



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia

**ANÁLISE PROGNÓSTICA DE PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MATEUS NUNES (PARATY, RJ)**

SARA REGINA DE ARAÚJO NEVES

Rio de Janeiro
Agosto de 2015

Sara Regina de Araújo Neves

**ANÁLISE PROGNÓSTICA DE PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MATEUS NUNES (PARATY, RJ)**

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

Professor Orientador: Dr. Antônio José Teixeira Guerra

Rio de Janeiro
Agosto de 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

N511a Neves, Sara Regina de Araújo
 Análise prognóstica de processos erosivos na
 bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Paraty,
 RJ) / Sara Regina de Araújo Neves. -- Rio de
 Janeiro, 2015.
 130 f.

 Orientador: Antonio José Teixeira Guerra.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal
 do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,
 Departamento de Geografia, Programa de Pós
 Graduação em Geografia, 2015.

 1. Erosão dos Solos. 2. Suscetibilidade. 3.
 Indicadores Ambientais. 4. Unidade de Conservação.
 5. Geomorfologia. I. Guerra, Antonio José
 Teixeira, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sara Regina de Araújo Neves

ANÁLISE PROGNÓSTICA DE PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MATEUS NUNES (PARATY, RJ)

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

Aprovada em: ____ / ____ / 2015, por:

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

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

André de Souza Avelar, D.Sc. (Departamento de Geografia – UFRJ)

AGRADECIMENTOS

A Deus por seu amor, por sua fidelidade, por seus feitos em minha vida. Enfim, por tudo! “‘ Eu sou o Alfa e o Ômega’, diz o Senhor Deus, ‘o que é, o que era e o que há de vir, o Todo-poderoso’” (Apocalipse 1:8). A este Deus que eu sirvo toda honra, toda glória e todo o louvor.

Aos meus pais, Alberto e Marta e à minha irmã Paula pela compreensão, apoio e paciência. A todos da minha família que, de alguma forma, contribuíram com a minha formação pessoal e profissional.

Ao Anderson Daniel por todo amor, companheirismo, dedicação, cuidado e apoio. Mesmo não sendo da Geografia me apoiou e me apoia de uma forma incrível.

A todos os meus amigos que me apoiaram, direta ou indiretamente, nesta caminhada, me aconselhando, me apoiando, me ouvindo e me divertindo. Não vou citar nomes, pois posso esquecer alguém. Todos foram fundamentais, os mais próximos e os mais distantes, os mais velhos e os mais novos.

Ao meu orientador, professor Antonio José Teixeira Guerra, pela oportunidade, pelos ensinamentos e por todo apoio. E junto a ele, agradeço também ao CNPq e à FAPERJ por financiarem as pesquisas, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) pela oportunidade e à Universidade Federal do Rio Janeiro (UFRJ) por ter papel fundamental em minhas conquistas.

A toda equipe do LAGESOLOS, de ontem e de hoje, desde 2008, por todo apoio, pelos laços de amizade criados e pelos ricos momentos de aprendizado. Um obrigado especial a: Luiz Fernando Tavares, Luis Lima, Fábio Lima, Stella Ferreira, Luana Rangel, Hugo Loureiro, Leonardo Pereira, Maria do Carmo, Helton Souza, Luana Moraes, Rafael Moreira, Gabriel Finotti, Marcelo Pereira, Yolanda Molinaro.

Aos amigos Luiz Fernando Tavares (de novo!), Helton Souza (de novo!), Luciana Narcizo, Gabriel Castrillon e Anderson Daniel (de novo!). A eles um agradecimento mais que especial por toda ajuda direta na elaboração desta dissertação de mestrado.

À equipe gestora e a todos os amigos, colegas de profissão, da Escola Municipal Sobral Pinto, por todo apoio, compreensão, incentivo e força.

Aos irmãos da Igreja do 1º Amor de Vila Valqueire por todo amor, apoio e orações.

