório (Figuras 10 e 11) confirmam a presença de uma estação mais seca entre abril/maio a setembro, em que a menor média no período de 1968 a 2008 corresponde ao mês de junho, com menos de 50 mm de chuva. Já a maior média, durante o período chuvoso, é registrada nos meses de novembro a janeiro, ultrapassando os 200 mm. Quando somados os meses de verão (janeiro, fevereiro e março), estes números passam de 400 mm; e quando somados os de inverno (junho, julho e agosto), os totais ficam abaixo de 150 mm. Como exemplo, um pluviógrafo instalado na área de estudo registrou 136,20mm de chuva, apenas entre os dias 21 e 31 de março de 2011, enquanto que em todo o mês de abril foram registrados 155,18mm de chuva.

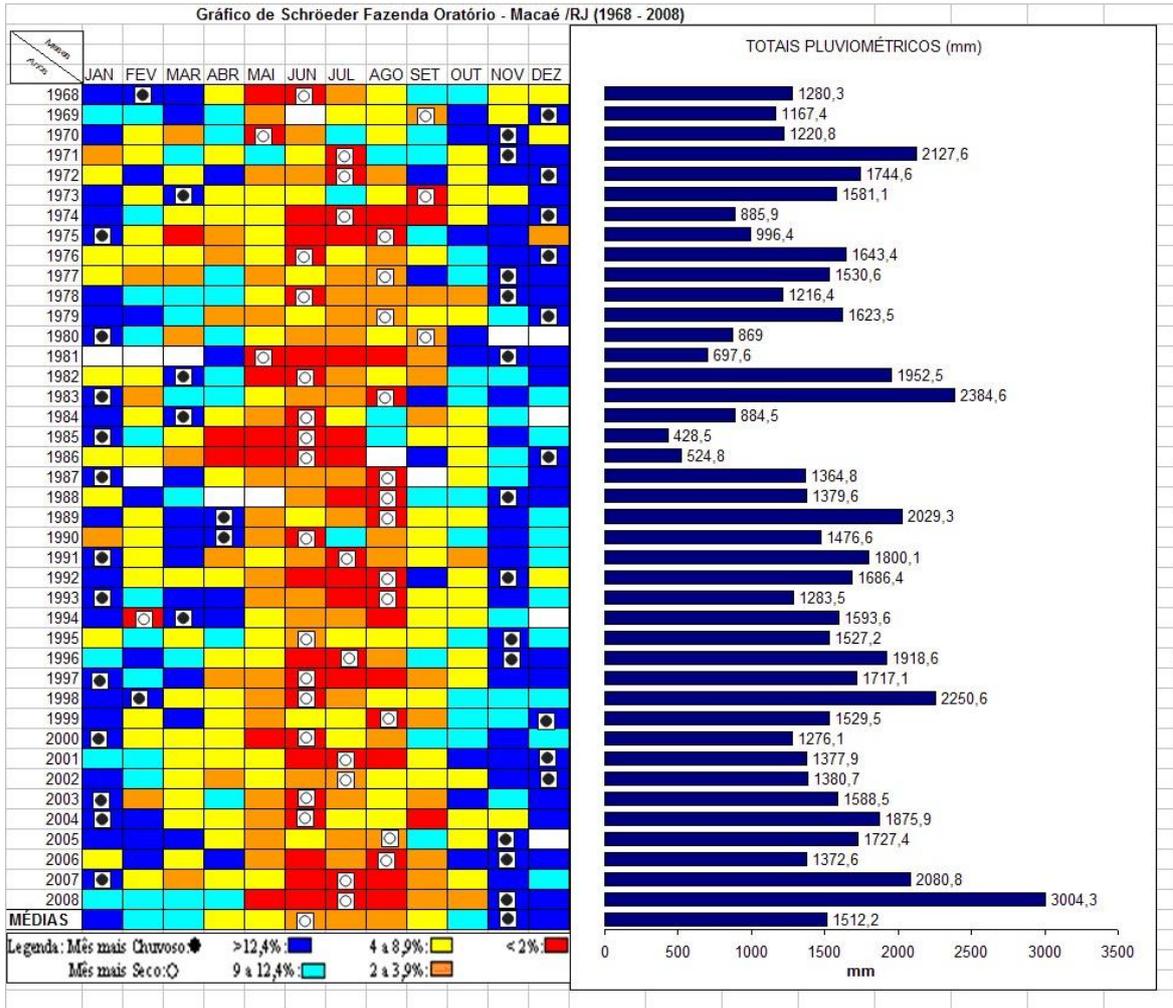


FIGURA 10. Gráfico de Schröder para a pluviosidade da estação Fazenda Oratório da ANA em série histórica de 40 anos, entre 1968 e 2008. Fonte: NASCIMENTO *et al.* 2010.



FIGURA 11. Média de pluviosidade da estação Fazenda Oratório da ANA para o período de 1968 a 2008. Fonte: NASCIMENTO *et al.* 2010.

### 3.5. COBERTURA VEGETAL

A vegetação na bacia hidrográfica do rio São Pedro faz parte dos remanescentes da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, que recobrem áreas restritas de seu território. Originalmente revestia toda a Serra do Mar, e atualmente, está bastante suprimida, após séculos de exploração, desde o pau-brasil, passando pelo ciclo do café, até as pastagens atuais (SILVA, 2002; LIMA, L. 2008; LIMA, R. 2008). É a vegetação característica dessa região, que possui importantes unidades de conservação, como o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (SILVA, 2002).

São predominantes paisagens antrópicas, aquelas originadas da ação humana (CIDE, 1989). Assim, a bacia do rio São Pedro possui a maior parte de sua área desmatada, com uso pecuário intensivo, áreas agrícolas e florestas secundárias, que pressionam os fragmentos existentes na região (LIMA, R. 2008). Em seu alto curso, há significativos remanescentes da Mata Atlântica, estendendo-se por morros e encostas da região, pertencente à Serra do Mar, muitas vezes em trechos de difícil acesso (LIMA, R. 2008).

A Floresta Ombrófila Densa encontra-se fragmentada, descontínua nas áreas de Escarpas Serranas, colinas e maciços costeiros, possui fisionomia variada, sendo dividida em montana e submontana. A primeira ocorre na faixa entre 500 a 1.000 metros de altitude, mais preservada até em função da dificuldade de acesso. A segunda aparece na faixa entre 50 a 500 metros, com modificações devido às atividades agropecuárias. Nas áreas de depósitos sedimentares colúvio-aluvionares são encontradas formações pioneiras de estado herbáceo predominantemente, localizadas nas margens de rios, lagunas e pântanos (CIDE, 1989).

Segundo RADAMBRASIL (1983 *in* SILVA, 2002), a Floresta Ombrófila Densa, como remanescentes florestais da Mata Atlântica, apresenta-se sobre litologias diversas, delimitadas climaticamente por uma faixa que varia de 0 a 60 dias secos. Ocorre tanto em áreas de baixada flúvio-marinhas como em grandes altitudes, adaptada a tais condições. As Florestas Estacionais, também presentes em variadas litologias, por sua vez, ocorre em áreas com mais de 60 dias secos, possuindo espécies arbóreas caducifólias. As Formações Pioneiras ocorrem em solos que são constantemente submetidos a influências marinhas, fluviais e flúvio-marinhas, possuindo vegetação herbácea.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

### 4.1. ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS

Para Penteadó (1978), um objetivo da Geomorfologia é a análise dos processos operantes na superfície terrestre, que possui um caráter dinâmico (“fisiologia da paisagem”). Outro objetivo, que possui caráter estático, é a descrição da paisagem de modo explicativo (“anatomia da paisagem”). Ambos exigem, então, dados um do outro. Segundo a referida autora, a pura descrição qualitativa, ainda que tenha seu valor, não é satisfatória, havendo a necessidade da análise explicativa, com maior precisão de dados. Para isso, a Geomorfologia, que possui seus princípios básicos, leis gerais e objeto próprios, utiliza métodos e técnicas específicas (PENTEADO, 1978).

As técnicas são utilizadas para a obtenção de dados sobre a realidade, que irão embasar os caminhos percorridos pelo método. Este possui uma fundamentação teórica e auxilia o pesquisador a organizar seu raciocínio, integrando o “plano do *pensar*”; enquanto que as técnicas o auxiliam na organização das informações que alimentam a pesquisa, fazendo parte do “plano do *fazer*” (VENTURI, 2009).

Quando este “*fazer*” encontra-se inserido em um processo de pesquisa orientado através de um método, se está realizando um “*trabalho científico*”. Para tanto, a coleta e obtenção dos dados jamais é aleatória, no sentido de não haver um propósito definido, pois faz parte de um objetivo preestabelecido a partir de uma problemática. Desse modo, os dados trarão objetividade à pesquisa científica, uma vez que eles não possuem essa objetividade por si só. Além disso, a qualidade e quantidade dos dados serão menos subjetivas, mesmo sendo uma avaliação que compete ao pesquisador, se eles estiverem atrelados a uma problemática (VENTURI, 2009).

Em se tratando da qualidade dos dados, muitas vezes os erros são inevitáveis, mesmo com toda atenção e cuidado que se empregue (MARQUES, 1996). Inclusive, afirma Stocking (1987), ao se realizar pesquisas sobre áreas degradadas, é provável que a própria coleta de dados seja a maior fonte de erros, considerando que alguns tipos de medições e monitoramentos podem ser de grande dificuldade. Certos erros são aceitáveis, outros

tornam inválidos os trabalhos que estão sendo realizados. A natureza desses erros é diversa, seja de nossa própria atuação, da precisão e funcionamento corretos de equipamentos e instrumentos utilizados, ou de reações não controladas ou desconhecidas que causem interferências sobre o que se está analisando (MARQUES, 1996). Cabe ao pesquisador, então, reduzir o nível de erro, embora seja de grande importância identificá-lo e explicitá-lo como meio de aferir o valor do trabalho realizado, abrindo margem para possíveis contribuições para sua evolução (MARQUES, 1996).

A partir dessas discussões, é possível compreender a importância dos experimentos nos estudos de geomorfologia, e mais especificamente nos estudos de erosão dos solos. Conforme afirma Penteadó (1978), os experimentos podem ser realizados em campo ou em laboratório. Nesse sentido, uma prática que tem sido expandida nas últimas décadas é o estabelecimento de áreas-piloto, para temas e escalas diversas, que faz do campo um laboratório natural, que possui uma realidade de comportamento muitas vezes não obtida com a mesma exatidão, ou semelhança, dentro de laboratórios e gabinetes (MARQUES, 1996). Contudo, vale lembrar que isso não significa possuir em campo o mesmo controle sobre os processos que se pode ter em ambientes laboratoriais, pois o pesquisador acaba sujeito às dinâmicas dos fenômenos que se propôs a estudar, sendo comum que planos traçados em gabinete não ocorram exatamente como o desejado ou esperado (VENTURI, 2009).

Segundo Marques (1996), a realização de trabalhos experimentais em campo que acompanham a ocorrência de processos, permite ações de manuseio e controle de escalas. Na área-piloto, o trabalho foi realizado pela observação e análise dos fenômenos em uma microescala, ou seja, em uma escala em que os fenômenos ocorrem localmente (SILVA, 2002). A escala é uma medida que traz visibilidade ao(s) fenômeno(s) (CASTRO, 1995 *in* SILVA, 2002) e uma questão crucial na definição do manejo da terra, pois focaliza a tomada de decisão e a alocação de custos e benefícios (BLAIKIE e BROOKFIELD, 1987). O trânsito entre diferentes escalas é uma necessidade e um desafio constantes, sem que sejam desconsideradas as relações com fatos e fenômenos que se apresentam em escalas inferiores e superiores à trabalhada (MARQUES, 1996). Ou seja, a compreensão do fenômeno passa, também, pela análise do contexto regional da ocorrência do(s) fenômeno(s) e das características de seus elementos, como por exemplo, a geomorfologia

da bacia hidrográfica na qual se insere a área estudada, cuja escala é mais generalizada, e as propriedades dos solos, cuja escala é de grande detalhe. Silva (2002) afirma que os processos que atuam em macro, meso e microescala representam as relações entre diversificados e numerosos arranjos de forças ambientais. Estas, para que sejam identificadas, analisadas e classificadas de modo correto, pedem o emprego extensivo de registros de campo, ou seja, que se utilize a abordagem empírica (SILVA, 2002).

Como parte integrante dos estudos geomorfológicos, mais especificamente, das técnicas de campo sobre erosão dos solos, apresentadas e desenvolvidas ao longo desta dissertação de mestrado, é importante que a literatura reconhecida, nacional e internacionalmente, sobre as técnicas de monitoramento, em especial a dos pinos de erosão, sejam brevemente apresentadas. A partir disso, são fundamentadas as técnicas, detalhadamente explicadas no próximo capítulo, que se constituíram como uma adaptação e uma inovação metodológica nesta pesquisa, gerando novas contribuições para pesquisas em erosão dos solos.

#### **4.1.1. Técnicas de monitoramentos em campo: as estacas e os pinos de erosão**

Seja em campo ou laboratório, há diversos meios de se quantificar e monitorar a erosão dos solos, de acordo com os objetivos traçados (DE PLOEY e GABRIELS, 1980 *in* FULLEN e CATT, 2004; GUERRA, 2005b). Obter dados mais reais torna as mensurações de campo mais apropriadas, embora possam ser dificultadas por mudanças e interferências ocorridas no campo (MORGAN, 2005; GUERRA, 2005b).

Dentre a infinidade de maneiras existentes para se monitorar uma voçoroca, encontradas em vasta literatura nacional e internacional sobre o tema, como afirma Guerra (2005b), há o monitoramento com estacas colocadas no solo ao redor das voçorocas, com um afastamento sugerido em 10 metros de suas bordas (Figura 12). A periodicidade do monitoramento pode ser para períodos de dois ou três meses, considerando a distribuição pluviométrica, ou variar de acordo com os diferentes objetivos. A evolução da feição pode ser traçada, espacial e temporalmente, com “bom grau de precisão”, relacionada às chuvas,

às propriedades do solo, à cobertura vegetal, ao uso e manejo da terra, etc (GUERRA, 2005b).

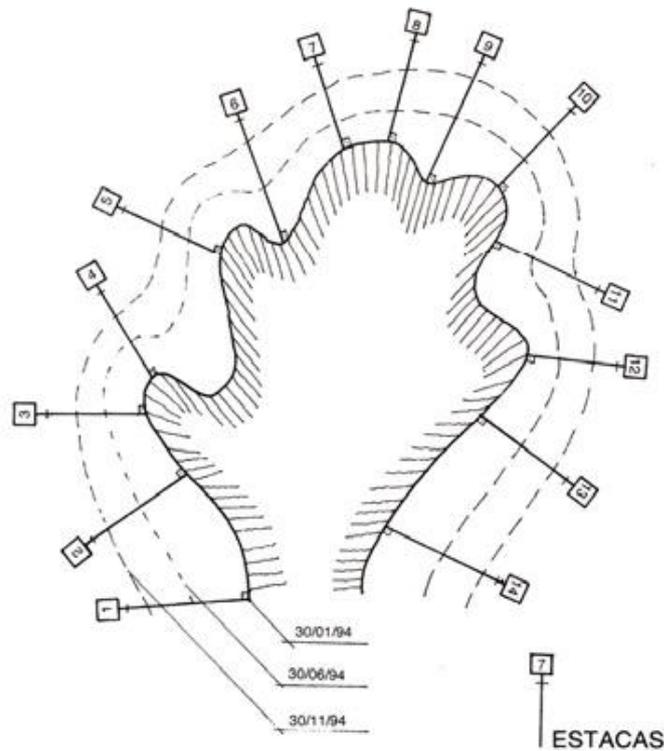


FIGURA 12. Representação de monitoramento de voçoroca com estacas. Fonte: GUERRA, 2007.

Outra técnica de monitoramento da erosão, que é simples, de baixo custo, muito comum e uma das mais efetivas é o uso de pinos de erosão (HAIGH, 1978; STOCKING, 1987; DE PLOEY e GABRIELS, 1980 *in* GUERRA, 1996; FULLEN e CATT, 2004; GUERRA, 2005b). Esta técnica é reconhecidamente empregada para verificar os efeitos do escoamento superficial difuso, que levam à erosão em lençol (*sheet erosion*) (GUERRA, 2005b). Ou seja, o pino é, em sua essência, uma referência fixa, utilizada para mensurar as mudanças de altura da superfície do solo em relação a tal referência, podendo registrar tanto a retirada de materiais do solo pela erosão, como a sua deposição (HAIGH, 1978; STOCKING, 1987; FULLEN e CATT, 2004).

Os tipos de materiais dos quais os pinos de erosão podem ser feitos são a madeira e o metal. Em meados da década de 1950, Schumm (1956 *in* STOCKING, 1987) foi o pioneiro,

utilizando pinos feitos de madeira. Contudo, ambos os materiais são passíveis de crítica. Os feitos de madeira podem ser considerados frágeis (COLBERT, 1956 *in* HAIGH, 1978), enquanto os de metal podem enferrujar, fato que poderia funcionar como uma espécie de cola que grudaria em si o solo, podendo aumentar sua resistência a perturbações, inclusive da erosão (BRIDGES, 1969 *in* HAIGH, 1978).

Os pinos são inseridos verticalmente no solo, a 10 centímetros ou mais de profundidade e dispostos em uma encosta de acordo com diversas regras, que podem respeitar sugestões da literatura, como o uso de um transecto, através de padrões de redes ou grades, aglomerados em locais especificamente interessantes à pesquisa, ou respeitando regras estabelecidas conforme exigirem os objetivos e a natureza do monitoramento (HAIGH, 1978; FULLEN e CATT, 2004; GUERRA, 2005b). Para auxiliar na sua localização, é recomendável produzir um diagrama (GUERRA, 2005b), ou croqui da distribuição dos pinos. Ou, ainda, o registro fotográfico detalhado da distribuição em auxílio a um croqui.

Comumente recomenda-se que os pinos sejam fincados no solo de modo que fiquem nivelados com a sua superfície, embora isto possa gerar dificuldades em encontrá-los durante os monitoramentos. Porém, há chance de incorrer em medições erradas, caso o pino esteja exposto demais, podendo até mesmo sofrer inclinações (HAIGH, 1978). Logo, normalmente as medições são feitas, a cada monitoramento, registrando a exposição do pino em relação ao solo, ou seja, registrando-se as distâncias apresentadas entre a ponta (ou cabeça) do pino para a superfície do solo (HAIGH, 1978; GUERRA, 2005b). Preferencialmente, se possível, o monitoramento dos pinos deve ser feito depois de cada importante evento chuvoso, podendo-se obter medidas em milímetros. Guerra (2005b) sugere que seja instalada uma quantidade mínima de 50 pinos em uma porção da encosta e que após um período de tempo de, por exemplo, um a dois anos, seja possível obter uma taxa da perda de solo pela erosão, através do rebaixamento de sua superfície.

Haigh (1978) enumera algumas possíveis fontes de contaminação dos dados, gerando algum tipo de erro. Aquela que chama mais atenção, e merece destaque, é a interferência causada durante a inserção do pino dentro do solo. Esta perturbação é um fato considerado impossível de não ocorrer. Emmett (1965 *in* HAIGH, 1978) chega a afirmar que seria correto estabelecer um tempo ideal de espera entre a colocação dos pinos e o início da coleta dos

dados, sugerindo o período de 1 ano de espera, para que não sejam coletados dados que estivessem ainda sob efeito da colocação dos pinos.

Ao aplicar técnicas de monitoramento, como as discutidas neste capítulo, ou como as explicadas adiante, no capítulo 5, deve-se considerar a coleta de dados de chuva e as propriedades dos solos, bem como dados ou informações sobre uso da terra e cobertura vegetal (HAIGH, 1978; GUERRA, 1996; 2005b; 2007).

## **4.2. EROÇÃO DOS SOLOS**

A erosão é um processo geomorfológico natural que atua na esculturação do relevo terrestre, podendo ser agravada pela ação do homem, de modo a causar inúmeros transtornos à natureza e à sociedade. Sua compreensão é relevante, tanto por fazer parte do sistema ambiental físico como pelo fato de afetar atividades humanas e organizações espaciais, podendo resultar em impactos ambientais de grandes prejuízos ou mesmo irreversíveis (GOUDIE E VILES, 1997; CHRISTOFOLETTI, 2001; GUERRA, 2003; GUERRA e MENDONÇA, 2007; LIMA, L. 2008; MENDES *et al.*, 2009; SATHLER *et al.*, 2009).

O processo erosivo consiste na perda da camada superficial do solo, através da desagregação e remoção de seus materiais e partículas componentes, e o seu transporte e deposição dos sedimentos gerados, que acarreta, entre outras consequências, na redução da fertilidade do solo (FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; GUERRA e GUERRA, 2005; GUERRA, 2007; MENDES, 2007; ARAUJO *et al.*, 2009; LOUREIRO, 2010; LOUREIRO *et al.*, 2011). Além da perda de nutrientes, a perda de fertilidade ocorre, também, porque quanto mais fino e denso se torna o solo, mais difícil é a penetração de raízes, podendo se tornar extremamente superficial para sua fixação; é reduzida, então, a capacidade de retenção de água e sua distribuição para as plantas (ARAUJO *et al.*, 2009).

Na erosão hídrica acelerada, o tipo mais grave e perceptível de degradação (CUNHA e GUERRA, 2006), dentre as feições resultantes dos processos erosivos, segundo Araújo *et al.* (2009), as ravinas e as voçorocas são formas extremas de erosão, que deformam o terreno, e os riscos trazidos irão depender das condições naturais e do uso da terra. Considerando o recorte de uma bacia hidrográfica, os problemas ocorridos nas encostas têm reflexos tanto

*onsite* como *offsite*, ou seja, afetam desde o local de origem até áreas mais a jusante, como por exemplo, as calhas fluviais, podendo assorear os rios, e assim, reduzir a quantidade e a qualidade da água (LIMA-E-SILVA *et al.*, 2006; GUERRA e MENDONÇA, 2007).

Identificar os mecanismos da erosão é fundamental para elaborar projetos de controle da erosão, e os riscos inerentes à degradação ambiental e aos impactos das feições criadas pelo processo, como por exemplo, as voçorocas, pedem pesquisas que apóiem decisões sobre a recuperação de áreas degradadas (OLIVEIRA, 2005; SATHLER *et al.*, 2009).

Dessa forma, recomenda-se para os estudos sobre degradação ambiental, analisar os fatores condicionantes da erosão, como por exemplo, a erodibilidade dos solos. Assim, caracterizar e avaliar a degradação ambiental significa uma das principais atividades componentes de um programa de recuperação de áreas degradadas (BITAR e ORTEGA, 2002). O não conhecimento da dinâmica de uma área implica em dificultar bastante a recuperação desta, e subestima ou superestima os custos das obras, por atuarem somente sobre as consequências do processo (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Somado a isso, através do monitoramento, analisando espaço-temporalmente o processo erosivo, é possível chegar a mecanismos de controle e contenção da erosão. Segundo Suertegaray e Nunes (2001), é nesse sentido que a ciência geográfica, através da geomorfologia, busca, entre outros aspectos, elaborar técnicas reparadoras dos danos causados pela ação do homem sobre o meio ambiente.

A fim de abordar com maior clareza a discussão conceitual dos temas sobre a erosão trabalhados na presente pesquisa de mestrado, segue-se a apresentação em separado de cada um deles.

#### **4.2.1. Erodibilidade dos solos**

Para o estudo da erodibilidade dos solos, são fundamentais as propriedades físicas e químicas dos solos, sendo as mais importantes a textura, a densidade aparente, a porosidade, a estabilidade dos agregados e o pH e o teor de matéria orgânica do solo (GERRARD, 1992; RAMALHO, 1999; GUERRA, 2007). Gerrard (1992) chama atenção para a

escolha das propriedades a serem analisadas. O autor cita a rápida reação dos valores de pH e matéria orgânica a mudanças, e o maior tempo necessário para as argilas atingirem equilíbrio com a formação dos solos, sendo a textura uma propriedade mais difícil de sofrer alterações (MEDINA, 1975; LIMA *et al.*, 2008).

Conceitualmente, a textura, também conhecida internacionalmente como *particle size distribution*, representa as frações do solo. Estas são as partículas unitárias de diferentes tamanhos da fase sólida de um solo, e reunidas são o que se chama de terra fina seca ao ar (TFSA), possuindo menos de 2 milímetros de diâmetro em diante (MEDINA, 1975; JORGE, 1985). A textura, dada sua estabilidade, é importante para identificar, descrever e classificar o solo, e possui grande relação com a *superfície específica* (MEDINA, 1975; JORGE, 1985).

Uma maior ou menor suscetibilidade à erosão depende da predominância das frações granulométricas. Algumas são removidas mais facilmente (MORGAN, 2005; GUERRA, 2005a e 2007; LIMA *et al.*, 2008), como as frações silte e areia, principalmente areia fina, de maior propensão à erosão. Enquanto que a fração de remoção mais difícil é a argila, devido sua maior capacidade de agregação (FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; GUERRA, 2005a e 2007; MENDES, 2007; LIMA *et al.*, 2008; LOUREIRO, 2010).

Relacionando erodibilidade e granulometria para o horizonte Ap de dez tipos de solo do Brasil, Ângulo *et al.* (1984 *in* JORGE, 1985) reafirmam o favorecimento ao processo erosivo ocasionado pelas frações silte e areia fina. O silte, e principalmente a argila, conferem ao solo uma textura fina, que faz ser lento o movimento de ar e água dentro dele, e imprimem alto teor de plasticidade, resultando em um material viscoso, quando demasiadamente molhado (BRADY, 1989). De acordo com Evans (1980) e Bertoni e Lombardi Neto (1985), teores elevados de argila e matéria orgânica dão maior estabilidade aos agregados, devido à maior força de coesão entre os seus colóides. Ao contrário das areias, as argilas retêm mais nutrientes aos vegetais (LIMA, L. 2008). Isso acontece devido à superfície específica bastante elevada da argila, pois a absorção de água e retenção de nutrientes e gases, além da atração entre as partículas, são situações caracterizadas como fenômenos de área. Salomão (1999) e Bertoni e Lombardi Neto (1985) afirmam que mesmo os solos arenosos possuindo maior capacidade de retenção de água, devido aos seus poros maiores, que possibilitam que o escoamento não ocorra, por possuírem baixa proporção de

argila, são facilmente carregados, por menor que seja a intensidade da chuva. Já o solo argiloso, que possui poros menores e reduzida infiltração, resistem mais ao escoamento, devido às suas partículas serem mais coesas.

A argila e o húmus, componente da matéria orgânica, são os principais reguladores das propriedades físicas e químicas, agindo como centros de atividade ao redor dos quais se dão reações químicas e trocas de elementos nutritivos. Estas substâncias nutritivas são protegidas por meio da atração de íons nas superfícies da argila e do húmus contra a lixiviação, sendo liberadas de maneira lenta para serem utilizadas pela vegetação. Constituem, então, “pontos de contato” para partículas maiores, mantendo a estrutura granular do solo estável (BRADY, 1989).

A análise granulométrica procura individualizar em suspensão as partículas que representam as frações areia, silte e argila, de modo que seja feita a sua separação (MEDINA, 1975). Uma vez em suspensão, e com auxílio do dispersante, as partículas afundam, devido à diferença de densidade, a um ritmo, de certo modo, proporcionalmente ao seu tamanho. Assim, possibilita o cálculo das porcentagens de cada uma das frações granulométricas, e a identificação das classes texturais dos solos estudados (BRADY, 1989).

Na classificação textural, Brady (1989) aponta os limites entre as classes. Para ser classificado como areia e areia franca, o solo deve conter ao menos 70% de areia e 15% ou menos de argila. Ao ser classificado como argila, argila arenosa e argila siltosa, significa que o solo amostrado contém um mínimo de 35% de fração argila. Os solos francos são assim classificados por serem uma junção de proporções mais ou menos equilibradas.

A densidade aparente pode indicar o grau de compactação do solo, e é facilmente alterada pelo homem, através do manejo inadequado ou mesmo de melhorias geradas por práticas conservacionistas (GUERRA, 2007; MENDES, 2008; LIMA *et al.*, 2008). A compactação pode ser aumentada com a redução da matéria orgânica, pelo uso e circulação de máquinas agrícolas, pelo constante pisoteio de animais, e pela ação e consequências da erosão por salpicamento (*splash*), que desprende as partículas e agregados do solo pelo impacto das gotas de chuva. Interessante destacar que os solos argilosos ou os franco-argilosos e franco-siltosos, por serem formados por partículas menores e possuírem maior porosidade total, são mais severamente impactados pela pressão que causa a compactação,

originando problemas maiores do que em solos arenosos (JORGE, 1985; BRADY, 1989). A densidade aparente pode se relacionar com o teor de matéria orgânica, pois este diminuindo, os agregados rompem com mais facilidade, permitindo a formação de crostas selando e compactando o solo (EVANS, 1980; KIRKBY, 1980; SELBY, 1993; MENDES, 2008; FULLEN e CATT, 2004; GUERRA, 2007). A densidade aparente será maior quanto mais compactado seja o solo (JORGE, 1985). Segundo Kiehl (1979), os valores de densidade aparente mais baixos, para solos de florestas, seriam entre 0,6 e 0,8 g/cm<sup>3</sup>, por causa da maior quantidade de raízes e dos constantes aportes de matéria orgânica. E entre 1,1 e 1,6 g/cm<sup>3</sup> se predominarem as frações minerais e o manejo inadequado. Para Morgan (2005), um valor a ser considerado como limite entre baixa e alta densidade aparente seria de 1,50 g/cm<sup>3</sup>. Com o aprofundamento do perfil, de acordo com Brady (1989), a tendência é que haja o aumento dos valores de densidade aparente, provavelmente em resposta a menor quantidade de matéria orgânica, menor agregação das partículas e até mesmo devido ao peso oferecido pelas camadas superiores.

A porosidade é importante para a percolação da água e a penetração de ar e raízes, possuindo relação inversa à densidade aparente. Quando a densidade aparente aumenta a porosidade diminui (GUERRA, 2007). Se um pasto não possui manejo adequado, a porosidade é prejudicada, pois o pisoteio do gado pode compactar o solo, criando terracetes, que podem funcionar como pontos de descontinuidade (*knickpoints*) nas encostas (LIMA *et al.*, 2008; GUERRA, 2005a). Segundo Grohmann (1975), a porosidade varia em valores mínimos de 40 a 60% e extremos de 30 a 80%. Destaca ainda que as alterações nesta propriedade do solo, tanto as naturais quanto as antrópicas, modificam o movimento de água e ar no interior do solo, refletindo em processos bioquímicos. A redução do teor de matéria orgânica, por exemplo, prejudica a porosidade, pois modifica a agregação das partículas do solo (BRADY, 1989).

O pH do solo pode informar sobre a estabilidade dos agregados, em função das interações químicas entre as suas partículas (MORGAN, 2005). Valores baixos de pH indicam solos ácidos e significam que o complexo coloidal do solo está deficiente em elementos que conferem estabilidade (BRADY, 1974; EVANS, 1980; FULLEN e CATT, 2004; LIMA *et al.*, 2008). O cálcio é um desses elementos, auxiliando na retenção do carbono pelos agregados, que combinam esse elemento com húmus (Allison, 1973 *in* Guerra, 2007). Conforme

destacou Lima (2005 *in* Mendes, 2007), o pH influi na estabilidade dos agregados de modo indireto por meio do complexo de troca catiônica, uma vez que havendo elevados valores de pH (alcalinidade) e predomínio de cátions na solução pode haver maior floculação pela dispersão do oxigênio, gerando mais atividade biológica, o que leva a mais intensidade de agregação (MENDES, 2007; NEVES, 2011).

A acidez dos solos pode ser comum nas áreas em que a precipitação seja suficientemente elevada, permitindo a lixiviação de significativas quantidades de bases permutáveis nas camadas superficiais. Estas bases são substituídas no processo por complexos coloidais, ou dissolvidas por ácidos de percolação. Formam-se ácidos orgânicos e inorgânicos quando a matéria orgânica é decomposta, sendo o mais simples e abundante o ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ), que é relativamente fraco, produto de reação entre o bióxido de carbono e a água (BRADY, 1989). Segundo Wutke (1975), o pH ácido possui efeito indireto sobre o solo, posto que induzem condições adversas às culturas.

Dentre as propriedades dos solos, aquela que talvez permita de uma forma mais isolada fazer inferências sobre a sua fertilidade é o pH. Através da determinação potenciométrica do pH, como foi realizado nesta dissertação, tem-se a diferença de potencial que corresponde ao pH do solo analisado. Contudo, o pH do solo é variável, em função da atividade biológica e das variações da quantidade de água, por exemplo. Quando se procede a aferição do pH com a utilização da solução de Cloreto de Potássio (KCl), este oferece resultados mais constantes, pois a concentração de sais no solo não os afeta. Isso acontece porque a aferição apresenta os resultados praticamente iguais, seja feita através do líquido sobrenadante, na suspensão da solução ou mesmo no sedimento, quer dizer, na amostra analisada (WUTKE, 1975).

Apesar de tudo, o pH encontrado é dependente da técnica empregada, ou seja, pode não ser o mesmo pH que plantas e organismos encontrariam naquele solo, lembrando que o pH varia, por exemplo, com a concentração de  $CO_2$  no solo e a quantidade de água. Contudo, mantendo em mente tais limitações, ainda assim o pH contribui com importantes informações à pedologia e à agronomia, sendo relacionado à nutrição e ao desenvolvimento da vegetação (WUTKE, 1975).

O teor de matéria orgânica do solo é uma das mais importantes propriedades, porque proporciona melhor estabilidade dos agregados, promove o aumento na infiltração e reduz os processos erosivos, como o salpicamento e o escoamento superficial (*splash* e *runoff*) e o arraste de partículas, e serve ainda como fonte de nutrientes (em forma orgânica), e afeta positivamente a capacidade de troca catiônica dos solos (JORGE, 1975; BRADY, 1989; GUERRA, 2005a; MORGAN, 2005). Consiste dos resíduos vegetais (raízes e folhas) e animais (inclusive seus excrementos), em estágios diversos de decomposição, possuindo forte relação com seus constituintes minerais (JORGE, 1975).

Em sua composição, o carbono é um elemento obrigatório, formando 58%, em média, do húmus. Por esta relação é que, para se obter os teores de matéria orgânica, utiliza-se um fator (1,7 ou 1,724), multiplicado pelo teor de carbono orgânico. Do mesmo modo, há geralmente 5% de nitrogênio no húmus, e a partir de sua aferição também se pode chegar ao teor de matéria orgânica do solo, sendo multiplicado por outro fator (JORGE, 1975 e 1985).

Na literatura observa-se que valores de matéria orgânica inferiores a 3,5%, que representam valores de carbono inferiores a 2,0% (MORGAN, 2005), representam a instabilidade e a maior propensão dos solos aos processos erosivos (GREENLAND *et al.*, 1975 *in* GUERRA, 2007; DE PLOEY e POESEN, 1985 *in* GUERRA, 2007).

Muitos estudos colocam a matéria orgânica como mais agregadora que a argila (JORGE, 1975). Por esse motivo, a matéria orgânica também é importante quando há altos teores de silte, fração de grande suscetibilidade erosiva (BRADY, 1974; KIRKBY, 1980; FULLEN e CATT, 2004; GUERRA, 2007). O húmus funciona como elemento cimentante auxiliando a formação de agregados estáveis (JORGE, 1975). De acordo com Brady (1989), parece haver influência da textura sobre as porcentagens de húmus e de nitrogênio. Por exemplo, um solo arenoso possui menores teores de matéria orgânica e nitrogênio que solos de textura mais fina. Também devido à textura, o material de origem influencia a matéria orgânica, segundo Jorge (1985). Este autor afirma que solos que se desenvolvem a partir de folhelhos possuem mais argila e matéria orgânica, em comparação com solos formados a partir de granitos, por exemplo.

Entre as propriedades químicas, a que mais sofre influência da matéria orgânica é a capacidade de troca catiônica. De elevado fracionamento, a matéria orgânica possui uma elevada superfície específica, conferindo mais capacidade de troca que minerais de argila, como a caulinita e a montmorilonita. Este quadro de alta capacidade de troca de cátions favorece a elevação do pH (JORGE, 1975). Vale lembrar que as mudanças de pH são melhor suportadas por solos ricos em matéria orgânica (JORGE, 1975).

Os agregados estáveis no solo reduzem a erodibilidade, havendo grande porosidade, que aumenta a infiltração e reduz o escoamento superficial (GOUDIE e VILES, 1997). Essa estabilidade confere maior resistência ao solo, diminuindo os efeitos da erosão por salpicamento (GUERRA, 2007). Portanto, o uso intensivo reduz a estabilidade dos agregados, tornando-os mais suscetíveis à erosão, sendo uma propriedade sensível às alterações praticadas pelo homem sobre o solo, de acordo com os tipos de manejo adotados (WENDLING *et al.*, 2005). A ação mecânica das raízes e a excreção de substâncias de ação cimentante fornecem nutrientes para a fauna endopedônica, refletindo a importância da cobertura vegetal na agregação das partículas do solo (KIEHL, 1979). Autores como Carpenedo e Mielniczuk (1990) e Harris *et al.* (1966), destacam que gramíneas são mais eficientes no aumento e manutenção da estabilidade dos agregados, devido às suas extensas e constantemente renováveis raízes. Além da importância das leguminosas no fornecimento de nitrogênio e no maior índice de decomposição dos resíduos, em rotações de pastagens perenes, por causa da menor relação carbono/nitrogênio.

#### **4.2.2. Desenvolvimento do processo erosivo – da erosão laminar à erosão por voçorocas**

A erosão tem início através da ação do salpico (*splash*) sobre a superfície do solo, destacando suas partículas e permitindo seu transporte através dos fluxos do escoamento superficial, inicialmente difuso e posteriormente concentrado em pequenos canais que vão se formando, as microravinas (MORGAN, 2005; GUERRA, 2005a e 2007; MENDES, 2008; LIMA, L. 2008; LOUREIRO, 2010).

Quando há a intervenção antrópica sobre o meio físico, os processos geomorfológicos são alterados e o sistema se torna desequilibrado, acelerando o processo.

Goudie (1990 *in* GUERRA E MENDONÇA, 2007) considera que a erosão é o impacto mais sério gerado pela ação humana sobre o meio ambiente físico.

O tipo de erosão mais comum de ocorrer, abrangendo quase toda a superfície do planeta é a erosão hídrica. Principalmente nas áreas tropicais, cujos índices de pluviosidade são mais altos (GUERRA, 2005a). Seu início se dá quando as gotas de chuva chegam ao solo descoberto e, em função de seu impacto, desprende os agregados do solo, permitindo que as partículas soltas possam ser transportadas. O impacto das gotas de chuva sobre o solo, causando o destacamento (*detachment*) de suas partículas, lançando-as em diversas direções no terreno, caracteriza o processo chamado de *splash*, ou erosão por salpicamento (CHORLEY *et al.*, 1984; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; SELBY, 1990 e 1991; COOKE e DOORNKAMP, 1990; GUERRA, 2005a e 2007; LIMA, L. 2008).

O salpicamento (*splash*) ocorre, com maior ou menor facilidade, dependendo da erosividade da chuva e da erodibilidade do solo (COOKE e DOORNKAMP, 1990; GUERRA, 2005a). Os parâmetros de destaque no estudo da erosividade são: os totais pluviométricos, a intensidade das chuvas, o momento, e a energia cinética, principalmente. Quanto à erodibilidade, destacam-se as propriedades físicas e químicas do solo, como a sua textura e o teor de matéria orgânica, respectivamente (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; GUERRA, 2005a).

Segundo Guerra (2005a), mesmo havendo diversos fatores que influenciam na estabilidade dos agregados, os estudos sobre erodibilidade, em sua maioria, têm apontado para a importância da matéria orgânica, afirmando que a instabilidade dos agregados aumenta de acordo com a diminuição do teor de matéria orgânica. Isso contribui para que o salpicamento (*splash*) atue mais facilmente na ruptura dos agregados, devido à sua menor resistência ao impacto das gotas de chuva. Com a ruptura dos agregados no topo do solo, outros processos podem se desenvolver a partir deste, e por isso este autor considera essa ruptura um dos principais fatores no processo erosivo. Entre os problemas oriundos da ação do salpicamento (*splash*) estão, a remoção de partículas de argila e a remoção de húmus e outros nutrientes, que são importantes para a fertilidade do solo e a estabilidade de seus agregados (COOKE e DOORNKAMP, 1990).

As partículas desprendidas dos agregados pelo salpico (*splash*) resultam na formação de crostas no topo do solo, preenchendo poros na superfície, mantendo-a selada por tais crostas. O resultado disso é a redução das taxas de infiltração da água no solo, fato que favorece a ocorrência e o aumento de fluxos superficiais, acarretando em maior perda de material do solo. Ao mesmo tempo, as crostas selando o topo do solo contribuem para que o solo se torne mais resistente aos efeitos do salpicamento (KIRKBY e MORGAN, 1980; COOKE e DOORNKAMP, 1990; GUERRA, 2005a e 2007).

A infiltração de água no solo também possui dependência relacionada às propriedades do solo (como textura e porosidade), cobertura vegetal, uso e manejo do solo, características das encostas, microtopografia do terreno, características das chuvas (intensidade principalmente), umidade antecedente no solo, e estruturas e agentes biológicos no solo (COOKE e DOORNKAMP, 1990; SELBY, 1991; GUERRA, 2005a).

Como aponta Horton (1945 *in* COOKE e DOORNKAMP, 1990), o escoamento superficial (*runoff*) não irá ocorrer imediatamente à queda da chuva. Desse modo, diversos estudos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; COOKE e DOORNKAMP, 1990; SELBY, 1991; MORGAN, 2005; COELHO NETTO, 2007; LIMA, L. 2008) mostram que as taxas de infiltração tendem a ser maiores durante o início da precipitação, sofrendo redução e estabilizando ao longo do evento de chuva. Isso acontece porque à medida que a água vai infiltrando no solo, seus poros, que já poderiam conter ar, são preenchidos também pela água, reduzindo a capacidade de infiltração, saturando o solo.

Há outras duas variáveis que podem influenciar nesse processo. O fato de que as crostas geradas por efeito do salpico (*splash*), à medida que causam a selagem do solo, torna-o menos permeável; e a possibilidade de existência da umidade antecedente do solo, causando uma saturação mais rápida deste (GUERRA, 2005a).

Quando o solo se encontra saturado, e em consequência a água já não consegue infiltrar, ocorre a sua acumulação no topo do solo, em função das irregularidades existentes. Inicia-se assim a formação de poças (*pounds*), que antecedem o escoamento superficial, e que conforme vão se conectando umas nas outras causam o escoamento superficial (CHORLEY *et al.*, 1984; COOKE e DOORNKAMP, 1990; SELBY, 1991; GUERRA, 2005a).

A partir do momento em que se inicia o escoamento superficial, é possível identificar a ocorrência de uma mudança na atuação do processo erosivo. Antes de iniciado o escoamento superficial, o destaque das partículas de solo é maior que o seu transporte. Quando a infiltração se torna reduzida e o escoamento superficial (*runoff*) aumenta, o processo se inverte, passando a haver menor destaque das partículas e maior transporte de sedimentos, devido aos fluxos (GUERRA, 2005a e 2007).

O fluxo de água do escoamento superficial acontece inicialmente de maneira difusa e anastomosada escorrendo pela encosta, ou mais raramente na forma de lençol, e de profundidade uniforme, sendo afetado pelas características de microtopografia, com suas irregularidades e obstáculos no terreno, causando a redução da energia do fluxo (COOKE e DOORNKAMP, 1990; GUERRA, 2007). Mas as gotas de chuva que caem sobre o fluxo são capazes de aumentar sua energia (GUERRA, 2007). As partículas mais suscetíveis à remoção pela erosão possuem entre 0,1 e 0,3mm de diâmetro, segundo Morgan (2005), ou variam entre 0,1 e 0,5mm de diâmetro, de acordo com Cooke e Doornkamp (1990).

Esse escoamento difuso dá origem à erosão em lençol ou erosão laminar, quando as chuvas ocorrem mais prolongadamente. O seu fluxo ainda não é concentrado, porém, é capaz de conferir significativa contribuição à produção dos sedimentos (LIMA L., 2008). A erosão em lençol é um processo erosivo menos perceptível na paisagem, se comparada àquelas que geram feições de maior evidência, as ravinas e as voçorocas. Apesar disso, esse tipo de erosão não se torna menos perigoso por essa característica (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; LIMA L., 2008).

Os principais fatores nesse processo de erosão laminar são a turbulência adquirida pelo fluxo e a velocidade com que o escoamento ocorre encosta abaixo (Bertoni e LOMBARDI NETO, 1985; GUERRA, 2007). Através do transporte ao longo do terreno, as partículas não coesas são carregadas pelo escoamento em lençol (*sheetwash*), e o total da descarga de sedimentos depende da rugosidade do terreno e das partículas, e da inclinação da encosta, de acordo com Selby (1991).

Atuando juntos, o salpico e o escoamento em lençol podem causar maiores taxas de erosão, uma vez que as partículas removidas pelo salpicamento acabam sendo transportadas mais facilmente pelo escoamento em lençol, ou ainda devido à ocorrência de

turbulência gerada no fluxo pela ação do *splash* (YOUNG e WIERSMA, 1973 in GUERRA, 2007).

Quando o fluxo linear (*flowline*) começa a se concentrar em pequenos canais, sua profundidade aumenta e a rugosidade reduz sua velocidade, fazendo decrescer a sua energia em função do movimento das partículas nesses canais. Há, então, um atrito entre o fundo desses canalículos e as partículas, gerando mais erosão em seu interior (GUERRA, 2005a).

Nesse estágio, começam a ser formadas as microrravinas, a partir da concentração da água que escoar em pequenos e bem definidos canais. A turbulência cresce bastante nesta etapa e as partículas sedimentadas no interior das microrravinas aumentam a irregularidade no fundo, tornando o fluxo ainda mais turbulento, e permitindo o surgimento de cabeceiras (*headcuts*) nas microrravinas (GUERRA, 2005a).

Abaixo dessas cabeceiras, os sedimentos se depositam, refletindo que a sua produção é maior do que a capacidade do fluxo de água em transportá-los. Conforme as cabeceiras recuam à montante das encostas, o canal é alargado e aprofundado, constituindo-se em pequenas ravinas (GUERRA, 2005a).

No decorrer de todos esses processos, o fluxo de água que escoar pela encosta de modo concentrado ou canalizado, com uma distância crítica do topo, com maior velocidade e geração de turbulência, remove maior quantidade de material do solo, dando origem às ravinas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; SELBY, 1991; GUERRA, 2007). Estas não são conectadas à drenagem fluvial, segundo Morgan (2005). Durante sua formação, o fluxo de água é inicialmente superficial e difuso; em um segundo instante se concentra em caminhos preferenciais; concentra-se em micro-canais sem cabeceiras; e por último, em canais com cabeceiras (MORGAN, 2005). O salpicamento, ao erodir áreas entre as ravinas, salpica sedimentos no interior das ravinas, o que aumenta o transporte nessas feições (GUERRA, 2007). Para este autor o desmatamento e o uso agrícola também podem condicionar a aceleração de tais processos, permitindo que haja grande volume de erosão nas encostas.

As voçorocas podem ser feições de grande extensão e profundidade, de paredes íngremes e piso liso, sendo de certa maneira permanentes nas encostas (SELBY, 1991;

GUERRA, 2007). Também definidas, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), como uma “forma espetacular de erosão”, o que demonstra sua notoriedade na paisagem. Desenvolve-se, em geral, rapidamente, com favorecimento devido a mudanças de uso, a exemplo de queimadas e agropecuária. Podem surgir a partir das ravinas que são aprofundadas e alargadas pela ação erosiva da água. Ocorrem colapsos de massas de solo nas laterais das voçorocas e à sua montante, os sedimentos gerados desse material são depositados nas partes baixas ou nos canais fluviais. As voçorocas podem se desenvolver também devido aos fluxos sub-superficiais, que através dos dutos (*pipes*), podem fazer a superfície desmoronar, abrindo as voçorocas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; SELBY, 1991; GUERRA, 2007).

A definição internacionalmente reconhecida para voçorocas estipula que possuam mais de 0,5 m de largura e profundidade, chegando a possuir 30 metros ou mais de comprimento (MORGAN, 2005; OLIVEIRA, 2005; GUERRA, 2007). Contudo, esses valores não são fixos, existindo diversas classificações segundo o tamanho dessas feições, além da sugestão de estabelecer valores que sejam relativos a cada região (GUERRA, 2007). De acordo com Morgan (2005), as voçorocas costumam ser associadas à erosão acelerada e às instabilidades na paisagem. Entretanto, tal concepção, mesmo que pertinente, não considera o fato de que voçorocas, bem como as ravinas, podem ser feições erosivas resultantes de desequilíbrios naturais, e não apenas desequilíbrios induzidos pela ação humana (OLIVEIRA, 2005).

Esse tipo de erosão é derivado de mecanismos atuantes em diferentes escalas temporais e espaciais, de caminhos preferenciais tomados pelos fluxos de escoamento superficial e/ou subsuperficial (COELHO NETTO, 1998 *in* OLIVEIRA, 2005).

De acordo com Araújo *et al.* (2009), as voçorocas são feições mais comuns em áreas de pasto, e provavelmente a principal forma de erosão presente nas bacias hidrográficas. São feições de difícil controle e retenção, exigindo para isso a estabilização da sua base e de suas cabeceiras. Porém, vale ressaltar que as voçorocas podem passar por ciclos de erosão e deposição, não sendo incomum a extrema atividade da cabeceira enquanto a seção à jusante da voçoroca esteja estabilizada ou o inverso (MORGAN, 2005). Então, podem ser formadas pelo aprofundamento e alargamento de ravinas ou, ainda, através do solapamento de dutos que se formam pela ação do escoamento subsuperficial. Constituem-se, assim, em

feições relativamente permanentes na paisagem, com paredes íngremes, geralmente de fundo chato, podendo haver pontos de ruptura do terreno, e com a ocorrência de fluxos de água em seu interior durante as chuvas ou por todo um período chuvoso, bem como são capazes de atingir o lençol freático (SUERTEGARAY, 2004; ARAÚJO *et al.*, 2009).

As propriedades do solo, o regime de chuvas, as características das encostas, o uso da terra e o grau de cobertura vegetal são os principais fatores causadores do escoamento superficial, e que levam à ocorrência das voçorocas (MORGAN, 2005; GUERRA, 2007).

Descroix *et al.* (2004) relacionam a erosão por voçorocas a mudanças de uso da terra em encostas de Sierra Madre. Os autores apontam algumas considerações e problemáticas prévias das condições que levaram à formação de voçorocas na área de estudo, como haver grande área de interflúvio; teor de silte do solo relativamente alto (acima dos 20%, representando elevada taxa para a região, que possui solos com teores de areia superiores a 80% no geral); e grandes áreas de superpastoreio e de cultivo na parte alta da bacia hidrográfica, permitindo a concentração do fluxo superficial. Para a área estudada nesta dissertação, os teores de silte são algumas vezes mais elevados enquanto os de areia mais reduzidos. Contudo, isso não reduz a erodibilidade, ao contrário, aumenta, pois o silte é a fração mais fácil de ser erodida.

Os resultados de Descroix *et al.* (2004) atribuem a formação das voçorocas ao efeito da intensidade da chuva sobre o topo do solo e “classicamente” relacionada ao escoamento superficial (*runoff*). A proporção de solo exposto, as crostas no topo do solo e o teor de silte aumentam a taxa de perdas de solo, devido ao superpastoreio que supera a capacidade do pasto; ao desmatamento, que transformou 60% da área de floresta para agricultura em 30 anos; o pisoteio do gado do superpastoreio, favorecendo a ocorrência do escoamento superficial; e o efeito do *runoff* na formação das feições erosivas, em função dos fatores controladores da erosão da área de estudo.

### 4.3. DEGRADAÇÃO DO SOLO E RECUPERAÇÃO OU REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

A degradação ambiental tem sido estudada pelos mais diversos ramos do conhecimento, a partir do ponto de vista das especialidades de cada pesquisador (CUNHA e GUERRA, 2006), e isso tem levado a variações do conceito “degradação”, segundo o campo de conhecimento em que é identificado e analisado, e também, segundo as atividades que geram os efeitos degradantes (TAVARES *et al.*, 2008).

Por definição, a degradação é considerada um problema social, uma vez que os processos naturais, que ocorrem com e sem as interferências humanas (a exemplo: lixiviação, erosão, movimentos de massa e cheias), para serem identificados como “degradação” são carregados de critérios sociais, porque relacionam as terras aos seus usos em curso ou aos seus potenciais usos diversos (BLAIKIE e BROOKFIELD, 1987; CUNHA e GUERRA, 2006).

De modo mais claro, por suas derivações do Latim, “degradação” seria algo como uma “redução a uma categoria ou classificação inferior”, cuja categoria/classificação está atrelada aos usos possíveis ou atuais, e em que essa redução se traduz como um problema para os usuários das terras (BLAIKIE e BROOKFIELD, 1987). Ainda segundo estes autores, a degradação é mais bem percebida, não como “uma via de mão única”, e sim, como resultado de um equacionamento de forças humanas e naturais, conjuntamente, tanto destrutivas quanto regenerativas. Ou seja, as causas e consequências da degradação ambiental são sociais e físicas, pois que ao desmatar, plantar, construir e transformar o ambiente, o homem imprime mais intensidade e violência aos processos naturais, podendo gerar, muitas vezes, consequências desastrosas para a sociedade (CUNHA e GUERRA, 2006). Do mesmo modo, a natureza possui suas formas de buscar se regenerar de alguma forma e em diferentes níveis (resiliência), e o homem possui meios de reparar os efeitos nocivos impostos por ele próprio sobre os recursos e elementos da natureza.

Segundo Araújo *et al.* (2009), a redução de potenciais recursos renováveis causada por combinações de processos que agem sobre as terras leva à sua degradação. A degradação do solo é definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), pela NBR 10703, como a “*alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento, como os potenciais*”. Por

meio de outra norma (NBR 13030), a ABNT conceitua a degradação causada pela atividade mineradora, contendo também a noção de alteração, mas sem vincular ao uso do solo (TAVARES *et al.*, 2008). Entre a exposição dessas e de outras definições, principalmente as que consideram e definem a degradação em função da atividade realizada, Tavares *et al.* (2008) afirmam que o conceito de degradação é relativo, mas sempre está atrelado à noção de alterações adversas do ambiente causadas, geralmente, pelas atividades humanas. A FAO (1980 *in* ARAÚJO *et al.*, 2009) – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – classifica, ainda, as atividades antrópicas e as condições naturais como mostra a tabela 1.

TABELA 1. Classificação dos fatores de degradação das terras. Fonte: FAO (1980 *in* ARAÚJO *et al.*, 2009).

	Ações antrópicas	Condições naturais
Fatores facilitadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>— desmatamento</li> <li>— superpastoreio</li> <li>— uso excessivo da vegetação</li> <li>— taludes de corte</li> <li>— remoção da cobertura vegetal para o cultivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— topografia</li> <li>— textura do solo</li> <li>— composição do solo</li> <li>— cobertura vegetal</li> <li>— regimes hidrográficos</li> </ul>
Fatores diretos	<ul style="list-style-type: none"> <li>— uso de máquinas</li> <li>— condução do gado</li> <li>— encurtamento do pousio</li> <li>— entrada excessiva de água/ drenagem insuficiente</li> <li>— excesso de fertilização ácida</li> <li>— uso excessivo de produtos químicos/estrupe</li> <li>— disposição de resíduos domésticos/industriais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— chuvas fortes</li> <li>— alagamentos</li> <li>— ventos fortes</li> </ul>

De acordo com o *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD) – Projeto de Avaliação Mundial da Degradação do Solo – do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (OLDEMAN, 1994 *in* TAVARES *et al.*, 2008), os percentuais de contribuição em área no mundo dos cinco principais fatores de degradação do solo são: 34,5% correspondem ao superpastejo da vegetação; 29,4% ao desmatamento ou remoção de cobertura vegetal natural; 28,1% a atividades agrícolas e sua ampla variedade de práticas, como a falta de práticas conservacionistas; 6,8% a exploração intensiva da vegetação, que expõe o solo à

erosão; e 1,2% a atividades industriais ou bioindustriais que poluem o solo. Para a América do Sul, o mesmo estudo aponta que a degradação se origina em 41% do desmatamento, em 27,9% do superpastejo e em 26,2% da agricultura. Apesar da ausência de estudos exatos ou conclusivos sobre a extensão da degradação dos solos no Brasil, as estimativas mostram como grandes responsáveis as atividades agropecuárias e o desmatamento. Ao mesmo tempo, não se pode esquecer que a degradação também pode ser avaliada por sua intensidade, o que explica que a população de modo geral credite às grandes obras de engenharia e atividades industriais ou mineradoras, por exemplo, a responsabilidade maior pela degradação (TAVARES *et al.*, 2008).

Outros dados apontam ainda (ISRIC/UNEP, 1991 *in* ARAÚJO *et al.*, 2009) que os principais tipos de degradação do solo são a perda de camada superficial do solo, causada pela erosão hídrica, correspondendo a 39% das áreas degradadas no mundo; a perda de nutrientes do solo, que corresponde a 28% das áreas degradadas; e a deformação dos terrenos, através da erosão hídrica, correspondente a 12% da degradação, sendo que o Brasil é particularmente afetado.

Entre as causas possíveis para a degradação do solo, a principal delas é o seu manejo de forma inadequada (BLAIKIE e BROOKFIELD, 1987; GERRARD, 1990; MORGAN, 2005; DANIELS e HAMMER, 1992 *in* CUNHA e GUERRA, 2006). Somam-se a isto condições naturais que podem acelerar a degradação, como por exemplo, chuvas concentradas, encostas sem a proteção devida da vegetação, contato solo-rocha abrupto, descontinuidades litológicas e pedológicas, encostas íngremes (CUNHA e GUERRA, 2006).

Nesse sentido, o geomorfólogo, ao buscar compreender a evolução espaço-temporal dos processos atuantes sobre o modelado terrestre, deve ter atenção à intervenção humana, que pode fazer com que tais processos ocorram em poucos anos, enquanto que poderiam levar desde décadas até séculos e milhares de anos para ocorrerem de modo natural (CUNHA e GUERRA, 2006). A maior ou menor estabilidade das formas de relevo advém das suas tendências evolutivas e das possíveis interferências do próprio ambiente ou da ação antrópica (MARQUES, 2001 *in* ARAÚJO *et al.*, 2009).

Ao se estudar as formas e os processos geomorfológicos atuantes em determinada área, realiza-se um trabalho que, segundo Marques (1996), pretende compreender uma

situação que ocorre no presente. Para, a partir disso, se obter um diagnóstico completo, este autor afirma que, seria interessante verificar os níveis de contribuição dados por circunstâncias do passado ao quadro atualmente presenciado. Um diagnóstico ambiental, de acordo com o dicionário da Rede Ambiente (2011 *in* NEVES, 2011), visa à caracterização da qualidade ambiental da área diagnosticada, com base no conhecimento dos seus componentes ambientais. Do mesmo modo, a Resolução CONAMA 001, de 23/01/1986, artigo 6º, define a expressão como a “completa descrição e análise dos recursos naturais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área” (ROSS, 2006 *in* NEVES, 2011).

Assim sendo, conforme afirmam Cunha e Guerra (2006), a recuperação de áreas degradadas necessita que se façam diagnósticos de degradação, o que constitui o primeiro passo em direção à recuperação (GUERRA e MARÇAL, 2006). Esta questão exige, do estudo básico, acadêmico, a realização de levantamentos sistemáticos, na maior parte das vezes, a partir de monitoramentos das diversas formas de degradação (CUNHA e GUERRA, 2006).

Faz-se necessário discutir, também, as conceituações dos termos *recuperação* e *reabilitação*. Seja na literatura técnica ou nos textos de leis ambientais brasileiras, e até mesmo em trabalhos científicos. Estes termos são utilizados, muitas vezes, como sinônimos, mas podem também representar ações distintas, e são caracterizados como tais através de como é feita a sua execução e quais são seus objetivos e metas (TAVARES *et al.*, 2008).

O Decreto Federal 97.632/89 e o IBAMA colocam como objetivo da **recuperação**, o retorno da área degradada a uma forma e uso, segundo plano pré-estabelecido, a fim de trazer estabilidade ao meio ambiente, de acordo com valores ambientais, estéticos e sociais de suas áreas vizinhas. Isto quer dizer que a área deverá ter condições mínimas para que um novo equilíbrio dinâmico seja estabelecido (DIAS e GRIFFITH, 1998; TAVARES *et al.*, 2008).

Majer (1989), citado em Dias e Griffith (1998) e Tavares *et al.* (2008), define **reabilitação** como o retorno da área degradada a um estado biológico adequado, que corresponde à sua utilização produtiva a longo prazo, que renda lucros, bem como a utilização para atividades menos rentáveis, como recreação e valorização da estética ecológica. Há ainda o termo *restauração*, que carrega a obrigatoriedade de retorno ao estado original da área, algo praticamente impossível de ser alcançado.

Desse modo, o termo julgado mais adequado ao trabalho realizado nesta pesquisa é a recuperação da área degradada. Pois se trata de dar condições ao solo de readquirir um novo equilíbrio e estabilidade, para o uso como pastagem, em acordo com o uso prévio das terras na sua circunvizinhança. Considera-se também que este fato pode não caracterizar exatamente um retorno a um estado biológico que seja mais apropriado, além de não visar o uso da área para outros fins, a exemplo de atividades recreativas ou de apreciação estética. Ou seja, funcionando como uma recuperação, digamos corretiva.

Para proceder à recuperação ou à reabilitação de uma área degradada por voçoroca, é necessário o emprego conjunto de práticas mecânicas e de práticas vegetativas ou edáficas, pois apenas a aplicação de um tipo de medida não é suficiente para manter a área recuperada. Para isso, podem-se seguir três etapas básicas: o diagnóstico da erosão por voçorocamento e degradação do solo, o monitoramento da erosão, e a recuperação com as medidas mais apropriadas possíveis, de preferência com a utilização de materiais locais disponíveis. Materiais estes, tanto físico-naturais quanto de pessoal, apoio técnico e da população local. Tudo isso pretende sempre a busca pelo menor custo e maior qualidade das medidas adotadas (FULLEN e GUERRA, 2002; FULLEN e CATT, 2004; FURTADO *et al.*, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2009; GUERRA *et al.*, 2010; BEZERRA, 2011).

Nesse sentido, projetos de bioengenharia devem ser levados em consideração, pois possuem a intenção de auxiliar e, principalmente, acelerar a recuperação ou reabilitação da área afetada (ARAÚJO *et al.*, 2009). Tais projetos devem, ainda, considerar a história natural e evolutiva, e também, os usos sociais e culturais da área circunvizinha.

Assim, as técnicas de recuperação podem ser classificadas de três maneiras distintas, utilizando métodos de proteção da superfície (método de cobertura), métodos de estabilização com uso de materiais vivos e métodos que conciliem materiais vivos e inertes (ARAÚJO *et al.*, 2009). Os benefícios desses métodos podem ser verificados através de vantagens técnicas, vantagens ecológicas, vantagens econômicas e vantagens estéticas (ARAÚJO *et al.*, 2009).

#### 4.4. O USO DOS GEOTÊXTEIS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Há na bioengenharia uma visão sistêmica da realidade, na qual a natureza atua de maneira fundamental por contribuir com seus próprios processos para a recuperação, pois são utilizados elementos do ambiente, que potencializam esse processo através da sua lógica natural, diferentemente das obras tradicionais, que são, em sua maioria, contrastantes com a paisagem (BIULCHI, 2012). A eficácia das estruturas de bioengenharia frente às estruturas da engenharia convencional é definida de modo bastante interessante na ideia exposta por Navarro (2008 *in* BIULCHI, 2012) de que a tendência é que a vegetação cresça com mais força ao longo do tempo, enquanto as estruturas inertes se tornam cada vez mais fracas.

Diversos estudos ao redor do mundo sob variados aspectos de análise e condições naturais (BEZERRA, 2006 e 2011; BEZERRA *et al.*, 2006a,b, 2011, 2012a,b; BHATTACHARYYA *et al.*, 2009; BHATTACHARYYA *et al.*, 2011; GUERRA *et al.*, 2005; GUERRA *et al.*, 2010; KERTÉSZ *et al.*, 2011 *in* BIULCHI, 2012; SMETS *et al.*, 2007; SMETS *et al.*, 2009; SMETS *et al.*, 2011) têm mostrado resultados bastante positivos quanto ao uso das telas de geotêxteis biológicas para a recuperação e/ou reabilitação e conservação do solo.

Os geotêxteis são malhas de fibras ou de materiais sintéticos (como polipropileno) biodegradáveis e possuem eficácia comprovada e estudada por diversos autores (MORGAN e RICKSON, 1988; FULLEN e GUERRA, 2002; MORGAN, 2005; BEZERRA, 2006; FURTADO *et al.*, 2006; SMETS *et al.*, 2007; BHATTACHARYYA *et al.*, 2008a,b; GUERRA *et al.*, 2010; BEZERRA, 2011).

Essas telas biológicas têm diversas funções no controle da erosão e na recuperação de áreas degradadas. Basicamente, funcionam como proteção imediata e temporária ao solo contra os agentes erosivos, como as gotas de chuva e o escoamento superficial, enquanto a vegetação não se estabelece na encosta. Uma vez que a vegetação se estabelece, as raízes das plantas e as fibras da manta geotêxtil agirão juntas para aumentar a coesão das partículas do solo (FULLEN e GUERRA, 2002; MORGAN, 2005). De modo mais específico, suas funções são múltiplas. Por serem biodegradáveis, aos poucos vão incorporando matéria orgânica ao sistema. Sua estrutura traz muitos benefícios: diminui a velocidade do escoamento superficial, dividindo-o em outros caminhos devido ao entrelaçamento das

fibras; contribuem na infiltração, uma vez que absorvem para si boa quantidade de água, por retardarem a formação de fluxos concentrados; permitem melhorar a rugosidade do solo, retendo sedimentos e também impedem, ou reduzem a retirada de adubo e sementes por lavagem da água da chuva; auxiliam na manutenção da umidade na superfície do solo; e reduzem a insolação sobre ele. Todas essas funções fundamentais foram observadas por diversos autores em seus estudos (FULLEN e GUERRA, 2002; BEZERRA, 2006 e 2011; BEZERRA *et al.*, 2006a, 2006b, 2011, 2012a e 2012b; BHATTACHARYYA *et al.*, 2009; BHATTACHARYYA *et al.*, 2011; GUERRA *et al.*, 2005; GUERRA *et al.*, 2010; KERTÉSZ *et al.*, 2011 *in* BIULCHI, 2012; SMETS *et al.*, 2007; SMETS *et al.*, 2009; SMETS *et al.*, 2011).

É o que acontece, por exemplo, nos trabalhos de Bhattacharyya *et al.* (2008a,b) e Guerra *et al.* (2010). Nos primeiros, os efeitos da aplicação de geotêxteis sobre o solo são analisados em parcelas de erosão. Após dois anos de investigação, os resultados indicaram que o uso da técnica dos geotêxteis (feitos a partir das fibras da folha de *Borassus aethiopum*, espécie do Oeste da África) aplicados sobre o solo nu de cobertura vegetal, reduziu significativamente o destaque de partículas do solo provocado pela ação do *splash* em até 50%, e que em relação ao *runoff* houve queda de aproximadamente 36% e a conseqüente perda de solo chegou a cair até 57%. Ainda de acordo com estes autores, os geotêxteis sintéticos podem trazer problemas como a poluição do solo quando da sua aplicação e a poluição do ar e da água, devido à sua produção. Em contrapartida, o baixo custo e disponibilidade de materiais naturais para a confecção das telas, a capacidade natural de absorção de água e a biodegradabilidade dos geotêxteis naturais, com o passar do tempo, são algumas características fundamentais da vantajosa utilização de geotêxteis de fibras naturais na estabilidade de encostas.

Em Guerra *et al.* (2010), um dos objetivos foi a recuperação de parte de uma voçoroca em área não-agrícola, em São Luis (Maranhão), utilizando geotêxteis produzidos com fibras de Buriti (*Mauritia flexuosa*), a fim de reduzir a erosão superficial e auxiliar na revegetação natural da área. Entre outros resultados, o estudo apontou o sucesso do processo de recuperação, quando a vegetação plantada, e em crescimento, há um apenas um mês, com a utilização das telas de geotêxteis, resistiu a fortes períodos de chuva.

Conforme afirmam Fullen e Guerra (2002), esta é uma técnica sustentável, desde que seja corretamente utilizada e explorada, pois se alicerça, em primeiro lugar, à disponibilidade de matéria-prima; possui uma confecção relativamente simples, que não necessita de elevado emprego de energia, visto que são produzidas manualmente, assim permitindo a geração de renda a populações rurais ou carentes; e podem colaborar com o aumento da fertilidade e da matéria orgânica do solo, por serem biodegradáveis. A utilização das técnicas de bioengenharia com geotêxteis pode levar ao estímulo de um extrativismo sustentável, a ações de reflorestamento, e até à exportação da matéria-prima para outros países (FULLEN e GUERRA, 2002). Além dessas características, Couto *et al.* (2010 in BEZERRA, 2011) destacam ainda a flexibilidade e praticidade dessas mantas, capazes de se adaptar à diferentes situações, sendo fáceis de manusear e leves, o que ajuda a serem aplicadas em áreas de difícil acesso e encostas íngremes, sem a necessidade de equipamentos sofisticados.

Segundo Morgan (2005), a prática da revegetação é utilizada no controle da erosão por voçoroca como método que visa aumentar a infiltração, e conseqüentemente, reduzir o escoamento em superfície. O autor ressalta o cuidado e o tratamento que se deve ter com a área em torno da voçoroca, com a plantação de gramíneas e ervas, legumes, arbustos, árvores e outras combinações, auxiliando inicialmente com aportes de matéria orgânica ou o uso dos geotêxteis. Conforme Pereira (2006), a escolha das espécies adequadas e suas quantidades é um fator decisivo para o bom estabelecimento da vegetação e a sua proteção contra a erosão. Isso pode determinar o sucesso da proteção da cobertura vegetal, podendo haver também a redução de custos.

As estratégias para conservação do solo devem ser fundamentadas na cobertura do solo para a sua proteção contra o impacto das gotas de chuva – o efeito do *splash* –, no aumento da capacidade de infiltração para que haja redução do escoamento superficial, na melhoria da estabilidade dos agregados do solo e no aumento de sua rugosidade para reduzir a velocidade dos fluxos de água (CASSETI, 1991; MORGAN, 2005). De acordo com a bibliografia levantada, confirma-se que esses processos são auxiliados, com grande relevância, pela malha de fibras naturais incorporadas e degradadas no solo pela aplicação dos geotêxteis de maneiras adequadas com as características de cada local.

Ainda assim, apesar dos inúmeros casos de sucesso com a utilização de geotêxteis, muitos desses estudos ressaltam que os dados disponíveis sobre sua eficácia para a redução da erosão ainda são limitados (BHATTACHARYYA *et al.*, 2011; SMETS *et al.*, 2007; SMETS *et al.*, 2011). Principalmente se considerado o argumento de que existem ressalvas quanto à extrapolação de certos dados obtidos em laboratório e demais condições específicas de experimentação, mesmo em campo, que possam ser consideradas para outras áreas geográficas e em diferentes escalas espaciais (RICKSON, 2006 *in* SMETS *et al.*, 2011). Por isso, é importante dar continuidade aos estudos acerca da utilização e eficácia dos geotêxteis.

## **5. METODOLOGIA**

Para alcançar os objetivos propostos foram utilizadas algumas metodologias encontradas na literatura nacional e internacional. Em algumas dessas metodologias foram necessárias adaptações, a fim de atender às características dos estudos realizados e de acordo com os propósitos destes.

Assim, a seguir são enumeradas as etapas metodológicas que foram trabalhadas durante esta pesquisa de mestrado.

### **5.1. ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO**

Algumas visitas à bacia hidrográfica do rio São Pedro foram realizadas para verificar locais de ocorrência de voçorocas e erosão laminar, a fim de se escolher a área a ser monitorada e a área a ser recuperada. Acessibilidade e autorização para trabalhar foram dois norteadores da escolha, devido à gama de possibilidades encontradas na bacia, em função da quantidade de terras degradadas. Além disso, o tamanho da feição erosiva, levando em consideração os recursos e o tempo disponíveis também fez parte do processo de escolha.

Na figura 13 é apresentada a feição escolhida para os estudos experimentais. É uma voçoroca com aproximados 35 x 7 metros de comprimento e largura, com profundidade que varia de 0,5 a 5 metros. A feição encontra-se em atividade, principalmente em sua cabeceira (Figuras 14a e 14b). Um fator de destaque é o grau de degradação encontrado nas encostas do entorno da feição, com outros processos de voçorocamento ainda mais acelerados, cicatrizes de movimentos de massa e terracetes de pisoteio do gado.



FIGURA 13. Voçoroca escolhida para monitoramentos e demais experimentos (Maria do Carmo O. Jorge, 2011).



FIGURA 14. Lado esquerdo da cabeceira da voçoroca apresenta maior atividade: (a) Janeiro de 2011 (Stella P. Mendes, 2011); (b) Maio de 2012 (Juliana N. Pena, 2012).

## 5.2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO

A bibliografia, concernente ao tema da erosão dos solos e à recuperação de áreas degradadas, foi pesquisada em teses de doutorado, dissertações de mestrado, monografias e livros na Biblioteca do Programa de Pós-Graduação em Geografia, na Biblioteca Central do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza e na biblioteca do LAGESOLOS (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos), da UFRJ, em artigos através do portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), e através de buscas na internet e em sítios de revistas e simpósios *on line* e em CD-ROMs, além de material adquirido em cursos sobre as temáticas abordadas.

A parte cartográfica consistiu na busca por mapas geológicos, geomorfológicos e de solos publicados por órgãos como o CPRM (Serviço Geológico Brasileiro) e a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), e pelas adaptações necessárias de tais mapeamentos, com utilização de bases cartográficas (escala 1:50.000) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a exemplo das cartas topográficas. Consistiu, também, na utilização e adaptação de mapeamentos sobre a área de estudo, como os mapas de uso e cobertura da terra e mapeamentos de feições erosivas, levantados a partir de trabalhos anteriormente elaborados na área de estudo, com utilização de imagens do satélite ALOS. Acrescentam-se ainda importantes auxílios oferecidos pelo *software Google Earth*, através de suas imagens para fins comparativos e de análise.

Foram utilizados o mapa geológico (escala 1:100.000) produzido pelo CPRM (2009); o mapa geomorfológico (escala 1:50.000) de Silva (2002); e o mapa de solos (escala 1:250.000) de Carvalho Filho *et al.* (2003), produzido pela Embrapa-Solos. Todos foram trabalhados com o *software Arc GIS 9.3*.

Os mapeamentos de uso e cobertura da terra e de feições erosivas, ambos em escala 1:250.000, foram adaptados de Neves *et al.* (2011) e Neves (2011), produzidos com uso de imagens do satélite ALOS (2010). O primeiro foi trabalhado em dois *softwares*: no *software SPRING 5.1.5* e no *ArcGIS 9.3*. Pelo *software SPRING*, utilizou-se as três bandas do visível (vermelho, verde e azul) e a banda do infravermelho para realizar a classificação semiautomática, tendo valores de similaridade e de área iguais a 10 para a segmentação e classificação, gerada pelo método Bhattacharya (mede a distância média entre as

distribuições de probabilidades de classes espectrais) (INPE, 2009). Pelo *software* ArcGIS 9.3 foram feitos os ajustes necessários para a finalização e apresentação do produto final. Já o mapeamento de feições erosivas foi realizado pela plotagem dos pontos anotados em campo e através da análise visual da imagem gerada pela fusão das imagens dos sensores PRISM e AVNIR-2 do satélite ALOS, e com o apoio do *software Google Earth* (NEVES *et al.*, 2011).

### **5.3. TRABALHO DE CAMPO**

Parte da metodologia empregada nesta pesquisa foi realizada com trabalhos de campo constantes, para etapas de coleta de dados de mensuração das taxas de avanço da erosão e coleta de amostras para posterior análise em laboratório. Estas etapas são descritas a seguir.

#### **5.3.1. Monitoramento da voçoroca**

##### **5.3.1.1. monitoramento com estacas**

Essa etapa da metodologia segue as orientações propostas em Guerra (1996) para o monitoramento da evolução de voçorocas, considerando sua expansão no espaço e no tempo.

Foram colocadas 18 estacas ao redor da voçoroca, numeradas de 1A e 1B a 9A e 9B (Figuras 15 e 16), medindo 20 cm de altura, por 2cmx3cm de largura para as medições efetivas do recuo das bordas da feição erosiva. Elas foram assim numeradas por terem como referência inicial outras nove estacas de mesma dimensão, numeradas de 1 a 9, para servirem de marco zero das medições, tendo sido enterradas no solo a cerca de 10 metros das bordas da voçoroca.



FIGURA 15. Colocação da estaca 1A, principal referência do monitoramento (Maria do Carmo O. Jorge, 2011).



FIGURA 16. Colocação das estacas 6A e 6B e medição com trena de 50 metros (Maria do Carmo O. Jorge, 2011).

Outras 17 estacas, numeradas de 1a e 1b a 9a e 9b, com 10 cm de altura, (não sendo utilizada a estaca 2a, devido à proximidade da estaca 2A da borda) foram colocadas mais próximo às bordas, para servirem de referência para a medição das 18 anteriores a cada monitoramento (Figura 17). Cabe destacar, que não é um problema a perda dessas estacas menores (de 10 cm) para casos em que o recuo das bordas as alcance, uma vez que elas servem apenas para referenciar a medição correta. É importante ressaltar, inclusive, que a

colocação destas estacas mais próximas às bordas, trata-se de uma inovação metodológica que se julgou necessária durante o trabalho de campo.

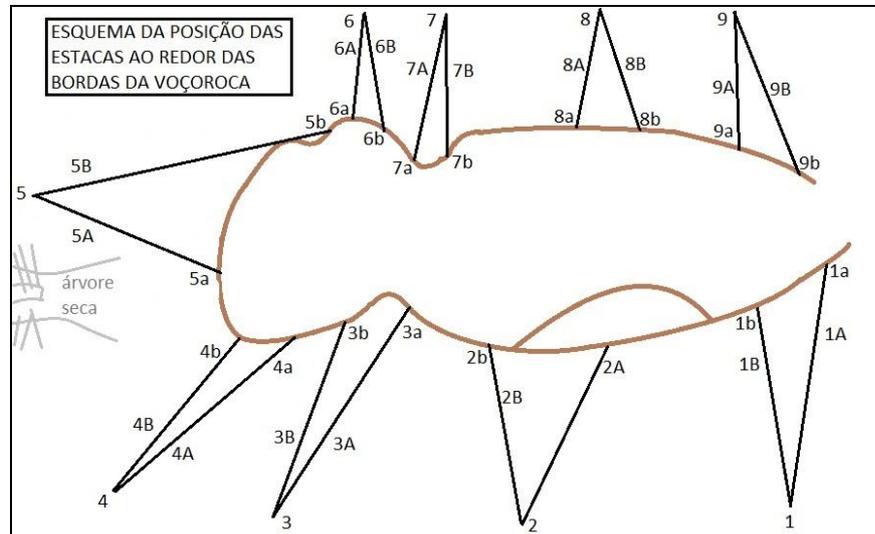


FIGURA 17. Esquema representativo da posição de cada uma das estacas colocadas para monitoramento do recuo das bordas da Voçoroca Experimental (Hugo Alves S. Loureiro, 2013).

De acordo com as características do estudo, o monitoramento da voçoroca (Figura 18) foi julgado ser de melhores resultados com o retorno a campo em períodos de mês a mês, a fim de fazer a comparação mensal do monitoramento de evolução da feição com os dados mensais de pluviosidade no período analisado.

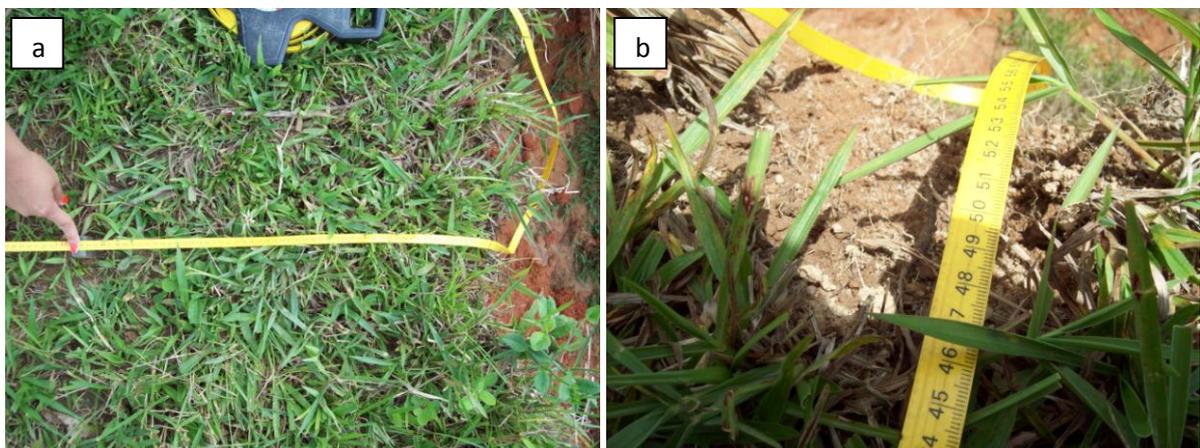


FIGURA 18. (a) Monitoramento das estacas 3A e 3a em março de 2011; (b) monitoramento da estaca 3A, distante da borda 8,46m, em janeiro de 2012 (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

### 5.3.1.2. monitoramento com pinos de erosão

Esta etapa do monitoramento da voçoroca representou uma inovação na metodologia sobre pinos de erosão. Para Guerra (1996), o monitoramento por pinos de erosão consiste na medição da altura destes acima do solo. Havendo remoção de material do solo por erosão, o pino ficará cada vez mais exposto. Esta metodologia mostra-se bastante útil para verificar a erosão laminar. A adaptação inovadora trata-se da utilização de pinos de erosão colocados nas paredes da voçoroca, com o mesmo intuito de mensurar a remoção de material, porém, neste caso, das paredes da feição erosiva, não do topo do solo. Sendo assim, são medidas as perdas através dos subprocessos do voçorocamento, não as perdas através da erosão laminar.

Os pinos foram feitos de vergalhões, medindo em torno de 40 cm de comprimento, inseridos em grupos, cobrindo áreas pré-selecionadas, e suas medições foram realizadas em centímetros e milímetros. Foram selecionadas sete áreas nas paredes da voçoroca para a distribuição dos pinos de erosão. A instalação destes respeitou as seguintes regras (Figura 19): (a) cada primeiro pino de uma coluna é instalado a 0,5m e a 1,0m da superfície do solo, alternadamente (Figura 20); (b) a distância vertical entre os pinos de uma mesma coluna é de 1,0m (Figura 21); (c) a distância entre as colunas de pinos de erosão é de 2,0m. Para quatro colunas houve a necessidade de adaptação das regras em função da altura da parede. Ao todo foram instalados 56 pinos (Figura 22), e a perturbação gerada pela colocação dos pinos foi considerada pouco influente sobre o monitoramento.



FIGURA 19. Regras gerais da instalação dos pinos de erosão nas paredes da voçoroca monitorada (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).



FIGURA 20. Instalação do 1º pino de erosão da 2ª coluna de pinos da cabeceira esquerda (CE 2.1), a 0,5m do topo do solo (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).



FIGURA 21. Pinos nº 2 e 3 da 1ª coluna da lateral direita (LD 1.2 e LD 1.3), seguindo a distância de 1,0m entre eles (Hugo Alves Soares Loureiro, 2011).

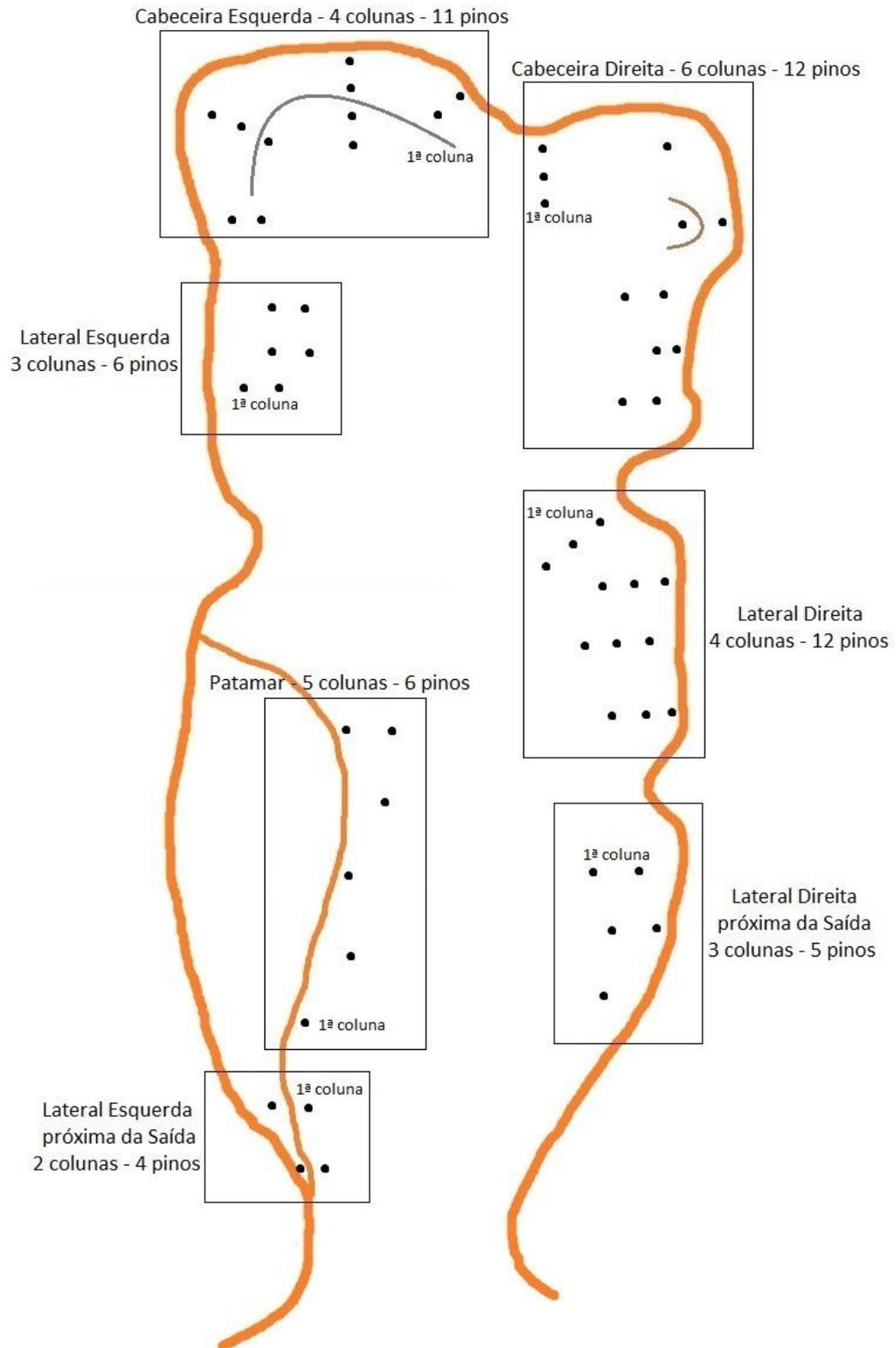


FIGURA 22. Esquema representativo da posição de cada área de pinos nas paredes da voçoroca monitorada (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

### 5.3.1.2.1 cálculos utilizados para quantificar a erosão

A distribuição dos pinos permite analisar a erosão em termos de volume e de massa de solo erodidos das paredes da voçoroca. Para quantificar tais parâmetros, de modo a compreender e analisar de forma mais precisa e científica a dinâmica dos processos, lançou-se mão de determinados cálculos e raciocínios físico-matemáticos, aqui explicados.

Adiante, no capítulo 6, serão discutidos os resultados obtidos do monitoramento com a aplicação destes cálculos. Para simplificar, será mostrada uma espécie de passo-a-passo da construção do raciocínio utilizado, dividido em cinco etapas, a seguir.

**1)** Visualizar tridimensionalmente a distribuição dos pinos (Figura 23). Toma-se como modelo a cabeceira esquerda, foco da discussão dos resultados no capítulo 6. Teremos, então, prismas e áreas, que a princípio, não podem ser diretamente correlacionados, por se tratarem de unidades de medida distintas; o 1º é tridimensional, e o 2º bidimensional.