Aos meus professores, todos, desde a Escola Municipal José Enrique Rodó, passando pela Escola Municipal Campo dos Afonsos e Escola Técnica Estadual Oscar Tenório, até a Universidade Federal do Rio de Janeiro (mais uma vez!). Muito obrigada!

“O SENHOR é a minha força e o meu escudo; nele confiou o meu coração, e fui socorrido; assim o meu coração salta de prazer, e com o meu canto o louvarei”. Salmos 28:7

RESUMO

NEVES, Sara Regina de Araújo. **Análise prognóstica de processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Paraty, RJ)**. Dissertação de Mestrado em Geografia – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Apesar dos esforços para manutenção da biodiversidade, a degradação ambiental tem estado presente, com destaque para as áreas de proteção ambiental, onde são permitidos alguns tipos de uso da terra de forma sustentável. A presente dissertação de mestrado tem por objetivo realizar uma análise prognóstica à ocorrência de processos erosivos, a partir da correlação de indicadores ambientais e da determinação de classes de suscetibilidade à erosão, na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes, a fim de propor um estudo preventivo e contribuir com a gestão da área estudada. A identificação e a análise da suscetibilidade dos solos à erosão na bacia do rio Mateus Nunes faz-se necessária para o conhecimento das áreas críticas, que necessitam de atenção especial, e do grau de suscetibilidade que a bacia apresenta, enquanto unidade de planejamento e de gestão. A bacia está localizada no município de Paraty, na região sul fluminense. É uma das bacias hidrográficas mais importantes da APA do Cairuçu, no entanto o rio principal representa o limite norte da unidade de conservação, de modo que os afluentes da margem esquerda estão fora desta unidade. Portanto, neste estudo, foi considerada a bacia hidrográfica enquanto recorte espacial, analisando os fatores controladores da erosão dos solos. A metodologia baseou-se na análise das propriedades físicas e químicas dos solos, no mapeamento de alguns parâmetros e na análise prognóstica final. Os indicadores ambientais analisados foram: textura; densidade aparente; porosidade; estabilidade dos agregados; pH; teor de matéria orgânica (para erodibilidade); tipos de solo, geologia, declividade, forma das encostas e uso e cobertura (para os mapeamentos); pluviosidade e erosividade das chuvas. Foram atribuídos pesos e notas aos indicadores mapeados para a elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão dos solos. A bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes apresentou mais de 50% da sua área com alta suscetibilidade à erosão e está associada às encostas próximas aos fundos de vale, nas quais ocorre maior pressão antrópica. Além disso, cerca de 40% dela apresentou média suscetibilidade. Embora cerca de 80% da bacia esteja coberta por floresta, os outros fatores mapeados evidenciam que boa parte das encostas são expressivamente suscetíveis à erosão. Do mesmo modo, os demais fatores analisados também contribuíram para toda a análise de suscetibilidade à erosão dos solos. A análise prognóstica correlacionou os indicadores ambientais de forma subjetiva, por se tratar de um estudo embasado em probabilidades, considerando o conhecimento disponível sobre cada indicador na literatura nacional e internacional. A análise dos solos somada aos indicadores mapeados (tipo de solo, declividade, forma das encostas, geologia, uso e cobertura) e aos dados de chuva sinalizaram a suscetibilidade expressiva em boa parte da bacia, com destaque para o P5 que, aliado às características apresentadas – principalmente a questão do uso da terra – já apresenta feições erosivas, e foi o ponto mais degradado deste estudo.