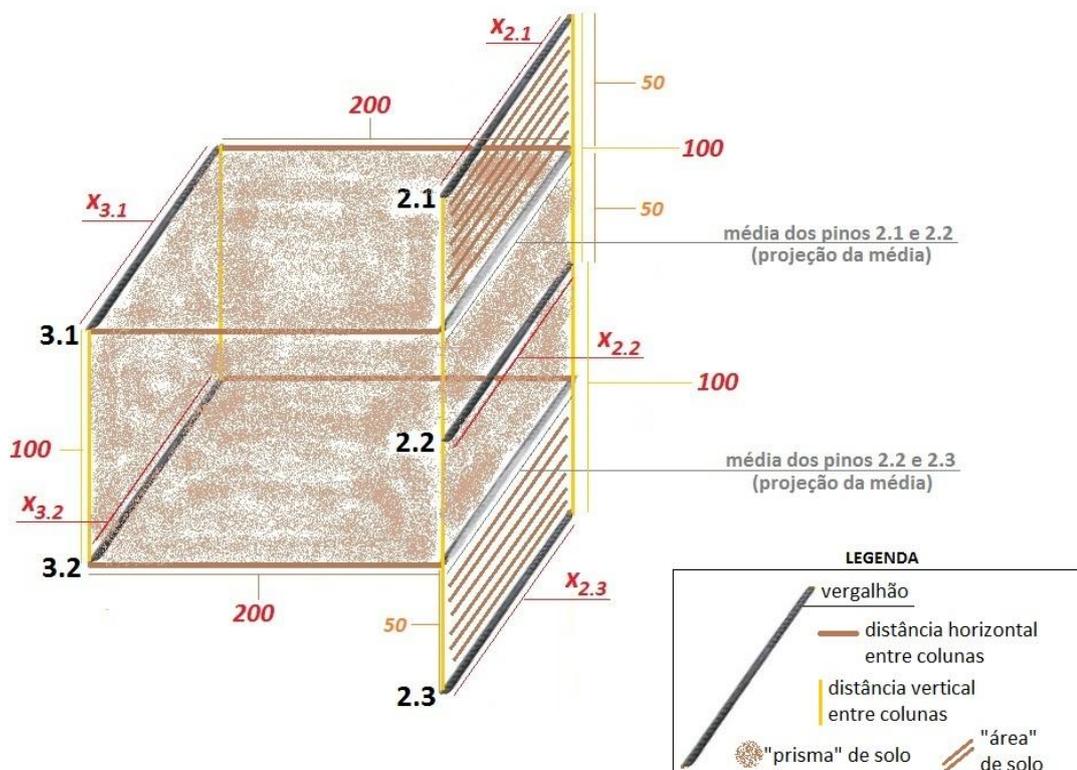


FIGURA 23. Representação de prisma e área formados pela distribuição dos pinos nas paredes da voçoroca monitorada (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Visualizada esta etapa, é possível começar a quantificar:

- 1 metro (m) = 100 centímetros (cm);
- 1 metro cúbico (m<sup>3</sup>) = 1.000.000 centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>);
- Volume do prisma retangular (Vp) =  $x \cdot y \cdot h$ , onde  $x$  e  $y$  são lados horizontais e de profundidade, e  $h$  é a altura (lado vertical).

De acordo com os valores adquiridos no monitoramento, tem-se o valor de  $x$  em centímetros. Sabe-se que, 1,0 metro de distância horizontal entre as colunas de pinos equivale a 100 centímetros, e do mesmo modo, 2,0 metros de distância vertical entre os pinos equivale a 200 centímetros. Logo, o volume do “prisma erodido” (Vpe) será:

**Vpe =  $x \cdot 100 \cdot 200$** , onde  $x$  representa o quanto em centímetros o pino foi exposto.

Esta fórmula será mais bem empregada se 4 pinos tiverem o mesmo valor de remoção, o que geraria uma espécie de “prisma erodido ideal” para a pesquisa em curso.

**2)** Contudo, a dinâmica de uma feição erosiva é bastante diversa, e como tais valores tratam-se de estimativas, é possível usufruir da tomada de valores médios quando um ou mais pinos apresentarem valores de exposição diferentes.

Nesta pesquisa foi necessária a utilização de apenas um valor médio na fórmula de Vpe. Sugere-se que a média seja feita apenas entre pinos de mesma coluna em 1° momento.

Exemplo:

- Pinos Q.1 e Q.2 tiveram recuo igual a 10 cm;
- Pinos R.1 e R.2 tiveram recuos de 5 e 2 cm, respectivamente;
- Logo: Média <sub>coluna R</sub> =  $5+2/2 = 7/2 = 3,5$  cm.
- O valor 3,5 cm será, então, o  $x$  em  $Vpe = x \cdot 100 \cdot 200$ .

Caso os outros 2 pinos também apresentem diferença, tira-se primeiro a média para cada coluna, e em 2° momento a média das duas colunas. Exemplo:

- Pinos Q.1 = 20 cm e Q.2 = 5 cm; Média  $_{\text{coluna Q}} = 12,5$ ;
- Pinos R.1 = 10 cm e R.2 = 2 cm; Média  $_{\text{coluna R}} = 6$  cm;
- Média  $_{\text{col. Q e col. R}} = 12,5 + 6/2 = 18,5/2 = 9,25$  cm;
- O valor 9,25 cm será o  $x$  em  $V_{pe} = x \cdot 100 \cdot 200$ .

**3)** Alguns pinos podem não apresentar uma correlação volumétrica direta. Quer dizer, não possuem pinos “vizinhos” para formar diretamente uma medida tridimensional/volumétrica. À primeira vista, apresentam-se como uma medida de área, que é bidimensional/plana.

Por se tratar de estudo com solos, considerando a dinâmica, de certo modo, “aleatória” da natureza na produção das formas, a pesquisa se permitiu transformar a medida de área em volume, quando possível. Pode-se compreender o raciocínio através da figura 24. Tal pensamento se baseou, inclusive, na ideia de amostragem volumétrica de amostras de solo, que teria princípio semelhante. A partir disso, bastaria a aplicação da fórmula de  $V_{pe}$ .

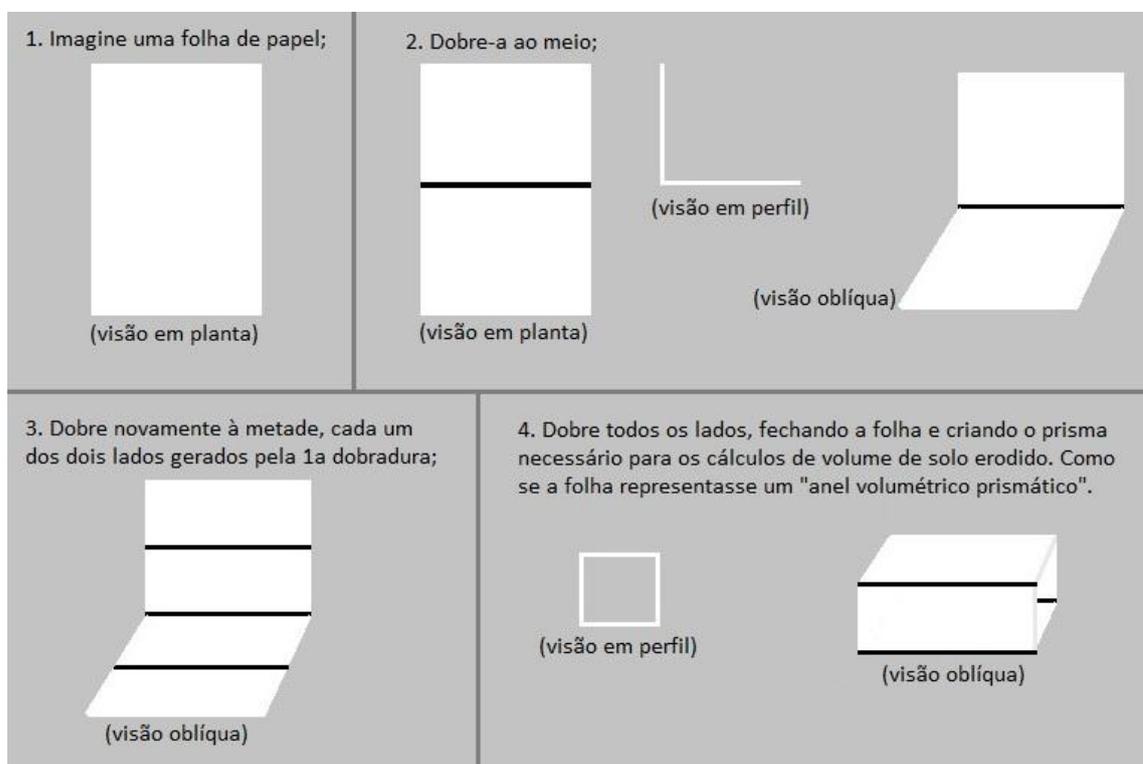


FIGURA 24. Representação esquemática da ideia de dobrar uma folha de papel para compreender a transformação de uma “área de solo” em “volume de solo” (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

4) Ao dispor dos resultados que indicam os volumes de solo erodido para cada prisma oriundo da distribuição dos pinos como uma espécie de “grid” tridimensional, e conhecendo o valor da (média da) densidade aparente da feição erosiva (itens 5.3.3 e 5.4.2), pode-se conhecer a massa, em quilos (kg) e/ou toneladas (t) de solo que foram erodidas. Vale lembrar que 1.000 g é igual a 1 kg e que 1.000 kg é igual a 1 t. Basta compreender e aplicar a fórmula:

$D = m/V$ , onde  $D$  é a Densidade Aparente da voçoroca ( $\text{g/cm}^3$ );  $m$  é a massa de solo erodida, em gramas (g); e  $V$  é o volume do “prisma erodido” ( $V_{pe}$ ) em centímetros cúbicos ( $\text{cm}^3$ ).

Logo, como se deseja saber o valor de  $m$ , então a fórmula pode ser utilizada na forma:

$$m = D \cdot V$$

A soma dos volumes e das massas de cada prisma resultará, respectivamente, no total de volume erodido ( $\text{m}^3$ ) e no total de massa erodida (t).

5) Aplicou-se, também, a extrapolação dos valores de massa encontrados para 1 hectare (ha), através de regra de três simples, conhecendo-se a área da feição erosiva. Exemplo:

- 1 ha ----- 10.000  $\text{m}^2$
- X ha ----- Área feição  $\text{m}^2$
- X ha = Área feição  $\cdot 1/10.000$

A partir da explicação dessas cinco etapas fica mais fácil a compreensão dos resultados discutidos no item 6.2.1 do capítulo 6, que são ainda contextualizados a outros dados.

### 5.3.2. Produção de geotêxteis com fibra de bananeira

A fibra utilizada para a confecção dos geotêxteis é a da bananeira (Figura 25), selecionada pelo fato de a banana ser a cultura de maior expressividade na região da área de

estudo. Esta motivação segue a ideia empregada em trabalhos desenvolvidos em São Luiz/MA e apoiados pela União Europeia (FURTADO *et al.*, 2005; GUERRA *et al.*, 2005; BEZERRA, 2006; BEZERRA *et al.*, 2006a e 2006b; MENDONÇA, 2006; FURTADO *et al.*, 2006; SMETS *et al.*, 2007; BHATTACHARYYA *et al.*, 2008a e 2008b; JANKAUSKAS *et al.*, 2008; GUERRA *et al.*, 2010; BEZERRA, 2011), que utilizaram a fibra de Buriti, espécie comum da região. A intenção é utilizar matéria-prima acessível, que não gere custos para o artesão adquiri-la, uma vez que sua obtenção advém de partes desinteressantes para os produtores rurais. Em contrapartida, a produção das telas de geotêxteis se torna uma fonte de renda para a população local, como foi em São Luiz, ou neste caso, para os artesãos cooperativados da região.



FIGURA 25. Diferentes tipos de fibra de bananeiras disponíveis (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Foram realizadas duas oficinas de artesanato para ensinar a confecção manual dos geotêxteis biodegradáveis aos artesãos da Cooperativa *Gente de Fibra*, localizada no município de Casimiro de Abreu/RJ, próximo à área de estudo, seguindo a metodologia de

Bezerra (2011). Esta cooperativa possui vínculo com a Secretaria de Assistência Social desse município, que atende moradores comprovadamente carentes, inserindo-os no mercado de trabalho por meio do artesanato com fibras de bananeira, comercializando e expondo os trabalhos artesanais produzidos. Através do sítio da internet [www.visitecasimirodeabreu.com.br](http://www.visitecasimirodeabreu.com.br) foi possível localizar a cooperativa e fazer o acordo para produção (<http://visitecasimirodeabreu.com.br/insthistcult/1274>, acessado em 20 de março de 2011). Cada geotêxtil saiu ao preço de R\$ 5,00 (cinco reais), pagos aos artesãos com recursos financeiros referentes ao Edital Universal do CNPq, anteriormente mencionado.

Todos os quatro tipos de fibra gerados dos caules das bananeiras foram utilizados, indiscriminadamente, para a confecção dos geotêxteis. Os caules das bananeiras são adquiridos pelos artesãos com fazendeiros de toda a região, assim, cada artesão é dono de suas próprias fibras da bananeira. As fibras são tratadas com amaciante, eucalipto e batidas pelos artesãos. Ao final de todo o processo para obtenção da fibra da bananeira, ocorre a separação dos diferentes tipos de fibra, como mostram as figuras 26a e 26b, e então são postas para secar no varal, às vezes com auxílio de ventiladores (Figura 27).

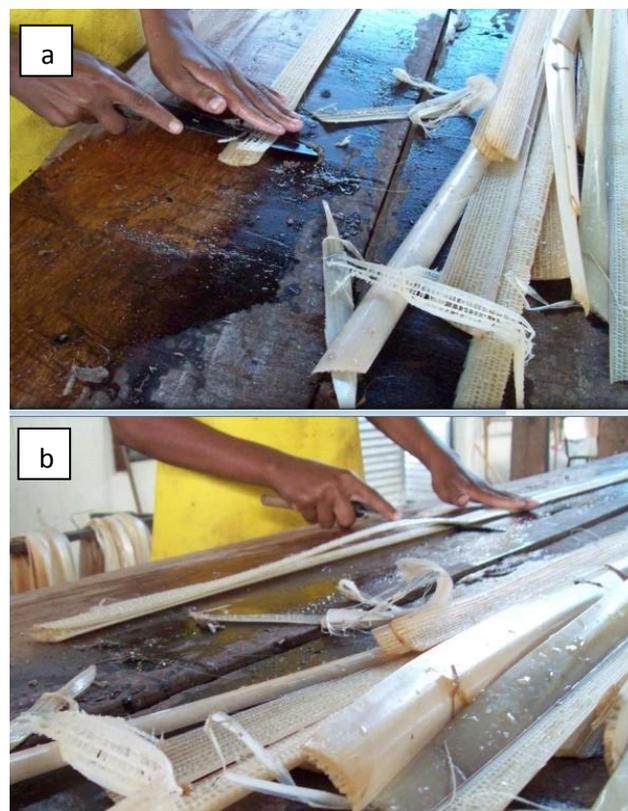


FIGURA 26. Processo de separação dos diferentes tipos de fibra da bananeira (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).



FIGURA 27. Varal para secagem das fibras já separadas no galpão de preparo e confecção (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Para confeccionar a geotêxtil utilizou-se uma tábua de madeira (madeirite) de 55 cm x 55 cm com furos à 5 cm de cada borda e agulha de saco (7 cm). Nesses furos são, então, tranchadas as fibras que por fim originam a geotêxtil, medindo 50 cm x 50 cm. A Figura 28 mostra o passo a passo e o resultado final da confecção manual dos geotêxteis de fibra de bananeira. O montante produzido foi de trezentas e cinquenta unidades de telas de geotêxteis.

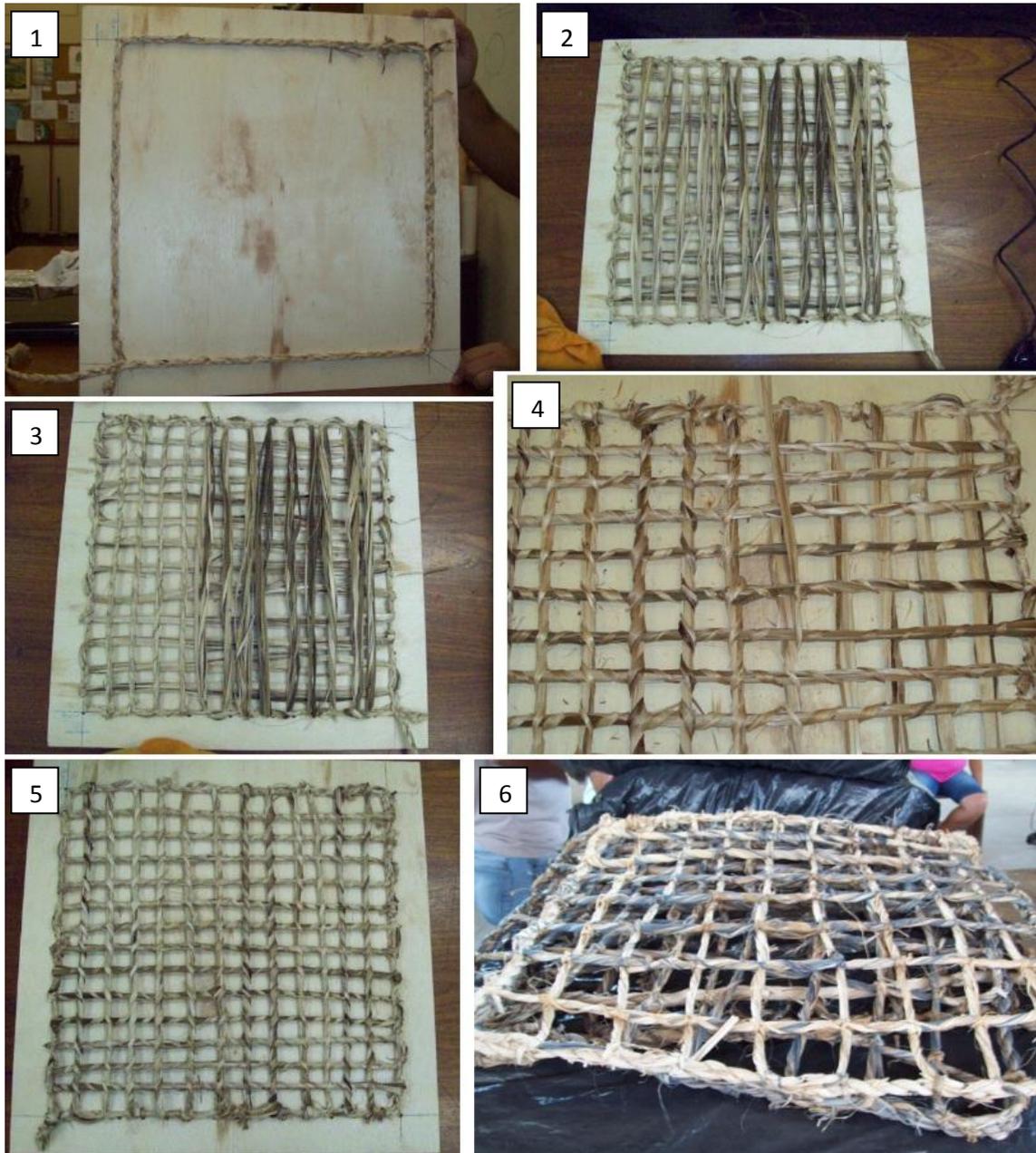


FIGURA 28. Etapas da confecção da geotêxtil (Hugo Alves S. Loureiro, 2011) e dezenas de geotêxteis (n° 6) produzidas pelos artesãos da cooperativa *Gente de Fibra* (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

### 5.3.3. Coleta de amostras de solo

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas (volumétricas) para a realização das análises de granulometria, densidade aparente e de partículas ou real, porosidade total, pH, teor de matéria orgânica e teor de carbono orgânico.

Um total de 76 amostras deformadas foi coletado, sendo 45 no interior da voçoroca (43 nas paredes e duas no chão), e outras 31 nas encostas do entorno da feição. Quanto às amostras indeformadas, estas somaram 35 no total, sendo 19 representando a voçoroca e 16 coletadas nas encostas do entorno.

As coletas das amostras deformadas da voçoroca foram feitas em suas paredes (Figura 29), obtidas em intervalos de meio metro de profundidade no perfil exposto, como em Mendes (2008). Dessa forma, as amostras representam intervalos de 0-0,5 m, 0,5-1,0 m, 1,0-1,5 m, e assim sucessivamente, dependendo da altura da parede, desde o topo do solo até o chão da voçoroca. Além das duas amostras coletadas no chão, em profundidade de 0-5 cm, uma em cada lado (direito e esquerdo) na saída de voçoroca, que representam os sedimentos soltos, carregados pela erosão durante eventos chuvosos (Figura 30).



FIGURA 29. Coleta de amostra deformada no intervalo 0-0,5 m de profundidade pelo lado direito da cabeceira da voçoroca (Sara Regina de A. Neves, 2011).



FIGURA 30. Coleta de material do chão da voçoroca, na saída direita (Maria do Carmo O. Jorge, 2011).

Das 31 amostras deformadas coletadas nas encostas ao redor da voçoroca, 24 delas foram a profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, enquanto as outras sete restantes foram coletadas em uma única profundidade, de 0-50 cm, sendo 4 delas, amostras da encosta onde situa-se a maior voçoroca da área de estudo. Essa diferença de profundidade na coleta ocorreu apenas por adequação de métodos durante a realização da pesquisa, quando se julgou mais propícia a coleta em duas profundidades. Contudo, as coletas em única profundidade não foram descartadas das análises por representarem pontos importantes para os quais não haveria possibilidade de nova coleta. Desse modo, foram amostrados no total 19 pontos nas encostas ao redor da voçoroca monitorada (12 com amostras de 0-20 e 20-40 cm e sete de 0-50 cm). Em todos estes pontos, as coletas deformadas foram realizadas por meio da tradagem com trado holandês (Figura 31).



FIGURA 31. Coleta de amostra deformada com trado holandês no médio curso da bacia do rio São Pedro, Macaé/RJ (Sara Regina de A. Neves, 2011).

As 19 amostras indeformadas (volumétricas) da voçoroca tiveram duas finalidades. Oito delas serviram para as análises de densidade aparente e suas devidas correspondências com as análises de densidade de partículas, e assim obtendo-se a porosidade total representativa desses oito pontos. Outras 11 amostras foram coletadas para que, conjuntamente às oito primeiras, fosse extraído um valor único de densidade aparente para a voçoroca como um todo, através do cálculo da média aritmética simples entre os 19 valores de densidade aparente das amostras coletadas.

Todas as 35 amostras indeformadas foram coletadas utilizando coletor volumétrico com o anel de Kopecky de  $100 \text{ cm}^3$ , sendo coletadas em profundidade superficial, de 0-10 cm (Figura 32).



FIGURA 32. Coleta de amostras indeformadas com amostrador volumétrico (de 100 cm<sup>3</sup>), na bacia do rio São Pedro (Hugo Alves S. Loureiro, 2011; Sara Regina de A. Neves, 2011).

#### 5.3.4. Registro fotográfico e audiovisual

O registro de fotografias é uma importante ferramenta para ilustrar e documentar eventos naturais e sociais ocorridos em determinados tempo e lugares (Justiniano, 2009). Logo, é de grande importância para os trabalhos propostos nesta dissertação de mestrado, uma vez que compõem de maneira visual e didática os resultados dos monitoramentos, de forma a acompanhar a ocorrência dos processos durante a pesquisa.

Depois de tiradas em cada um dos trabalhos de campo, as fotografias eram armazenadas em computadores ao retornar de campo, organizadas em pastas por data (mês e ano do trabalho de campo) e de acordo com o que representavam (voçoroca monitorada, visão geral da área de estudo e outros tipos), e legendadas quando necessário.

Duas câmeras digitais foram utilizadas para os registros fotográficos e audiovisuais. Foram utilizadas as máquinas digitais *Kodak EasyShare C813*, com resolução de 5,0 *megapixels* (em todos os trabalhos de campo, exceto o primeiro, em Janeiro de 2011) e *Canon LH-DC50*, com resolução de 10,0 *megapixels*.

Segundo Peron (2009), a utilização de vídeos em trabalhos de campo, na Geografia, tem sido realizada como simples registros daquilo que foi realizado no campo, não sendo intencionalmente produzidos com fins de reflexão de temas propostos. Os registros

audiovisuais desta pesquisa, através de vídeos realizados em alguns trabalhos de campo, não tendo sido necessariamente previstos em gabinete, tiveram importância tanto como simples registros de algumas ações em campo (como reconhecimento e exploração da área), mas também no registro dos fenômenos associados à reflexão teórica simultaneamente à sua ocorrência e visualização (como os registros realizados sob eventos pluviais).

Há, em anexo, uma cópia do DVD produzido em maio de 2011, com vídeos e fotografias de trabalhos de campo desta e de outras pesquisas da equipe do Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos – LAGESOLOS/UFRJ realizados na bacia hidrográfica do rio São Pedro até aquela data.

#### **5.4. ANÁLISES DE LABORATÓRIO**

Nesta etapa são realizadas as análises físicas: granulometria, para definir a textura do solo, a partir de seus teores de argila, silte e areia (grossa e fina); densidade aparente; densidade de partículas, porosidade total do solo; e as análises químicas: medição do pH, em água e em cloreto de potássio (KCl); teores de matéria orgânica e de carbono orgânico. Para a reprodução de quaisquer das análises realizadas nesta pesquisa recomenda-se a consulta direta às fontes bibliográficas citadas e referenciadas.

##### **5.4.1. Textura**

A análise da textura segue a metodologia do Manual de Métodos e Análises de Solos da EMBRAPA (1997). O procedimento se inicia com o destorroamento das amostras deformadas secas ao ar, para que sejam desfeitos os torrões e quebrados o máximo possível os seus agregados, procurando evitar que ocorra a quebra de minerais. O destorroamento é feito ao se passar um rolo de madeira sobre a amostra de solo colocada sobre uma base de borracha. Feito isso, utilizam-se duas peneiras, de malhas de 20 mm por cima e de 2 mm por baixo, para separar o material mais grosseiro da chamada Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), que consiste das frações areia, silte e argila, que possuem os tamanhos apresentados na tabela 2, a seguir.

TABELA 2. Frações granulométricas; EMBRAPA (1997).

Tamanho das Frações Granulométricas da TFSA	
Areia grossa	2,0 mm a 0,2 mm
Areia fina	0,2 mm a 0,05 mm
Silte	0,05 mm a 0,002 mm
Argila	menor que 0,002 mm

Os cálculos para obtenção dos teores de areia fina e grossa, silte e argila seguem as expressões para o método da pipeta (Figura33) no Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (1997).

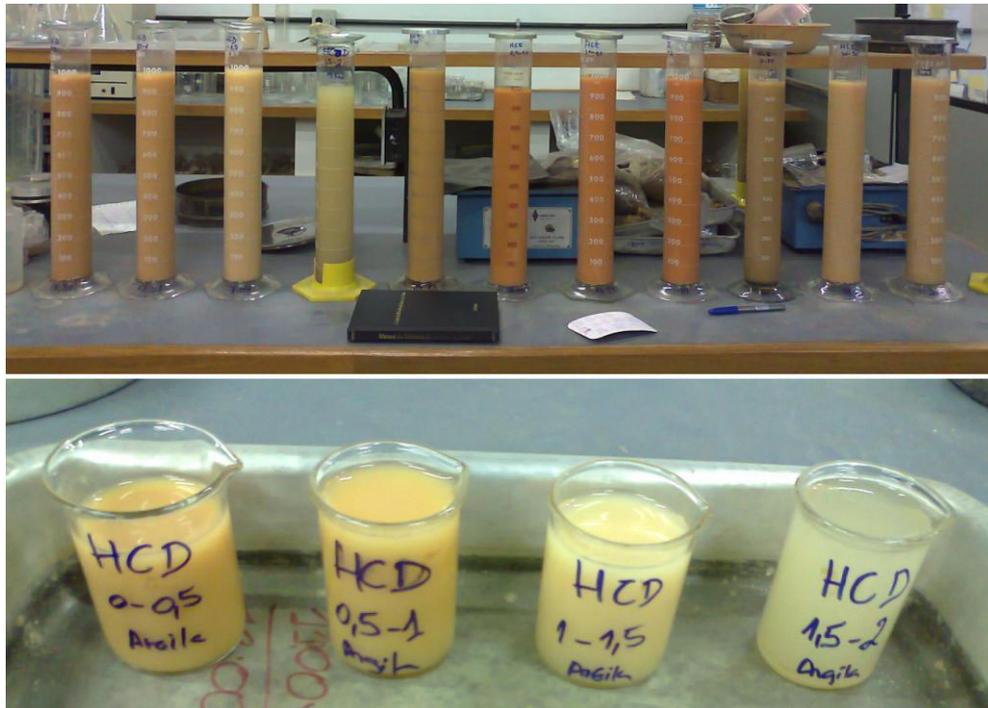


FIGURA 33. Pipetagem da fração argila durante a análise granulométrica (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Para corrigir algumas análises que apresentaram problemas, utilizou-se de técnica normalmente usada em determinadas análises químicas (como a do carbono orgânico, na página 79), segundo comunicação pessoal do técnico de laboratório, Rafael Amorim, do Laboratório de Geografia Física da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (LAGEFIS/UERJ). As amostras problemáticas foram refeitas, tendo seu peso inicial diluído. Ou seja, ao invés de

serem pesadas as 20g recomendadas, foram pesadas 10g. Sendo esta a única alteração em todo o processo. Para corrigir a ação de diluição nos cálculos, basta multiplicar por dois os pesos de cada fração granulométrica que foram aferidos diretamente na balança (argila, areia total e areia fina), assim voltando a considerar as 20g estipuladas.

#### **5.4.2. Densidade aparente**

A determinação da densidade aparente também segue as normas contidas em EMBRAPA (1997) e utiliza a amostra volumétrica coletada. Esta é colocada em lata de alumínio, de peso conhecido e anotado. As amostras são, então, levadas à estufa por 24 horas, a uma temperatura de 105° C e, após isso, deixadas esfriar no dessecador. Dividindo-se o valor do peso das amostras secas a 105° do volume do anel do coletor (neste caso, 100 cm<sup>3</sup>), se obtém o valor da densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>).

#### **5.4.3. Densidade de partículas**

Também seguindo EMBRAPA (1997), esta análise utiliza 20g de solo amostrado em balão volumétrico e álcool etílico puro. Em lata de alumínio, as 20g são deixadas na estufa por 12 horas e em seguida no dessecador. Seus pesos antes e depois da estufa são devidamente anotados. A amostra é destorroada em *graal*, eliminando ao máximo os agregados, e posteriormente inserida no balão volumétrico de 50 ml. Nele é adicionado, aos poucos, o álcool etílico, por meio de uma bureta, até chegar ao volume de aferição do balão. Durante o procedimento são feitas pausas na adição de álcool para agitar o balão a fim de eliminar as bolhas de ar. Ao término do procedimento, divide-se o peso da amostra seca pelo respectivo valor de álcool gasto, indicado na bureta, obtendo-se o valor da densidade de partículas (g/cm<sup>3</sup>).

#### **5.4.4. Porosidade**

A porosidade total, em porcentagem, obtida a partir dos valores da densidade aparente e da densidade de partículas refere-se à microporosidade e à macroporosidade

somadas. Lembrando que o volume do anel utilizado é de 100 cm<sup>3</sup>, o valor foi adquirido adaptando-se a fórmula em EMBRAPA (1997), conforme abaixo:

**Porosidade Total (%) =  $100(a-b)/a$** ; onde  $a$  é a densidade real e  $b$  a densidade aparente.

#### 5.4.5. Matéria orgânica e carbono orgânico

Para a obtenção dos teores de matéria orgânica do solo foram empregados dois métodos distintos, que representam os dois mais comumente utilizados pela maioria dos laboratórios, seja para análises com fins científicos ou comerciais (SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008), e que são aqueles que, por isto, mais aparecem nos trabalhos acadêmicos e manuais técnicos de análise de solos (DIAS e LIMA, 2004; IBGE, 2005 e 2007; ESCOSTEGUY *et al.*, 2007). São eles: a queima (ignição) da matéria orgânica, em forno mufla; e o método de oxidação do carbono orgânico com dicromato de potássio, que apresenta de forma indireta o teor de matéria orgânica.

Uma das razões para a utilização dos dois métodos é que se sabe que a determinação da matéria orgânica, em ambos e em outros métodos, encontra algumas limitações (DIAS e LIMA, 2004; IBGE, 2005 e 2007; ESCOSTEGUY *et al.*, 2007; SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008). Se por um lado, o método da perda de massa por ignição a seco em forno mufla, seja nas mais variadas temperaturas de processamento, tem apontado valores superestimados dos teores de matéria orgânica e, conseqüentemente, de carbono orgânico (DIAS e LIMA, 2004; ESCOSTEGUY *et al.*, 2007); por outro lado, o método de oxidação com dicromato de potássio pode apontar valores subestimados desses teores (SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008). Ainda assim, tem sido mais consensual e mais utilizado este último método.

Considerando que um método pode superestimar e o outro pode subestimar os teores de matéria orgânica do solo e as limitações que apresentam para isso, entende-se que seja importante tê-los como parâmetro, de forma a se obter uma estimativa média, que possa dar maior confiabilidade dentro de um panorama geral. A seguir, são explicados cada um dos dois métodos e algumas de suas respectivas limitações.

#### 5.4.5.1. método direto – perda de massa (peso) por ignição

Há diversas metodologias e adaptações destas para o método de queima da matéria orgânica. Com isso, as amostras de solo vão ao forno mufla (Figura 34) podendo ser submetidos a diferentes temperaturas e períodos de tempo. Entre artigos e manuais (DIAS e LIMA, 2004; IBGE, 2005 e 2007; ESCOSTEGUY *et al.*, 2007; SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008; LIMA, 2010), as temperaturas mais comumente utilizadas na ignição são 360°C e 500°C. Mas também podem ser processadas a 250°C, 375°C, 440°C, 550°C e 600°C (BALL, 1964; DIAS e LIMA, 2004; SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008).



FIGURA 34. Forno mufla, aberto, no Laboratório de Geomorfologia Maria Regina Mousinho de Meis/UFRJ (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Nesta pesquisa o método utilizado para queima da matéria orgânica foi o de Ball (1964), comumente utilizada nas pesquisas do Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos (LAGESOLOS/UFRJ) (LOUREIRO, 2010; NEVES, 2011). Das amostras de TFSA, são pesadas 10g em cadinhos de porcelana de peso conhecido, e levadas à estufa a 105°C por 24 horas. Após este período, as amostras são retiradas da estufa e deixadas esfriar em dessecador, sendo pesadas novamente para registro do peso seco em estufa. Os cadinhos contendo as amostras de solo são, então, colocados em forno mufla com

temperatura de 375°C durante 16 horas. Passado este período, os cadinhos com as amostras são retirados do forno e novamente deixados resfriar no dessecador, para não ganhar umidade. Os novos pesos são registrados, encerrando a etapa laboratorial, restando a realização dos cálculos para se chegar diretamente ao teor de matéria orgânica representativo de cada amostra, e indiretamente aos seus teores de carbono orgânico. As análises por este método foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia Maria Regina Mousinho de Meis, do Departamento de Geografia da UFRJ.

Descontados os pesos dos cadinhos, têm-se os pesos apenas da massa de solo seca a 105°C em estufa e a 375°C em forno mufla. Com a subtração do valor da massa de solo seco em estufa pelo valor da massa de solo seco em forno mufla, obtemos a massa, em gramas, correspondente ao material eliminado durante a queima em forno mufla. Esta massa perdida durante a ignição representa a matéria orgânica de cada amostra processada. Para finalizar os cálculos a fim de obter o teor de matéria orgânica, basta transformar esse valor em gramas para porcentagem, utilizando regra de três simples.

Para determinar o teor de carbono orgânico por este método, basta aplicar a expressão:

**MO (%) = C x 1,724;** que para se obter o valor de C, transforma-se em **C = MO (%) / 1,724**

Explicados os passos do processo da perda de massa por ignição, é possível compreender melhor as suas limitações.

Este é um método de determinação gravimétrica, semi-quantitativo e, principalmente, que resulta em valores estimados através da massa (peso) da amostra de solo seco que é volatilizada ao ser posta em ignição em alta temperatura (SCHUTLE e HOPKINS, 1996 *in* ESCOSTEGUY, 2007; SCHUMACHER, 2002 *in* SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008).

Sua principal limitação é a de que outros componentes, além dos materiais orgânicos que se deseja analisar, podem ser eliminados pela queima, mascarando os verdadeiros teores, superestimando tais valores. Água de constituição ou estrutural, volatilizadas dos

minerais constituintes da amostra (a exemplo de alguns argilo-minerais), gás carbônico, carbono inorgânico, e outros componentes minerais ou inorgânicos podem ser volatilizados em altas temperaturas, sendo contabilizados ao final do experimento, elevando os valores de carbono orgânico e matéria orgânica (DIAS e LIMA, 2004; ESCOSTEGUY *et al.*, 2007; SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008).

Segundo Dias e Lima (2004) e Escosteguy *et al.* (2007), a volatilização de substâncias que superestimam os teores de matéria orgânica e carbono orgânico estaria mais sujeita a ocorrer a temperaturas acima dos 360°C, sendo esta a mais adequada para se realizar a análise pela queima. O método de Ball (1964), utilizado nesta dissertação, utiliza temperatura próxima desta, processando as amostras a 375°C.

Ainda assim, mesmo processando suas amostras a 360°C, quase todos os resultados obtidos por Dias e Lima (2004) se mostraram de 1,1 a 7,7 vezes mais elevados pelo método da perda de massa por ignição, do que os resultados gerados pela titulação com dicromato de potássio e sulfato ferroso amoniacal.

#### 5.4.5.2. método indireto – análise química do carbono orgânico

Esta análise seguiu a metodologia de EMBRAPA (1997 e 2011), e tem como princípio a oxidação dos materiais orgânicos por via úmida, com uso do dicromato de potássio em meio sulfúrico e seu aquecimento, com posterior titulação, com solução de sulfato ferroso amoniacal para a medição do teor de carbono orgânico (IBGE, 2005 e 2007; EMBRAPA, 1997 e 2011).

A TFSA é passada em peneira de malha 0,180 mm (ABNT n°80), e o material fino peneirado é o que se usa no experimento. Deste material de solo triturado são pesados 0,5g em erlenmeyer (que pode ser de volume entre 200 a 300 ml) e com auxílio de uma pipeta, adiciona-se 10 ml da solução de Dicromato de Potássio. É necessário que haja um “branco”, com os 10 ml do dicromato de potássio, para cada solução de sulfato ferroso amoniacal produzida para o processo de titulação. Logo em seguida, adiciona-se uma pequena pitada de sulfato de prata, a cada amostra em análise, e agita-se o erlenmeyer, deixando em repouso durante 5 minutos.

Na boca do erlenmeyer coloca-se um tubo de ensaio com água, com finalidade de ser um condensador, evitando a perda de dicromato durante o aquecimento, realizado até que se atinja a fervura branda da solução, geralmente durante 5 minutos. Após esfriar, são adicionados 50 a 80 ml de água destilada. Em capela, adiciona-se 2 ml de ácido ortofosfórico e 3 ou 4 gotas de difenilamina, indicador químico para o processo da titulação. Então, procede-se a titulação, com sulfato ferroso amoniacal até que a coloração azulada se torne verde (Figura 35). Esta etapa merece muita atenção, para que o volume gasto de sulfato ferroso, necessário para tornar verde a solução, seja devidamente anotado.



FIGURA 35. (a) Erlenmeyers com 0,5g da amostra CE 2,5-3,0m com ácido ortofosfórico e gotas de difenilamina adicionados, prontos para titulação; (b) durante a titulação com sulfato ferroso amoniacal apresentando cor azulada; (c) momento em que muda a coloração para verde, encerrando a titulação, anotando-se o volume gasto de solução (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Parte-se para o cálculo dos teores de carbono orgânico, utilizando a expressão:

**C (g/Kg) = (40 – volume gasto) x f x 0,6;** em que f = (40/volume gasto de sulfato ferroso para o branco).

O teor de matéria orgânica é calculado multiplicando-se o teor de carbono orgânico por 1,724. Este fator, chamado de fator de Van Bemmelen (ESCOSTEGUY *et al.*, 2007; SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008), é aplicado, considerando que a matéria orgânica humificada é composta em 58% por carbono orgânico. Assim, a expressão para obter indiretamente o teor de matéria orgânica do solo, utilizando o teor de carbono orgânico, é: **MO (%) = C x 1,724.**

Algumas vezes a quantidade estipulada de dicromato não é suficiente para oxidar todo o material orgânico, gerando erro ao final do procedimento. Para evitar isto, recomenda-se a diluição pela metade da quantidade de solo usado, ou seja, faz-se a pesagem de 0,25g do solo triturado. Basta que, ao final, durante o procedimento dos cálculos, haja a multiplicação por 2, representando as 0,5g de solo originais. Esta recomendação é aplicável, principalmente, para amostras mais superficiais, onde os teores de matéria orgânica são, geralmente, maiores. Por isto, para todas as amostras representativas de profundidades de 0-0,2 m e 0-0,5m foi realizada a diluição, pesando-se 0,25g e multiplicando por 2 ao final. As análises realizadas por este método, de oxidação com Dicromato e titulação com sulfato ferroso amoniacal, foram processadas no Laboratório de Geografia Física da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (LAGEFIS/UERJ).

Entre algumas das limitações apresentadas por este método estão o questionamento sobre a capacidade de oxidação do dicromato de potássio em refletir o teor de carbono orgânico total (Silvério e Gonçalves, 2008); e interferências como a oxidação ou redução de constituintes do solo como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{MnO}_2$ , além do impacto ambiental do cromo (Cr), que chegou a motivar países a adotar a análise de perda de massa por ignição (ESCOSTEGUY *et al.*, 2007). Apesar disso, segue sendo o método mais empregado no Brasil (DIAS, 1998; IBGE, 2005 e 2007; SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008), oferecendo resultados de melhor exatidão, e oxidando materiais orgânicos mais reativos do solo, além da não necessidade de equipamentos especializados (TEDESCO *et al.*, 1995 *in* ESCOSTEGUY *et al.*, 2007).

#### 5.4.6. pH

Para medir o pH dos solos foi utilizado o medidor de pH (Analyser modelo pH 300 M) (Figura 36) de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), determinando o pH em água e em cloreto de potássio (KCl), produzido pela dissolução de 74,5g de KCl P.A. em água destilada, com 1L de solução concentrado à 1N. O aparelho é estabilizado antes da aferição, com soluções tampão de pH 4,00 e pH 7,00. Pesa-se 10g de amostra deformada e adiciona-se 25ml de água em um Becker, e outras 10g da mesma amostra tem adicionada também 25ml de KCl. Em ambos os beckers, com água e com KCl, as amostras são agitadas com bastão de vidro e deixadas em repouso por 1 hora. Passado este período, agita-se novamente com bastão de vidro e procede-se a leitura do pH.



FIGURA 36. Medidor de pH Analyser modelo pH 300 M (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

#### 5.5. RECUPERAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA

O local escolhido na área de estudo para realizar a recuperação com uso de geotêxteis de fibra de bananeira foi uma parte da encosta à esquerda da saída da voçoroca, fortemente marcada por terracetes de pisoteio de gado, com nível de degradação bastante elevado (Figura 37), em função da constante passagem do gado.



FIGURA 37. Área com terracetes bastante degradados pela passagem do gado, ao lado da voçoroca monitorada (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

A opção por recuperar este trecho da área de estudo levou em consideração o objetivo de iniciar a recuperação, a partir de um ponto da área degradada que tivesse como finalidade ser como uma área-teste para a avaliação da eficácia dos geotêxteis, além da disponibilidade de tempo e recursos financeiros para a execução do processo. Por isso, o trecho da área recuperada foi mais adequado aos interesses e às possibilidades desta pesquisa, em detrimento do trecho em atividade, a cabeceira pelo lado esquerdo. Este, quando confirmada a eficácia do método na área-teste, poderá ser recuperado/reabilitado com os geotêxteis que sobraram, e com novos recursos financeiros.

O trabalho de campo para recuperação da área degradada foi realizado no período de 1° a 4 de março de 2012 (trabalho de campo referente aos monitoramentos de fevereiro). O processo de recuperação da área, que não utilizou máquinas, apenas força de trabalho manual, consistiu das seguintes etapas:

1. Levantamento dos materiais e ferramentas necessários, seu orçamento e compra, previamente à ida ao campo (Tabela 3);

2. Contratação de uma pessoa para mão-de-obra mais pesada, auxiliando mutuamente a equipe do LAGESOLOS/UFRJ escalada para o trabalho;

TABELA 3. Levantamento de materiais disponíveis e necessários, com orçamento.

Material	Quantidade Necessária	Quantidade Adquirida	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Geotêxtil	350	350	5,00	1750,00
Semente de Brachiaria	10 Kg	10 Kg	212,00	212,00
NPK	50 Kg	50 Kg	66,20	66,20
Adubo orgânico	25 sacos (25 Kg por unidade)	25 sacos (25 Kg por unidade)	9,10	227,50
Arame farpado	1 rolo (200m)	1 rolo (200m)	150,00	150,00
Cavadeira reta	2	1	30,00	30,00
Cavadeira de boca	2	1	40,00	40,00
Enxada	3	0	nd	0,00
Pá	1	0	nd	0,00
Serrote	1	1	80,00	80,00
<b>Total</b>				<b>2555,70</b>

3. Retaludamento da área a ser recuperada, com a quebra dos grandes terracetes de pisoteio de gado e a suavização do terreno (Figura 38);
4. Aplicação de NPK (Figura 39);



FIGURA 38. Área retaludada manualmente com uso de ferramentas (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).



FIGURA 39. Aplicação de NPK no solo (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

5. Aplicação do adubo orgânico de húmus de minhoca e esterco bovino (Figura 40), fazendo uma camada de 3 cm sobre o solo exposto pelo retaludamento;
6. Semeadura manual de Braquiária Marandu, de modo aleatório sobre o adubo orgânico;



FIGURA 40. Aplicação do adubo orgânico com húmus de minhoca e esterco bovino, espalhado manualmente sobre o solo (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

7. Fixação dos geotêxteis – grupos de geotêxteis de 1 m<sup>2</sup> formados pela união de 4 telas costuradas umas às outras, também com fibra de bananeira – utilizando “grampos” em forma de “U”, feitos dobrando-se 25 cm de vergalhão de ferro (liso), de diâmetro 5/16 ou 8 mm (Figura 41);
8. E construção de um cercado de arame farpado, feito de bambu, adquirido a custo zero, oriundo de um bambuzal da propriedade onde se realizou todo o estudo, para impedir a passagem e alimentação do gado na área recém-recuperada/reabilitada.



FIGURA 41. Fixação dos geotêxteis de fibra de bananeira na área em recuperação (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Houve um único episódio de entrada do gado na área recuperada, ao final do mês de março, anterior ao campo de monitoramento deste mês, em função de um trecho aberto do cercado. Isto exigiu nova ida a campo, em 11 de abril de 2012, para reparo dos pequenos danos ocorridos, como reposicionar geotêxteis deslocados e reafixar grampos e geotêxteis afrouxados. Os eventuais danos e suas dimensões serão abordados como parte dos resultados.

## 5.6. FOTOCOMPARAÇÃO APLICADA AOS GEOTÊXTEIS

O método da fotocomparação foi escolhido para analisar o desenvolvimento da vegetação, seguindo os trabalhos de Bezerra (2006 e 2011) e Bezerra *et al.* (2011), que afirmam ser este um meio importante, ou fundamental, na avaliação da recuperação de áreas degradadas.

Para sua realização, foi utilizada a técnica da **classificação supervisionada** de imagens, através de ferramentas disponíveis no software ArcGIS 9.3. A técnica consiste na identificação e classificação dos pixels referentes às diferentes classes que se deseja apontar e analisar. Neste caso, as classes necessárias ao experimento foram definidas como: solo (em tom amarelo), geotêxteis (em tom de cinza) e vegetação (tom de verde).

Foram estabelecidas três áreas amostrais de 1 m<sup>2</sup> de geotêxteis, que tiveram instalados três pinos, para funcionar como marcos, para que as fotografias fossem tiradas sempre do mesmo ponto, com altura aproximada de 1 m, e pudessem ser classificadas com mais exatidão (Figura 42). Das três áreas, duas foram classificadas e analisadas. As sementes e os marcos acabaram sendo automaticamente classificados como geotêxteis, mas não houve interferência na análise realizada nesta pesquisa. Para análises futuras, com rigor estatístico, sementes e marcos devem ser avaliados de outra forma.

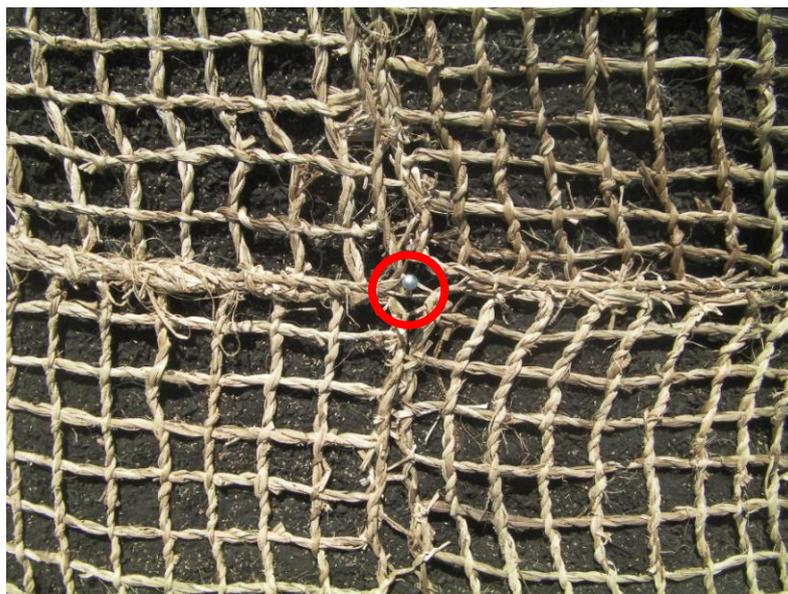


FIGURA 42. Área amostral de 1 m<sup>2</sup> com marco instalado ao centro, destacado em vermelho (José Fernando R. Bezerra, 2012).

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A pesquisa de mestrado desenvolvida nesta dissertação, considerando as ideias discutidas até aqui, delimitou uma área-piloto, na qual foram realizados os experimentos de campo, através de técnicas para o monitoramento dos processos erosivos em áreas degradadas, com marcante presença de feições erosivas, desde as laminares até grandes voçorocamentos, buscando elementos para o diagnóstico da erosão; e através da aplicação de técnicas de recuperação do solo com uso de bioengenharia, aplicando um determinado tipo de geotêxtil biodegradável.

Neste capítulo, os resultados são apresentados e discutidos separadamente em um primeiro momento, e contextualizados e correlacionados em um segundo momento.

### **6.1. MONITORAMENTO DAS BORDAS COM ESTAQUEAMENTO**

Os resultados mais significativos do monitoramento do recuo das bordas estão associados aos períodos chuvosos, como é esperado comumente. O grupo das estacas 4 e 5 representam a cabeceira da voçoroca, local onde a erosão atua mais ativamente. Isto é comprovado pelos resultados dos monitoramentos das estacas 4B, 5A e 5B, que apresentaram as maiores taxas de recuo das bordas ao final do período analisado (Tabela 4). A estaca 7B também apresentou taxa elevada de recuo, mas esta representa a lateral direita da feição.

TABELA 4. Taxas de recuo das bordas da voçoroca, monitorado com uso de estacas. (\*) Houve perda de estaca próxima da borda. Fonte dos dados de Precipitação: ANA (Fazenda Oratório).

Estacas	Fevereiro 25/02/2011	Março 29/03/2011	Abril 26/04/2011	Maiο 27/05/2011	Junho 27/06/2011	Julho 28/07/2011	Agosto 08/09/2011	Setembro 27/09/2011	Outubro nāo houve	Novembro 29/11/2011	Dezembro 27/12/2011	Janeiro 01/02/2012	Fevereiro 01/03/2012	Março 30/03/2012	Recuo por Estaca (m)
1A	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,65	3,65	3,65	nd	3,65	3,65	3,66	3,66	3,66	0,00
1B	1,03	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	nd	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	0,03
2A	0,35	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	nd	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,01
2B	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	nd	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,00
3A	3,79	3,79	3,79	3,78	3,78	3,77	3,77	3,77	nd	3,77	3,77	<b>3,55</b>	3,55	3,55	0,24
3B	6,81	6,81	6,81	6,85	6,85	6,86	6,86	6,86	nd	<b>6,72</b>	6,72	<b>6,53</b>	6,53	6,53	0,28
4A	11,10	11,10	11,10	11,15	11,15	11,15	11,15	11,16	nd	11,16	11,17	11,17	11,18	<b>10,79</b>	0,36
4B	12,04	<b>11,50</b>	11,46	11,46	11,46	11,45	11,45	11,45	nd	<b>11,31</b>	11,31	11,31	11,31	11,31	0,73
5A	7,42	<b>6,84</b>	<b>6,64</b>	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	nd	<b>6,32</b>	6,32	<b>5,93</b>	5,93	5,93	1,49
5B	11,09	<b>8,10*</b>	8,10	8,10	<b>7,72</b>	7,72	7,72	7,72	nd	7,72	7,72	7,72	7,72	<b>7,57</b>	3,52
6A	7,26	7,26	7,26	7,26	7,24	7,23	7,23	7,23	nd	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	0,01
6B	9,75	9,75	9,75	9,75	9,76	9,76	9,76	9,76	nd	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	0,00
7A	7,33	7,33	7,33	7,33	7,33	7,31	7,31	7,31	nd	7,31	7,33	7,33	7,33	7,33	0,00
7B	11,67	<b>10,58</b>	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57	nd	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57	1,10
8A	10,17	10,17	10,17	10,17	10,17	10,14	10,14	10,13	nd	10,14	10,13	10,13	10,12	10,12	0,05
8B	13,38	13,38	13,36	13,36	13,36	13,32	13,32	13,32	nd	13,31	13,28	13,27	13,27	13,27	0,11
9A	12,85	12,85	<b>12,48</b>	12,46	12,44	12,44	12,44	12,43	nd	12,44	12,44	12,46	12,43	12,43	0,42
9B	12,78	12,80	12,78	12,80	12,77	12,77	12,77	12,77	nd	12,79	12,79	12,79	12,79	12,79	0,00
<b>Total de Recuo (m)</b>															<b>8,35</b>
<b>Recuo por Medição (m)</b>	x	<b>5,23</b>	0,65	0,00	0,43	0,11	0,00	0,01	nd	0,65	0,01	<b>0,80</b>	0,02	0,51	
<b>Precipitação Mensal (mm)</b>	56,1	<b>376,1</b>	118,7	82,2	42,0	27,4	47,4	89,9	177,3	144,7	273,9	348,1	56,0	95,8	
<b>Dias com Chuva</b>	3	18	9	10	9	5	6	6	21	13	19	14	4	8	

Na tabela 4, as taxas de recuo das bordas, monitoradas mensalmente a partir de fevereiro de 2011 até março de 2012, são mostradas pelo distanciamento das estacas de referência A e B (de 1 a 9, de acordo com o capítulo 5) para as bordas da voçoroca. Conforme os valores das medições diminuem, a diferença representa o quanto de solo foi perdido nas bordas pelo avanço da erosão a cada monitoramento. A mesma tabela aponta, também, os totais de recuo das bordas para cada estaca e os totais de recuo por mês de monitoramento. Há, ainda, os totais da pluviosidade para cada mês monitorado, segundo os dados da Estação Pluviométrica Fazenda Oratório, de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), localizada na bacia do rio São Pedro, e a quantidade de dias de chuva em cada mês, com a finalidade de integrar mais facilmente a análise dos resultados deste monitoramento, de modo semelhante à apresentação dos dados nos trabalhos de Guerra *et al.* (2002), Francisco *et al.* (2008 e 2010) e Leal e Rodrigues (2011).

Estima-se que os dados de pluviosidade desta Estação da ANA possam apresentar, de um modo geral, valores pouco inferiores à quantidade real de precipitação sobre a área monitorada. Esta expectativa se deve pelo fato de que tal Estação Pluviométrica encontra-se situada no baixo curso da bacia do rio São Pedro, a uma altitude de 50m acima do nível do mar, que corresponde à altitude inferior à da área dos estudos experimentais, que varia entre 140 a 190, aproximadamente. Além da diferença de altimetria, que ocasiona maior precipitação nas áreas mais elevadas a partir do médio curso à montante da bacia, soma-se a localização diferenciada da área estudada, ao sopé do afloramento rochoso do Pico do Frade, que costuma concentrar muitas (e inúmeras vezes, carregadas) nuvens.

Um pluviógrafo (IRRIPLUS 300 adaptado) instalado na área de estudo, poucos metros a jusante da área monitorada (Figura 43), registrou (a cada 15 minutos) a pluviosidade em detalhe entre os dias 21 de março a 30 de abril de 2011. Os primeiros meses deste referido ano foram intensamente chuvosos no Estado do Rio de Janeiro, principalmente na Região Serrana do Estado, o que contribuiu para que o curto período de registro por este aparelho não fosse de todo deficitário, permitindo tecer importantes comparações com o monitoramento das bordas com o estaqueamento. A razão para o curto período registrado pelo pluviógrafo se deve ao surgimento de defeitos em seu sistema de *download*, que impediram a recuperação dos dados de período posterior.



FIGURA 43. Pluviógrafo instalado em parcela de erosão de solos na mesma fazenda da área monitorada não registrou a pluviosidade para todo o período da pesquisa (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

O pluviógrafo registrou, somente nos últimos 10 dias de março daquele ano, um total de 136,20mm de chuva, sendo que em todo o mês de abril foram registrados 155,18mm. Neste último verificou-se 36,5mm a mais de chuva que o registrado pela Estação da ANA, que marcou 118,7mm para o mesmo período, que exemplifica a hipótese levantada anteriormente, embora seja insuficiente para garantir quaisquer tendências pluviais.

As maiores taxas de recuo por monitoramento ocorreram justamente nos meses mais chuvosos, março de 2011 e janeiro de 2012, registrando, respectivamente, 5,23 m e 0,80 m de recuo total das bordas para a soma de todas as estacas (Tabela 4). Utilizando os dados do pluviógrafo da área de estudo, os maiores registros pluviométricos obtidos em março marcaram 40,3mm de chuva em apenas 1 hora e 3 minutos no dia 25/03. Esta data pertence ao intervalo entre o primeiro monitoramento (25/02/2011) e o segundo (29/03/2011), no qual foram registrados os maiores recuos das bordas dentre todas as estacas para todo o monitoramento. Para o período monitorado, os dados da Estação da ANA também apontaram o mês de março de 2011 como o mais chuvoso, registrando 376,1 mm de chuva. Vale citar que durante visita à área de estudo em 15 de março, sob forte chuva, já haviam sido notadas diferenças visuais na cabeceira (Figura 44) e na lateral direita (Figura 45), com o solapamento de parte não estaqueada da borda.



FIGURA 44. (a) Cabeceira da voçoroca em 25 de fevereiro de 2011, sem solapamentos recentes (Stella P. Mendes, 2011); (b) cabeceira em 26 de abril do mesmo ano, com bastante material solapado durante as fortes chuvas (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

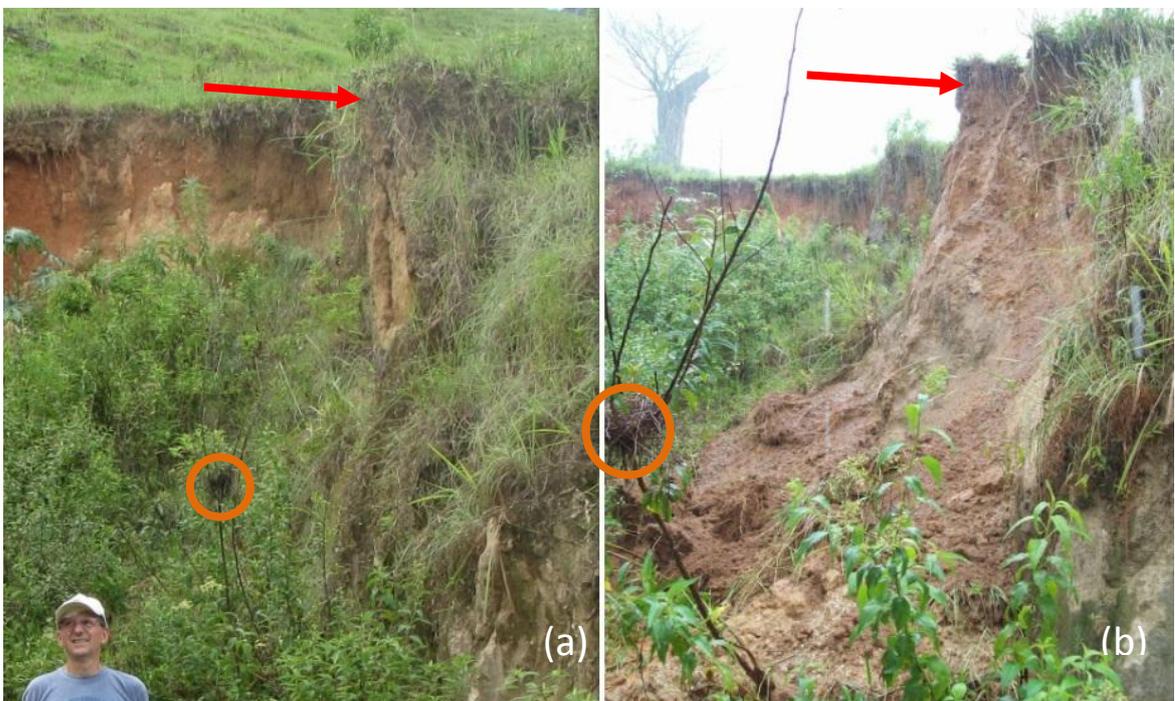


FIGURA 45. (a) Em janeiro, antes das chuvas (Maria do Carmo O. Jorge, 2011); (b) foto tirada em 15 de março durante chuva intensa (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

No monitoramento em 29 de março foram confirmadas as modificações. Na cabeceira, mais pelo seu lado esquerdo, o recuo foi registrado em 54 cm na estaca 4B e 58 cm na estaca 5A. Destacam-se os 2,99 metros de recuo na medição da estaca 5B, que levou à perda da estaca 5b, e representando o maior recuo monitorado.

Contudo, reafirmando a importância de apresentar de maneira clara possíveis erros, uma vez que estes não invalidem a pesquisa (MARQUES, 1996), integrando-os à análise dos resultados, este recuo é passível de dúvidas, pois em campo, a área correspondente às estacas 5B e 5b não passou a impressão de ter recuado tanto. A linha traçada pela estaca 5B é de certa forma paralela à borda da cabeceira, quando melhor seria que fosse totalmente perpendicular. Isso pode levar a uma interpretação equivocada do recuo ocorrido, pois este poderia ocorrer sobre, ou paralelamente a essa “linha”, mas representar na realidade um recuo de alguns centímetros (Figura 46).

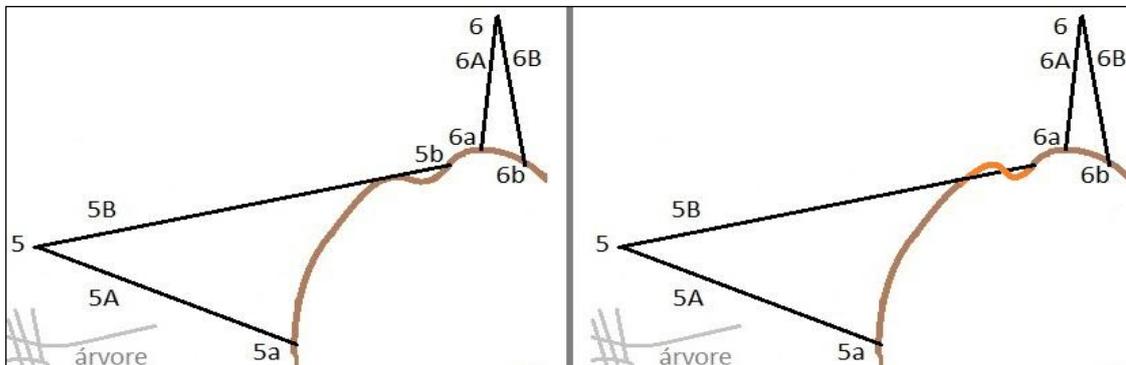


FIGURA 46. Esquema representando a possibilidade de erro na medição da estaca 5B. Hipótese de recuo paralelo ao traçado da medição (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Ainda abordando a temática dos erros admissíveis de ocorrerem, é necessário citar os casos em que algumas estacas apresentaram problemas em diferentes monitoramentos. Estes problemas são eventuais deslocamentos ou exposições ocasionadas pela erosão laminar ou pelo movimento dos fluxos do escoamento superficial sobre o solo (Figura 47), e enterramentos ou tombamentos provocados pelo pastar do gabo ou sua passagem pela encosta (Figura 48).



FIGURA 47. Estaca 6A desenterrada pela erosão laminar, curiosamente de pé, antes de ser monitorada, em novembro de 2011 (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).



FIGURA 48. Estaca 9B totalmente enterrada devido à passagem/pisoteio do gabo sobre ela, em novembro de 2011 (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Percebe-se na tabela 4 que estes casos, na frieza dos números, sugeririam que entre um monitoramento e o seguinte teria havido uma “redução” no tamanho da voçoroca, com um “acréscimo” de solo às bordas. Variações entre as medidas mensais de uma mesma estaca, na ordem de até 0,05m, foram consideradas, não de modo estatístico, como margem de erro inerente ao processo (LOUREIRO e GUERRA, 2012).

A estaca com maior frequência desse fenômeno é a 4A, variando de 11,10 a 11,18 metros de distância para a borda. Outras estacas, como a 3B e a 8B, também sofreram quedas, na maior parte das vezes provocadas pela passagem do gado, que algumas vezes se aproxima bastante das bordas (Figura 49). Cabe ressaltar que a utilização de 3 pontos para a mesma linha de mensuração (estacas 4, 4A e 4a, por exemplo), se mostrou importante na redução desse tipo de erro, uma vez que são conhecidas as distâncias entre cada estaca desde o primeiro monitoramento e assim em diante. Outra situação que demonstra essa importância de contar com mais de um marco medidor foi o desaparecimento da estaca 7b durante 11 meses. Encontrada perdida na grama longe de seu local de origem, especula-se que tenha sido arremessada pela passagem de algum bovino no local. Sendo assim, os resultados de monitoramentos de uma área erosiva serão mais precisos quanto mais pontos de mensuração forem instalados ao seu redor (LEAL e RODRIGUES, 2011). Nesta pesquisa de mestrado entende-se que a não utilização das estacas menores (“a” e “b”) provavelmente levaria a uma variação maior, ou mesmo prejudicaria o monitoramento quando ocorresse algum problema com as estacas principais, devido aos problemas já citados (LOUREIRO e GUERRA, 2012).



FIGURA 49. Bovinos causaram pequenos problemas ao estaqueamento em volta da voçoroca ao pastarem pela área (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

No monitoramento realizado após as chuvas de 30 de março e 10 de abril (40,63mm em 1 hora e 57 minutos), houve novamente recuo das bordas medidas pelas estacas 4B e 5A. Menos significativos, mas não menos importantes, acompanhando ainda a tendência de avanço da erosão durante o período chuvoso. Nos dois primeiros monitoramentos o total de recuo para estas duas estacas foi de 0,58 e 0,78 metro.

A estaca 5B foi outra que voltou a recuar, porém, durante o mês de junho de 2011, que registrou apenas 42,0 mm de chuva. O significativo recuo de 0,38 metro sob condições do período de estiagem, cuja maior pluviosidade do mês registrou 13,1 mm no dia 07/06, pode ser consequência da intensidade deste ou de outros eventos chuvosos durante o mês, ou ainda, o solapamento de parte da borda já poderia estar tendendo a ocorrer desde o período chuvoso, tardando em se desprender.

O monitoramento realizado em novembro de 2011 também se destaca, pois o total de recuo mensurado neste período contabiliza possíveis recuos ocorridos durante o mês de outubro, quando não foi possível a realização do monitoramento. Isto é possível inferir devido à quantidade de 177,3 e 144,7mm de chuva precipitada nesses meses de outubro e

novembro, respectivamente. O recuo mais significativo neste caso foi o terceiro registrado para a estaca 5A, que marcou 0,32 metro enquanto que a estaca 3B registrou seu primeiro recuo, de 0,14 metro, e a estaca 4B o seu último recuo, com significativos 0,19 metro, chegando a um total de 0,73 metro de taxa de recuo em 12 meses.

O quarto e último recuo para a estaca 5A ocorreu no 10º mês de monitoramento, janeiro de 2012, o segundo mais chuvoso entre fevereiro de 2011 e março de 2012, com precipitação de 348,1mm. Além da taxa de 0,39 metro de recuo da borda para a estaca 5A, as bordas das estacas 3A e 3B recuaram 0,22 e 0,19 metro, respectivamente. No monitoramento de março de 2012, a estaca 4A registrou recuo pela primeira vez, de 0,36 metro, e a borda da estaca 5B recuou mais 0,15 metro. Nestes dois monitoramentos de 2012 e mais o monitoramento de dezembro de 2011 podemos traçar análises conjuntas aos resultados do monitoramento com os pinos de erosão. Dezembro, especificamente, apesar de ter registrado 273,9 mm de chuva, não apresentou recuo de bordas, mas isto é um fator interessante na integração com os pinos de erosão.

Através do monitoramento das bordas com utilização das estacas, foi registrado um total de 8,35 metros de recuo das bordas ao longo de 13 meses de estudos, que reunidos somaram 1.935,6mm de pluviosidade. Francisco *et al.* (2010), que não apresentaram na tabela este somatório, registraram 11,49 metros de recuo e 883,1mm de chuva. Nota-se que para a voçoroca estudada nesta dissertação houve mais que o dobro de pluviosidade e menor recuo das bordas que nos estudos de Francisco *et al.* (2010). Isso acontece devido aos diferentes fatores geomorfológicos, pedológicos, geológicos, climáticos e antrópicos (BACELLAR, 2006 *in* LEAL e RODRIGUES, 2011), que influenciam a erosão, como o tipo de solo e sua textura, ou as características das encostas. Observa-se, porém, que em ambos os estudos as maiores taxas de recuo se deram nos meses mais chuvosos, reforçando a relação erosão x pluviosidade.

Nesta pesquisa, do mesmo modo que em Guerra *et al.* (2002), a declividade da encosta não se mostrou como um dos fatores principais na evolução da feição erosiva, que se constitui como resultado principalmente de processos superficiais e subsuperficiais, como fortes fluxos concentrados de escoamento que caem dentro do canal erosivo e a infiltração da água no solo, por exemplo, atuando na remoção dos materiais.

## 6.2. MONITORAMENTO COM PINOS DE EROSÃO

A técnica dos pinos de erosão aplicada nesta pesquisa tem um caráter inovador em termos de erosão em encostas. O levantamento bibliográfico encontrou aplicação semelhante apenas em trabalhos voltados à erosão fluvial (LAWLER e LEEKS, 1992; SAYNOR *et al.*, 2003; PEPPLER e FITZPATRICK, 2005). O modo de aplicação dessa técnica utilizado aqui foi pensado durante comunicação oral com o Professor Michael A. Fullen (Universidade de Wolverhampton, Inglaterra) após sua ida à área de estudo, em março de 2011.

O monitoramento da remoção, e mesmo acumulação, de material nas paredes da voçoroca pelo método dos pinos de erosão mostrou potencial, pois os materiais da parede podem solapar sem que haja recuo das bordas. Entende-se nesta pesquisa que, muitas vezes ao monitorar apenas o recuo na superfície do solo, não se está considerando uma perda de material que pode ser ainda maior nas paredes da feição erosiva. A remoção de partículas de solo pela erosão laminar, que contribui bastante para a degradação das terras, embora muitas vezes identificada, não foi objeto desta pesquisa, em termos de monitoramento.

Vandekerckhove *et al.* (2001), consideraram exatamente o oposto ao afirmado no parágrafo anterior, mas com ressalvas. Os autores colocam que, devido aos objetivos de seus estudos, realizaram uma simplificação na quantificação da erosão em cabeceiras de voçorocas, que não teria implicações em suas análises. Afirmam que mudanças nas paredes das cabeceiras monitoradas devido, por exemplo, ao solapamento do solo nessas áreas (verticais), seriam proporcionais às mudanças mensuradas em superfície (horizontalmente), através do recuo das bordas dessas cabeceiras. Contudo, apontam que fazer tal extrapolação da medição de recuos da voçoroca em superfície para a profundidade total da feição, sem considerar as mudanças no perfil, constitui uma das fontes de erro nos monitoramentos em campo.

Diferentemente de Vandekerckhove *et al.* (2001), para as análises sobre a erosão na área monitorada nesta dissertação, as mudanças ocorridas verticalmente nas paredes da voçoroca possuem grande importância, pois são fundamentais no estudo da sua dinâmica de evolução, conforme será visto.

Na tabela 5, observa-se que os resultados mais expressivos, assinalados em vermelho, ocorreram predominante e continuamente a partir de novembro de 2011 durante o período chuvoso (podendo incluir resultados de outubro, não mensurados, devido à impossibilidade de realização do respectivo monitoramento). Destaca-se o lado esquerdo da cabeceira da voçoroca, que comprova ser a parte de maior e mais intensa atividade da feição monitorada.

TABELA 5. Taxas de exposição dos pinos de erosão nas paredes da voçoroca. Resultados mais significativos destacados em vermelho (LOUREIRO, 2012). C = pino totalmente coberto; x = pino removido pela erosão; R = pino afetado pela recuperação da área degradada; nd = não confere dado.

Região	Pinos	Monitoramento da Erosão nas Paredes da Voçoroca (cm) - 2011 e 2012												
		Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Cabeceira Esquerda (CE)	1.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	nd	7,7
	1.2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	nd	0,0	0,0	1,5	1,3	1,3	nd	2,5
	2.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	0,0	40,0	x	x	nd	x
	2.2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	0,0	40,0	x	x	nd	x
	2.3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	7,8	12,1	C	C	40,0	nd	x
	2.4	3,0	3,0	3,5	1,0	0,8	nd	C	20,5	C	C	40,0	nd	x
	3.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	0,0	22,0	22,0	22,0	nd	40,0
	3.2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	nd	1,7	1,9	C	C	40,0	nd	x
	3.3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	0,0	C	C	C	nd	C
4.1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	nd	2,3	2,6	2,6	2,6	40,0	nd	x	
4.2	1,2	1,2	1,9	2,0	2,0	nd	0,0	1,2	1,2	1,2	C	nd	C	
Cabeceira Direita (CD)	1.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	0,0	8,4	8,4	8,5	nd	8,5
	1.2	1,3	2,0	2,1	2,3	2,3	nd	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	nd	2,3
	1.3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	nd	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	nd	0,0
	2.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,3
	3.1	0,0	0,3	0,5	1,0	1,0	nd	1,0	1,1	1,3	1,3	1,3	nd	1,3
	3.2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	C
	4.1	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	nd	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	nd	0,4
	4.2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,0	nd	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	nd	0,0
	5.1	1,0	1,1	1,3	2,0	2,0	nd	2,0	1,8	1,7	2,2	2,0	nd	2,2
5.2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	
6.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	nd	0,1	
6.2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	nd	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	nd	0,9	
Parede Esquerda (PE)	1.1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	nd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	nd	0,0
	1.2	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	nd	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	nd	0,8
	2.1	0,9	0,9	1,3	1,3	1,3	nd	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	nd	1,3
	2.2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	nd	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	nd	0,1
	3.1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	nd	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	nd	0,4
3.2	2,1	2,2	2,2	2,2	0,4	nd	C	C	C	C	C	nd	C	
Parede Direita (PD)	1.1	1,0	1,3	1,3	1,3	1,8	nd	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	nd	1,9
	1.2	2,1	2,5	2,6	2,6	2,6	nd	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	nd	3,1
	1.3	1,1	1,1	1,2	1,2	1,8	nd	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	nd	1,4
	2.1	1,0	1,6	1,6	1,8	1,8	nd	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	nd	1,8
	2.2	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	nd	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	nd	1,0
	2.3	1,8	1,8	2,0	2,0	2,0	nd	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	nd	2,0
	3.1	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	nd	2,9	3,0	3,0	2,7	2,7	nd	3,1
	3.2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	nd	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	nd	2,6
	3.3	1,4	1,7	1,7	1,7	1,7	nd	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	nd	1,8
4.1	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	nd	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	nd	0,4	
4.2	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	nd	1,2	1,2	nd	1,2	1,2	nd	1,2	
4.3	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	nd	0,7	0,5	0,5	0,5	0,2	nd	0,0	
Patamar (PAT)	1.1	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	nd	1,1	1,3	2,5	3,9	R	R/nd	R
	2.1	0,8	0,8	0,9	0,9	0,0	nd	C	2,7	2,7	2,7	2,7	nd	2,7
	3.1	0,6	0,6	1,0	1,6	6,0	nd	11,1	11,5	11,5	11,5	11,5	nd	13,0
	4.1	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6	nd	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	nd	0,6
	5.1	1,0	1,0	1,0	1,6	1,6	nd	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	nd	1,7
5.2	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	nd	3,1	3,1	3,6	3,7	3,7	nd	3,8	
Parede Esquerda Próx. Saída (PES)	1.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	0,0	0,0	0,0	0,0	R	R/nd	R
	1.2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	nd	0,7	2,2	2,6	2,6	R	R/nd	R
	2.1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,0	nd	0,0	0,8	0,7	0,7	R	R/nd	R
2.2	1,1	1,1	1,1	1,1	0,7	nd	0,8	0,8	0,8	0,8	R	R/nd	R	
Parede Direita Próx. Saída (PDS)	1.1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	nd	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	nd	1,0
	1.2	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	nd	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	nd	0,9
	2.1	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	nd	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	nd	0,7
	2.2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	nd	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	nd	0,2
3.1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	nd	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	nd	0,5	

Esta área da voçoroca, denominada como Cabeceira Esquerda (CE), apresenta os resultados de maior destaque no monitoramento com pinos de erosão. A 2ª coluna é a mais representativa, com mudanças constantes e/ou abruptas. Do monitoramento de novembro para o de dezembro (ambos 2011) é possível perceber algumas mudanças na região dessa coluna de pinos, causadas por diferentes subprocessos do voçorocamento, consequentes da ação das águas das chuvas no solo, seja em superfície ou subsuperfície, e também, devido às características do material (Figura 50).

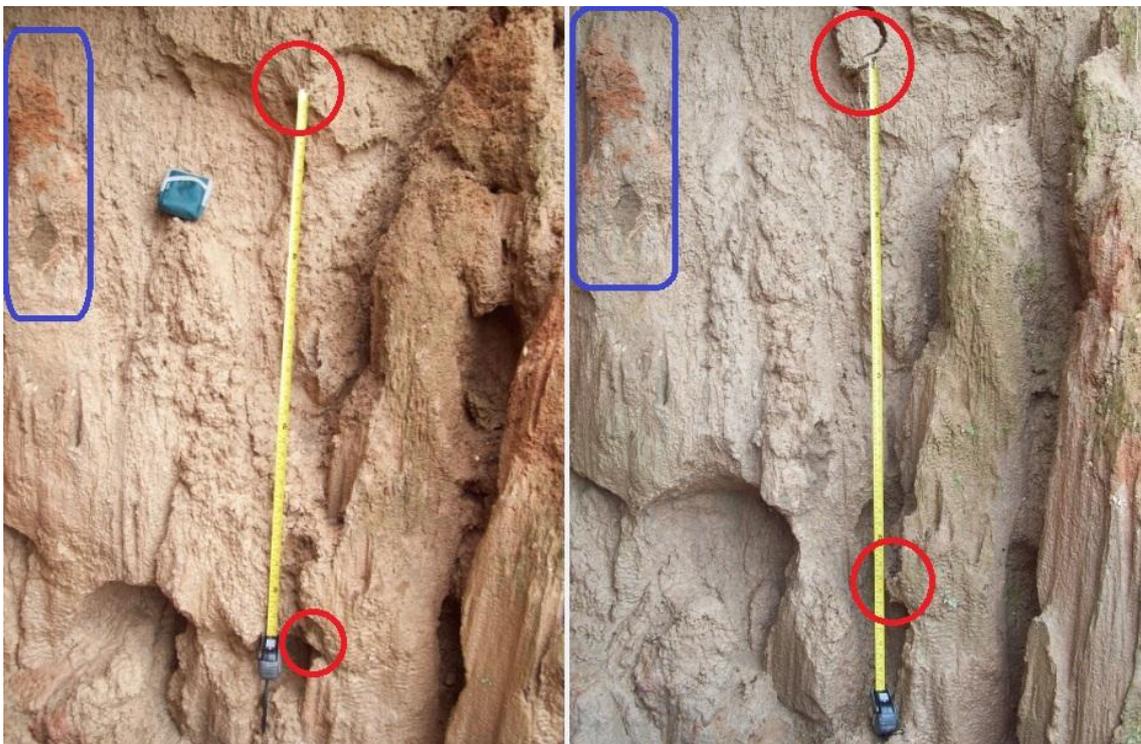


FIGURA 50. Área entre os pinos CE 2.3 e 2.4 (destacados em vermelho, acima e abaixo, respectivamente) nos meses de novembro de 2011 (à esquerda) e dezembro de 2011 (à direita); destacada em azul uma parte inalterada para comparação das diferenças registradas (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Com o aumento e a intensificação da pluviosidade, destes dois meses para o monitoramento seguinte, de janeiro de 2012 (Figura 51), a mudança registrada foi muito grande, sendo facilmente perceptível comparando-se as figura 50 e 51.



FIGURA 51. Área dos pinos CE 2.3 e 2.4, totalmente modificada pela ação da água, em janeiro de 2012, na comparação com os dois meses anteriores (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Um desses subprocessos, gerado pela atuação da água do escoamento superficial que escorre parede abaixo na alcova de regressão, é a formação dos chamados filetes subverticais de escoamento superficial (em inglês, o processo é denominado de *fluting*), principalmente em materiais de baixa coesão, logo, de fácil dispersão. Este tipo de processo vai aos poucos, durante e logo após eventos chuvosos, esculpindo a alcova de forma sinusoidal, e a cada evento deste tipo modifica, destrói e recria os filetes de escoamento superficial. Estes são como uma série de “ranhuras” ou “estrias” alongadas verticalmente (em inglês, *flutes*) (AUSTRÁLIA, 1999; OLIVEIRA, 2005; VANDEKERCKHOVE *et al.*, 2001). Nas figuras 50 e 51 anteriores, são verificadas algumas mudanças e a destruição destes filetes.

Com relação a esse subprocesso, observou-se que a água das chuvas atuou na formação e destruição dos filetes (*flutes*) na alcova de regressão (Figura 52), sobretudo, de duas maneiras. Uma delas, através da infiltração da água, ocorre o encharcamento e a posterior esfiltração da água no solo, após a sua saturação, durante e após os eventos de

chuva, uma vez que o material de coloração mais esbranquiçada da subsuperfície da cabeceira é de fácil dispersão, o que explica as constantes mudanças notadas nessa área da feição erosiva. O outro modo foi através do contato direto da chuva com as paredes da feição, molhando e lavando-as com o escorrer da água (OLIVEIRA, 2005).



FIGURA 52. Área dos pinos CE 2.3 e 2.4 apresentando filetes subverticais de escoamento superficial (*flutes*) na alcova de regressão, em maio de 2011, mês de instalação dos pinos de erosão (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Outro subprocesso que contribuiu com a erosão diferenciada na alcova de regressão, de modo a formar, alterar e destruir esses filetes, foi a erosão por queda de água (no inglês, *plunge pool erosion*, de acordo com o Glossário de Geociências do LAGESOLOS, disponível em [www.lagesolos.ufrj.br/?op=glossario](http://www.lagesolos.ufrj.br/?op=glossario)) (Figura 53).

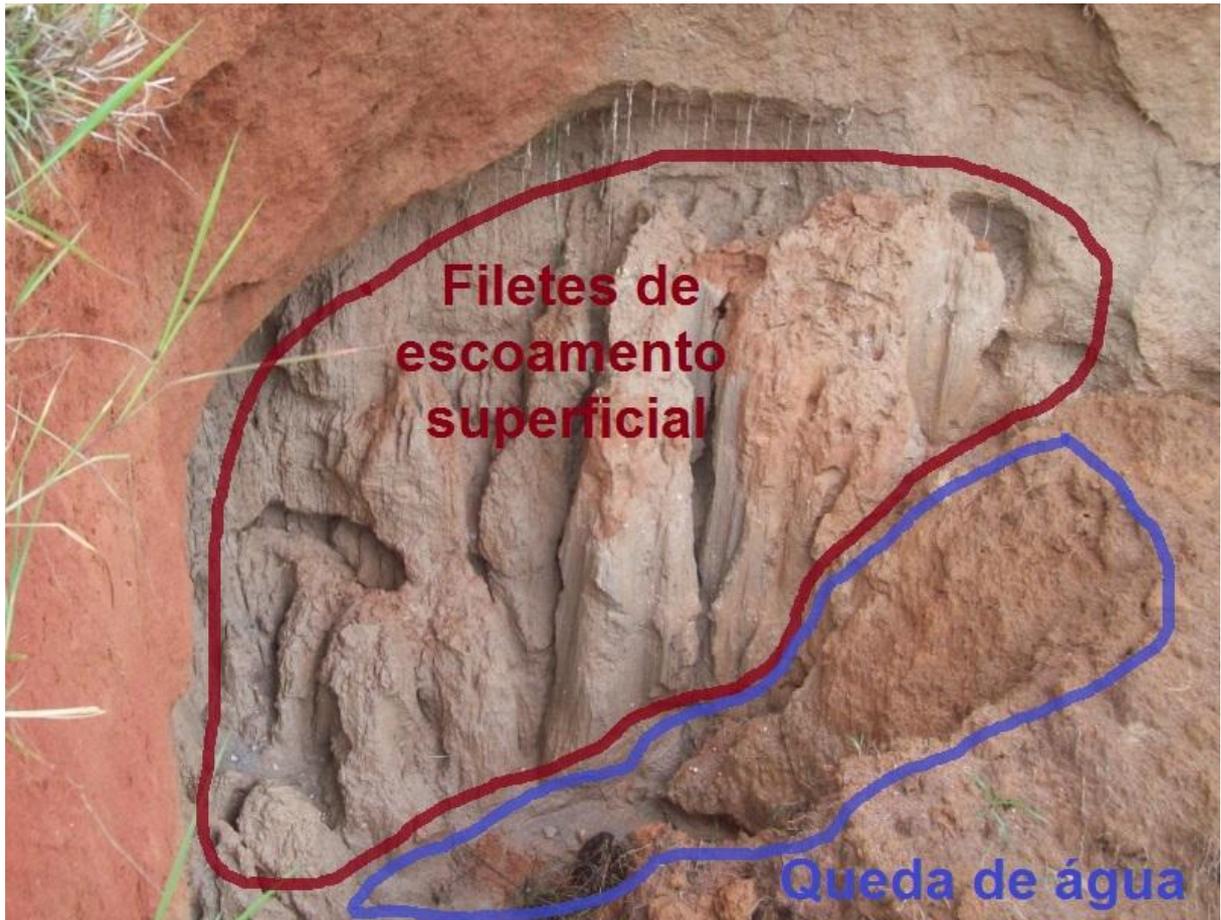


FIGURA 53. A erosão por queda de água atua no material das paredes da voçoroca e também remobiliza os sedimentos já solapados; foto de abril de 2011 (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Este subprocesso pode ser potencializado, principalmente, quando se formam poças, durante os eventos de chuva. As poças sofrem turbulências devido à queda das gotas, mas, principalmente, devido aos fluxos concentrados que caem com força, vindos das bordas da cabeceira da voçoroca, como se fossem pequenas cachoeiras. Tais fluxos se formam seguindo os caminhos preferenciais da água em superfície, a exemplo do bem demarcado caminho do gado que percorre toda a encosta até chegar à voçoroca (Figuras 54 e 55).



FIGURA 54. Formação de poça durante evento chuvoso, devido à queda de água dos fluxos superficiais concentrados, em 21 de maio de 2012 (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).