ABSTRACT

NEVES, Sara Regina de Araújo. **Análise prognóstica de processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Paraty, RJ)**. Dissertação de Mestrado em Geografia – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Despite efforts to maintain biodiversity, environmental degradation has been present, highlights for areas of environmental protection, where some land use types are allowed in a sustainable way. This MSc dissertation aims to perform a prognostic analysis to the occurrence of multiple erosive processes, from the correlation of environmental indicators and the determination of erosion susceptibility classes, on river Mateus Nunes drainage basin, in order to propose a preventive study to contribute to management of the studied area. The identification and analyses of soil erosion susceptibility drainage basin makes itself necessary to get to know about the critical areas, which need special attention, and the susceptibility degree that the basin finds itself, whilst planning and management unit. River Mateus Nunes drainage basin is located in Paraty Municipality, south Rio de Janeiro State. It is one of the most important drainage basins of APA Cairuçu, yet the main river represents the north limit of the conservation unit, in a way that the tributaries of the left border are out of this unit. Therefore, on this study, it was taken into consideration as a spatial cutout, analyzing regulatory factors of soil erosion. The methodology was based on physical and chemical soil properties analysis, at mapping some parameters and prognostic final analysis. The environmental indicators analyzed were: texture; bulk density; porosity; aggregate stability; pH; organic matter content (for erodibility); types of soil, geology, slope angle, slope shape and land use and cover (for mappings); rainfall and rainfall erosivity. There were attributed weights and grades to the charted indicators for the elaboration of a soil erosion susceptibility map. River Mateus Nunes drainage basin has presented more than 50% of its area with high susceptibility to erosion and it is associated with the hillsides nearby the valleys, in which occurs a higher anthropic pressure. Besides that, around 40% presented average susceptibility. Whilst around 80% of the basin is covered by forest, the other factors mapped outline that part of the hillsides are susceptible to erosion. The other facts analyzed also contributed to this whole analysis of soil erosion susceptibility. The prognostic analysis correlates with the environmental indicators in a subjective manner, because it's a study based on probabilities, taking in consideration the available knowledge about each indicator, on national and international literature. Soil analysis added to the charted indicators (type of soil, slope angle, slope shape, geology, land use and cover) and rainfall data signalize an expressive susceptibility on good part of the basin, a highlight for P5 that allied to the characteristics shown - especially the land use and cover - already presents erosive features, being the most degraded point of this study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Triângulo Textural de Lemos e Santos (1996), resultados em g/kg, baseado no Triângulo Textural da USDA (1993), em %.	33
Figura 2. Triângulo Textural da USDA (1993), adaptado por Lemos e Santos (1996) resultados em %.	33
Figura 3. Definições adotadas pelo IPT (BRASIL, 2007).	42
Figura 4. Mapa de localização da área de estudo: bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).	45
Figura 5. Mapa de uso e cobertura da bacia do rio Mateus Nunes (Paraty – RJ) – Adaptado de Cruz <i>et al.</i> (2009).	48
Figura 6. Registros fotográficos de campo na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Fotos: Sara Neves, 2013): (1) Vertente íngreme do Granito Parati e com poucas evidências de desmatamento; (2) trecho do rio Corisquinho, importante afluente do rio principal, em seu alto curso; (3) colina usada para pastagem próxima à planície de inundação do rio principal em seu baixo curso; (4) baixo curso do rio principal, próximo ao encontro com o rio Corisquinho. ..	49
Figura 7. Trecho de Paraty do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro 1:500.000 (CPRM, 2000): em rosa claro (γ4gp) – Complexo Gnáissico Granitoide. Em destaque (vermelho), localização aproximada da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.	51
Figura 8. Trecho de Paraty do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro 1:500.000 (DANTAS, 2000): em lilás (252) – Escarpas Serranas; em amarelo (122) – Planície Colúvio-Alúvio-Marinhas. Em destaque (vermelho), localização aproximada da bacia do rio Mateus.	54
Figura 9. Trecho de Paraty do Mapa de Solos do Estado do Rio de Janeiro 1:500.000 (CPRM, 2000): em cinza escuro (Ra) – solos litólicos; em cinza claro (Ca6) – Cambissolo; em laranja (LVa6) – Latossolo vermelho-amarelo; em verde claro (Ad1) – solos aluviais; em verde escuro (SM) – solos indiscriminados de mangue. Em destaque (vermelho), localização aproximada da bacia do rio Mateus Nunes.	56
Figura 10. Mapa de localização dos 10 pontos de coleta (NEVES, 2015).	59
Figura 11. Tipos de coletas de amostras de solo realizadas em trabalho de campo na área de estudo (Fotos: Luana Moraes e Sara Neves, 2014).	60
Figura 12. Forno mufla e cadinhos com amostras, ambos usados para a análise de matéria orgânica pelo método direto (Sara Neves, 2015).	65
Figura 13. (1) Aquecimento da solução em placa elétrica; (2) soluções em repouso; (3) titulação (Fotos: Sara Neves, 2015).	66
Figura 14. Aparelho medidor de pH mod. 300M Analyser.	67

Figura 15. (1) Quebra de bloco de solo e peneiramento; (2) fração retida na peneira de malha 2mm e utilizada na análise; (3) placas Petry com 25g de agregados cada; (4) aparelho de oscilação vertical – “Yoder”; (5) uma das duplicatas em oscilação por 15 minutos (Fotos: Sara Neves, 2015).....	68
Figura 16. Mapa de uso e cobertura da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes. O trecho não classificado corresponde a parte em que a cena da imagem de satélite não cobria (NEVES, 2014).....	85
Figura 17. Cobertura florestal presente em boa parte da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes. Fotos de trabalho de campo (Fotos: Sara Neves, 2013).....	86
Figura 18. Parte das encostas cobertas por pastagem da bacia de estudo (Foto: Sara Neves, 2014).....	87
Figura 19. Parte da área urbana da bacia de estudo (Foto: Sara Neves, 2014).	87
Figura 20. Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).....	89
Figura 21. Mapa com as classes geológicas da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).....	91
Figura 22. Possíveis ravinas em pastagem, trechos A (concavidade) e B (convexidade) (Foto: Sara Neves, 2014).....	93
Figura 23. Mapa de forma das encostas da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).....	94
Figura 24. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).	96
Figura 25. Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).	99
Figura 26. Mapa de suscetibilidade à erosão para a bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).....	101
Figura 27. Ponto de floresta (P2). Em destaque, as raízes das árvores no local de coleta de solo (Fotos: Sara Neves, 2014).....	103
Figura 28. Ponto de transição floresta-pasto (abandonado) (P7). Detalhe para os restos de um muro no sopé da encosta (Foto: Sara Neves, 2014).	103
Figura 29. Cultivo de cana-de-açúcar (P3) em encosta na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Foto: Sara Neves, 2014).....	104
Figura 30. Pasto "semi-abandonado"(P4). Observou-se em campo a presença de muitos terracetes na encosta, o que pode indicar uso mais intenso no passado. Contudo, as gramíneas encontram-se crescidas e há um pequeno gado, apenas cinco cabeças. (Foto: Sara Neves, 2014).....	105
Figura 31. Pastagem ativa (P5), presença de muitos terracetes e feições erosivas (Foto: Sara Neves, 2013).....	105