FIGURA 55. Durante eventos chuvosos, forma-se uma queda d'água na cabeceira, causada pelos fluxos concentrados gerados nos caminhos preferenciais, como o caminho de gado traçado na imagem registrada sob chuva intensa, em 15 de março de 2011 (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Ao observar os dados de pluviosidade apresentados na figura 56 é possível tecer algumas correlações entre os totais mensais e as máximas mensais em 24h com os resultados do monitoramento dos pinos.

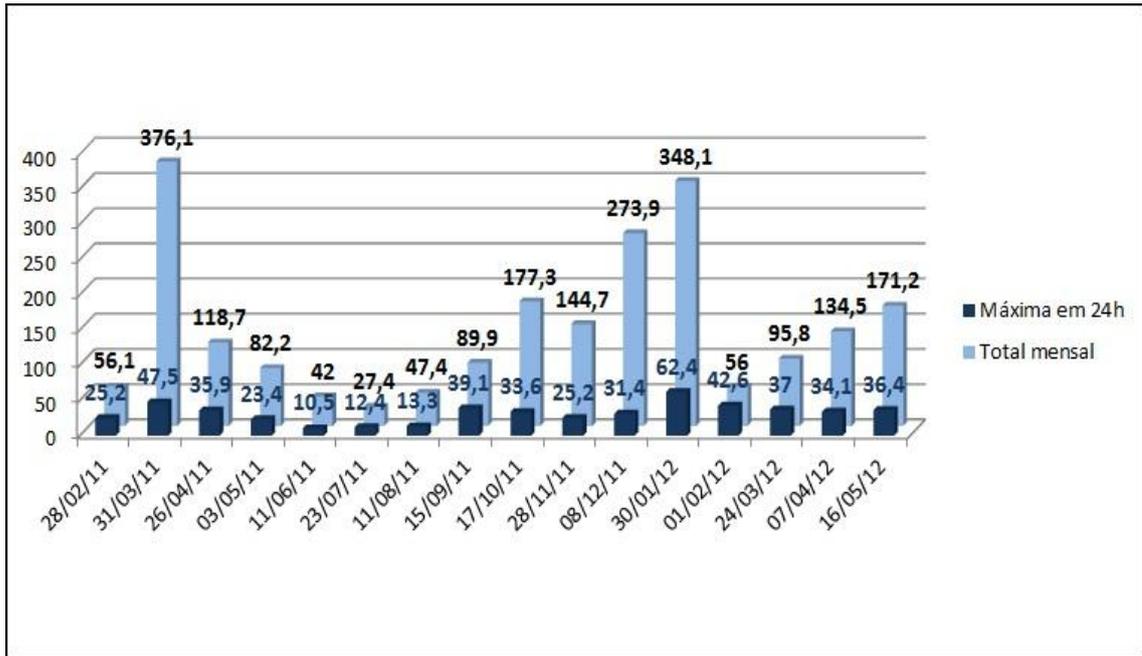


FIGURA 56. Pluviosidade registrada pela estação Fazenda Oratório da ANA, organizada em totais mensais e respectivas máximas em 24h, entre fevereiro de 2011 e maio de 2012. Fonte: sítio da internet HidroWeb, Agência Nacional de Águas.

Retoma-se como exemplo a área entre os pinos CE 2.3 e 2.4 (Figuras 50 e 51). A completa destruição dos filetes de escoamento superficial na alcova de regressão registrada em janeiro de 2012 se justifica pela diferença de pluviosidade, verificada na figura 56. No mês de janeiro a máxima em 24h foi praticamente o dobro do mês de dezembro de 2011, registrando 62,4 mm de chuva no dia 30/01/2012 contra 31,4 mm no dia 08/12/2011. Os totais mensais nesses três meses são crescentes, partem de 144,7 mm em 13 dias no mês de novembro, passam a 273,9 mm em 19 dias no mês de dezembro e atingem 348,1 mm em 14 dias no mês de janeiro. Pode-se inferir que as poucas mudanças vistas em dezembro, apesar do incremento da pluviosidade, refletiram o maior tempo de distribuição da mesma, que teve mais 6 dias de chuva que o mês anterior. Enquanto que em janeiro de 2012, o alto índice de pluviosidade do mês foi concentrado em menor quantidade de dias com chuva.

Em todo esse contexto, o pino CE 2.4 (4º pino da 2ª coluna da Cabeceira Esquerda) apresentou diferenças constantemente (Figura 57). Entre os monitoramentos de junho e julho de 2011, este apresentou 0,5 cm de exposição, devido à saída de sedimentos soltos, com pouca coesão. Já nos monitoramentos de agosto e setembro apresentou-se recoberto

por uma leve camada de solo que aparenta ter sido acumulada sobre o pino devido a algum(s) fluxo(s) de água que atuou no local, carregando sedimentos finos de modo a cobri-lo. Isto reflete a erosão lateral (*fluting*) que modifica os filetes de escoamento superficial (*flutes*). Tal ação dos fluxos de água sobre esta área da voçoroca, que também pode representar a erosão por queda de água (*plunge pool erosion*) (OLIVEIRA, 2005), é clara no monitoramento de novembro de 2011, no qual o pino 2.4 aparece totalmente coberto, quase não sendo possível sua localização durante o monitoramento em campo.



FIGURA 57. Pino CE 2.4 apresentou constantes mudanças nos monitoramentos de (a) maio, (b) setembro e (c) novembro de 2011 (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Os resultados mais expressivos do pino CE 2.4 ocorreram em dezembro de 2011 e março de 2012. No monitoramento de dezembro, este passou da condição de totalmente coberto, no monitoramento anterior, para 20,5 cm de exposição (figura 58). Isto reflete a atuação da água infiltrada, exfiltrada ou escoada no material durante e/ou após os eventos de chuva. Devido aos processos discutidos anteriormente, há o retrabalhamento das partículas de solo na parede da voçoroca, o que altera constantemente esta parte da feição, através da ação erosiva da chuva nos processos e subprocessos do voçorocamento.



FIGURA 58. Pino CE 2.4 nos monitoramentos de novembro e dezembro de 2011, respectivamente (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Por consequência desses processos e das poças, sua turbulência e a lavagem do material da parede e dos sedimentos nesta área, o pino CE 2.4 foi removido completamente. O mesmo ocorreu com o pino CE 2.3, cuja evolução de exposição acompanhou a daquele pino, principalmente em relação à pluviosidade do período. Em novembro e dezembro, o pino CE 2.3 apresentou exposição de 7,8 e 12,1 cm, respectivamente, e em seguida foi totalmente coberto por material solapado em janeiro, para finalmente ser registrada sua remoção (Figura 59).



FIGURA 59. Material de fácil dispersão onde estavam os pinos CE 2.3 e 2.4 foi retrabalhado pela ação da água das chuvas, removendo-os (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Ambos foram removidos ou durante o mês de março de 2012, ou nos primeiros 10 dias de abril. Há esta dúvida em função de o registro de sua remoção ter ocorrido em visita emergencial a campo, em 11 de abril de 2012. Como não foi possível realizar o monitoramento ao final de abril, considerou-se para a tabela que os dois pinos foram removidos em março, uma vez que neste mês o material acumulado pelos últimos solapamentos impedia o monitoramento de ambos desses pinos com precisão, permitindo a dúvida de que estivessem soterrados, com ou sem remoção de seus locais originais.

No monitoramento de janeiro de 2012, com o decorrer do período chuvoso, outros resultados, também bastante significativos, foram registrados, para os pinos CD 1.1, CE 2.1, CE 2.2 e CE 3.1. Pela cabeceira direita, o pino CD 1.1 apresentou a primeira exposição significativa dentre os 12 pinos de tal região, que registrou 8,4cm de exposição (Figura 60).



FIGURA 60. (a) Pino CD 1.1 na instalação dos pinos na voçoroca, em maio de 2011 (Hugo Alves S. Loureiro, 2011); (b) e no monitoramento de janeiro de 2012, registrando seu primeiro solapamento (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Nota-se, pela figura anterior, que um terceiro tipo de subprocesso do voçorocamento ocorreu. Trata-se da ruptura de tensão (em inglês, *tension cracks*), que promove colapso na parede da voçoroca. As rupturas de tensão se desenvolvem não apenas em função do escoamento (*runoff*) ou da intensidade da chuva, mas devido à redução do comprimento do plano de falha no ponto em que a resistência de coesão é alterada, além de exercer pressão hidrostática quando cheio de água (SELBY, 1993; VANDEKERCKHOVE *et al.*, 2001). Ainda

segundo Vandekerckhove *et al.* (2001), rupturas de tensão e o consequente solapamento de solo da parede da cabeceira da voçoroca são funções complexas, que envolvem propriedades mecânicas do solo, geometria da parede e poro-pressões (“pressões poro-água”) ao redor das rupturas. Importante lembrar que a perturbação do sistema pela instalação dos pinos foi a menor possível, não tendo sido significativa para ser considerada, sendo que tal perturbação é um fato impossível de não ocorrer (HAIGH, 1978).

Os pinos CE 2.1 e 2.2 caíram com o solapamento dos, pelo menos, 40 cm de solo onde estavam enterrados, que ocorreu no mês de janeiro de 2012, reflexo do incremento da pluviosidade nesse mês, com seus 348,1 mm de chuva. Estes pinos não haviam registrado nenhum solapamento de material durante os primeiros sete meses de monitoramento, e permaneceram sem exposição até então (Figura 61).



FIGURA 61. (a) Pino CE 2.1 na instalação dos pinos na voçoroca, em maio de 2011 (ponto prateado acima do metro de madeira) (Hugo Alves S. Loureiro, 2011); (b) e no monitoramento de janeiro de 2012 (em vermelho), soterrado pelo solapamento do solo a sua volta (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Já o pino CE 3.1, que também não sofrera solapamentos anteriores, registrou 24 e 22 cm de exposição, medida pela parte de cima e de baixo do pino, respectivamente. Como provável resultado de pressão da massa de solo sobre o pino quando houve o solapamento do material, este acabou ficando torto na parede da voçoroca. Isto pode ser verificado na figura 62, a seguir, que confirma a queda do pino CE 3.2 em janeiro quando se compara à imagem da instalação dos pinos em maio de 2011. Durante o monitoramento de janeiro

interpretou-se que este pino estaria coberto devido ao escoamento da água pela parede, tendo sido confirmada sua remoção no monitoramento de março de 2012, conforme a tabela 5. Um claro sinal da importância que um bom registro fotográfico e sua análise constante possuem para o sucesso de uma pesquisa de monitoramento em campo.



FIGURA 62. Comparação da 3ª coluna da CE da voçoroca: (a) em maio de 2011 (Hugo Alves S. Loureiro, 2011); (b) no monitoramento de janeiro de 2012, destacando-se (em branco) o pino CE 3.1 torto ou pendurado após solapamento do solo, e a remoção do pino CE 3.2 (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Nesse momento, vale ressaltar a atuação dessas pressões que contribuem para a erosão, através do solapamento do solo na cabeceira da voçoroca, em especial a pressão hidrostática. Uma explicação da física para o termo “pressão” diz que “para uma mesma força, quanto menor a área, maior a pressão produzida” ([www.fisica.net](http://www.fisica.net), acessado em 10 de dezembro de 2012). Pode-se inferir que quanto menor for a área de solo que preencha a alcova de regressão, maior será a pressão sofrida pela massa de solo acima da alcova, que ainda se sustente sem uma base (Figura 63).

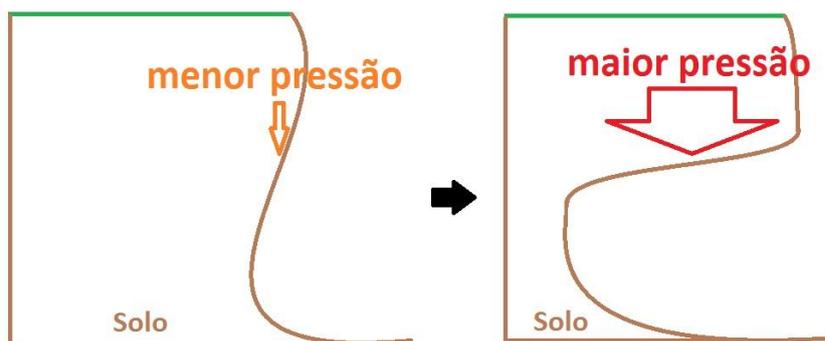


FIGURA 63. Representação esquemática da pressão sobre a massa de solo na alcova de regressão (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Outra explicação para pressão hidrostática indica que esta é “o peso da água contido nos vazios, ou poros do solo”, que gera a denominada poro-pressão (DEC, sem ano). Ou em outras palavras, a pressão hidrostática “é a pressão exercida pelo peso de uma coluna fluida (líquida e/ou gases) em equilíbrio ([www.colegioweb.com.br/fisica/o-que-e-hidrostatica.html](http://www.colegioweb.com.br/fisica/o-que-e-hidrostatica.html), acessado em 10 de dezembro de 2012).

Ou seja, é possível dizer que a pressão hidrostática depende, entre outros fatores, da força gravitacional independentemente do formato e do tamanho do recipiente, no caso, o solo. Portanto, com a infiltração das águas das chuvas no solo, a sua saturação, a pressão hidrostática exercida em conjunto com a força da gravidade, a massa de solo, de tempos em tempos, não resiste e solapa sobre a alcova de regressão, em diferentes proporções (Figura 64).



FIGURA 64. Material solapado na área da alcova de regressão, registro de janeiro de 2012 (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Esta hipótese somada aos demais subprocessos citados anteriormente, são tidos como os principais responsáveis pela retirada e solapamento dos materiais de solo na cabeceira da voçoroca, considerando os resultados obtidos através do monitoramento em campo.

Outro bom exemplo da ação da água, das pressões que sua percolação e secagem trazem ao solo, e a consequente ruptura de tensão, é a exposição do pino CE 1.1, registrada no monitoramento de novembro de 2011. Nos meses de outubro (sem monitoramento) e novembro a pluviosidade, segundo os dados da ANA já apresentados (Figura 56), foi de 177,3 mm e 144,7 mm, respectivamente. Neste período, entre o monitoramento de setembro e de novembro (Figura 65), o pino foi exposto em 7,7 cm, sem que tenha estado exposto anteriormente. Notam-se, na figura 65, a presença de rachaduras que já indicavam a propensão desta parte ao solapamento, que veio a ocorrer após cinco meses da instalação, coincidindo com o período de elevação da pluviosidade na região.

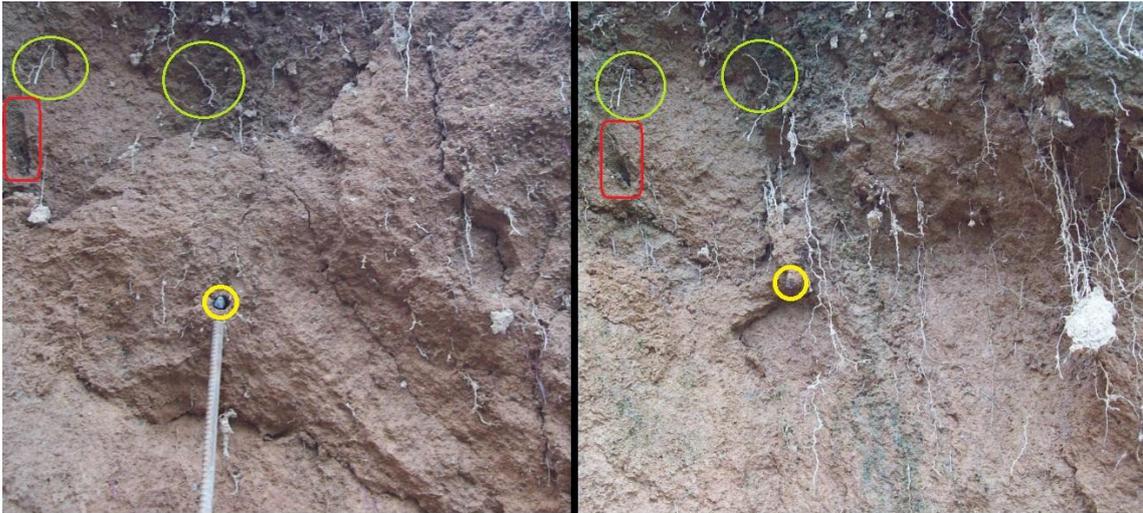


FIGURA 65. Pino CE 1.1 (círculo menor) nos monitoramento de setembro e novembro de 2011. Os três elementos no canto superior esquerdo de cada foto destacam a mudança ocorrida, com a queda do bloco de solo que envolvia os primeiros 7,7 cm do pino (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

De volta à tabela 5, nota-se que os pinos PE 3.1 e 3.2 dão dois interessantes exemplos, ambos registrados em novembro de 2011, sobre seus recobrimentos, que puderam ser verificados em diferentes áreas da voçoroca, além das tão discutidas situações ocorridas na área CE da feição. O primeiro pino da 3ª coluna da PE, área próxima à CE, teve cobertos seu 0,5 cm anteriormente exposto devido à lavagem das partículas de solo na parede durante evento(s) chuvoso(s), como é possível notar na comparação da figura 66.



FIGURA 66. Pino PE 3.1 instalado com 0,5 cm de exposição, em maio de 2011 (a); e totalmente coberto por partículas retrabalhadas de solo, em novembro de 2011 (b) (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Já o pino PE 3.2, como pode ser entendido na figura 67, foi totalmente coberto por partículas friáveis ou mesmo soltas de solo, durante o mesmo monitoramento.



FIGURA 67. Pino PE 3.2 (a) em maio de 2011 e (b) em novembro de 2011, coberto por partículas friáveis ou soltas (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Os resultados da área denominada “Patamar” (PAT) merecem algumas considerações. De acordo com a tabela 5, vê-se que o pino PAT 3.1 teve um significativo resultado de avanço de exposição entre os meses de julho e agosto, períodos secos, que registraram, respectivamente, 27,4 mm e 47,4 mm de chuva, com máximas pouco superiores a 12 e 13 mm (Figura 56). Essa exposição passou de 1,6 cm, em julho, para 6,0 cm, no monitoramento de agosto de 2011 (Figura 68). Há para isso uma hipótese científica, de que tenha ocorrido o solapamento de solo por rupturas de tensão, devido principalmente à maior secura do ambiente, constatado inclusive pelo aspecto bastante seco da vegetação (Figura 69a) e, também, do solo (Figura 69b). Há, também, uma hipótese do caráter “sabedoria popular”, resultado de comunicação direta com o responsável pela fazenda, Sr. Carlos Alberto (Carlinhos), ao afirmar que “o gabo coça a cabeça” em barrancos como o que se chamou de patamar.



FIGURA 68. Pino PAT 3.1 registrou 6,0 cm de exposição em agosto (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).



FIGURA 69. Agosto de 2011 surpreendeu pelo aspecto seco em campo (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

Ao final do período de monitoramento, foram registrados sete pinos retirados das paredes com o solapamento do material de solo ao qual estavam afixados (Figura 70). Lembrar que cada pino possui 40 cm de comprimento, permite traçar estimativas da perda de solo através da erosão, que serão discutidas, no próximo item, abordando os dois monitoramentos realizados.



FIGURA 70. Pinos CE 2.2 (destacado de branco) e CE 3.2 (destacado de vermelho) removidos junto ao solapamento do solo; registro de abril de 2012 ( Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

### 6.2.1. Quantificações das perdas de solo

A distribuição espacial dos pinos de erosão nas paredes da voçoroca, através da adoção das regras gerais de instalação, com medidas constantes e conhecidas, permitiu o cálculo de taxas estimadas de perda de solo pela erosão hídrica. Possíveis, de acordo com a progressiva exposição dos pinos ou sua remoção nas áreas monitoradas da feição, e a utilização de conhecimentos básicos de física e cálculos matemáticos de geometria.

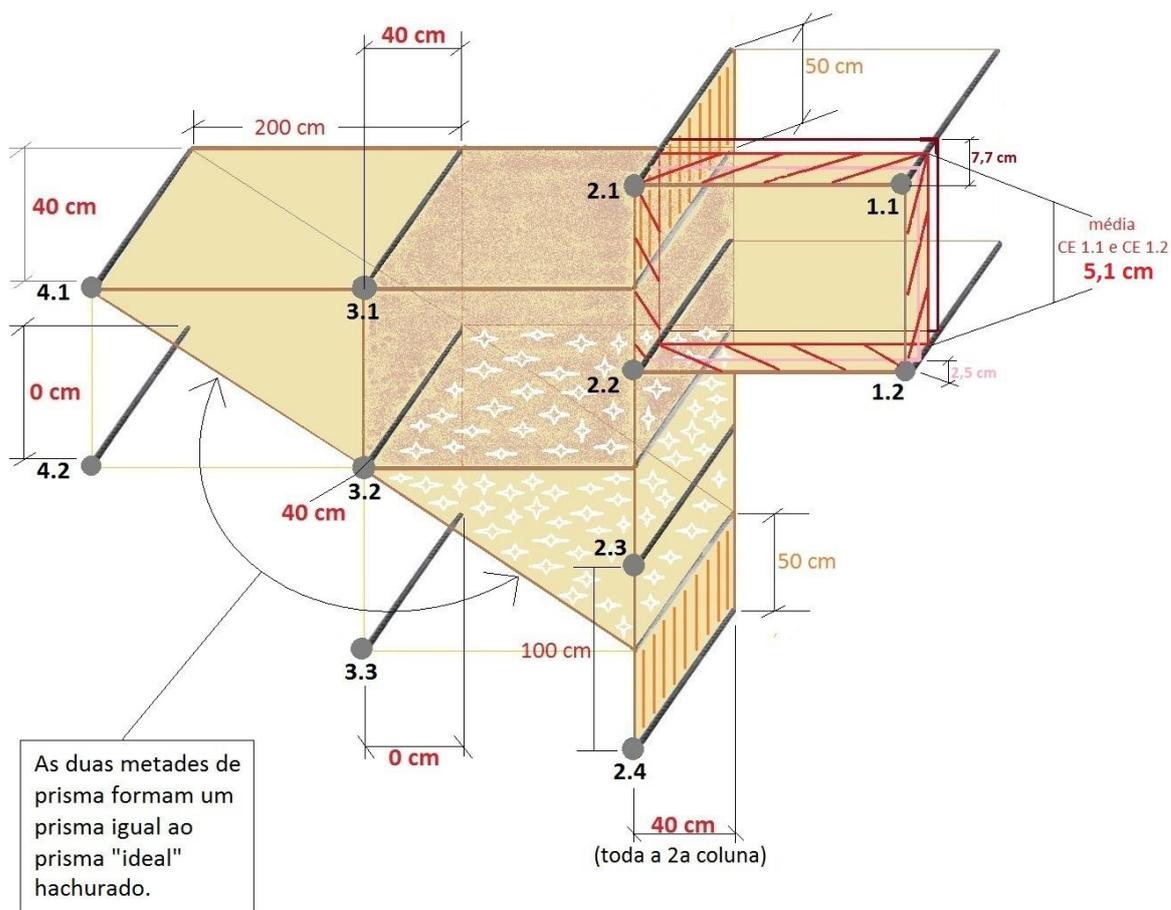
Os resultados obtidos pelos cálculos e raciocínios empregados são estimativas do mínimo de perda ocorrido durante o período de monitoramento. Significa que a erosão ocorrida foi maior, mas não pode ter sido mensurada com maior detalhe. Fato devido a possíveis limitações técnicas, como uma melhor quantidade ou distribuição dos pinos, ou mesmo limitações impostas pela dinâmica natural do meio físico, como a dificuldade de reprodução das irregularidades ou assimetrias das formas para fins de cálculos, por exemplo.

Esses resultados referem-se apenas ao nicho de pinos da Cabeceira Esquerda (CE), uma vez que os resultados realmente expressivos foram registrados nessa parte da feição, em ambos os tipos de monitoramento. Inclusive por isso, a área mais ativa da voçoroca é a ideal para a melhor visualização do método e sua compreensão.

Para ter esta melhor compreensão, não somente do método, mas também da discussão dos resultados, é preciso fazer uma visualização tridimensional da área analisada, conforme explicado na metodologia (capítulo 5). Foi preciso então, para se chegar aos cálculos e conhecimentos necessários para a quantificação, em termos de volume de solo erodido, que os dados do monitoramento com pinos de erosão permitem, transpor para o papel o desenho esquemático da distribuição dos pinos na CE. Formou-se disto, figuras geométricas de medidas conhecidas de largura, profundidade e altura, para que fosse possível iniciar o processo de análise e interpretação. Este desenho é reproduzido na figura 71 adiante. Uma informação pertinente na observação desta figura é a de que na CE houve uma exceção à regra de instalação alternada da distância do 1º pino de cada coluna para o topo do solo. Devido à altura no interior da voçoroca à época da instalação dos pinos, a CE tem a 1ª e 2ª colunas iniciadas a 0,5 m do topo do solo e a 3ª e 4ª colunas iniciadas a 1,0 m do topo do solo.

Tem-se, então, a possibilidade de formar diversas imagens prismáticas que representam diferentes volumes de solo erodido das paredes da voçoroca. As regras gerais estipularam a distância entre colunas em 200 cm (2 m) e a distância entre pinos em 100 cm (1 m), e cada pino tem 40 cm de comprimento. Se quatro pinos imediatamente vizinhos em coluna e linha, que podem ser correlacionados de modo a formar um prisma retangular, apresentam 40 cm de exposição, conseqüentemente se removidos, pode-se considerar que esta imagem representa, então, uma espécie de “prisma erodido ideal” ou “prisma ideal” de solo erodido.

Hachurado em marrom claro, na figura 71, é representado o “prisma erodido ideal” calculado. Ele é formado pelas 2ª e 3ª colunas da CE, que tiveram seis de seus sete pinos removidos. Os pinos que correspondem a esse prisma são os pinos 3.1 e 3.2, e as projeções dos pinos da 2ª coluna (todos os pinos removidos), que são na prática, as médias entre os pinos 2.1 e 2.2 e entre os pinos 2.2 e 2.3, ou seja, ambas correspondem a 40 cm.



LEGENDA

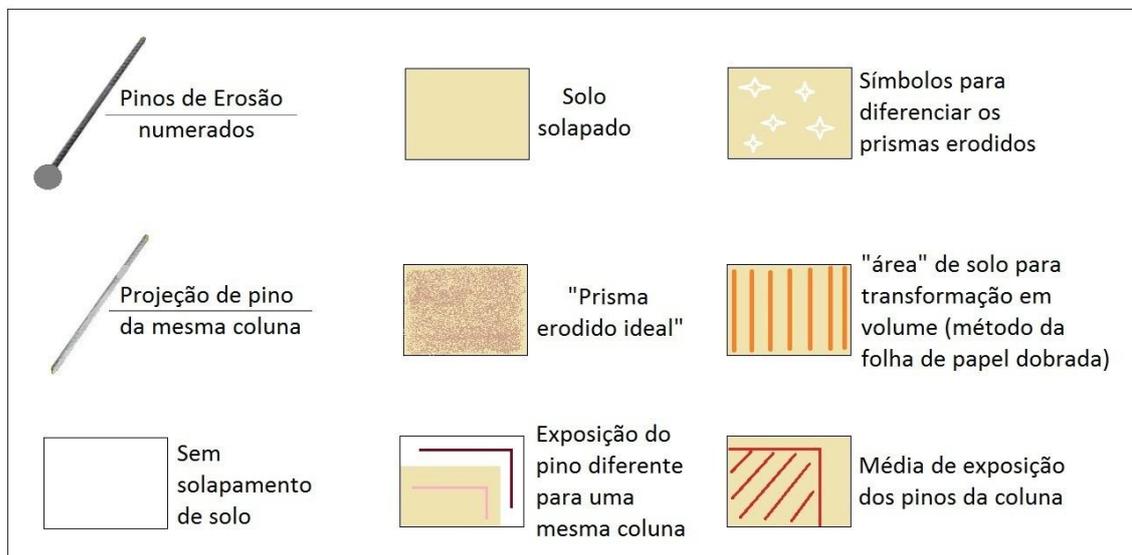


FIGURA 71. Desenho esquemático da distribuição dos pinos da CE, formando prismas para a visualização adequada aos raciocínios necessários para a aplicação dos cálculos das taxas estimativas da perda mínima de solo na área ativa da voçoroca monitorada (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Para este “prisma erodido ideal”, pela aplicação da fórmula  $V_{pe} = x \cdot 100 \cdot 200$ , sendo  $x$  igual a 40 cm, referente à total remoção dos quatro pinos, chega-se ao valor “ideal” máximo de perda volumétrica de solo. Em outras palavras, para cada prisma formado pelos pinos de erosão, o máximo em volume de solo erodido calculado equivale a  $0,8 \text{ m}^3$ . Ressalta-se que este valor já está convertido de  $\text{cm}^3$  para  $\text{m}^3$ , pois o resultado bruto direto da aplicação da fórmula será sempre em  $\text{cm}^3$ .

O pino CE 3.2 e as duas projeções das médias com o pino CE 2.3 apresentaram 40 cm de exposição dos pinos, ao passo que o pino CE 3.3 não foi exposto, ficando totalmente coberto, ou seja, com zero (0) cm de exposição. Assim, considerou-se formar um prisma, em formato triangular ou piramidal, traçando um plano reto entre o pino CE 3.2 e a projeção da média do pino CE 2.3 com o 2.4. Este ato é uma simplificação para os cálculos, devido à limitação imposta por não ser possível saber até que ponto o solo foi erodido no entorno mais próximo ao pino CE 3.3, e considerando também que três dos quatro pinos que formam o prisma foram removidos (40 cm). Na figura 71 anterior, esse prisma está identificado por símbolos brancos.

O mesmo ocorre com o prisma formado pelos pinos CE 4.1 e 4.2 e CE 3.1 e 3.2. Os dois primeiros pinos da 3ª coluna, como já citado, foram removidos, correspondendo à medida de 40 cm, assim como o pino CE 4.1. Já o pino CE 4.2, tal qual o CE 3.3, encerrou o monitoramento totalmente coberto.

É possível perceber, pela observação da figura 71, que cada um desses dois prismas triangulares ou piramidais, é a representação de meio prisma “ideal”. Significa que ao serem unidos esses dois prismas formam o equivalente a um único prisma, no caso um novo “prisma erodido ideal”. Desse modo, além de se evitar a necessidade de busca por outras fórmulas, ou a realização de cálculos que pudessem ser um pouco mais complexos, poupa-se tempo já sabendo quanto é o volume máximo de erosão do prisma “ideal”. Logo, a junção dos dois prismas equivale a  $0,8 \text{ m}^3$ , valor representativo do máximo em volume de solo erodido calculado.

Para formar um prisma dos pinos da 1ª e 2ª colunas, foi preciso utilizar um valor médio (caso único) entre os pinos CE 1.1 e 1.2, que apresentaram medições distintas de exposição ao final do período de monitoramento, 7,7 e 2,5 cm, respectivamente. O mesmo

procedimento não foi necessário para a 2ª coluna, por não apresentar diferença entre os pinos 2.1 e 2.2 para a formação do prisma. Sendo assim, a média entre a exposição dos pinos CE 1.1 e 1.2 resultou em 5,1 cm de exposição, valor para ser utilizado em substituição a  $x$  na fórmula de  $V_{pe} = x \cdot 100 \cdot 200$ . O valor resultante deste cálculo foi de  $0,1 \text{ m}^3$ .

Ao considerar que a exposição dos pinos CE 1.1 e 1.2 não chegou a 10 cm enquanto os pinos CE 2.1 e 2.2 foram removidos, o que corresponde a 40 cm, é possível inferir que a erosão nesta parte deva ter sido maior do que o que foi apresentado pela aplicação da fórmula sobre os valores da 1ª coluna, independente da utilização de valores médios. Contudo, esta hipótese de haver maior erosão do que foi possível mensurar e expor quantitativamente pelos cálculos constitui exatamente um exemplo de limitação a que se sujeita a análise.

Para finalizar a análise das figuras geométricas reproduzidas na figura 71 anterior, é o momento de relembrar o exemplo da folha de papel dobrada, mencionado no capítulo 5. Esta figura indica em sua legenda as áreas tracejadas em laranja como “áreas” de solo para transformação em volume. A aplicação do método da folha de papel dobrada a estas duas áreas, tem como resultado a representação exposta pela figura 72 abaixo.

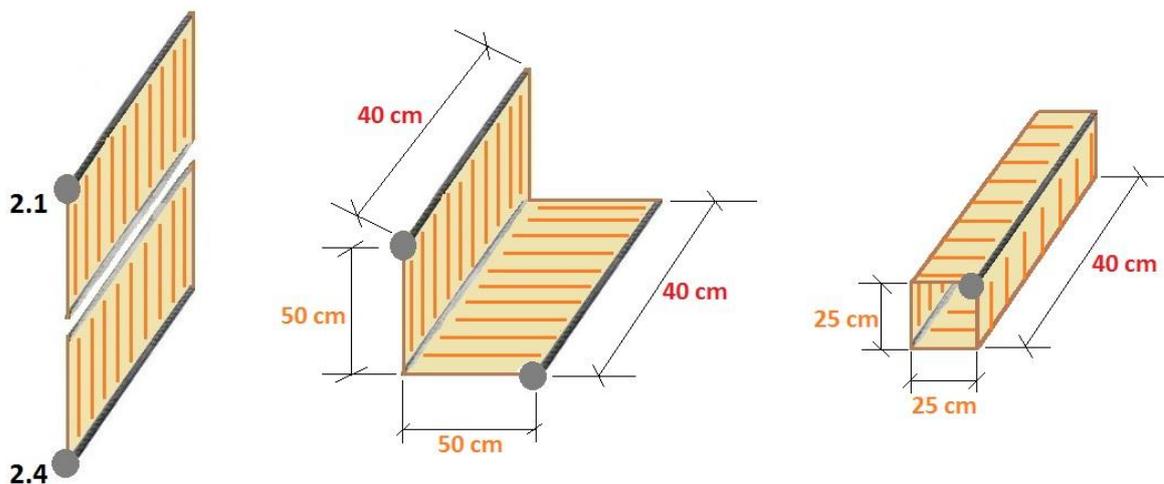


FIGURA 72. Desenho esquemático do raciocínio para transformar uma medida de área em medida de volume, no caso dos solos, lembrando a coleta de amostras volumétricas ou indeformadas de solos (Hugo Alves S.

Loureiro, 2012).

A implicação que essa ideia traz é a adaptação da fórmula  $V_{pe}$ , visto que os valores conhecidos de largura e altura são modificados exclusivamente para este caso. O  $x$  continua sendo a exposição do pino, que pode sempre variar de pino para pino, e neste caso equivale a 40 cm, pois é o valor correspondente aos pinos CE 2.1 e 2.4, ambos removidos. A conta passa, então, a ser  $V_{pe} = 40 \cdot 25 \cdot 25$ , que resulta em  $0,025 \text{ m}^3$  ou, aproximando-se o valor,  $0,03 \text{ m}^3$  de volume de solo erodido para as partes das áreas dos pinos CE 2.1 e 2.4 que não possuem correlação com outros pinos para a formação de prismas. A tabela 6 a seguir reúne esses valores de  $V_{pe}$  encontrados para cada “prisma erodido”.

TABELA 6. Volume de solo erodido calculado de acordo com os prismas formados pelo ordenamento dos pinos da Cabeceira Esquerda da voçoroca monitorada.

Prisma Erodido	Volume do prisma erodido ( $V_{pe}$ )	
	$\text{cm}^3$	$\text{m}^3$
"Ideal"	800.000	0,8
CE 3.2 - 2.3	400.000	0,4
CE 4.1 - 3.2 - 3.1	400.000	0,4
Média CE 1.1 - 1.2	102.000	0,1
CE 2.1 - 2.4 (folha de papel)	25.000	0,025 ~ 0,03
Total	1.727.000	1,727 ~ 1,73

De posse destes dados em unidades de medidas cúbicas (volume), passou-se a etapa de obtenção de seus equivalentes em unidades de massa de solo erodido. Para se chegar a tais resultados foi necessário utilizar conhecimentos básicos de física, que permitiram correlacionar as duas unidades de medida diferentes. Isso só é possível conhecendo-se a densidade do material em análise, neste caso, a densidade aparente, pois a fórmula aplicada para tal correlação diz que a “densidade é igual a sua massa sobre o seu volume”, quer dizer, a densidade de um material é o valor resultante da divisão de sua massa pelo seu volume ( $D = m/V$ ).

Era preciso, pois, saber a densidade do solo da voçoroca monitorada. Para isso, foi feita uma média aritmética simples de todas as 19 amostras volumétricas de solo coletadas

(entre superficiais e subsuperficiais) para a voçoroca monitorada. Logo, a média da densidade aparente da voçoroca é de  $1,44 \text{ g/cm}^3$  (no próximo subitem deste capítulo 6 será apresentada e discutida a tabela com os 19 resultados de densidade aparente das amostras da voçoroca). Uma vez conhecidos os valores da densidade aparente da voçoroca ( $\text{g/cm}^3$ ) e dos volumes de solo erodido por prisma ( $\text{m}^3$ ), resta conhecer o valor das massas de solo erodidas (t). Neste intuito, convencionou-se utilizar a fórmula como  $m = D \cdot V$  para facilitar os cálculos, que tem seus resultados apresentados na tabela 7.

TABELA 7. Massa de solo erodida das paredes da voçoroca na área da Cabeceira Esquerda. (\*) Presença de alguns valores aproximados em kg e t.

Prisma Erodido	Massa (m)*		
	g	kg	t
"Ideal"	1.152.000	1.152	1,15
CE 3.2 - 2.3	576.000	576	0,576
CE 4.1 - 3.2 - 3.1	576.000	576	0,576
Média CE 1.1 - 1.2	146.880	147	0,15
CE 2.1 - 2.4 (folha de papel)	36.000	36	0,04
Total	2.486.880	2.487	<b>2,49</b>

Assim, a taxa estimada da massa de material de solo que se perdeu pelo solapamento nas paredes, por ação da erosão na Cabeceira Esquerda, foi de 2,49 toneladas (Tabela 7). O monitoramento com pinos de erosão durou um ano (maio de 2011 a maio de 2012), no entanto os resultados da exposição dos pinos que levam a esse valor em toneladas concentraram-se nos últimos sete meses do monitoramento, a partir de novembro de 2011, já mencionado início do período com maiores índices pluviométricos, perdurado até, ao menos, o último mês monitorado. Destaca-se, novamente, que 2,49 t de solo erodido é uma taxa mínima garantida pelos cálculos, mas que a taxa real é algo maior, de modo que não é possível sua mensuração precisa.

Muito importante ressaltar, nesta dissertação, que todo este material de solo erodido das paredes é considerado como perdido, porque a consequência natural é o seu

transporte gradativo pelas águas das chuvas para a base da encosta e os canais fluviais, através de uma triagem natural que carrega primeiramente as partículas mais finas do solo (Figuras 73 e 74). Excetua-se esta afirmação caso alguma intervenção seja realizada de modo a utilizar, na própria voçoroca, esse material desprendido das paredes e depositado em sua base, como por exemplo, alguma medida de recuperação, ou reabilitação, da feição erosiva, ou contenção do avanço da erosão. É pertinente citar, também, que nesta dissertação não se dispôs de meios para calcular o tempo que esse solo erodido, depositado na base da feição, pode levar para sair de dentro da voçoroca.



FIGURA 73. Material de solo erodido das paredes e das bordas é gradativamente transportado pelos fortes fluxos de água das chuvas, principalmente aqueles vindos da cabeceira para dentro da voçoroca (a); e as partículas finas depositam-se por cima das mais grosseiras quando a suspensão do solo seca, sendo mais fáceis de serem carregadas pelos fluxos em novos eventos pluviométricos (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).



FIGURA 74. Intensos fluxos de escoamento superficial, com abundância de sedimentos transportados, durante grande evento chuvoso em março de 2011, com registro de 376,1 mm de pluviosidade total (Hugo Alves S. Loureiro, 2011). Fonte do dado: Agência Nacional de Águas (ANA).

A voçoroca monitorada possui, aproximadamente, 35m de comprimento e 7 m de largura. Isso significa que a feição erosiva mede 245 m<sup>2</sup> de área. Conforme descrito na metodologia (capítulo 5), 10.000 m<sup>2</sup> equivalem a um hectare (ha), portanto, os 245 m<sup>2</sup> da área da voçoroca representam 0,0245 ha da área de estudo, ou considerando uma aproximação desse valor, seriam 0,025 ha.

Utilizando-se do arredondamento do valor total da massa de solo erodido (2,49 t), calculado com base nos prismas visualizados pela distribuição dos pinos na CE, pode-se dizer que a voçoroca monitorada, em sua cabeceira esquerda, área de maior relevância e atividade, perdeu 2,5 toneladas de solo em 0,025 hectares.

Para tornar este dado mais compreensível e significativo, deve-se extrapolar tais valores para a medida de 1 ha (que torna necessária apenas a aplicação de regra de três

simples). Deste cálculo simples, chega-se a uma **taxa de erosão de pouco mais de 100 t·ha<sup>-1</sup>**. Isso significaria que se fosse considerada uma taxa padrão de 2,5 t de solo erodidas para cada 0,025 ha de terras da área de estudo, haveria para um único hectare de terra a perda de aproximadamente 102 toneladas de solo pelos processos erosivos acelerados. Esse valor pode ser considerado extremamente elevado, tendo em vista que o Limite de Tolerância de Perda de Solo é de 2 toneladas por hectare, por ano (**t·ha<sup>-1</sup>·ano**), ou seja, 50 vezes maior do que o limite tolerado (MORGAN, 2005).

Essas taxas, em **t·ha<sup>-1</sup>**, referem-se apenas à voçoroca monitorada, que é a de menores dimensões nos limites da fazenda da área de estudos, apesar do maior tempo de atividade, em comparação com as demais voçorocas da fazenda da área de estudo. Seu ritmo de crescimento é notoriamente menor, como pode ser percebido nas figuras 75, 76 e 77 adiante, que mostram a sequência temporal de evolução das feições. São imagens obtidas através do *software* Google Earth, muito úteis aos trabalhos de geografia, apesar de algumas imprecisões cartográficas.

As voçorocas maiores, como se vê nestas imagens, com certeza possuem taxas de erosão elevadíssimas, haja vista o quanto aumentaram, e permanecem avançando, suas dimensões em curtos espaços de tempo, de poucos anos, além do surgimento de novas feições erosivas próximas, que passam a expectativa de vir a ter comportamento semelhante em sua evolução.

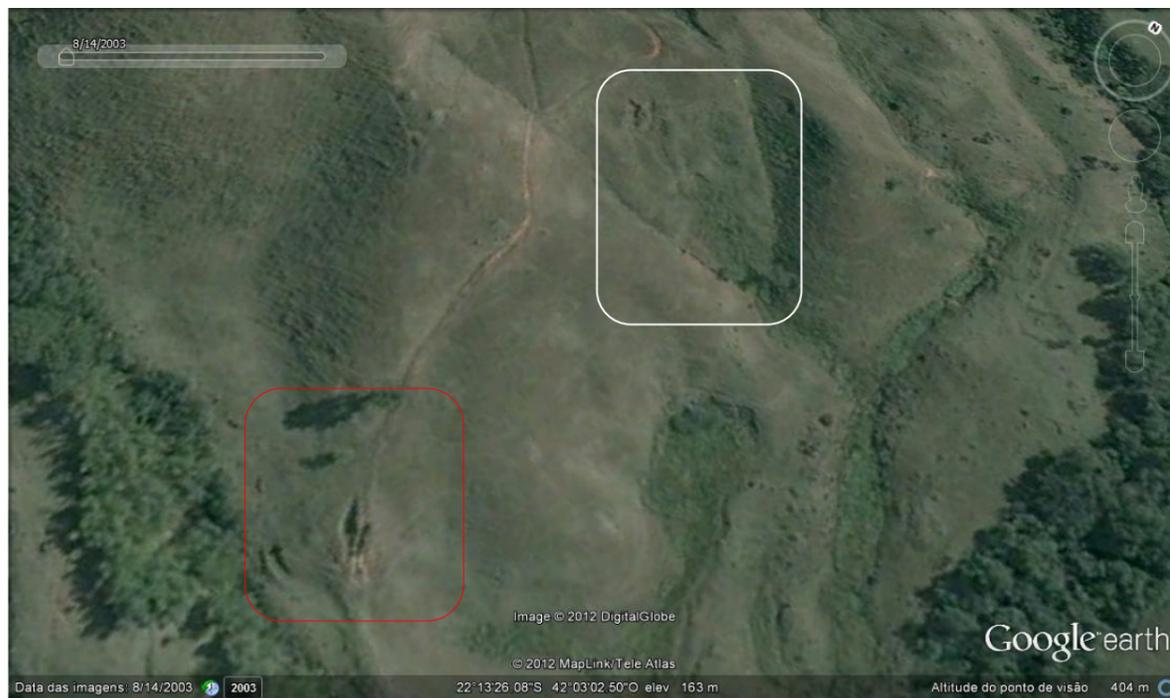


FIGURA 75. Imagem do *Google Earth* de 14 de agosto de 2003. Em vermelho a área da voçoroca monitorada. Em branco a área dos dois grandes voçorocamentos da fazenda. Nota-se que nos locais onde se encontram as três voçorocas já há incisões no solo, sendo a maior delas referente à voçoroca monitorada.