Figura 32. Trecho da degradação observada no P5. Em destaque a configuração da ravina ali desenvolvida (Foto: Sara Neves, 2014).....	106
Figura 33. Cultivos variados (P9). Destaque (em amarelo) para a proteção do solo com restos de folhas e espécies invasoras (Fotos: Sara Neves, 2014).....	107
Figura 34. Pastagem do P6, com destaque para os terracetes observados em campo (Fotos: Sara Neves, 2014).....	108
Figura 35. Pastagem do P10 (Foto: Sara Neves, 2014).....	109
Figura 36. Voçoroca avistada da estrada do Corisco (Fotos: Sara Neves, 2014).....	109
Figura 37. Pasto degradado avistado da estrada do Corisco (Foto: Sara Neves, 2014).	110
Figura 38. Encosta desmatada, com solo exposto e degradado. (1) Ravinas e (2) Voçoroca (Foto: Sara Neves, 2014).....	110
Figura 39. Avanço urbano na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes. Detalhe para a pequena contenção de encosta (Foto: Sara Neves, 2014).....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Interpretação do pH, segundo Oliveira (2011).	37
Tabela 2. Pontos de coleta e descrições de campo.	57
Tabela 3. Avaliação dos indicadores ambientais para o mapa de suscetibilidade dos solos à erosão.	70
Tabela 4. Classificação do uso e cobertura da terra, adaptado de IBGE (2006).	71
Tabela 5. Resultados da granulometria (% e g/Kg) e classificação textural das amostras de solo. Para ilustrar, na última coluna, as frações que apresentam maior índice de erodibilidade, Areia Fina (AF) e Silte, em %.	75
Tabela 6. Resultados das análises de densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total.	77
Tabela 7. Teores de matéria orgânica - resultados da utilização dos dois métodos. Na última coluna é apresentada a média entre os resultados dos dois métodos.	80
Tabela 8. Resultados da análise de estabilidade de agregados: DMP, DMG, IEA e Agregados > 2 mm.	82
Tabela 9. Ocorrência de cada classe de uso e cobertura na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.	84
Tabela 10. Classes de solos da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.	88
Tabela 11. Classes geológicas da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.	90
Tabela 12. Classes de forma das encostas encontradas na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.	92
Tabela 13. Ocorrência das classes de declividade na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.	95
Tabela 14. Classes de erosividade estabelecidas por Larios (2007 <i>in</i> SANTOS, 2008).	100
Tabela 15. Ocorrência das classes de suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.	102

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribuição granulométrica dos dez pontos analisados, em %.	76
Gráfico 2. Relação entre os valores de densidade aparente e de porosidade total.....	78
Gráfico 3. Valores de pH do solo encontrados nas amostras analisadas.	79
Gráfico 4. Resultados do teor de matéria orgânica em % em cada método e na média entre eles.	81
Gráfico 5. Índices de agregação do solo (DMG, DMP e IEA) e % de agregados > 2 mm.	83
Gráfico 6. Distribuição de macro e microagregados do solo.....	84
Gráfico 7. Pluviosidade mensal, em mm, para o ano de 2010. Valores registrados pela estação pluviométrica Parati, considerados para toda a área da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.	97
Gráfico 8. Médias mensais de precipitação entre os anos de 1970 e 2010. Valores registrados pela estação pluviométrica Parati, considerados para toda a área da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.	98

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Cálculo da % das frações granulométricas (adaptado de EMBRAPA, 1997).....	62
Equação 2. Cálculo da Densidade de partículas do solo (EMBRAPA, 1997).	63
Equação 3. Cálculo da Densidade aparente do solo (EMBRAPA, 1997).....	63
Equação 4. Cálculo da Porosidade Total do solo (EMBRAPA, 1997).	64
Equação 5. Cálculo do teor de carbono orgânico (EMBRAPA, 1997).....	66
Equação 6. Cálculo do teor de matéria orgânica a partir do resultado de carbono orgânico (EMBRAPA, 1997).	67
Equação 7. Equações modificadas por Castro Filho <i>et al.</i> (2002) de Kemper e Rosenau (1986) (RANGEL, 2014).....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
DMG	Diâmetro Médico Geométrico
DMP	Diâmetro Médio Ponderado
IEA	Índice de Estabilidade de Agregados
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UC	Unidade de Conservação
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i> (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos)
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	20
2.1. Geral	20
2.2. Específicos	20
3. JUSTIFICATIVAS E QUESTIONAMENTOS.....	21
4. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL.....	22
4.1. Unidades de Conservação	22
4.2. Bacia Hidrográfica: unidade espacial de análise	24
4.3. Erosão dos Solos.....	26
4.3.1. Erosividade da chuva.....	27
4.3.2. Características das encostas.....	28
4.3.3. Uso e ocupação da terra.....	29
4.3.4. Cobertura vegetal.....	30
4.3.5. Propriedades do solo.....	32
4.3.6. Outros fatores	38
4.4. Diagnóstico versus Prognóstico nos estudos de erosão dos solos	39
5. ÁREA DE ESTUDO	44
5.1. Histórico de uso e ocupação	46
5.2. Caracterização físico-ambiental	49
6. METODOLOGIA.....	57
6.1. Análise das propriedades dos solos	57
6.1.1. Seleção dos pontos e coleta de amostras de solo.....	57
6.1.2. Análises de laboratório	61
6.1.2.1. Análise granulométrica.....	61
6.1.2.2. Densidade de partículas	62
6.1.2.3. Densidade aparente.....	63
6.1.2.4. Porosidade	64
6.1.2.5. Matéria orgânica	64
6.1.2.6. pH	67
6.1.2.7. Estabilidade dos agregados.....	67
6.2. Mapeamentos	69
6.3. Análise prognóstica dos indicadores ambientais	73
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
7.1. Indicador erodibilidade dos solos: resultados das análises de solo	75
7.2. Indicadores ambientais mapeados	84