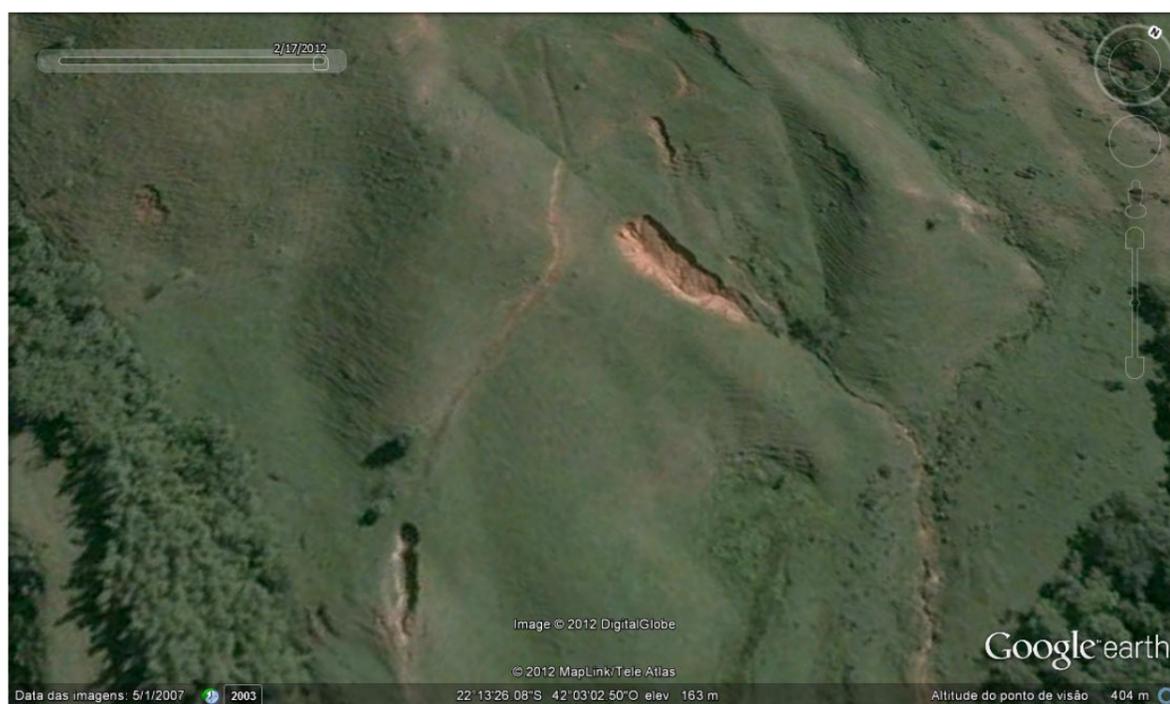


FIGURA 76. Imagem do *Google Earth* de 1º de maio de 2007. Em um período de menos de quatro anos, a evolução da maior voçoroca já aparentava ser bastante acelerada. A voçoroca monitorada também apresentou boa evolução.



FIGURA 77. Imagem do *Google Earth* de 29 de junho de 2011, mostrando a configuração mais atualizada da evolução das feições. Em mais quatro anos, o avanço das duas voçorocas maiores é surpreendente. É perceptível um avanço também da voçoroca monitorada, porém, mais modesto. Destacados em amarelo, um deslizamento que poderá originar uma voçoroca (à esquerda) e o início de uma nova voçoroca, atualmente em evolução (à direita).

Até aqui, os dois tipos de monitoramentos realizados e discutidos nesta dissertação foram abordados em separado, com algumas referências entre um e outro. Isso ocorreu porque não é possível estabelecer uma correlação direta entre os monitoramentos dos pinos e das estacas, nesta pesquisa, uma vez que a instalação, tanto dos pinos quanto das estacas, não seguiu nenhum padrão comum entre eles que permitisse quaisquer correlações diretas.

Contudo, é possível e imprescindível tecer, neste momento, uma correlação indireta, associando de modo aproximado os resultados dos pinos da CE e de algumas estacas localizadas próximas da cabeceira, mais por sua parte esquerda. Pois somente assim será possível compreender a hipótese afirmada no início do subitem 6.2, contrária à simplificação utilizada por Vandekerckhove *et al.* (2001) em seus estudos.

Para correlacionar indiretamente o monitoramento do recuo das bordas e o solapamento nas paredes da voçoroca, considerou-se, em primeiro lugar, o período de interseção entre os dois monitoramentos. É analisando os resultados de 10 meses de monitoramento, entre maio de 2011 – instalação dos pinos – e março de 2012 – encerramento do monitoramento das bordas pelo estaqueamento – que se justificará a ideia de que o recuo das bordas aconteceu em menor proporção do que o das paredes da feição.

As estacas que melhor se aproximam da dinâmica erosiva da cabeceira esquerda são três: as estacas 4A e 4B, e a estaca 5A. Ou seja, é como se as três funcionassem como representantes indiretas da Cabeceira Esquerda. Os pinos considerados para efeito de comparação com as bordas também não são todos os da CE. São os mais próximos das bordas ou que não tenham sua localização ligada mais à alcova de regressão do que com o pacote de solo diretamente ligado às bordas. Quer dizer que os pinos CE 2.3 e 2.4, CE 3.3 e CE 4.2 não serão considerados neste momento. A 1ª coluna de pinos da CE também não será utilizada, pois a aproximação entre as colunas de pinos e as estacas no topo do solo segue mais ou menos esta distribuição: a estaca 4A encontra-se mais próxima da 4ª coluna de pinos da CE; a estaca 4B se aproxima mais da 3ª coluna; e a estaca 5A pode ser associada mais aproximadamente da 2ª coluna da CE.

Dentro do período de 10 meses em que os monitoramentos ocorreram concomitantemente, nos primeiros quatro, de maio a setembro de 2011, não houve recuos de bordas das estacas 4A, 4B e 5A, nem recuos nas paredes ao redor dos pinos CE 2.1 e 2.2,

CE 3.1 e 3.2 e CE 4.1. Lembra-se, novamente que o mês de outubro do mesmo ano pode ter registrado recuos para os monitoramentos do mês seguinte, já que não pode ser realizado o trabalho de campo à época.

Foi elaborada a tabela 8 a seguir para facilitar a discussão. Os valores apresentados são quantos centímetros as bordas recuaram (monitoramento com estacas) e os pinos foram expostos (ou removidos). Logo, esses valores são tratados apenas de modo linear.

TABELA 8. Erosão mensurada linearmente nos monitoramentos das estacas e dos pinos. “x” = não houve recuo nas bordas ou solapamento nas paredes.

Aproximações		Mensuração da Erosão (cm)					Total
		nov/11	dez/11	jan/12	fev/12	mar/12	
2a Col.	2.1	x	x	40			40
	2.2	x	x	40			40
estaca 5A		32	x	39	x	x	71
3a Col.	3.1	x	x	22	x	x	22
	3.2	x	x	40			40
estaca 4B		14	x	x	x	x	14
4a Col.	4.1	x	x	x	x	40	40
estaca 4A		x	x	x	x	36	36

O total de 71 cm de recuo da borda na medição da estaca 5A poderia significar que o recuo da borda foi maior que a exposição dos pinos, que são limitados a 40 cm. Assim, indicaria uma contraposição à hipótese trabalhada nesta dissertação, de que pode ser retirada maior quantidade de material das paredes sem que as bordas necessariamente recuem, e que esta quantidade é importante para a análise da dinâmica da feição.

No entanto, existem duas explicações para constatar que, ao menos neste período entre novembro de 2011 e março de 2012, o recuo da borda da estaca 5A foi, sim, menor que o recuo das paredes cercantes dos pinos CE 2.1 e 2.2. Primeiramente, ocorre com frequência ao longo de toda a feição, que o sistema radicular ou mesmo características da estrutura do solo mantenham suspensos pedaços de solo nas bordas sem que haja maior sustentação abaixo. Essa hipótese, então, sugere que parte dos 71 cm recusados da borda já

não apresentava solo logo abaixo servindo de sustentação. A segunda explicação aparenta ser mais adequada. Ambos os pinos 2.1 e 2.2 foram completamente removidos, com o solapamento de, pelo menos, 40 cm de solo. Ou seja, por um lado, a erosão que causou a perda destes dois pinos pode ter removido mais solo que, por sua vez, não pode ser mensurado pela queda completa do pino. Por outro lado, nos meses de fevereiro e março de 2012 a parede, neste ponto, continuou apresentando sinais de solapamento. O detalhe importante é que a borda recuou primeiro que as paredes, que permaneceram em modificação, enquanto a borda estabilizou temporariamente. Vale notar que a borda recuou em dois meses, dentro dos 10 de monitoramento conjunto. Já aos pinos 2.1 e 2.2 bastaram um mês para serem completamente removidos, em um período que completou o máximo de oito meses de monitoramento (não completou 10 por não incluir fevereiro e março de 2012).

Essa correlação indireta fica mais fácil de ser visualizada nos resultados da 3ª coluna e da estaca 4B. Os pinos 3.1 e 3.2 mostram que, mesmo em se tratando dos dados de forma apenas linear, a parede erodiu mais que a borda monitorada pela estaca 4B. Os pinos foram expostos em janeiro de 2012 em 22 e 40 cm, enquanto a borda de 4B recuou apenas 14 cm.

Já o pino CE 4.1 e a borda monitorada na estaca 4A foram relativamente iguais, linearmente falando. A borda recuou 36 cm e o pino foi removido (Figura 78).



FIGURA 78. Destacada em vermelho a área por onde recuou a borda e solapou solo da parede da voçoroca monitorada, em março de 2012 (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Portanto, considerada a correlação aproximada entre os pinos e as estacas, a hipótese de maior erosão nas paredes pode ser sustentada, corroborada ainda pelos resultados dos cálculos de massa e volume. Fica explícita, também, a importância de conciliar os métodos para obter resultados mais seguros e precisos. Ressalta-se que a dinâmica de uma feição erosiva é bem variada, e por isso é importante conhecê-la o máximo possível, para auxiliar na tomada de decisões quanto a medidas de contenção, recuperação ou reabilitação de áreas degradadas.

Desse modo, é possível afirmar que os dois métodos de monitoramento – estaqueamento e pinos de erosão nas paredes – se complementam, porque pode ocorrer solapamento no interior da voçoroca, sem que haja o recuo das bordas.

### 6.3. ERODIBILIDADE DOS SOLOS – PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

Para traçar um diagnóstico da degradação dos solos na área de estudos foram realizadas análises de propriedades físicas e químicas dos solos da voçoroca monitorada e das encostas de seu entorno. A partir disso, a erodibilidade dos solos pode ser verificada, indicando como suas características se relacionam com a paisagem encontrada e com o monitoramento realizado.

Sobre a granulometria e textura das amostras, segundo os resultados apresentados na tabela 9 (na página 134), em termos gerais, notam-se algumas tendências ao considerar a profundidade das amostras coletadas nas paredes e base da voçoroca.

Com relação à granulometria, apesar de algumas variações, as principais tendências são o aumento dos teores de areia e silte e a diminuição dos teores de argila à medida que aumenta a profundidade das amostras coletadas nas paredes da feição erosiva. Quanto à textura destes solos, há a predominância da classe franco arenosa, reconhecidamente uma das classes texturais de maior propensão à erosão (FULLEN e CATT, 2004; LIMA, L. 2008; LOUREIRO, 2010; SMETS *et al.*, 2011), que representa 22 das 45 amostras, correspondentes a quase 50% deste total. Sua ocorrência se deu, em grande parte, em posições mais subsuperficiais das paredes da voçoroca, o que vem a ser um dado importante na compreensão de sua dinâmica e evolução.

Nas regiões da cabeceira (CE e CD) e da lateral direita (LD), a classe franco arenosa é identificada a partir dos 2 metros de profundidade em diante; na lateral esquerda (LE) ocorre a partir de 1,5 metro; nas laterais próximas da saída (LES e LDS) foi identificada desde 1 metro de profundidade; e nas saídas esquerda e direita (SE e SD) se configura, respectivamente, desde 0,5 metro e desde a superfície, no intervalo 0 a 0,5 metro.

Na CE e na LD é justamente na profundidade de 2,0 – 2,5 m que a cor do solo se torna esbranquiçada e a classificação textural indica solos franco arenosos. Os resultados da análise granulométrica da CE ganham destaque pela correlação com os resultados dos monitoramentos discutidos no item anterior. Ali foi dito que a alcova de regressão era constantemente modificada devido à solubilidade do material, onde há a formação e destruição dos filetes de escoamento superficial. Ou seja, a sua alta erodibilidade, notada

com os monitoramentos, é comprovada pela sua granulometria. Em pesquisa no alto e médio curso da bacia hidrográfica do rio Macaé, Lima L. (2008) afirma que teores de silte em torno de 350 g/Kg sejam inexpressivos, mas que podem conferir média e alta suscetibilidade à erosão quando combinados com significativos teores de areia. Na tabela 9 há uma coluna com o somatório dos teores de areia fina e silte (LOUREIRO, 2010; LOUREIRO *et al.*, 2011), tendo em vista que são as duas frações do solo de mais fácil remoção e transporte (MORGAN, 2005; GUERRA, 2005a e 2007), cujos valores vão de 410 a 518 g/Kg, que indicam a maior propensão desses solos a erodir. Além disso, os teores de argila são muito baixos nessa classe franco arenosa, variando de 38 a 164 g/Kg (LIMA, L. 2008; GUERRA *et al.*, 2010; SMETS *et al.*, 2011). Neves (2011) ao mapear e diagnosticar a degradação na bacia hidrográfica do rio São Pedro, encontrou predominância de solos da classe franco arenosa nas áreas de pasto degradado, com forte presença de voçorocas ao longo de todo o médio curso da bacia, o que comprova a suscetibilidade erosiva da voçoroca monitorada, principalmente em sua parte mais ativa, a cabeceira esquerda. A lateral direita também apresenta elevadas somas dos teores de silte e de areia fina e muito baixos teores de argila, como indica a tabela 9, possuindo, também, alta suscetibilidade erosiva. Contudo, a erosão não tem avançado significativamente neste trecho em função de sua boa revegetação na maior parte deste pedaço da parede da voçoroca (Figura 79). A mesma estabilidade é verificada em LES e LDS.

Em SE e SD, apesar das somas dos teores de silte e areia fina apresentarem-se de elevada suscetibilidade à erosão, com variação entre 395 e 547 g/Kg da TFSA nessas amostras, tendem a ter reduzida erosão, devido a algumas características percebidas na figura 80, como crostas de vegetação ou escamas (OLIVEIRA, 2005), formadas pela acumulação de materiais do solo e pela presença de materiais mais grosseiros, constituindo um solo bastante duro. Estes podem ser os motivos para a amostra SE 0 – 0,5 m ter sido classificada como areia franca.



FIGURA 79. Lateral direita da voçoroca possui parte ativa, mas predomina a estabilidade conferida pela revegetação natural (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).



FIGURA 80. Saída esquerda da voçoroca apresenta saprolito e “escamas” (Hugo Alves S. Loureiro, 2011).

A classe textural mais frequente depois da franco arenosa é a franco argilo arenosa, que ocorreu 13 vezes, comumente nas primeiras profundidades. As somas dos teores de silte e areia fina apresentaram valores medianos, entre 287 e 443 g/Kg. Neste caso, os teores de silte são relativamente baixos e os teores de areia fina são altos. Para os teores de areia fina, de acordo com Guerra *et al.* (2010), 100 g/Kg e até menos, são considerados altos. Logo, todas as amostras da voçoroca (Tabela 9) e das encostas em seu entorno (Tabela 10) possuem altos teores de areia fina. Para os solos franco argilo arenosos da voçoroca os teores de argila são maiores, sem chegarem a ser altos teores, giram entre 194 e 328 g/Kg. Já o teor de areia fica equilibrado, varia de 448 a 555 g/Kg. Isto representa que a erodibilidade do material de solo mais superficial, desde zero a até 2 metros de profundidade, dependendo da região analisada da feição, é menor do que a das camadas subjacentes.

Ocorreu também a classe franco argilosa, para três amostras coletadas (CE 0,5-1,0 m; CD e LES 0-0,5 m), que representou praticamente todos os mais altos teores de argila (328 a 365 g/Kg) e apresentou os mais baixos teores de areia fina, variando de 84 a 102 g/Kg, que são valores considerados altos para esta fração. Ainda assim, somando-se os baixos teores de silte e os teores de areia total, é a classe textural de menor erodibilidade entre as observadas.

Entre a ocorrência das areias francas, as duas com maior teor de areia total e menor teor de silte são as amostras dos sedimentos, coletadas na base da voçoroca em cada lado da saída (SEC e SDC). Como já esperado, o teor de areia total é bastante elevado, pois se trata de material retrabalhado do interior da voçoroca, que chega até ali através dos fluxos superficiais durante as chuvas. A areia é a maior fração, e por isso, mais difícil de ser transportada do que o silte e a argila.

Elevados somatórios do teor de areia fina e silte (451 a 550 g/Kg) foram encontrados nos pontos CD 0,5-1,0 m, LE 0,5-1,0 m e 1,0-1,5 m. Classificados como solos francos, que embora apresentem frações mais ou menos regulares, mostram baixo teor de argila e alto teor de areia fina. O teor de silte varia bem, de 297, passando por 361 até 412 g/Kg.

TABELA 9. Resultados das análises granulométricas (método da pipeta) e classificação textural na voçoroca (LOUREIRO, 2012).

Amostras		Granulometria (g/Kg)						Classe Textural
Local	Profundidade (m)	Areia			Silte	Argila	Silte + Areia Fina	
		Grossa	Fina	TOTAL				
CE	0 - 0,5	388	116	504	171	325	287	franco argilo-arenosa
	0,5 - 1,0	305	84	389	246	365	330	franco argilosa
	1,0 - 1,5	359	158	517	285	198	443	franco argilo-arenosa
	1,5 - 2,0	408	105	513	245	242	350	franco argilo-arenosa
	2,0 - 2,5	454	134	588	311	101	445	franco arenosa
	2,5 - 3,0	487	172	659	238	103	410	franco arenosa
	3,0 - 3,5	432	174	606	303	91	477	franco arenosa
	3,5 - 4,0	400	156	556	362	82	518	franco arenosa
CD	0 - 0,5	331	99	430	242	328	341	franco argilosa
	0,5 - 1,0	328	154	482	297	221	451	franca
	1,0 - 1,5	405	142	547	259	194	401	franco argilo arenosa
	1,5 - 2,0	643	162	805	174	21	336	areia franca
	2,0 - 2,5	366	228	594	331	75	559	franco arenosa
LE	0 - 0,3	408	147	555	200	245	347	franco argiloso arenosa
	0,3 - 0,5	381	129	510	225	265	354	franco argiloso arenosa
	0,5 - 1,0	323	169	492	361	147	530	franca
	1,0 - 1,5	322	138	460	412	128	550	franca
	1,5 - 2,0	433	163	596	302	102	465	franco arenosa
	2,0 - 2,5	473	189	662	278	60	467	franco arenosa
	2,5 - 3,0	482	225	707	251	42	476	franco arenosa
	3,0 - 3,5	457	215	672	277	51	492	franco arenosa
LD	0 - 0,5	372	123	495	251	254	374	franco argilo arenosa
	0,5 - 1,0	379	105	484	210	306	315	franco argilo arenosa
	1,0 - 1,5	379	112	491	188	321	300	franco argilo arenosa
	1,5 - 2,0	346	128	474	198	328	326	franco argilo arenosa
	2,0 - 2,5	426	178	604	320	76	498	franco arenosa
	2,5 - 3,0	455	174	629	310	61	484	franco arenosa
	3,0 - 3,5	412	241	653	298	49	539	franco arenosa
LES	0 - 0,5	296	102	398	275	327	377	franco argilosa
	0,5 - 1,0	301	147	448	276	276	423	franco argilo arenosa
	1,0 - 1,5	346	212	558	278	164	490	franco arenosa
	1,5 - 2,0	360	227	587	267	146	494	franco arenosa
LDS	0 - 0,5	349	111	460	270	270	381	franco argiloso arenosa
	0,5 - 1,0	297	150	447	258	295	408	franco argiloso arenosa
	1,0 - 1,5	335	247	582	296	122	543	franco arenosa
	1,5 - 2,0	336	230	566	313	121	543	franco arenosa
SE	0 - 0,5	527	220	747	226	27	446	areia franca
	0,5 - 1,0	506	209	715	247	38	456	franco arenosa
	1,0 - 1,5	393	221	614	326	60	547	franco arenosa
SD	0 - 0,5	521	171	692	224	84	395	franco arenosa
	0,5 - 1,0	431	217	648	302	50	519	franco arenosa
	1,0 - 1,5	404	197	601	348	51	545	franco arenosa
SEC	0 - 0,5 (cm)	615	245	860	78	62	323	areia franca
SDC	0 - 0,5 (cm)	647	212	859	82	59	294	areia franca

Exceção feita à diversidade de classes texturais encontrada para a cabeceira direita, nenhum outro resultado da granulometria da voçoroca necessita ser observado em separado. A textura franco arenosa segue o padrão de localização segundo a profundidade e a classe areia franca pode ser explicada pela possível presença de uma zona com maior incidência de saprolito, como em SE 0-0,5 m. As texturas franco argilo argilosa e franco argilosa também obedecem ao padrão normal apresentado pelos demais resultados da tabela 9. A classificação do ponto CD 0,5 -1,0 m se fez exceção, sem que haja algum consenso explicativo até aqui.

Com relação às análises de granulometria para as encostas do entorno da feição monitorada, do total de 31 coletadas, como indicada na metodologia, cinco não tiveram resultados confiáveis, em razão de problemas no processamento das análises. Na tabela 10 (página 138), estes cinco resultados inviabilizados referem-se aos pontos E-4, nas duas profundidades; E-8 e E-9, ambos na profundidade de 0-20 cm; e E-11, na profundidade de 20-40 cm. Assim, são expostos os resultados de 26 amostras. A figura 81 aponta cada ponto de coleta nas encostas da área de estudo. Desse modo, alguns resultados podem ser correlacionados com sua localização.

As tendências que mais chamam atenção nas análises em duas profundidades são a redução dos teores de areia e o aumento dos teores de argila, quando se observa a granulometria desde a profundidade de 0-20 cm até a profundidade de 20-40 cm. Os teores de silte são, no geral, reduzidos nas camadas de 0-20, 20-40 e 0-50 cm, se comparados aos resultados do interior da voçoroca monitorada.

A principal classe textural nas encostas é a franco argilo arenosa, que ocorre em 15 das 26 amostras analisadas, o que representa quase 60% do total. Este resultado pode ser comparado aos encontrados para a voçoroca monitorada, pois se observa que, de um modo geral, as encostas da área de estudo apresentam camadas de solo franco argilo arenoso sobre camadas de solo franco arenoso. Isto reflete um pouco da evolução dessa paisagem, uma vez que a maior presença de argila e menor presença de silte nas camadas superiores do solo significa que estas são mais intemperizadas que as subjacentes. O silte é indicador do grau de intemperismo do solo, quanto menos intemperizado o solo, maior será o teor de

silte presente nele, em relação aos teores de argila (JORGE, 1985; RESENDE *et al.*, 2002 *in* DIAS *et al.*, 2008).



FIGURA 81. Distribuição dos pontos de coleta nas encostas da área de estudo. “E” significa “encostas” e “EMV” significa “Encosta da Maior Voçoroca”. Fonte: Google Earth, 2013.

Os pontos E-3, E-6, E-7, E-9 e E-10 apresentam diversas semelhanças. Por serem de textura franco argilo arenosa, seriam consideradas no estudo de Lima L. (2008) como sendo de média suscetibilidade à erosão. Porém, os seus baixos teores de silte (de 33 a 157 g/Kg) e os elevados teores de argila, que ultrapassam 300 g/Kg em alguns casos, conferem a estas amostras a menor erodibilidade entre a quase totalidade das 76 amostras (voçoroca e encostas do entorno). A amostra E-8, única de textura argilo arenosa, é a que mais se aproxima de tal reduzida erodibilidade. Logo, se fosse objetivo desta pesquisa classificar a textura quanto a três classes de suscetibilidade à erosão, estes seis pontos (10 amostras) seriam classificados como de baixa suscetibilidade à erosão.

Os pontos E-1 e E-2 se distinguem dos demais por uma espécie de inversão da ordem normalmente verificada na área de estudo. Geralmente, conforme já discutido, solos de textura franco argilo arenosa encontram-se sobre solos de textura franco arenosa. No caso destes dois pontos, as amostras com profundidade de 0-20 cm são franco arenosas, sobrepostas a amostras franco argilo arenosas da profundidade de 20-40 cm. Uma hipótese para este fato pode ser a posição desses pontos na encosta, em área mais plana e/ou côncava, receptora de sedimentos e, por isso, a camada subsuperficial seria mais intemperizada que a superficial.

Já os pontos E-13, E-14 e E-15, coletados apenas em 0-50 cm, bem próximos da voçoroca monitorada, são de textura franco arenosa. Neves (2011) coletou amostra próxima à mesma voçoroca (ponto denominado de V3 em seus estudos), nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, e encontrou a mesma textura para a profundidade superficial e textura franco argilo arenosa para a subsuperfície, do mesmo modo como em E-1 e E-2, anteriormente citados. Fator semelhante pode explicar a classificação textural daqueles três pontos. Os três estão em áreas que recebem sedimentos transportados pelos fluxos de água, e por isso são áreas constantemente lavadas por esses fluxos.

Os quatro pontos coletados ao lado da maior voçoroca da área de estudo (EMV-0 a EMV-3) possuem correspondência com os resultados da voçoroca monitorada. A textura desses solos foi classificada como franco argilo arenosa e os valores da soma dos teores de areia fina e silte são semelhantes. Isto pode ser um indicador de que, guardadas as proporções, a origem de ambas as feições tenham em comum a remoção da camada superficial de solos franco argilo arenosos.

Exceção entre as 76 amostras, as quatro amostras dos pontos E-5 e E-12 apresentaram altos teores de silte, entre 585 e 623 g/Kg, que somados aos teores de areia fina alcançaram elevadas porcentagens entre 650 e 674 g/Kg, o que as caracteriza como as maiores erodibilidades dentre todas as amostras analisadas. Não foi possível chegar a conclusões definitivas quanto a esses pontos. Há de se destacar que o processo de lavagem dessas amostras foi sempre dificultoso, por quantas repetições e preparo de novos produtos fossem feitos. Existe, portanto, a possibilidade de erro nestes dois pontos, mas julgou-se importante apresentá-los.

TABELA 10. Resultados das análises granulométricas (método da pipeta) e classificação textural nas encostas (LOUREIRO, 2012).

Amostras		Granulometria (g/Kg)						Classe Textural
		Areia			Silte	Argila	Silte + Areia Fina	
Local	Profundidade (cm)	Grossa	Fina	TOTAL				
E-1	0-20	609	142	751	133	116	275	franco arenosa
	20-40	450	203	653	153	194	356	franco argiloso arenosa
E-2	0-20	575	126	701	156	143	282	franco arenosa
	20-40	497	138	635	145	220	283	franco argiloso arenosa
E-3	0-20	469	111	580	157	263	268	franco argiloso arenosa
	20-40	383	119	502	148	350	267	franco argiloso arenosa
E-4	0-20	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	20-40	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
E-5	0-20	211	51	262	623	115	674	franco siltosa
	20-40	179	64	243	606	151	670	franco siltosa
E-6	0-20	532	129	661	80	259	209	franco argilo-arenosa
	20-40	460	114	574	84	342	198	franco argilo-arenosa
E-7	0-20	597	166	763	33	204	199	franco argilo-arenosa
	20-40	542	129	671	52	277	181	franco argilo-arenosa
E-8	0-20	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	20-40	368	98	466	124	410	222	argilo arenosa
E-9	0-20	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	20-40	431	119	550	103	347	222	franco argilo-arenosa
E-10	0-20	487	113	600	140	260	253	franco argilo-arenosa
	20-40	468	158	626	123	251	281	franco argilo-arenosa
E-11	0-20	694	159	853	36	111	195	areia franca
	20-40	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
E-12	0-20	218	83	301	590	109	673	franco siltosa
	20-40	178	65	243	585	172	650	franco siltosa
E-13	0-50	481	162	643	172	185	334	franco arenosa
E-14	0-50	481	121	602	221	177	342	franco arenosa
E-15	0-50	504	219	723	129	148	348	franco arenosa
EMV-0	0-50	408	123	531	247	222	370	franco argiloso arenosa
EMV-1	0-50	370	135	505	213	282	348	franco argiloso arenosa
EMV-2	0-50	385	132	517	218	265	350	franco argiloso arenosa
EMV-3	0-50	405	154	559	236	205	390	franco argiloso arenosa

Os resultados de densidade aparente são apresentados de três formas, nas tabelas 11 e 12. Há as amostras volumétricas coletadas para a voçoroca monitorada, divididas em superficiais e subsuperficiais, e as amostras coletadas (em superfície) em cada ponto das encostas ao redor da feição monitorada.

Na tabela 11 são apresentados os resultados de densidade aparente das amostras tidas como subsuperficiais, por terem sido coletadas nas paredes, no interior da voçoroca, e

os resultados das densidades aparente e real ou de partículas e a porosidade total. As 19 amostras volumétricas superficiais e subsuperficiais da voçoroca serviram para obter sua média da densidade aparente, como visto no item anterior, sobre o monitoramento com pinos de erosão, que equivale a 1,44 g/cm<sup>3</sup>.

A densidade aparente foi maior nas amostras superficiais, coletadas entre 0-10 cm, porque a superfície sofre mais diretamente os impactos, como o constante pisoteio do gado. Enquanto em subsuperfície a densidade aparente variou entre 1,24 e 1,44 g/cm<sup>3</sup>, em superfície os valores alcançaram desde 1,46 a até 1,61 g/cm<sup>3</sup>.

Segundo Brady (1989), a densidade aparente aumenta com a profundidade, em função da redução da matéria orgânica e da agregação, ou mesmo do peso exercido pelas camadas superiores do solo. Isso foi verificado em LD-S e LD-I; LE-S e LE-I, mas não em C-S e C-I.

TABELA 11. Resultados de densidade aparente, densidade real ou de partículas e porosidade total da voçoroca monitorada (LOUREIRO, 2012). S = superior; I = inferior.

Amostras subsuperficiais (nas paredes)			Amostras superficiais (0-10 cm)			
Amostras	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Dap. Média por região	Amostras	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade de Partículas (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade (%)
CE	1,42	1,43	CE	1,46	2,55	42,75
C-S	1,43		CD	1,46	2,68	45,52
C-I	1,39					
LD-S	1,37	1,43	LE	1,51	2,55	40,78
LD-I	1,41		LD	1,48	2,55	41,96
LE	1,42		LES	1,47	2,55	42,35
LE-S	1,24		LDS	1,61	2,66	39,47
LE-I	1,39					
SE	1,44	1,47	SE	1,52	2,60	41,54
SE	1,43		SD	1,56	2,56	39,06
SD	1,42		SEC	nd	nd	nd
<b>VOÇOROCA (média total)</b>	<b>1,44</b>		SDC	nd	nd	nd

Conforme Kiehl (1979), densidade aparente entre 1,1 e 1,6 g/cm<sup>3</sup> representa predominância de frações minerais e manejo inadequado do solo, enquanto que em florestas a densidade aparente pode variar entre 0,6 e 0,8 g/cm<sup>3</sup>. Ao observar as tabelas 11 e

12, nota-se grande correlação entre os resultados da densidade aparente na voçoroca e nas encostas ao seu redor.

Na primeira, a densidade aparente na voçoroca monitorada variou a partir de 1,24 e 1,37 g/cm<sup>3</sup>, os menores valores, a até 1,56 e 1,61 g/cm<sup>3</sup>, seus valores mais elevados. Na segunda, os valores de densidade aparente nos diversos pontos das encostas vão desde 1,39 g/cm<sup>3</sup> a 1,59 e 1,69 g/cm<sup>3</sup>, como valores mais altos. Todos esses valores são correspondentes aos valores de densidade aparente das áreas degradadas que Neves (2011) analisou em nove pontos com erosão laminar, ravinas e voçorocas ao longo do médio curso da bacia hidrográfica do rio São Pedro, que variaram de 1,28 a 1,55 g/cm<sup>3</sup>. Ou seja, em ambos os estudos, a densidade aparente dos pontos analisados está sempre próximo do valor limitante entre baixa e alta densidade aparente, estabelecido como 1,50 g/cm<sup>3</sup> (MORGAN, 2005).

Vale lembrar que os pontos E-13, E-14 e E-15 nas encostas e SEC e SDC na voçoroca não dispuseram de amostras volumétricas. Os dois últimos, por representarem material sedimentar da base da feição, não necessitavam e nem possibilitavam coletas indeformadas.

TABELA 12. Resultados dos pontos das encostas para densidade aparente, densidade real ou de partículas e porosidade total (LOUREIRO, 2012).

<b>Amostras</b>	<b>Densidade Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade de Partículas (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidade (%)</b>
<b>E-1</b>	1,46	2,60	43,85
<b>E-2</b>	1,41	2,50	43,60
<b>E-3</b>	1,44	2,56	43,75
<b>E-4</b>	1,69	2,55	33,73
<b>E-5</b>	1,55	2,56	39,45
<b>E-6</b>	1,49	2,52	40,87
<b>E-7</b>	1,55	2,56	39,45
<b>E-8</b>	1,42	2,52	43,65
<b>E-9</b>	1,49	2,55	41,57
<b>E-10</b>	1,55	2,59	40,15
<b>E-11</b>	1,39	2,44	43,03
<b>E-12</b>	1,43	2,59	44,79
<b>EMV-0</b>	1,47	2,59	43,24
<b>EMV-1</b>	1,55	2,52	38,49
<b>EMV-2</b>	1,59	2,49	36,14
<b>EMV-3</b>	1,50	2,59	42,08

No ponto E-4 (Figura 82) foi obtida a maior densidade aparente do estudo e a menor porosidade. Toda a área tem a presença marcante dos terracetes de pisoteio do gado, além das notórias feições erosivas. Os valores apontam os níveis consideráveis da compactação do solo nesta área da fazenda.

A porosidade total varia, de acordo com Grohmamm (1975), geralmente, entre 40 e 60%, mas pode chegar a valores extremos correspondentes a 30 e 80%. Ao classificar diversas características do solo e da paisagem pelo grau de suscetibilidade à erosão, na bacia hidrográfica do rio Macaé, Lima L. (2008) assumiu que percentuais de porosidade total acima de 55% são de baixa suscetibilidade, entre 35 e 55% são de média suscetibilidade, e menores que 35% representam alta suscetibilidade à erosão.

No médio curso da bacia hidrográfica do rio São Pedro, Neves (2011) registrou porosidades de 38 a 50% em áreas degradadas com presença de feições erosivas laminares e lineares, e de 51 a 54% em áreas não degradadas, que em sua maioria apresentavam estágios mais ou menos avançados de sucessão ecológica.

Comparando às percentagens encontradas nesta pesquisa, que também se insere no médio curso da bacia do rio São Pedro, percebe-se que na voçoroca monitorada a porosidade variou de 39,06 a 45,52%. São valores que se assemelham aos encontrados por Neves (2011) para as áreas degradadas, e podem ser classificadas, segundo Lima L (2008), como de média suscetibilidade à erosão, ainda que avaliados como um elemento isolado. Para os pontos das encostas, os percentuais de porosidade diminuem, indo de 33,73 a 44,79, e entram na faixa a ser classificada como de alta suscetibilidade erosiva. Além disso, tanto a voçoroca monitorada quanto as encostas de seu entorno apresentam baixos valores de porosidade que ultrapassam o mínimo mencionado por Grohmamm (1975).



FIGURA 82. Coleta da amostra volumétrica no ponto E-4 apresentou elevada densidade aparente e baixa porosidade, devido a forte presença de terracetes (Sara Regina de A. Neves, 2012).

As determinações do pH do solo, em laboratório, tanto para as amostras da voçoroca monitorada (Tabela 13) quanto das encostas ao seu entorno (Tabela 14), não apresentaram nenhuma tendência em particular, mas apontam em seus resultados o caráter ácido desses solos, principalmente em solução de cloreto de potássio. Em números gerais, o pH dos solos na área estudada variou de 3,83 a 4,93 quando analisado em KCl e de 4,25 a 6,26 quando analisado em água. A utilização do KCl na aferição do pH permite resultados mais constantes, seja a medição realizada no líquido sobrenadante, na suspensão ou no próprio sedimento, enquanto que na água pode haver variação na concentração de sais no solo (WUTKE, 1975). Ao analisar as duas tabelas em separado, os valores mínimos e máximos de pH em KCl e em água não variam muito. A voçoroca (Tabela 13) possui pH entre 3,83 e 4,77 em KCl e entre 4,50 e 6,26 em água. Já os pontos amostrados nas encostas (Tabela 14) apresentam pH entre 3,93 e 4,94 em KCl e entre 4,25 e 6,03 em água.

TABELA 13. Resultados do pH dos solos da voçoroca monitorada, analisados em KCl e água (LOUREIRO, 2012).

Amostras	Profundidade (m)	pH		Amostras	Profundidade (m)	pH	
		KCl	Água			KCl	Água
CE	0 - 0,5	4,20	5,48	LD	0 - 0,5	3,94	4,98
	0,5 - 1,0	4,28	5,74		0,5 - 1,0	4,07	5,00
	1,0 - 1,5	4,13	6,26		1,0 - 1,5	4,14	5,12
	1,5 - 2,0	4,17	5,77		1,5 - 2,0	4,11	5,19
	2,0 - 2,5	3,93	5,58		2,0 - 2,5	4,02	5,14
	2,5 - 3,0	3,98	5,82		2,5 - 3,0	3,98	4,88
	3,0 - 3,5	3,90	5,65		3,0 - 3,5	4,03	5,00
	3,5 - 4,0	3,85	5,83				
CD	0 - 0,5	4,30	5,78	LES	0 - 0,5	4,10	5,18
	0,5 - 1,0	4,09	5,48		0,5 - 1,0	4,12	5,12
	1,0 - 1,5	4,05	5,75		1,0 - 1,5	4,02	5,37
	1,5 - 2,0	4,77	5,64		1,5 - 2,0	3,94	5,16
	2,0 - 2,5	4,17	5,67	LDS	0 - 0,5	4,06	5,18
			0,5 - 1,0		4,09	5,13	
			1,0 - 1,5		3,91	5,17	
LE	0 - 0,3	3,95	4,58		1,5 - 2,0	3,91	5,13
	0,3 - 0,5	4,06	5,44	SE	0 - 0,5	3,84	5,39
	0,5 - 1,0	3,97	5,48		0,5 - 1,0	3,97	5,21
	1,0 - 1,5	3,90	4,50		1,0 - 1,5	3,97	5,17
	1,5 - 2,0	3,88	5,17	SD	0 - 0,5	4,09	5,68
	2,0 - 2,5	3,92	5,31		0,5 - 1,0	3,90	4,91
	2,5 - 3,0	3,91	5,07		1,0 - 1,5	3,83	5,11
	3,0 - 3,5	3,93	5,08	SEC	0 - 0,5 (cm)	4,48	5,55
	3,5 - 4,0	3,95	5,17	SDC	0 - 0,5 (cm)	4,47	5,40

TABELA 14. Resultados do pH dos solos das encostas do entorno da feição monitorada, analisados em KCl e água (LOUREIRO, 2012).

Amostras	Profundidade (cm)	pH		Amostras	Profundidade (cm)	pH	
		KCl	Água			KCl	Água
E-1	0-20	4,57	5,77	E-9	0-20	4,02	5,40
	20-40	4,43	5,51		20-40	4,02	5,21
E-2	0-20	4,34	5,55	E-10	0-20	3,94	5,23
	20-40	4,41	5,38		20-40	3,93	5,11
E-3	0-20	4,06	4,97	E-11	0-20	4,29	5,49
	20-40	4,03	4,76		20-40	4,31	5,40
E-4	0-20	3,94	4,85	E-12	0-20	4,06	4,94
	20-40	3,97	5,06		20-40	4,09	5,18
E-5	0-20	3,98	5,23	E-13	0 - 0,5	4,93	6,03
	20-40	4,00	5,29	E-14	0 - 0,5	4,15	5,37
E-6	0-20	4,15	5,05	E-15	0 - 0,5	4,48	5,69
	20-40	4,19	5,20	EMV-0	0 - 0,5	4,05	5,20
E-7	0-20	4,12	5,21	EMV-1	0 - 0,5	4,05	4,70
	20-40	4,10	5,30	EMV-2	0 - 0,5	4,11	5,27
E-8	0-20	4,02	4,93	EMV-3	0 - 0,5	4,14	4,82
	20-40	4,03	4,25				

A acidez verificada pelos valores de pH desses solos confirma a propensão que solos de regiões com clima úmido possuem para a sua acidificação. Segundo Wutke (1975), íons  $H^+$  são continuamente fornecidos através, principalmente, da dissolução de ácido carbônico ( $CO_2$ ) do ar e do solo pela água das chuvas. Quimicamente, o processo é expresso por  $CO_2 + H_2O = H_2CO_3 = H^+ + HCO_3^-$ . Ainda de acordo com este autor, ocorre um empobrecimento de cátions básicos, que percolam no perfil do solo com a água. De forma contínua e acentuada, o processo pode se tornar um problema, pois a acumulação cada vez maior de  $H^+$  eleva a acidez do solo, reduzindo seu pH.

No médio curso da bacia do rio São Pedro, Neves (2011) encontrou solos de áreas degradadas com pH menores que 5,0 nas análises com KCl e pH maiores que 5,0 ao serem analisados em água, enquanto solos de áreas não degradadas possuíam pH sempre acima de 5,0. Integrante da mesma bacia, a área de estudo nesta pesquisa encontrou valores de pH menores que 5,0 tanto nas análises em KCl como nas análises em água. Utilizando a classificação de Lima L. (2008), os resultados das análises em KCl do pH dos solos da voçoroca e das encostas seriam classificados como de alta suscetibilidade à erosão, por apresentarem valores inferiores a 5,0. Já alguns solos analisados em água poderiam ser classificados como de baixa suscetibilidade, por serem de pH entre 5,0 e 6,5. A classe “suscetibilidade nula”, correspondente a pH maior que 6,5 (LIMA L., 2008), não possui correspondência com os solos da voçoroca, nem das encostas próximas analisadas.

O efeito depreciativo dos íons  $H^+$  e  $OH^-$  no desenvolvimento vegetal não é direto, pois ocorre quando a concentração desses elementos chega a valores extremos, tanto de acidez quanto de alcalinidade (WUTKE, 1975). Segundo Brady (1989) e Lima L. (2008), níveis equilibrados de pH em torno de 5,5 a 7,0, representam uma faixa na qual, salvo algumas exceções, as plantas se desenvolvem de maneira adequada, nos solos de regiões úmidas. Ainda assim, os valores de pH, resultantes das análises do solo da área de estudo desta pesquisa, em sua maioria abaixo dessa faixa de 5,5 a 7,0 não parecem afetar substancialmente o crescimento da vegetação na área. Ressalta-se que, conforme afirma Wutke (1975), não se deve esperar que resultados de pH possam identificar com exatidão a mesma concentração de hidrogênio a que plantas e micro-organismos encontram-se submetidos no solo, pois existem limitações, que, se conhecidas, concedem importantes informações para a pedologia e a agronomia.

Um dos fatores mais importantes no solo, que influencia direta e indiretamente diversos aspectos (cf. capítulo 4) é a matéria orgânica. Conforme exposto na metodologia, a determinação dos teores de matéria orgânica do solo apresentam limitações, e por isso foram utilizados nesta pesquisa os dois métodos mais comuns, a obtenção do teor de matéria orgânica pela perda de massa por ignição e a oxidação do carbono orgânico pelo dicromato de potássio.

Uma estimativa média dos teores de matéria orgânica foi realizada, apresentada nas tabelas 15 (voçoroca) e 16 (encostas). Levando em conta tais médias, a grande maioria dos resultados aponta a tendência de redução da matéria orgânica à medida que a profundidade aumenta. Nestas médias estimadas, apenas dois pontos, LE 0-0,3 m, na voçoroca monitorada, e E-6 de 0-20 cm, nas encostas, apresentaram teores de matéria orgânica maiores que 3,5%, valor de referência para diversos autores (FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; GUERRA, 2007; LIMA L., 2008; LOUREIRO, 2010; LOUREIRO *et al.*, 2011; NEVES, 2011).

É relevante que o ponto LE 0-0,3 m foi um dos dois únicos pontos da voçoroca coletados por tradagem, e justamente este ponto apresentou, destacadamente, a maior semelhança entre os diferentes métodos de análise dos teores de matéria orgânica, comparando-se todos os pontos da voçoroca e das encostas ao redor. Na perda de massa por ignição a matéria orgânica apresentou 3,63% e 3,55% pela oxidação com dicromato de potássio, com média de 3,59%. Com isso, o único ponto acima de 3,50% para matéria orgânica foi este. Outros pontos somente apresentaram valores acima destes parâmetros para teores de carbono e matéria orgânica obtidos pela perda de massa por ignição, o que indica o fato de este método superestimar os valores.

TABELA 15. Teores de matéria orgânica da voçoroca monitorada, resultado da utilização dos métodos de queima e de oxidação, e valores médios dos teores entre os dois métodos (LOUREIRO, 2012).

Amostras	Profundidade (cm)	% M.O (Mufla)	% M.O (dicromato)	Média
CE	0 - 0,5	3,27	1,21	2,24
	0,5 - 1,0	2,77	0,14	1,46
	1,0 - 1,5	2,96	0,10	1,53
	1,5 - 2,0	3,09	0,12	1,61
	2,0 - 2,5	2,35	0,08	1,22
	2,5 - 3,0	2,04	0,07	1,06
	3,0 - 3,5	1,54	0,08	0,81
	3,5 - 4,0	1,21	0,06	0,64
CD	0 - 0,5	3,10	0,53	1,82
	0,5 - 1,0	2,89	0,12	1,51
	1,0 - 1,5	3,49	0,17	1,83
	1,5 - 2,0	1,48	0,18	0,83
	2,0 - 2,5	2,17	0,09	1,13
LE	0 - 0,3	3,63	3,55	3,59
	0,3 - 0,5	2,92	0,39	1,66
	0,5 - 1,0	1,73	0,20	0,97
	1,0 - 1,5	1,40	0,15	0,78
	1,5 - 2,0	1,83	0,17	1,00
	2,0 - 2,5	1,85	0,11	0,98
	2,5 - 3,0	1,56	0,19	0,88
	3,0 - 3,5	2,38	0,21	1,30
	3,5 - 4,0	1,85	0,19	1,02
LD	0 - 0,5	3,46	1,50	2,48
	0,5 - 1,0	2,52	0,56	1,54
	1,0 - 1,5	2,42	0,37	1,40
	1,5 - 2,0	2,41	0,28	1,35
	2,0 - 2,5	1,11	0,14	0,63
	2,5 - 3,0	0,88	0,10	0,49
	3,0 - 3,5	0,88	0,13	0,51
LES	0 - 0,5	4,37	1,48	2,93
	0,5 - 1,0	3,44	0,47	1,96
	1,0 - 1,5	2,86	0,52	1,69
	1,5 - 2,0	2,30	0,50	1,40
LDS	0 - 0,5	3,31	1,05	2,18
	0,5 - 1,0	2,73	0,40	1,57
	1,0 - 1,5	2,45	0,21	1,33
	1,5 - 2,0	1,93	0,27	1,10
SE	0 - 0,5	1,98	0,11	1,05
	0,5 - 1,0	3,05	0,13	1,59
	1,0 - 1,5	1,94	0,14	1,04
SD	0 - 0,5	6,02	0,14	3,08
	0,5 - 1,0	1,39	0,07	0,73
	1,0 - 1,5	1,42	0,12	0,77
SEC	0 - 0,5 (cm)	1,56	0,20	0,88
SDC	0 - 0,5 (cm)	1,61	0,23	0,92

TABELA 16. Teores de matéria orgânica das encostas do entorno da voçoroca monitorada, resultado da utilização dos métodos de queima e de oxidação, e valores médios dos teores entre os dois métodos (LOUREIRO, 2012).

Amostras	Profundidade (cm)	Matéria Orgânica (% - mufla)	Matéria Orgânica (% - dicromato)	Média
E-1	0-20	2,77	2,56	2,67
	20-40	2,40	1,48	1,94
E-2	0-20	3,34	2,38	2,86
	20-40	3,04	1,20	2,12
E-3	0-20	4,08	2,29	3,19
	20-40	3,18	1,16	2,17
E-4	0-20	3,15	1,41	2,28
	20-40	3,26	1,17	2,22
E-5	0-20	4,03	2,09	3,06
	20-40	3,46	1,48	2,47
E-6	0-20	5,03	2,36	3,70
	20-40	4,62	1,64	3,13
E-7	0-20	3,70	2,17	2,94
	20-40	3,10	1,25	2,18
E-8	0-20	4,33	1,86	3,10
	20-40	4,49	1,38	2,94
E-9	0-20	4,24	1,90	3,07
	20-40	4,40	1,21	2,81
E-10	0-20	2,99	1,57	2,28
	20-40	2,41	0,87	1,64
E-11	0-20	3,21	2,60	2,91
	20-40	3,05	2,22	2,64
E-12	0-20	3,14	1,84	2,49
	20-40	3,33	1,07	2,20
E-13	0 - 50	3,39	1,76	2,58
E-14	0 - 50	3,49	1,92	2,71
E-15	0 - 50	2,09	0,59	1,34
EMV-0	0 - 50	4,05	1,96	3,01
EMV-1	0 - 50	3,65	1,90	2,78
EMV-2	0 - 50	3,49	1,39	2,44
EMV-3	0 - 50	3,53	1,88	2,71

Valores inferiores a 3,5% de matéria orgânica significam instabilidade e maior suscetibilidade erosiva (FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; GREENLAND *et al.*, 1975 *in* GUERRA, 2007; DE PLOEY e POESEN, 1985 *in* GUERRA, 2007). É o que acontece com a maioria dos pontos amostrados. Na voçoroca, os valores variam próximos de 1% de matéria orgânica, correspondendo aos baixos teores em Guerra *et al.* (2010). Estes autores

obtiveram ainda 0,27% de teor de carbono orgânico. Nesta pesquisa, os teores de carbono orgânico que correspondem ao 1% de matéria orgânica da voçoroca ficaram abaixo de 0,2%, com exceção de poucos pontos, sempre mais superficiais.

Lima (2010) encontrou, por meio da queima, teores de matéria orgânica entre 3,1 e 8,7% em profundidade de 0-20 cm e entre 3,5 a 8,1% em profundidade de 20-40, em áreas mais preservadas do que a área dos estudos experimentais. Nesta os teores vão de 2,09 a 4,62%, representativos dos pontos das encostas, coletados em 0-20 cm, 20-40 cm e 0-50 cm de profundidade. Isto mostra que nesta área os teores de matéria orgânica e carbono orgânico no solo são baixos, ou tendem a se tornar mais baixos.

Ponto discrepante na análise geral das duas tabelas, SD 0-0,5 m apresentou alguns dos mais altos teores de matéria orgânica (6,02%), no método da perda de massa através da queima em forno mufla. Pode não ter sido considerado algum fator externo, como a possibilidade de influência de fezes de bovino próximo ao ponto coletado, ou mesmo algum erro durante os procedimentos laboratoriais. Apesar disso, não demonstra influência significativa na qualidade dos demais resultados.

Apontados e discutidos os principais resultados obtidos pelas análises físicas e químicas das propriedades do solo e integrando a estes alguns aspectos mais significativos dos monitoramentos da evolução da feição erosiva tomada para os estudos experimentais, torna-se possível traçar, fundamentado pela literatura, um diagnóstico da degradação da área estudada, a fim de identificar implicações geradas pela conjunção de tais fatores.

#### **6.4. DIAGNÓSTICO DA ÁREA DEGRADADA NA BACIA DO RIO SÃO PEDRO**

É importante ressaltar que este diagnóstico se fundamenta sobre os pontos abordados nesta pesquisa, sobre os resultados aqui expostos e discutidos, além de se tratar de uma área específica dentro da bacia hidrográfica.

O pisoteio de animais de porte, como o gado, principalmente sobre solos úmidos ou que estejam molhados durante as chuvas, é uma situação comum, causadora de compactação no solo, sobretudo nos pastos, onde tais animais trafegam e habitam reunidos,

como por exemplo, em áreas onde se alimentam ou bebem água, em entrada de currais e passagens de porteiras (FULLEN e CATT, 2004). Estes autores explicam que essa compactação afeta negativamente a porosidade e, conseqüentemente a infiltração de água no solo, a poro-pressão da água no solo aumenta, e torna mais fácil a compressão imposta pelo pisoteio. Formam-se, então, trilhas em diversas áreas e sentidos do terreno, que chegam a ter mais de 30 cm de profundidade (THOMAZ e DIAS, 2008). É comum que diversos estudos sobre a erosão em áreas de pastagens apontem as trilhas do gado como um dos agentes facilitadores e/ou causadores do processo erosivo, especialmente quanto ao surgimento de ravinas e voçorocas (Trimble e Mendel, 1995 *in* THOMAZ e DIAS, 2008).

Ferreira (2005 *in* BEZERRA, 2011) fala da relação de estradas rurais e a origem e alargamento das voçorocas amostradas em seu estudo. Nele, 64% dessas voçorocas têm origem ligada às antigas estradas das décadas de 1950 e 1960, que recebiam tráfego de veículos de tração animal, compactando o solo, inclusive pela pequena espessura das rodas de madeira, que auxiliavam no aprofundamento do leito de tais estradas.

Do mesmo modo, ou semelhante, a voçoroca monitorada nesta dissertação possui fortes indícios de ter sido originada também devido ao constante tráfego de animais, visto que o caminho do gado percorre uma grande extensão da área da fazenda, e passa justamente no mesmo ponto onde se formou a voçoroca. Além disso, sua evolução/expansão permanece relacionada, forte ou principalmente, às descargas dos fluxos superficiais vindos através do referido caminho (Figura 83). Corrobora esta hipótese, a informação obtida em comunicação direta/oral com o responsável pela fazenda, Sr. Carlos Alberto (Carlinhos), de que o referido traçado na encosta era mesmo uma estrada da fazenda.

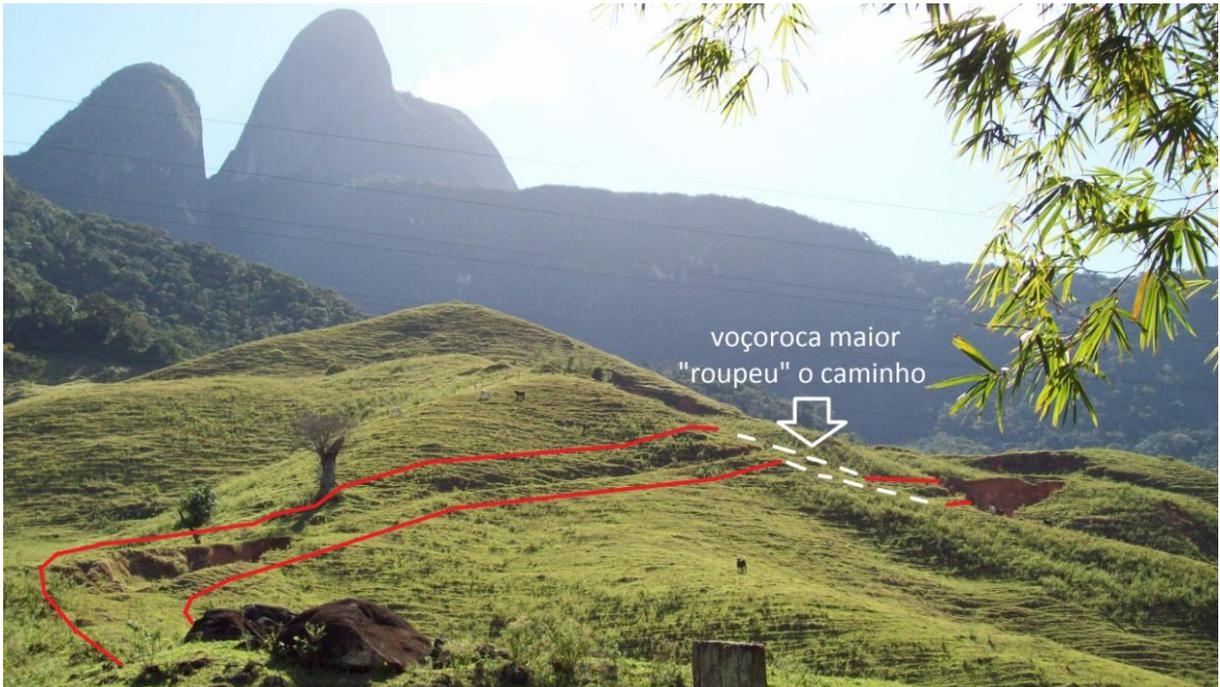


FIGURA 83. Representação de partes do traçado de antiga estrada, fortemente marcada no terreno, desde o começo do caminho que chega à saída da voçoroca monitorada para além das cabeceiras das voçorocas maiores (Hugo Alves S. Loureiro , 2012).

Com o uso e o manejo inadequados somados a características da paisagem e propriedades dos solos que sejam propensas à erosão, o problema pode ser agravado. Por um lado é importante que haja teores adequados de argila, de modo a manter a estabilidade e agregação das partículas do solo, uma vez que a coesão de suas partículas confere maior resistência ao escoamento superficial (ainda melhor em presença de elevados teores de matéria orgânica) (EVANS, 1980; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; FULLEN e CATT, 2004). Por outro, a menor capacidade de infiltração que possuem os solos argilosos pode sofrer maior redução pela compactação da camada superficial do solo, através do pisoteio do gado. Quanto menor for a infiltração, mais rapidamente se formam os fluxos, e mais intensos serão. Jorge (1985) e Brady (1989) confirmam esta afirmação, ao concordarem que solos de textura fina (argilosos, franco argilosos e franco siltosos), que possuem partículas menores e maior porosidade total, são fortemente impactados por pressões (como o pisoteio) que causam compactação, gerando problemas que podem ser ainda maiores do que em solos arenosos. Estes, embora possuam maior permeabilidade, devido aos elevados teores de

areia, o que reduz a geração dos fluxos concentrados, acabam sendo de fácil transporte pela água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; SALOMÃO, 1999; LIMA, L. 2008).

Na área estudada, grande parte dos resultados mostrou menores teores de silte em camadas superficiais, mas elevada erodibilidade em camadas mais profundas; solos compactados, embora não em níveis demasiadamente críticos e porosidade bastante prejudicada; pH ácido, mas não de modo extremo; e teores de matéria orgânica e carbono orgânico abaixo do ideal, que tendem a diminuir. Com base na classificação de suscetibilidade de Lima L. (2008), os resultados desta dissertação se enquadram entre média e alta suscetibilidade à erosão.

São, portanto, uma série de fatores que explicam a evolução da degradação na paisagem. Por exemplo, se os solos das camadas mais superficiais possuem maior teor de argila, que ajuda a reter nutrientes aos vegetais (LIMA, L. 2008), a remoção dessas camadas expõe solos arenosos nas camadas inferiores, onde a retenção de nutrientes será mais dificultosa. Tal remoção também afeta o teor de matéria orgânica, que é menor em solos arenosos. Se estes possuem menos matéria orgânica, o poder de tamponamento neles também é menor, o que reduz a resistência do solo a mudanças bruscas de pH (WUTKE, 1975). A redução da matéria orgânica também afeta a densidade do solo, pois os agregados se rompem com mais facilidade (EVANS, 1980, KIRKBY, 1980; SELBY, 1993; MENDES, 2008; FULLEN e CATT, 2004; GUERRA, 2007).

Possivelmente, a evolução da voçoroca monitorada se deu pela conjunção de todos esses mecanismos e características. As camadas de solo superficiais, menos suscetíveis em termos texturais, foram sendo compactadas pelo pisoteio do gado. Com a compactação, a infiltração se tornou mais difícil, ainda influenciada pelo teor de argila no topo do solo, o que levou ao aumento da velocidade e força do escoamento superficial, e reduzindo o tempo para sua formação. As trilhas do gado funcionam como caminhos preferenciais da água das chuvas, e os terracetes criados tornam-se pontos de descontinuidade nas encostas (GUERRA 2005a; LIMA *et al.*, 2008). O aprofundamento das trilhas e a convergência dos fluxos escavam o terreno e surgem ravinas que podem virar voçorocas, principalmente quando atingem os horizontes franco arenosos, mais propensos à erosão (FULLEN e CATT, 2004). Com algum tempo de continuidade e/ou aceleração do processo, as laterais se estabilizaram

de forma natural, possivelmente porque o traçado da estrada e das principais trilhas de gado foi totalmente destruído pela erosão. Daí se inicia o estabelecimento de alguma vegetação, tanto na base quanto nas paredes, estabilizando-as, de modo a estancar ou retardar o alargamento da feição. Na cabeceira, o processo continua (Figura 84), devido à dinâmica local, através dos fluxos que chegam ali e pela alta erodibilidade do material na alcova de regressão, como apontaram os monitoramentos com pinos de erosão e a análise das propriedades físicas e químicas.



FIGURA 84. (a) Voçoroca monitorada em fevereiro de 2011, com alcova de regressão em atividade (Stella P. Mendes, 2011); (b) em dezembro de 2012 a alcova de regressão encontrava-se completamente entulhada de sedimentos (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Shit e Maiti (2012) afirmam que grandes massas de solo são erodidas na cabeceira da voçoroca se a energia do fluxo de água é ali concentrada. É o que ocorre (Figura 85), graças à antiga estrada e caminho do gado, e à erodibilidade na alcova. Para a área das voçorocas maiores, a evolução é mais complexa. Um elemento que não interveio na formação e

evolução da voçoroca monitorada e está presente na evolução das maiores é a erosão remontante associada a canais fluviais. Vale citar a visão holística que se deve ter no processo, pois extrações de areia no baixo curso da bacia do rio São Pedro influenciam a dinâmica das voçorocas maiores.

Thomaz e Dias (2008) afirmaram que, geralmente, a erosão nas áreas de pasto são inferiores a  $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , sobretudo quando há erosão laminar, ao passo que quando os processos erosivos são lineares, essa taxa de erosão sobe a valores superiores a  $3,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . A remoção de solo chegou próximo deste valor (2,925 t) em Dias e Thomaz (2011). Ainda Young e Saunders (1986 *in* THOMAZ e DIAS, 2008), chegaram a encontrar taxas de perda de solo que chegam a  $50\text{-}200 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}$ , em agriculturas de baixa conservação do solo e com prática de superpastejo.



FIGURA 85. Voçoroca em dezembro de 2012. Desde a última ida a campo (maio de 2012), a cabeceira recuou notadamente. O solo da parede solapou e soterrou toda a alcova de regressão, modificando bastante o visual que se habituou a ter da cabeceira, durante mais de dois anos de visitas ao local (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

O monitoramento com pinos indicou perda de 2,49 toneladas de solo na região identificada como cabeceira esquerda. Extrapolando os dados para hectares, chegou-se a taxa de erosão de  $100 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . São valores obtidos apenas do monitoramento da voçoroca menor. A maior erosão nas paredes pode indicar que devido às características analisadas, a cobertura das gramíneas na área de estudo exerce importante função protetora, apesar do notável estado de degradação dessas terras, considerados apenas os terracetes e a verificação da erosão laminar. O principal problema parece ser o alcance de camadas mais suscetíveis pelos agentes erosivos. É apenas uma das inferências, pois para pensar em situações como as das voçorocas maiores, é preciso considerar diversos outros elementos.

A solução ou remediação do problema é proporcional a ele. É possível recuperar a voçoroca menor reutilizando seu próprio material de solo e vegetal (como fonte de matéria orgânica, por exemplo). Ainda assim, a hidrologia é um dentre alguns elementos, fundamentais, a serem incorporados para isso.

### **6.5. INÍCIO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA COM GEOTÊXTEIS DE FIBRA DE BANANEIRA**

Um dos objetivos desta pesquisa foi iniciar o processo de recuperação de uma área degradada, utilizando geotêxteis feitos com fibras de bananeira. A opção por apenas iniciar uma recuperação de área degradada é justificada pela ideia de, em um primeiro momento, avaliar a eficácia desses geotêxteis de fibra de bananeira na recuperação da área por meio de sua instalação e monitoramento em uma área-teste, o que possibilita uma espécie de prognóstico do funcionamento da recuperação com o uso desse tipo de geotêxteis. Considerou-se, também, a disponibilidade de tempo e recursos financeiros e humanos para a realização do processo de recuperação.

Os terracetes de pisoteio do gado presentes na área escolhida para o início da recuperação (Figura 87) apresentavam profundidades que giravam em torno de 50 cm nos trechos mais degradados. Por conta disso, a área foi escolhida, apesar de aparentemente bem vegetada, e necessitou de retaludamento da encosta, realizado manualmente, como 1ª etapa da recuperação (Figura 87). Isto ocorreu no 1º dia do trabalho de campo (1º de março

de 2012), os terracetes foram destruídos e, conseqüentemente, o terreno foi suavizado (Figura 88) para receber sobre o solo nu as telas geotêxteis.



FIGURA 86. Área-teste em 1º de março de 2012, antes do retaludamento, com presença marcante de terracetes de pisoteio de gado (José Fernando R. Bezerra, 2012).



FIGURA 87. Retaludamento manual do trecho da encosta para recuperação (LAGESOLOS, 2012).



FIGURA 88. Resultado do retaludamento da encosta (LAGESOLOS, 2012).

Com a aplicação dos devidos insumos no 2º e 3º dias do trabalho de campo (2 e 3 de março de 2012), as sementes de Braquiária (*Brachiaria*) foram semeadas manual e aleatoriamente e os geotêxteis de fibra de bananeira instalados (Figuras 89).



FIGURA 89. Aplicação de insumos, semeadura das sementes onde já havia insumos e instalação gradual dos geotêxteis, no dia 3 de março de 2012 (José Fernando R. Bezerra, 2012).

Seguindo o trabalho de Bezerra (2011), os geotêxteis foram amarrados uns aos outros em grupos de quatro (mais comum) e até mesmo grupos de seis ou dez telas (Figura 90). Esta junção foi feita, também, com fibras de bananeira, para manter a utilização de materiais biodegradáveis e de disponibilidade na região. As funções desse agrupamento de geotêxteis é permitir o recobrimento de maior área, inclusive beneficiado pela flexibilidade do material, e fazer com que fosse necessário menor quantidade de grampos para afixá-los ao solo. Estes grampos ou estacas podem ser de madeira ou metal, e nesta pesquisa foram

utilizados vergalhões de ferro de 8 mm (ou 5/16) de espessura, cortados em partes de 25 cm e dobrados em formato de “U”, para funcionarem como grampos.



FIGURA 90. União de geotêxteis em grupos de quatro a até 10 telas em uma unidade inteira (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

A utilização da bioengenharia de solos tem ganhado destaque crescente no Brasil, apesar de ser relativamente nova no país (BIULCHI, 2012). Na Europa, onde já são utilizadas técnicas de bioengenharia há décadas, são alternativas para os modelos tradicionais de obras de engenharia, pois não só solucionam os problemas, mas garantem benefícios estéticos e ecológicos, além da melhor viabilidade econômica que apresentam (SUTILI, 2007 *in* BIULCHI, 2012).

Dentre os materiais naturais de que são feitos os geotêxteis avaliados em diversos estudos anteriormente citados – palmeiras (borassus e buriti), bambu, sisal, juta, piteira, rami, entre outros (BHATTACHARYYA *et al.*, 2011) – a fibra da bananeira se mostra como novidade. Inclusive porque, os levantamentos bibliográficos realizados nesta dissertação não encontraram no Brasil, ou em outros países, a utilização das fibras de bananeira para a confecção de geotêxteis. Vale mencionar que, por meio da parceria do Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos da UFRJ (LAGESOLOS), coordenado pelo Professor Antonio José Teixeira Guerra, com colaboração do autor desta dissertação, foram enviadas partes de bananeira (folha e caule) e algumas telas geotêxteis de fibra de bananeira para a Inglaterra, onde há em curso alguns estudos com esses materiais, sob a

orientação do Professor Michael A. Fullen, da Universidade de Wolverhampton (ADEITUN, 2011; EGBUJUO, 2012; SHEPHERD, 2012; <http://www.voice-online.co.uk/article/linking-hanover>).

Uma vez que a utilização das fibras da bananeira na confecção de geotêxteis anti-erosivos se faz inédita, há a necessidade de comparar, dentro do possível, as características deste tipo de geotêxtil com os tipos já conhecidos e estudados, a fim de que se possam traçar algumas semelhanças, para estimar seu comportamento no controle da erosão.

Em termos de estrutura, os geotêxteis de bananeira se assemelham mais às geotêxteis de buriti e de palha de arroz (*rice straw*), utilizadas em Uberlândia (Brasil) e na China, respectivamente, de acordo com ilustração dos quatro tipos de geotêxteis utilizados (os outros foram palmeira borassus e bambu) presente em Smets *et al.* (2011). Os três geotêxteis (bananeira, buriti e palha de arroz) se assemelham em tamanho da tela (50 cm x 50 cm) e da malha (40 mm x 40 mm); em porcentagem de cobertura do solo, que varia, aproximadamente, entre 40 a 50% (BEZERRA, 2011; BEZERRA *et al.*, 2011; SMETS *et al.*, 2011); e, principalmente, pela flexibilidade e capacidade de fácil deformação que apresentam. Tal capacidade, de se ser deformável e flexível, conforme Bhattacharyya *et al.* (2011), permite que o geotêxtil tenha boa aderência ao solo, o que o deixa mais próximo ao terreno, seguindo os contornos da encosta e estabelecendo uma melhor relação com o solo. Nesta pesquisa os geotêxteis foram dispostos na encosta seguindo seus contornos e posteriormente, já no 1º monitoramento, menos de um mês após a instalação, foi verificada a boa fixação dos geotêxteis de bananeira ao solo.

Alguns resultados dos estudos pesquisados apontam de forma positiva a eficácia dos geotêxteis de buriti e palha de arroz (os dois de características semelhantes ao geotêxtil de bananeira), e dos geotêxteis da palmeira borassus. Em Bhattacharyya *et al.* (2011), os geotêxteis de buriti e de borassus apresentaram os melhores resultados na redução da erosão por ravinas e entre ravinas. Sendo que, em uma parcela de erosão completamente coberta pelos geotêxteis de buriti, a redução da erosão atingiu, aproximadamente, 93%. Em outro estudo, Smets *et al.* (2009), sob condições específicas de experimentação controlada em laboratório obtiveram 56 e 59% de redução das taxas de erosão média para parcelas

com geotêxteis de borassus e de buriti, respectivamente, se comparadas com uma parcela com solo exposto.

Ainda comparando parcelas com solo exposto e experimentos de laboratório, Smets *et al.* (2007) verificaram a redução da perda de solo entre ravinas em diferentes gradientes de declividade (15 e 45%) e intensidades de chuva simulada (45 e 67 mm/h) tanto para geotêxteis de borassus quanto geotêxteis de buriti. Estes autores afirmaram o “tremendo potencial” destes geotêxteis para usos não-agrícolas, quando a superfície do solo deve se manter estável e protegida da erosão (BALAN e RAO, 1996 *in* SMETS *et al.*, 2007). Desse modo, é possível estimar que os geotêxteis de bananeira possuam potenciais semelhantes para a redução da erosão, considerando as mesmas condições desses estudos, uma vez que têm características bastante próximas dos geotêxteis de buriti.

Ao mesmo tempo, enquanto os geotêxteis de borassus e de buriti não mostraram diferenças significativas sobre as taxas de escoamento superficial na comparação entre experimentos de campo e de laboratório, em Smets *et al.* (2011), os geotêxteis de bambu e de palha de arroz mostraram-se mais efetivos sobre o escoamento nos experimentos em campo do que naqueles em laboratório. Assim, tratando-se do escoamento superficial, não se pode estimar o comportamento dos geotêxteis de bananeira, semelhante tanto aos de buriti quanto aos de palha de arroz, sem estudos específicos.

Cabe afirmar que esta dissertação de mestrado não se propôs a estudar a efetividade dos geotêxteis de bananeira em condições específicas de declividade da encosta e intensidade de chuvas ou à luz do escoamento superficial ou das perdas de solo por erosão, mas avaliar, de uma maneira geral, a sua eficiência para o desenvolvimento e estabelecimento da cobertura vegetal em área degradada em recuperação. Os resultados discutidos a respeito da relação entre geotêxteis e vegetação têm caráter estimativo, e baseiam-se no monitoramento fotográfico, analisado através do método da fotocomparação, e nas referências utilizadas, estas como um meio para traçar as correlações necessárias à composição dos resultados iniciais obtidos nesta dissertação.

O método da fotocomparação foi utilizado por ser, como afirmam Bezerra *et al.* (2011), uma técnica importante para acompanhar o desenvolvimento da vegetação, o que permite avaliar o processo, que é imprescindível para trabalhos de recuperação e

reabilitação de áreas degradadas. Para compor a análise dos resultados, foram selecionadas duas das três áreas amostrais com o marco central, e utilizadas ao todo seis fotografias, três para cada amostra, referentes à instalação dos geotêxteis e os dois meses de monitoramento realizados.

A instalação dos geotêxteis ocorreu em 03 de março de 2012, e os monitoramentos ocorreram em 30 de março e 21 de maio, com intervalos entre essas datas de 27 e 52 dias, respectivamente, totalizando 79 dias de evolução da vegetação. Inicialmente estavam previstos três monitoramentos (em 30/03, 27/04 e uma data entre 27 e 31/05), porém houve impossibilidade de ida a campo durante um período de algumas semanas, a partir do dia 27 de abril. Houve, então, a antecipação da ida a campo do mês de maio em alguns dias, encerrando a pesquisa com os dois períodos de monitoramento, realizados em março e maio.

Ao analisar as fotografias e as imagens classificadas (Figuras 91 e 92) dos pontos amostrais 1 e 2 (PA-1 e PA-2), referentes à instalação dos geotêxteis durante o processo de recuperação, percebe-se o efeito protetor parcial e imediato que os geotêxteis oferecem ao solo e as sementes recém plantadas. Os resultados de Bezerra (2011) e Bezerra *et al.* (2011) apresentaram 51,62% (em média) e 57% de proteção ao solo dada pelos geotêxteis amostrados sobre o solo, para o primeiro mês de monitoramento (equivalente à sua instalação). Pode-se estimar, com base nesses estudos, que a ocupação percentual dos geotêxteis de bananeira nesta pesquisa varie entre 40 a 50%. Sem dúvida, isto reflete a importância da utilização dos geotêxteis, principalmente neste período, no qual a cobertura vegetal não iniciou seu desenvolvimento, protegendo o solo contra o salpicamento provocado pela energia cinética das gotas de chuva e dando auxílio às condições necessárias para que as sementes germinem, como por exemplo, a retenção de água e manutenção de umidade no sistema (BEZERRA, 2011; BEZERRA *et al.*, 2011). Como afirmam Fullen e Guerra (2002), tal importância inicial do geotêxtil sobre o solo, sem cobertura vegetal, se dá pela oferta de estabilidade para o estabelecimento do crescimento vegetal, controla os processos iniciais da erosão, e assim, reduz efeitos do escoamento superficial.

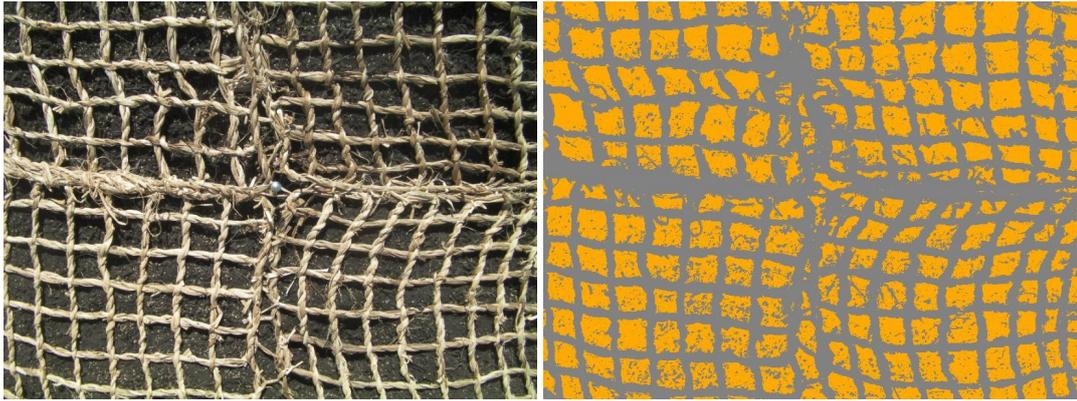


FIGURA 91. Classificação supervisionada (fotocomparação) de PA-1, indicando cobertura vegetal nula, mas solo protegido por geotêxteis, em 03 de março de 2012 (José Fernando R. Bezerra, 2012).



FIGURA 92. Classificação supervisionada (fotocomparação) de PA-2, indicando cobertura vegetal nula, mas solo protegido por geotêxteis, em 03 de março de 2012 (José Fernando R. Bezerra, 2012).

O monitoramento do desenvolvimento da cobertura vegetal realizado em 30 de março de 2012 registrou certo nível de prejuízo, devido ao episódio da entrada de bovinos na área-teste, alimentando-se das gramíneas, que já apresentavam ótimo desenvolvimento, passados 27 dias do plantio das sementes e colocação dos geotêxteis. Uma vez dentro da área-teste, os bovinos causaram alguns afundamentos no solo ainda fofo, devido ao retaludamento e à aplicação dos insumos, e principalmente um desordenaram alguns geotêxteis. Como resultado disso, a cobertura vegetal apresentou-se “tombada”, e com várias pontas das gramíneas cortadas, em razão do pisoteio e da alimentação do gado no

local (Figura 93). Contudo, o episódio não comprometeu o trabalho de recuperação realizado e nem o desenvolvimento da cobertura vegetal.



FIGURA 93. Em 30 de março, as gramíneas apresentavam bom desenvolvimento, mas notam-se alguns cortes nas pontas e o “tombamento” de boa parte dessa cobertura vegetal, devido ao episódio do gado, alimentando-se e pisoteando na área-teste (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Muitos geotêxteis chegaram a ficar enrolados, sem recobrir totalmente o solo, mas foram reposicionados. Alguns, no entanto, mesmo um pouco fora da posição original, não permitiram serem reposicionados por já terem se afixado ao solo. Este fator é bastante relevante para esta pesquisa, pois mostra a rápida aderência do material feito de fibra de bananeira, flexível e deformável, semelhante aos geotêxteis de buriti e de palha de arroz, que obtiveram bons resultados contra a erosão, em estudos já citados (BHATTACHARYYA *et*

*al.*, 2011; SMETS *et al.*, 2011). Ou seja, este potencial estrutural do geotêxtil de bananeira fica comprovado.

A partir do momento em que a cobertura vegetal começa a se estabelecer, ela trabalha conjuntamente às telas de geotêxteis na proteção do solo. Conforme Bezerra (2011), mesmo incipiente, esta vegetação reduz ainda mais a superfície exposta, que vinha sendo parcialmente protegida pelos geotêxteis. Assim, aumenta a proteção do solo contra os efeitos das gotas de chuva, por exemplo, devido à interceptação da água ou à redução da energia da chuva que atinge o solo, além de contribuir na infiltração através do seu sistema radicular (BEZERRA *et al.*, 2011). Neste momento, após 27 dias presente no solo sob a influência das condições do ambiente, o processo de biodegradação dos geotêxteis está iniciado, com a importante função de fornecer matéria orgânica por meio da decomposição de sua estrutura, acrescida da matéria orgânica gerada pela própria cobertura vegetal.

Apesar do episódio do gado, a análise e classificação supervisionada das duas fotografias de PA-1 e PA-2 indica crescimento maior da cobertura vegetal em PA-2 que em PA-1. Isto se deve a uma espécie de efeito de borda, melhor visualizado no último monitoramento. PA-1 (Figura 94) refere-se a uma série de geotêxteis que foram alocadas em uma das extremidades da área-teste, mais precisamente ao seu lado direito ou imediatamente afixados na borda da saída da voçoroca. O crescimento das gramíneas nas extremidades se mostrou mais fraco ao longo de todo o processo. Já PA-2, fica exatamente ao lado esquerdo de PA-1, mas por ser um ponto amostral mais interno, obteve mais sucesso no desenvolvimento da vegetação. Uma possível explicação pode ser a menor retenção de água e umidade nas extremidades em função de haver áreas, como a parede da voçoroca, carentes de boa ou qualquer cobertura vegetal, perdendo mais facilmente água e umidade, de modo a diferenciar negativamente o crescimento vegetal em comparação com os locais mais internos (Figuras 95). Ainda nesta figura, nota-se que na fotografia de PA-2, a tela de geotêxtil está bastante enrolada, e representa um dos poucos casos de grande desordenamento. Porém, era preferível manter de tal forma, para não ter risco de prejudicar o desenvolvimento da cobertura vegetal, pela possibilidade de arrancar pedaços ou suprimir a vegetação ao impor o posicionamento ideal da tela.

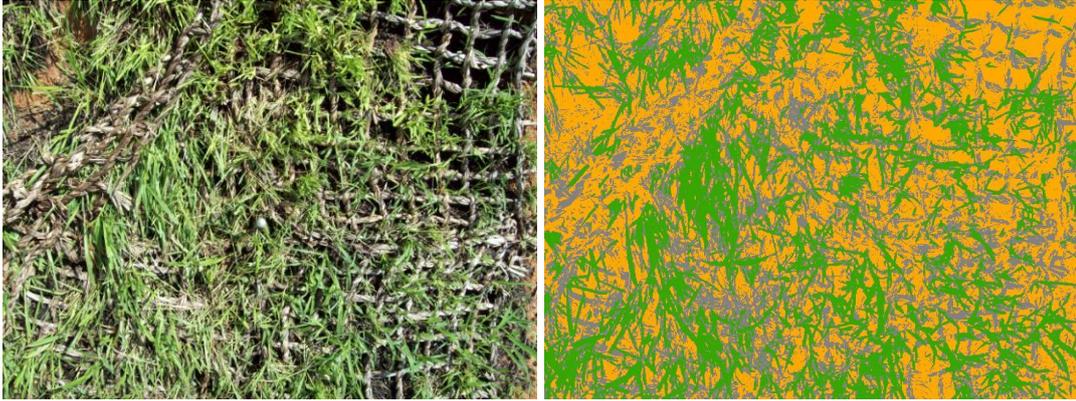


FIGURA 94. Fotocomparação de PA-1 em 30 de março de 2012 (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

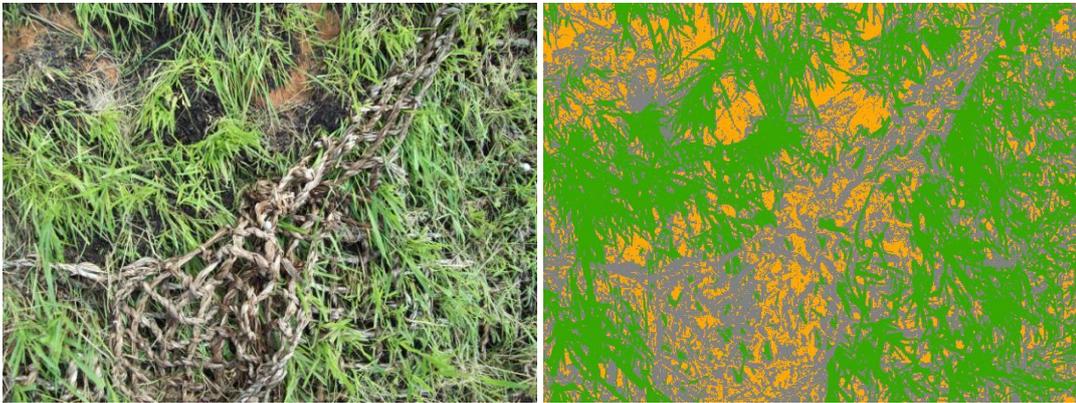


FIGURA 95. Fotocomparação de PA-2 em 30 de março de 2012 (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Nos estudos de Bezerra (2011) e Bezerra *et al.* (2011), o índice de cobertura vegetal atingiu 33,35% e 6%, respectivamente, no 1º monitoramento pós-instalação, em ambos os estudos, aproximadamente um mês após a colocação dos geotêxteis de buriti. A partir da comparação dos resultados da fotocomparação desta pesquisa com a de Bezerra (2011), pode-se estimar que o índice de cobertura vegetal, na área recuperada com geotêxteis de bananeira, tenha sido maior, alcançado índices entre 40 e 55%. Próximo a este último índice, Bezerra (2011) alcançou 62,93% de cobertura vegetal no 2º mês de monitoramento.

Uma das explicações fundamentais para o rápido crescimento verificado da cobertura vegetal é a disponibilidade de água, através das chuvas (BEZERRA, 2011; BEZERRA *et al.*, 2011). Novamente utilizando os dados da ANA, para a estação Fazenda Oratório

(Figura 96), pode ser percebida a relação entre a pluviosidade do período e o desenvolvimento vegetal observado.



FIGURA 96. Pluviosidade registrada pela estação Fazenda Oratório da ANA, destacando o período da recuperação da área degradada, em março de 2012, até maio do mesmo ano. Fonte: sítio da internet HidroWeb, Agência Nacional de Águas.

Verifica-se que a pluviosidade foi elevada e continuamente crescente durante os três meses analisados. Isso contribuiu de duas maneiras; a quantidade de chuva em março foi suficiente para fazer germinar e crescer rapidamente a gramínea, e permitiu um bom estabelecimento da vegetação, ao mesmo tempo, sem ocasionar danos ao processo, que poderiam surgir se a pluviosidade fosse proporcional à ocorrida em maio. Ou seja, se fosse o inverso, a pluviosidade poderia ter sido intensa a tal ponto que arrastaria maior quantidade de sementes não germinadas ou em germinação, o que reduziria a qualidade de desenvolvimento da cobertura vegetal. É possível, também, que a pluviosidade crescente tenha contribuído com a manutenção dessa taxa veloz de crescimento da vegetação.

Isto pode ser verificado nas análises da fotocomparação de PA-1 e, sobretudo, de PA-2. No primeiro, ganha destaque o fato, já comentado, de que a borda oferece condições limitantes ao desenvolvimento da vegetação. Nota-se claramente a concentração da cobertura vegetal no lado esquerdo das imagens, local mais interno à área-teste (Figura 97). Comparando aos trabalhos de Bezerra (2011) e Bezerra *et al.* (2011), estima-se que em PA-1,

52 dias após o monitoramento anterior, a porcentagem para o índice de cobertura vegetal possa ter sido de 65 a 70%, aproximadamente.

No PA-2, apesar de no monitoramento anterior o geotêxtil ter se apresentado bastante enrolado, o desenvolvimento da cobertura vegetal foi excelente. A estimativa é que tenha chegado a aproximadamente 80% ou mais (Figura 98).

Em cada monitoramento, se for considerada a soma dos percentuais de ocupação por geotêxteis e por gramíneas, a porcentagem de solo exposto é reduzida ainda mais. Isto justifica o trabalho ou função conjunta que exercem na proteção do solo e no incremento de nutrientes, até o momento em que a vegetação passará a atuar sozinha, já estabelecida.



FIGURA 97. Fotocomparação de PA-1 em 21 de maio de 2012, destacando a concentração da cobertura vegetal mais afastada da borda da voçoroca, fato ocorrido em maior ou menor proporção nas extremidades da área-teste para a recuperação (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).



FIGURA 98. Fotocomparação de PA-2 em 21 de maio de 2012, com destaque para a fotografia e a classificação supervisionada, ambas apontando o bom nível de desenvolvimento da vegetação em 79 dias desde a semeadura e colocação dos geotêxteis (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Um ponto relevante a ser abordado é o que se pode ver na figura 99. As gramíneas de verde mais claro no centro da foto, apesar de semeadas juntamente às de coloração mais escura no alto da fotografia, são mais novas, demonstrando um crescimento diferenciado, mais lento. Há duas hipóteses levantadas. Pode ser devido ao fato de as gramíneas de coloração verde claro estarem situadas no ponto mais íngreme da área-teste retalhada (Figura 100), ou pode ser influência do modo como foi espalhado o NPK durante sua aplicação no solo. Em uma das etapas iniciais do processo de recuperação, a colocação do insumo NPK não abrangeu a totalidade da área, mas sim algumas faixas dela, como pode ser lembrado na figura 39, no capítulo da metodologia, onde percebe-se que o NPK não recobriu o ponto mais alto da área recuperada.