7.3. Indicador chuva: regime pluviométrico e erosividade das chuvas	97
7.4. Análise prognóstica dos indicadores ambientais	100
8. CONCLUSÕES.....	113
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

1. INTRODUÇÃO

O espaço físico tem sido modificado por práticas econômicas, que lhe atribuem valor de uso e de troca, sendo necessária a adequação do meio ambiente às necessidades sociais (BERNARDES e FERREIRA, 2010). A partir das respostas do meio ambiente à pressão antrópica, os debates acerca da problemática ambiental avançaram ao longo do século XX, e as concepções de conservação, preservação e proteção de ecossistemas cresceram. As ideias daí resultantes se materializaram na regulamentação legal, no caso do Brasil, em diversas normas, em especial na Lei nº 9.985/2000 (BRASIL, 2000) que cria o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).

Neste sentido, pode-se inferir a partir de estudos preliminares que, apesar dos esforços para manutenção da biodiversidade, a degradação ambiental tem estado presente, com destaque para as áreas de proteção ambiental, onde são permitidos alguns tipos de uso da terra de forma sustentável. Tal aspecto constitui uma complexidade para seus gestores, diante dos conflitos e problemas ambientais gerados a partir dos interesses e atividades econômicas dos atores sociais envolvidos.

Os processos desencadeados, como a erosão dos solos *acelerada* – configurada como problema ambiental – resultam na perda do potencial físico, químico e biológico do solo, o que culmina na redução da capacidade produtiva (MAFRA, 2005; XU *et al.*, 2012; SHRESTHA *et al.*, 2014). No estado do Rio de Janeiro esse tipo de degradação não é recente e remonta ao século XIX devido, principalmente, à atividade cafeeira e mais tarde ao pisoteio do gado nas pastagens (MAFRA, 1985; SILVA e BOTELHO, 2014). Portanto, somado às questões ambientais atuais, faz-se necessário considerar o passado de degradação que se reflete ainda hoje e aumenta a complexidade de gestão, como citado anteriormente, tanto em áreas protegidas como em áreas não protegidas.

Nesse contexto, a Geomorfologia, por possuir caráter integrador, busca compreender a evolução espaço-temporal dos processos do modelado terrestre, tendo em vista escalas de atuação desses processos, antes e depois da intervenção humana (CUNHA e GUERRA, 2006). O conflito entre a expansão do uso da terra, potencializada pelas práticas que geram impactos ambientais, e a necessidade de manutenção de áreas de proteção ambiental, com ocupação controlada e por vezes até restrita, mostra a importância em ser efetivado um plano de ação que contemple estas contradições. Uma vez que as alterações na superfície de uma área podem levar o ambiente ao desequilíbrio, a degradação de seus recursos naturais sinaliza

isto, especialmente do solo e dos recursos hídricos (SILVA *et al.*, 2010; VETTER e BOND, 2012; LOUREIRO, 2013).