FIGURA 99. Diferentes estágios de desenvolvimento da cobertura vegetal. Retardo do crescimento observado nas gramíneas verde claro pode ser devido à maior declividade do local (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).



FIGURA 100. Declividade mais elevada pode contribuir com crescimento mais lento observado nas gramíneas que apresentaram tom mais claro de verde (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

A seguir, as figuras 101, 102 e 103 destacam os 3 momentos principais analisados pelo método da fotocomparação, com visualização de toda a área-teste dos geotêxteis.



FIGURA 101. Visão lateral e próxima da área-teste de geotêxteis de bananeira, em 3 de março (José Fernando R. Bezerra, 2012).



FIGURA 102. Visão lateral e próxima da área-teste de geotêxteis de bananeira, em 30 de março (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).



FIGURA 103. Visão lateral e próxima da área-teste de geotêxteis de bananeira, em 21 de maio (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

As figuras 104, 105, 106 e 107, a seguir, apresentam o acompanhamento frontal de todo o desenvolvimento da cobertura vegetal nos 3 períodos monitorados (instalação em 3/03 e monitoramentos em 30/03 e 21/05), além de incluir imagem do dia 11/04, em ida a campo com o objetivo de fechar completamente a área-teste para que o gado não mais entrasse, fato este que ocorreu apenas uma vez, antes de 30 de março.



FIGURA 104. Visão frontal da área de estudo, destaque para a recuperação da área degradada. Foto de 3 de março (José Fernando R. Bezerra, 2012).



FIGURA 105. Visão frontal da área de estudo, destaque para a recuperação da área degradada. Foto de 30 de março (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).



FIGURA 106. Visão frontal da área de estudo, destaque para a recuperação da área degradada. Foto de 11 de abril (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).



FIGURA 107. Visão frontal da área de estudo, destaque para a recuperação da área degradada. Foto de 21 de maio (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

Em visita à área de estudo, em dezembro de 2012 (Figura 108), percebe-se que ainda houve desenvolvimento da cobertura vegetal nas extremidades, se comparada à figura 108. Contudo, o crescimento é bastante desacelerado, uma vez que a vegetação já está estabelecida. Nota-se também, maior presença de matéria vegetal morta, que acrescenta matéria orgânica ao solo.



FIGURA 108. Em dezembro de 2012, durante visita à área, a cobertura vegetal se mostrou estabelecida na área recuperada (Hugo Alves S. Loureiro, 2012).

## 7. CONCLUSÕES

Para traçar um diagnóstico da degradação numa área fortemente marcada pela presença de feições erosivas aceleradas na bacia hidrográfica do rio São Pedro, foi fundamental a realização de monitoramentos da dinâmica de evolução da voçoroca escolhida para a pesquisa. Somada a isto, a análise de propriedades físicas e químicas dos solos no seu interior e encostas de seu entorno, para avaliar sua erodibilidade. A partir daí foi possível estabelecer uma área-teste para iniciar o processo de recuperação com uso de geotêxteis de fibra de bananeira.

Os resultados apontam para a importância dos estudos de campo e do monitoramento dos processos geomorfológicos atuantes na paisagem. O desenvolvimento dessas atividades auxilia na elaboração de diagnósticos de degradação que venha a compor a proposição de medidas reparadoras.

Portanto, a pesquisa realizada tem grande importância quando aplica essas três etapas, monitoramento, diagnóstico e recuperação. Demonstrando que são fundamentais para direcionar a prática das ações que sejam julgadas necessárias para corrigir determinado problema. Comprova-se assim, principalmente para os gestores ambientais, que é de suma importância realizar cada uma dessas etapas, a fim de se obter o maior sucesso possível nas intervenções feitas. Sem um monitoramento adequado não se realiza uma recuperação e/ou reabilitação bem sucedida.

A voçoroca monitorada está estabilizada em diversas partes, mas sua atividade é proeminente na cabeceira, com remoção constante de material durante os eventos pluviométricos. Perdas de solo nas bordas, nas paredes e remobilização dos sedimentos no interior da voçoroca devem ser consideradas. Nesta pesquisa, os dois primeiros tipos foram analisados. Verificou-se maior erosão nas paredes do que nas bordas, mas ressalta-se a dinâmica natural sobre a feição erosiva, que não segue necessariamente este padrão. Entre os resultados mais significativos estão a taxa de 2,49 toneladas de solo erodido nas paredes da cabeceira esquerda, com um ano de monitoramento. Para efeito de comparação, ao tomar tal valor como padrão, a erosão na área estudada chegaria a 100 t·ha<sup>-1</sup>.

Estes resultados dão uma primeira dimensão da gravidade com que ocorre o processo erosivo na área estudada, e que é extensível à bacia hidrográfica como um todo. Não com as mesmas proporções, em alguns pontos menores e em outros tantos maiores, como certamente deva ser o caso dos grandes voçorocamentos da propriedade particular estudada. Principalmente considerando o regime pluviométrico da região, que ajuda a intensificar todo o processo, como pode ser notado pela comparação do desenvolvimento dos grandes voçorocamentos entre os anos de 2003 e 2010, que permite visualizar que a velocidade com que se deu o processo foi bastante considerável, embora não haja o dado empírico, de monitoramento, do aporte gerado por estas grandes feições. Ao passo que os dados do monitoramento realizado nesta pesquisa apontam o potencial erosivo da região.

Entende-se, assim, que a primeira etapa deve ser sempre o monitoramento. Para que se possa conhecer a dinâmica local acerca dos processos atuantes. A partir disso, compreender porque os processos atuam de determinada maneira, porque e como geram formas resultantes e outras consequências desses processos, através do diagnóstico ambiental da área, que caracteriza a segunda etapa dos trabalhos. Porque assim serão discriminados os aspectos que merecem maior atenção e cuidado por parte dos gestores para determinar o “onde?” e o “como?” recuperar.

A pesquisa comprovou que, após monitorar e diagnosticar, é viável recuperar diversas áreas que sofrem com a erosão acelerada na bacia hidrográfica do rio São Pedro, utilizando-se materiais e mão-de-obra locais e de baixos custos. Primeiro passo, muito importante, seria a execução de projetos de educação ambiental para a população local, auxiliando, ensinando ou clareando ideias e ações conservacionistas conciliadas e adequadas às atividades econômicas presentes na região.

Essa viabilidade em recuperar áreas diversas ao longo da bacia hidrográfica é perceptível considerando o contexto geomorfológico das feições erosivas. A feição monitorada e as maiores próximas a ela possuem representatividade perante a bacia porque ocorrem em domínios geomorfológicos semelhantes à maioria das feições mapeadas, como as escarpas serranas e serras reafeiçoadas ou ainda em morros e colinas com tipos de solos e graus de declividade semelhantes, ocorrendo principalmente em áreas de Cambissolos e Latossolos.

Desse modo, é possível traçar áreas prioritárias de recuperação, por meio de mapeamentos que considerem o monitoramento e o diagnóstico dessas áreas em sua confecção, entre outros fatores. Poderiam ser áreas prioritárias, por exemplo, aquelas em que a erosão acelerada ameaça a integridade e funcionalidade das estradas, quer sejam de terra ou asfaltadas, e principalmente nos traçados serranos das estradas estaduais (as “RJs”), que sofrem com voçorocamentos e movimentos de massa constantemente na região. Outro aspecto prioritário poderia ser a proximidade ou destinação dos sedimentos erodidos com os cursos d’água locais. No caso dos grandes voçorocamentos próximos da feição monitorada, os sedimentos são direcionados aos pequenos canais circundantes que desembocam diretamente no rio São Pedro.

Com uma educação ambiental atuante, mais pessoas são atraídas a participar de alguma forma e uma consciência ambiental vai sendo construída ou melhor utilizada, despertando ou refinando o potencial e a experiência obtida pela vivência do meio rural no cidadão local. Desse ponto pode-se extrair a mão-de-obra local, trabalhando com materiais locais, como foi o caso da fibra de bananeira para confeccionar os geotêxteis utilizados na recuperação da área degradada.

Com relação às atividades econômicas, a opção pelas gramíneas para a recuperação da área-teste da voçoroca monitorada representa um exemplo de continuidade. As gramíneas permitem que, após bem estabelecida a vegetação e a recuperação, a área volte a ser utilizada economicamente com a mesma atividade que já possuía anteriormente à recuperação. Ainda que não seja o caminho ideal a ser adotado, apresenta resultados que são satisfatórios perante a remediação da degradação. Em outros casos pode haver mudança no tipo de atividade econômica praticada, e muitas vezes um acompanhamento técnico é fundamental para auxiliar o proprietário rural a desenvolver ou sustentar a nova atividade, que não necessariamente finde a atividade que já era praticada antes. Muitos exemplos têm surgido no Brasil, como a substituição de certas áreas de pastagens que após a recuperação passam a produzir amendoins ou outros produtos, sem que a atividade pecuária seja exterminada no restante da propriedade.

A inovação na utilização dos pinos, em estudos nas encostas, foi bem sucedida. Conciliar os monitoramentos de estacas e pinos de erosão, de modo a serem extraídas

correlações diretas entre os dois tipos de monitoramento é fundamental para o aprimoramento das técnicas e para enriquecer as análises frente a seus objetivos. Um próximo passo na utilização dessa metodologia dos pinos de erosão nas paredes de voçorocas seria a realização de estimativas mais apuradas da perda de solo, pensando em volume de material retrabalhado. A instalação de um vertedouro na saída da feição erosiva também é uma sugestão pertinente de monitoramento. Uma possível fonte de erro na medição de alguns pinos pode ser o fato de as medições serem feitas sem uma regra específica de mensurar apenas um lado do pino (acima ou abaixo dele; à sua esquerda ou à sua direita). Isto aponta uma das possibilidades de desenvolvimento do experimento.

O diagnóstico feito respeitou os dados coletados e produzidos por monitoramentos e análises laboratoriais do solo. A erodibilidade foi avaliada baseada nas propriedades como textura, densidade do solo, porosidade, pH e matéria orgânica. Os resultados de tais análises mostraram que há na área diversos fatores que influenciam para uma alta erodibilidade dos solos, como a composição granulométrica das camadas do solo, a densidade e porosidade afetadas pelo pisoteio do gado e a acidez e os teores de matéria orgânica aquém do desejável. Ainda assim, há sempre a necessidade de contar com outros elementos para chegar a conclusões mais próximas o possível da realidade.

Desse modo, há várias sugestões para o prosseguimento da pesquisa, através de artigos científico-acadêmicos, teses de doutorado, outras dissertações de mestrado e monografias, como por exemplo: realizar análises estatísticas dos resultados; testes com infiltrômetro e de condutividade hidráulica; análise da estabilidade de agregados; padronização das coletas deformadas e novas coletas, bem como a comparação de técnicas para a análise granulométrica, utilizando o calgon e o hidróxido de sódio, além da aferição pelo método do densímetro; elaboração de vídeos com diferentes finalidades, previamente planejados, que busquem somar esta linguagem aos resultados e métodos de pesquisa; realizar estudos de hidrologia de encostas, para complementar e enriquecer o conhecimento sobre a dinâmica da área; testar a eficácia de diferentes equações e modelos, como a USLE e RUSLE, o WEPP; etc.; estabelecer o reaproveitamento de pinos quando forem removidos e encontrados, recolocando-os no mesmo lugar para continuar a medir a erosão, etc.

A diferença entre os resultados de matéria orgânica oferecida pelos dois métodos é um complicador da análise, mesmo com a ideia de se utilizar uma média entre eles, pois se um subestima e o outro superestima, a média pode ser tendenciosa para um dos métodos analíticos. É preciso uma fundamentação técnica e conceitual ainda mais profunda sobre essa especificidade.

Pelo caráter inicial da recuperação, aplicada em área-teste, não foram realizados estudos de hidrologia de encostas, a respeito dos fluxos superficiais e do carreamento dos sedimentos nos eventos pluviométricos. Ainda assim, o processo de recuperação se mostrou bem sucedido e a expansão da recuperação para toda a feição monitorada está apta a ser realizada e a oferecer resultados positivos.

Esta é, certamente, uma área de grande interesse geomorfológico, que incita a estudos de sua evolução, desde a área monitorada e todo o sopé do Pico do Frade, até a bacia hidrográfica como um todo, devido à sua dinâmica. A erosão se mostrou bastante séria na região e merece cuidado e atenção especial da população em geral, desde os moradores, passando pela academia, até as autoridades competentes.

Este trabalho cumpriu os objetivos propostos e aponta um caminho inicial a ser seguido quando foca sua análise em um estudo de caso local e pontual para pensar regionalmente a partir disto. Resta a expectativa pelo avanço das ações práticas sobre os problemas estudados, sempre alicerçados pelo conhecimento científico de qualidade, tendo a certeza de ter contribuído de maneira clara com a ideia de que é preciso monitorar e diagnosticar para então recuperar. Assim, poderá contribuir para abrir caminhos às decisões e ações de gestores locais com a finalidade de controlar ou mesmo estancar a erosão em diversos pontos na bacia hidrográfica e servindo de base metodológica para o desenvolvimento e adaptação a novos estudos e áreas de estudo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEITUN, Adesina. Evaluation of geochemical inputs from potencial geotextile plant fibres (banana leaf, banana stem, banana leaf-stem, *Miscanthus giganteus* and Buriti palm). *MSc Thesis*. University of Wolverhampton – School of Applied Sciences, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). *Dados Hidrológicos*. Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>; acessado em 7 de junho de 2012 e 17 de agosto de 2012.

ALMEIRA, F.F.M. Origem e evolução da plataforma brasileira. DNPM. DGM, Rio de Janeiro, 36p. boletim 241, 1967.

ALMEIDA, F.F.M. O cráton São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo. 7:349-364, 1977.

ALMEIRA, F.F.M. e CARNEIRO, C.D.R. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo. 28(2):135-150, 1998.

ALVES, G.A.; CUSTÓDIO, V. Pesquisa bibliográfica e fontes de dados. In: VENTURI, L.A.B. (Org.). *Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental*. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 203-210.

ARAÚJO, G.H.S.; ALMEIDA, J.R.; GUERRA, A.J.T. *Gestão ambiental de áreas degradadas*. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

ASMUS, H.E., FERRARI, A.L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozoico na região sudeste do Brasil. *Série Projeto REMAC*, Rio de Janeiro, 4:75-88, 1978.

ASSUMPÇÃO, André Polly. Retificação de canais fluviais no baixo curso da bacia do rio Macaé (RJ) – Uma abordagem geomorfológica. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro / PPGG. 110 p, 2009.

AUSTRÁLIA. ACT Planning & Land Authority. *Land Capability Assessment Guidelines*. ACT Government. 1999. 64p. Disponível em:

[http://apps.actpla.act.gov.au/tplan/planning\\_register/register\\_docs/landcapabilitygl5a.pdf](http://apps.actpla.act.gov.au/tplan/planning_register/register_docs/landcapabilitygl5a.pdf)  
acessado em 19 de dezembro de 2012.

BALL, D.F. Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *Journal of Soil Science*, 15, 1, 84-92, 1964.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. Piracicaba: Livroceres, 1985.

BEZERRA, José Fernando Rodrigues. Avaliação de geotêxteis no controle da erosão superficial a partir de uma estação experimental, Fazenda do Glória – MG. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal de Uberlândia. 104p, 2006.

\_\_\_\_\_. Geomorfologia e Reabilitação de Áreas Degradadas por Erosão com Técnicas de Bioengenharia de Solos na Bacia do Rio Bacanga, São Luís - MA. *Tese de Doutorado*. Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 248p, 2011.

BEZERRA, J.F.R.; GUERRA, A.J.T.; RODRIGUES, S.C. Análise do potencial matricial relacionada à recuperação de processos erosivos com técnicas de bioengenharia, Uberlândia – MG. Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. Goiânia, 2006a.

BEZERRA, J.F.R.; GUERRA, A.J.T.; RODRIGUES, S.C. Monitoramento e avaliação de geotêxteis na recuperação de um solo degradado por erosão, Fazenda Experimental do Glória, Uberlândia – MG. Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. Goiânia, 2006b.

BEZERRA, J.F.R.; GUERRA, A.J.T.; RODRIGUES, S.C. Utilização da fotocomparação na reabilitação de áreas degradadas por erosão a partir de uma estação experimental, Uberlândia – MG. *Revista de Geografia (UFPE)*, V. 28, No. 2, 2011.

BEZERRA, J.F.R.; GUERRA, A.J.T.; RODRIGUES, S.C. Relações entre potencial matricial no solo e cobertura vegetal em uma Estação Experimental, Uberlândia – MG. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 24 (1), p. 103-114, jan/abr, 2012.

BEZERRA, J.F.R.; GUERRA, A.J.T.; RODRIGUES, S.C. Variação da umidade superficial do solo em parcelas experimentais com uso de geotêxteis biodegradáveis, Uberlândia – MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.13, nº1 (Jan-Mar), p. 93-100, 2012.

BHATTACHARYYA, Ranjan; DAVIES, Kathy; FULLEN, Michael A.; BOOTH, Colin A. Effects of palm-mat geotextiles on the conservation of Loamy Sand soils in East Shropshire, UK. *In*: DAZZI, Carmelo & COSTANTINI, Edoardo (Editors). *Advances in GeoEcology 39*. CATENA VERLAG, 2008a. p.527-538.

BHATTACHARYYA, Ranjan; DAVIES, Kathy; FULLEN, Michael A.; BOOTH, Colin A. Soil conservation using palm-mat geotextiles on loamy sand soils in the United Kingdom. *In*: 15th International Congress of ISCO, Proceedings Volume, Budapest, Hungary, 2008b. Disponível em: <http://tucson.ars.ag.gov/isco/index.php>; <http://wlv.openrepository.com/wlv/handle/2436/29987>; acessados em 16 de julho de 2011.

BHATTACHARYYA, R.; FULLEN, M.A.; DAVIES, K.; BOOTH, C.A. Utilizing palm-leaf geotextile mats to conserve loamy sand soil in the United Kingdom. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 130, p. 50-58, 2009.

BHATTACHARYYA, R.; FULLEN, M.A.; BOOTH, C.A.; KERTESZ, A.; TOTH, A.; SZALAI, Z.; JAKAB, G.; KOZMA, K.; JANKAUSKAS, B.; JANKAUSKIENE, G.; BÜHMANN, C.; PATERSON, G.; MULIBANA, E.; NELL, J.P.; VAN DER MERWE, G.M.E.; GUERRA, A.J.T; MENDONCA, J.K.S.; GUERRA, T.T.; SATHLER, R.; BEZERRA, J.F.R.; PERES, S.M.; YI, Z.; YONGMEI, L.; LI, T.; PANOMTARACHICHIGUL, M.; PEUKRAI, S.; THU, D.C.; CUONG, T.H.; TOAN, T.T. Effectiveness of biological geotextiles for soil and water conservation in different agro-environments. *Land Degradation & Development*, March 2011, 22, p. 495-504, 2011.

BITAR, O.Y.; ORTEGA, R.D.E. Gestão Ambiental. *In*: OLIVEIRA, A.M.S. e BRITO, S.N.A. (Eds.) *Geologia de Engenharia*. ABGE, 2002. p. 499-508.

BIULCHI, Denise Figueiredo. Uso de leguminosas arbóreas no controle da evolução de voçoroca no domínio do Cerrado. *Tese de doutorado*. Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

BLAIKIE, P. e BROOKFIELD, H. Defining and debating the problem. *In: BLAIKIE, P. e BROOKFIELD, H. (Orgs.). Land degradation and society*. London: Methuen & Co. Ltd, 1987. p. 1-26.

BRADY, N.C. *The nature and properties of soils*. 8<sup>th</sup> Edition. Macmillan Publishing Co., Inc. New York, 1974.

\_\_\_\_\_. *Natureza e propriedades dos solos/Nyle C. Brady "The nature and properties of soils"*. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo. 7<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.14, p. 99-105, 1990.

CARVALHO FILHO, A. DE; LUMBRERAS, J.F.; SANTOS, R.D. DOS. *Os solos do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM (CD-ROM), 2000.

CARVALHO FILHO, A. DE; LUMBRERAS, J.F.; WITTERN, K.P.; LEMOS, A.L.; SANTOS, R.D. DOS; CALDERANO FILHO, B.; CALDERANO FILHO, S.B.; OLIVEIRA, R.P.; AGLIO, M.L.D.; SOUZA, J.S. DE; CHAFFIN, C.E. Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2003. 1 Mapa, color. Escala 1:250.000. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/sigweb.html>. Acessado em 18 de junho de 2012.

CASSETI, V. *Ambiente e apropriação do relevo*. São Paulo: Contexto, 1991.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, p. 527-538, 1998.

CHORLEY, R.J.; SCHUMM, S.A.; SUDGEN, D.E. *Geomorphology*. Cambridge: University Press, 1984.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. *In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 4<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 415-440.

CIDE. *Macaé*. Coleção Perfis Municipais. Rio de Janeiro: CIDE, 1989.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (Orgs.). *Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos*. 7ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 93-148.

COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. *Geomorphology in environmental management: a new introduction*. Second Edition. Oxford: Clarendon Press, 1990.

COTRIM, Lucilene Ribeiro de Araújo. Caracterização Geomorfológica e Problemas Ambientais na Sub-bacia do rio São Pedro (RJ). *Monografia de Graduação*. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 38 p., 2004.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico, Folha Casimiro de Abreu SF23-Z-B-III [formato *shape*]. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil. 2009. <http://geobank.sa.cprm.gov.br/> > Downloads > Arquivos vetoriais > Mapas geológicos (Parcerias com universidades). *Acessado em 05 de agosto de 2012*.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico, Folha Macaé SF24-Y-A-I [formato *shape*]. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil. 2009. <http://geobank.sa.cprm.gov.br/> > Downloads > Arquivos vetoriais > Mapas geológicos (Parcerias com universidades). *Acessado em 05 de agosto de 2012*.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. *Projeto Rio de Janeiro*. Brasília, 614p., 2001.

CUNHA, S.B. e GUERRA, A.J.T. Degradação Ambiental. In: CUNHA, S.B. e GUERRA, A.J.T. (Orgs.). *Geomorfologia e meio ambiente*. 6ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p. 337-379.

DANTAS, M.E. *Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM (CD-ROM), 2000.

DEC, Departamento de Engenharia Civil. *Tensões no solo: geostáticas e carregamentos externos*. Universidade Federal de Sergipe. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. *Slides online*. Disponível em: <http://www.skynet.eng.br/projetos/dec/downloads/12856340918318.pdf>, acessado em 10 de dezembro de 2012.

DESCROIX, L., GONZAICZ, J.L., VIRAMONTES, D., ESTEVES, M. Gully Erosion and Land Use Changes on The Hillslopes of The Western Sierra Madre. *In*: Li, Y., Poesen, J., & Valentin, C. (eds.) *Gully Erosion under Global Change*. Chengdu, China : Sichuan Science & Tecnology Press, 2004. p. 163-174.

DIAS, L.E. Caracterização de Substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. *In*: DIAS, L.E. e Mello, J.W.V. (eds.) *Recuperação de Áreas Degradadas*. Viçosa: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 27-44.

DIAS, L.E. e GRIFFITH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. *In*: DIAS, L.E. e Mello, J.W.V. (eds.) *Recuperação de Áreas Degradadas*. Viçosa: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 1-7.

DIAS, E.O.; BRUM, J.A.; MACHADO, F.A.; BRADÃO, R.A. Análise comparativa das propriedades físicas do solo em diferentes posições de relevo na região de Galdinópolis no município de Nova Friburgo – RJ. Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO, Belo Horizonte, 10 p., 2008.

DIAS, W.A. e THOMAZ, E.L. Avaliação dos efeitos do pastoreio sobre a erosão em margens de canal fluvial em sistema de faxinal. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 23 (1), p.23-35, abr. 2011.

DIAS, J.C. e LIMA, W.N. Comparação de métodos para a determinação de matéria orgânica em amostras ambientais. *Revista Científica da UFPA*, Pará, v.4, 16 p., 2004. Disponível em: [http://www2.ufpa.br/rcientifica/ed\\_anteriores/pdf/ed\\_04\\_jcd.pdf](http://www2.ufpa.br/rcientifica/ed_anteriores/pdf/ed_04_jcd.pdf); acessado em 18 de julho de 2012.

EGBUJUO, Charles I. Geochemical characterization of banana, buriti palm, jute and coir geotextiles. *MSc Thesis*. University of Wolverhampton – School of Applied Sciences, 2012. 97p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMUHSA. Empresa pública municipal de habitação, urbanização, saneamento e água de Macaé - RJ. *Estudo de Disponibilidade Hídrica da Bacia do rio Macaé*. Relatório 07. Macaé, 2004.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; GALLIASSI, K.; CERETTA, C.A. Determinação de matéria orgânica do solo pela perda de massa por ignição, em amostras do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, p. 247-255, 2007.

EVANS, R. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. In: KIRKBY, M.J. e MORGAN, R.P.C. (Eds.) *Soil Erosion*. John Wiley & Sons, 1980 p. 109-128.

FIDERJ, Fundação Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Rio de Janeiro. *Estudos para o planejamento municipal: Macaé*. Rio de Janeiro, 1977.

FONSECA, M.J.G. Texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro – Escala 1:400.000. DNPM. Rio de Janeiro, 141p. 1998.

FRANCISCO, A.B.; NUNES, J.O.R.; TOMMASELLI, J.T.G. Estudo da dinâmica do processo de voçorocamento através de pesquisas de campo no município de Rancharia, SP, Brasil. Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO, Belo Horizonte, 10 p., 2008.

FRANCISCO, A.B.; NUNES, J.O.R.; TOMMASELLI, J.T.G. A dinâmica espaço-temporal do processo de voçorocamento no perímetro urbano de Rancharia-SP. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.11, nº1, p. 49-56, 2010.

FULLEN, M.A. e CATT, J.A. *Soil Management: problems and solutions*. London: Arnold, 2004.

FULLEN, M.A. e GUERRA, A.J.T. The potencial of palm (Borassus) mat geotextiles as a soil conservation technique. Anais do IV Simpósio Nacional de Geomorfologia. São Luís, 2002.

FURTADO, M.S.; LIMA, N.F.C.; SOUZA, U.D.V.; MENDONÇA, J.K.S.; GUERRA, A.J.T.; FEITOSA, A.C. The use of biotextiles to recuperate degraded areas by erosion. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia: EDUFU, Special Issue, 277-283, 2005.

FURTADO, M.S.; RIBEIRO, F.V.; SOUSA, U.D.V.; MENDONÇA, J.K.S.; GUERRA, A.J.T. Processo de Recuperação da Voçoroca do Sacavém, São Luís-MA. Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. Goiânia, 2006.

GERRARD, A.J. *Mountain environments: an examination of the Physical Geography of mountains*. London: Belhaven Press, 1990.

GERRARD, J. *Soil geomorphology - an interaction of pedology and geomorphology*. Chapman e Hall, 1992.

GOUDIE, A. e VILES, H. *The Earth Transformed – An Introduction to Human Impacts on the Environment*. Oxford, England: Blackwell Publishers, 1997.

GROHMAMM, F. Porosidade. In: MONIZ, A. C. (Org.) *Elementos de pedologia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 77-84.

GUERRA, A.T. e GUERRA, A.J.T. *Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUERRA, A.J.T. Processos Erosivos nas Encostas. In: Cunha, S.B. e GUERRA, A.J.T. *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 139-155.

GUERRA, A.J.T.; MENDONÇA, J.K.S.; RÊGO, M.; ALVES, I.S. Gully erosion monitoring in São Luís City – Maranhão State – Brazil. In: 17<sup>th</sup> WCSS, Thailand, 2002.

GUERRA, A.J.T. Encostas e a Questão Ambiental. In: *A Questão Ambiental: diferentes abordagens*. CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (Orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 191-218.

\_\_\_\_\_. O início do processo erosivo. In: *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005a. p. 17-56.

\_\_\_\_\_. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo: FFLCH-USP, 16, p. 32-37, 2005b. Disponível em:

<http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/article/view/50/0> (acessado em 27 de julho de 2012).

GUERRA, A.J.T.; MARÇAL, M.S.; POLIVANOV, H.; SATHLER, R.; MENDONÇA, J.K.S.; GUERRA, T.T.; BEZERRA, J.F.R.; FURTADO, M.S.; LIMA, N.F.C.; SOUSA, U.D.V.; FEITOSA, A.C.; DAVIES, Kathy; FULLEN, Michael A.; BOOTH, Colin A. Environment management and health risks of soil erosion gullies in São Luís (Brazil) and their potential remediation using palm-leaf geotextiles. *In: Environmental Health and Risk III*. C.A. Brebbia; V. Popov; D. Fayzieva (Editors). Southampton, Boston: WIT Press, 2005. p. 459-467.

GUERRA, A.J.T. e MARÇAL, M.S. *Geomorfologia Ambiental*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A.J.T. Processos Erosivos nas Encostas. *In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (Orgs.). Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos*. 7ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 149-209.

GUERRA, A.J.T. e MENDONÇA, J.K.S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. *In: VITTE, A.C. e GUERRA, A.J.T. (Orgs.). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 225-256.

GUERRA, A.J.T.; BEZERRA, J.F.R.; LIMA, L.D.M.; MENDONÇA, J.K.S.; GUERRA, T.T.; BUHMANN, C.; PATERSON, D.G.; PIENAAR, G.; NELL, J.P.; MULIBANA, N.E.; DEVENTER, P.W.V.; FULLEN, M.A. Land rehabilitation with the use of biological geotextiles, in two different countries. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia: EDUFU, 22 (3), p. 431-446, 2010.

HAIGH, M.J. *Evolution of slopes on artificial landforms*. Blaenavon, U.K.: Research Paper – University of Chicago, Department of Geography; no. 183, 1978.

HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. *Advances in Agronomy*, v.18, p.107-169, 1966.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C.M.; VALLADARES, C.S. & MACHADO, N. A orogênese brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo. 25(4):249-66, 1995.

HINGEL, Renato de Lima. Sedimentação quaternária na bacia do rio Macaé (RJ): análise morfoestratigráfica de terraços fluviais. *Dissertação de Mestrado* – Universidade Federal do Rio de Janeiro / PPGG, 2012.

IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria Técnica. *Geografia do Brasil*. 5 v., v.3, Região Sudeste. Rio de Janeiro: SERGRAF – IBGE, 1977.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico de pedologia* / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2ª ed. – Manuais técnicos em geociências, nº 4. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. 300p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico de pedologia* / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2ª ed. – Manuais técnicos em geociências, nº 4. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 316p.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Tutorial do Spring*. São Paulo: INPE, Departamento de Processamento Digital, 2009.

JANKAUSKAS, B.; JANKAUSKIENE, G.; FULLEN, M.A.; BOOTH, C.A. Utilizing palm-leaf geotextiles to control soil erosion on roadside slopes in Lithuania. *Žemės ūkio mokslai*, T.15. Nr. 3, p. 22-28, 2008.

JORGE, J.A. Matéria orgânica. In: MONIZ, A. C. (Org.) *Elementos de pedologia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 169-177.

\_\_\_\_\_. *Física e manejo dos solos tropicais*. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985.

JUSTINIANO, E.F. Registro fotográfico. In: VENTURI, L.A.B. (Org.). *Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental*. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 187-195.

KIEHL, E.J. Reação do Solo, Acidez e Alcalinidade. *Manual de Edafologia*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979. p. 246-262.

KIRKBY, M.J. The Problem. In: KIRKBY, M.J. e MORGAN, R.P.C. (Eds.) *Soil erosion*. John Wiley & Sons., 1980.

LAWLER, D.M. e LEEKS, G.J.L. River bank erosion events on the Upper Severn detected by the Photo-Electronic Erosion Pin (PEEP) system. *In: Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins (Proceedings of the Oslo Symposium, August 1992)*. IAHS Publ. N° 210, 1992.

LEAL, P.C.B.; RODRIGUES, S.C. Uso e comparação do método de estaqueamento, o método DGPS e o Geoprocessamento no monitoramento de uma área erosiva na fazenda do Glória – Uberlândia, MG. *GEOUSP – Espaço e Tempo*, São Paulo, n°29, p. 18-35, 2011.

LIMA-E-SILVA, P.P.; GUERRA, A.J.T.; DUTRA, L.E.D. Subsídios para Avaliação Econômica de Impactos Ambientais. *In: CUNHA, S.B. e GUERRA, A.J.T. (Orgs.). Avaliação e Perícia Ambiental*. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p. 217-261.

LIMA, Fábio da Silva. Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança – Nova Friburgo (RJ). *Dissertação de Mestrado* – Universidade Federal do Rio de Janeiro / PPGG. 140p, 2010.

LIMA, Luiz Dias da Mota. Suscetibilidade à Erosão dos Solos nas Sub-bacias do médio e alto cursos da Bacia do Rio Macaé / RJ. Instituto de Geociências – UFRJ. M.S.c., Programa de Pós-graduação em Geografia. *Dissertação de Mestrado* – Universidade Federal do Rio de Janeiro / PPGG. 127p, 2008.

LIMA, L. D. M. ; SILVEIRA, P.G. ; SILVA, F.F. ; LOUREIRO, H. A. S. Estudo dos Processos Erosivos no Médio e Alto Cursos da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé, Macaé/RJ. *Geografia. Ensino & Pesquisa (UFSM)*, Santa Maria, v. 12, p. 000-000, 2008. *Meio digital*.

LIMA, Raphael Nunes de Souza. Definição dos Estilos Fluviais na sub-bacia do rio São Pedro (RJ). Uma abordagem Geomorfológica ao Planejamento dos Recursos Hídricos. *Monografia de Graduação em Geografia*. UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.

LOUREIRO, Hugo Alves Soares. Suscetibilidade dos Solos à Erosão na Sub-bacia Hidrográfica do Rio das Flores – Nova Friburgo/RJ. *Monografia de Graduação em Geografia*. UFRJ. Rio de Janeiro. 53p, 2010.

LOUREIRO, H.A.S.; NEVES, S.R.A.; BRIZZI, R.R.; MENDES, S.P.; GUERRA, A.J.T. Soil Erodibility and Monitoring at a Gully in São Pedro River's Drainage Basin, Macaé Municipality/Rio de

Janeiro State – Brazil. UGI 2011 – Regional Geographic Conference, Conference Proceedings, Santiago - Chile, 2011.

LOUREIRO, H.A.S.; GUERRA, A.J.T. Monitoramento de voçorocas: adaptações metodológicas no uso de estacas e pinos de erosão. Anais do IX Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO, Rio de Janeiro, 6p, 2012.

MARÇAL, M. S.; LUZ, L. M. Planejamento e Gestão da Bacia do Rio Macaé - Litoral Norte Fluminense com base em estudos integrados de Geomorfologia e Uso do Solo. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Recife. Anais do IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. CD-ROM, 2003.

MARQUES, J.S. Ciência geomorfológica. *In*: CUNHA, S.B. e GUERRA, A.J.T. (Orgs.). *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 103-138.

MEDINA, H.P. Constituição Física. *In*: MONIZ, A. C. (Org.) *Elementos de pedologia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 11-20.

MENDES, Stella Peres. Diagnóstico Geotécnico e Sócio-Ambiental da Voçoroca do Bacanga, São Luís – MA. *Monografia para obtenção do bacharelado em Geografia*. UFRJ. Rio de Janeiro. 58p, 2008.

MENDES, S.P.; LOUREIRO, H.A.S.; NEVES, S.R.A.; GUERRA, A.J.T. Caracterização da Estrutura e Funcionalidade Florestal da APA Municipal de Macaé de Cima, Nova Friburgo (RJ). Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa – MG. 2009. Disponível em: ([http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo5/024.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo5/024.pdf))

MENDONÇA, Jane Karina Silva. Uso sustentável de espécies de palmeiras da APA da Baixada Maranhense para controle e recuperação de áreas degradadas por erosão. São Luís, MA. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal do Maranhão. 80p, 2006.

MORGAN, R.P.C. *Soil Erosion and Conservation*. 3<sup>rd</sup> edition. England: Blackwell Publishing, 2005.

MORGAN, R.; RICKSON, J. Soil erosion control: importance of geomorphological information. *In*: HOOKE, J.M. *Geomorphology in environmental planning*. John Wiley & Sons Ltd, 1988.

MOTÉ, F.O. Definição de Unidades de Paisagem na Bacia do Rio Macaé (RJ) como Proposta Metodológica ao Planejamento Ambiental. *Dissertação de mestrado*. Rio de Janeiro. UFRJ. Programa de Pós-Graduação em Geografia. 110p, 2008.

NASCIMENTO, F.J.B.; HINGEL, R.L.; SOUZA, P.A.; MARÇAL, M.S. Caracterização Espaço-Temporal das Chuvas em Associação às Vazões na Bacia do Rio Macaé RJ. Anais do IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica - SBCG - Fortaleza, 2010.

NEVES, S.R.A. Diagnóstico de degradação dos solos por erosão no médio curso da sub-bacia do rio São Pedro – Macaé (RJ). *Monografia para obtenção do bacharelado em Geografia – UFRJ*: Rio de Janeiro. 71p, 2011.

NEVES, S.R.A.; SILVA, L.F.T.C.; LOUREIRO, H.A.S.; MENDES, S.P.; GUERRA, A.J.T. Mapping of erosive features by type of use and land cover in the sub-basin of São Pedro river, Macaé municipality, Rio de Janeiro State/Brazil. UGI 2011 – Regional Geographic Conference, 2011, Santiago. Conference Proceedings – Regional Geographic Conference UGI 2011. Santiago, 2011.

OLIVEIRA, M.A.T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs.). *Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 57-99.

PENTEADO, M.M. *Fundamentos de geomorfologia*. 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. 180p.

PEPPLER, M.C.; FITZPATRICK, A. Methods for monitoring the effects of grazing management on bank erosion and channel morphology, Fever River, Pioneer Farm, Wisconsin, 2004. In: USGS Fact Sheet: 2005-3134. 2005, 4p. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/fs/2005/3134/>

PEREIRA, A.R. *Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão*. Belo Horizonte, MG: FAPI, 2006.

PERON, M.L. O uso do vídeo em trabalhos de campo: a técnica e a construção de uma narrativa. In: VENTURI, L.A.B. (Org.). *Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental*. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 197-202.

RAMALHO, M.F.J.L. Evolução dos processos erosivos em solos arenosos entre os municípios de Natal e Parnamirim – RN. *Tese de Doutorado*. UFRJ. 347p, 1999.

SAADI, A. Elementos de discussão da neotectônica brasileira. *In: SICEG, Semana de Estudos Geológicos*, 31, Belo Horizonte, Anais, 1-12, 1990.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. *In: Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 229-267.

SATHLER, R.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A.J.T.; BARROSO, E.V. Caracterização de Voçorocas na Ilha do Maranhão. *Anuário do Instituto de Geociências*. Rio de Janeiro: UFRJ. Vol. 32 - 1/2009, p. 34-45, 2009.

SAYNOR, M.J.; ERSKINE, W.D.; EVANS, K.G. Bank erosion in the Ngarradj catchment: Results of erosion pin measurements between 1998 and 2001. Supervising Scientist Report 176, Supervising Scientist, Darwin NT. 2003.

SELBY, M.J. *Hillslope materials and processes*. 1<sup>st</sup> ed. Oxford: Oxford University Press, 1990.

\_\_\_\_\_. *Earth's changing surface: an introduction to geomorphology*. 5<sup>th</sup> ed. Oxford: Oxford University Press, 1991.

\_\_\_\_\_. *Hillslope materials and processes*. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Oxford University Press, 1993.

SHEPHERD, Alistair Paul. An agro-environmental analysis of Hanover Parish, Jamaica. MSc Thesis. University of Wolverhampton – School of Applied Sciences, 2012, 54p.

SHIT, P.K. e MAITI, R.K. Mechanism of gully-head retreat – a study at Ganganir danga, Paschim Medinipur, West Bengal. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management EJESM* Vol. 5 No. 4, 11p, 2012.

SILVA, T.M. A estruturação geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro. *Tese de Doutorado*. Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 264p, 2002.

\_\_\_\_\_. Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro: distribuição espacial das feições morfológicas e contexto evolutivo. *In: Questões metodológicas e novas temáticas na*

*pesquisa geográfica*. BICALHO, A.M.S.M. e GOMES, P.C.C. (Orgs.). Rio de Janeiro: Publit, 2009. p. 227-248.

SILVA, L.C. e CUNHA, H.C.S. (Orgs.). *Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro*. 2ª edição. Brasília: CPRM (CD-ROM), 2001.

SILVÉRIO, P.F. e GONÇALVES, C. Influência dos métodos de determinação de carbono orgânico em solos nos estudos de qualidade da água subterrânea e de avaliação de risco. Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - Natal, 2008. 11p.

SMETS, T.; POESEN, J.; FULLEN, M.A. e BOOTH, C.A. Effectiveness of palm and simulated geotextiles in reducing runoff and inter-rill erosion on medium and steep slopes. *Soil and Use Management*, September 2007, 23, p. 306-316, 2007.

SMETS, T.; POESEN, J.; LANGHANS, C.; KNAPEN, A.; FULLEN, M.A. Concentrated flow erosion rates reduced through biological geotextiles. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, p. 493-502, 2009.

SMETS, T.; POESEN, J.; BHATTACHARYYA, R.; FULLEN, M.A.; SUBEDI, M.; BOOTH, C.A.; KERTÉSZ, A.; SZALAI, Z.; TOTH, A.; JANKAUSKAS, B.; JANKAUSKIENE, G.; GUERRA, A.; BEZERRA, J.F.R.; ZHENG YI; PANOMTARANICHAGUL, M.; BÜHMANN, C.; PATERSON, D.G. Evaluation of biological geotextiles for reducing runoff and soil loss under various environmental conditions using laboratory and field plot data. *Land Degradation & Development*, March 2011, 22, p. 480-494, 2011.

STOCKING, M. Measuring land degradation. In: BLAIKIE, P. e BROOKFIELD, H. (Orgs.). *Land degradation and society*. London: Methuen & Co. Ltd, 1987. p. 49-63.

SUERTEGARAY, D.M.A. (Org.). *Terra: feições ilustradas*. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

SUERTEGARAY, D.M. A.; NUNES, J.O.R. A Natureza da Geografia Física na Geografia. *Terra Livre*, São Paulo, (17), p. 11-23. 2001.

TAVARES, S.R.L.; MELO, A.S.; ANDRADE, A.G.; ROSSI, C.Q.; CAPECHE, C.L.; BALIEIRO, F.C.; DONAGEMMA, G.K.; CHAER, G.M.; POLIDORO, J.C.; MACEDO, J.R.; PRADO, R.B.; FERRAZ, R.P.D.; PIMENTA, T.S. *Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo*

no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. 1ª edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.

THOMAZ, E.L. e DIAS, W.A. Bioerosão – evolução do rebanho bovino brasileiro e implicações nos processos geomorfológicos. Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO, Belo Horizonte, 15 p., 2008.

VANDEKERCKHOVE, L.; POESEN, J.; OOSTWOUD WIJDENES, D.; GYSSELS, G. Short-term bank gully retreat rates in Mediterranean environments. *Catena*, 44, p. 133-161, 2001.

VENTURI, L.A.B. O papel da técnica no processo de produção científica. In: VENTURI, L.A.B. (Org.). *Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental*. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 13-18.

WENDLING, Beno; MENCONÇA, Eduardo de Sá; NEVES, Júlio César Lima. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.40, n 5, p.487-494, maio, 2005.

WUTKE, A.C.P. Acidez. In: MONIZ, A. C. (Org.) *Elementos de pedologia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 149-168.

Sites da internet:

<http://www.lagesolos.ufrj.br/?op=glossario>

<http://www.serramacaense.com.br>, acessado em 01 de outubro de 2010.

<http://visitecasimirodeabreu.com.br/inshistcult/1274>, acessado em 20 de março de 2011.

<http://www.voice-online.co.uk/article/linking-hanover>, acessado em 19 de julho de 2012.

<http://hidroweb.ana.gov.br/>, acessado em 7 de junho de 2012 e 17 de agosto de 2012.

[www.colegioweb.com.br/fisica/o-que-e-hidrostatica.html](http://www.colegioweb.com.br/fisica/o-que-e-hidrostatica.html), acessado em 10 de dezembro de 2012.