Portanto, uma análise prognóstica à ocorrência de processos erosivos representa um instrumento preditivo que, através da inter-relação de indicadores ambientais¹, auxilia nos estudos e mapeamentos de suscetibilidade dos solos à erosão, na avaliação do uso agrícola, pecuário e rufo-urbano e na aplicação das técnicas de contenção de áreas degradadas, além de oferecer subsídios ao zoneamento de uso e ocupação da terra de uma Unidade de Conservação, como a Área de Proteção Ambiental (APA).

Cabe salientar que a área de estudo, onde se tem concentrado esforços para o desenvolvimento desta pesquisa de mestrado, a bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes, localizada no litoral sul do estado do Rio de Janeiro tem, boa parte de sua área dentro dos limites da APA do Cairuçu e a outra parte fora de qualquer unidade de conservação. Este estudo está ligado aos seguintes projetos de pesquisa: *“Diagnóstico de danos ambientais em unidades de conservação: Parque Estadual da Serra do Mar (núcleo Picinguaba) e Parque Nacional da Serra da Bocaina (Área de Proteção Ambiental do Cairuçu) e Reserva Ecológica da Juatinga”* e *“Diagnóstico e recuperação de áreas degradadas no litoral sul fluminense (Angra dos Reis e Paraty), com técnicas de bioengenharia e suas relações com o turismo regional”*, desenvolvidos pelo Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos (LAGESOLOS), da UFRJ.

¹ Adaptado de Magalhães Júnior (2007). O mesmo que *fatores ambientais* ou *indicadores de erosão* (MARÇAL e GUERRA, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2007; LIMA, 2008; LIMA, 2010).

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Realizar uma análise prognóstica à ocorrência de processos erosivos, a partir da correlação de indicadores ambientais e da determinação de classes de suscetibilidade à erosão, nas encostas localizadas na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes, em Paraty, a fim de propor um estudo preventivo para a manutenção da conservação da bacia em questão.

2.2. Específicos

- A) Verificar e analisar a erodibilidade dos solos, a partir da análise das suas propriedades físicas e químicas.
- B) Realizar levantamento e produção de dados dos indicadores ambientais (solos, declividade, forma das encostas, uso e cobertura dos solos, geologia).
- C) Identificar e justificar as áreas mais suscetíveis à erosão dos solos.
- D) Realizar comparações entre os diferentes tipos de uso da terra como influência direta na ocorrência de processos erosivos.
- E) Contribuir para o planejamento e gestão ambiental da unidade de conservação em que boa parte da bacia hidrográfica estudada está inserida.

3. JUSTIFICATIVAS E QUESTIONAMENTOS

A identificação e a análise da suscetibilidade dos solos à erosão na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes faz-se necessária para o conhecimento das áreas críticas, que necessitam de atenção especial, e do grau de suscetibilidade em si que a bacia apresenta, enquanto unidade de planejamento e de gestão. Isto é, saber qual é o grau de suscetibilidade, onde predomina e por que ocorre. Apesar de ainda possuir extensas áreas florestais, manifesta graus diferenciados de suscetibilidade, levando em consideração apenas a observação dos elementos da paisagem em trabalhos de campo e por imagens de satélite. Além disso, há alguns sinais de degradação dos solos por erosão nos compartimentos menos elevados da bacia, principalmente nas encostas dos vales fluviais, que sofrem pressão antrópica – e por este motivo são analisadas nesta dissertação.

Busca-se analisar e inter-relacionar o conjunto de respostas obtidas, almejando subsidiar políticas públicas de planejamento de zonas de uso e ocupação do solo e manejo adequados dos recursos naturais (OLIVEIRA *et al.*, 2009), seguindo a legislação prevista para a referida unidade de conservação, no que se refere à parte da bacia que pertence a APA. Neste caso, o presente estudo funciona como um instrumento para mapeamentos futuros, servindo de base para o planejamento e a gestão, local e regional, adotando-se a bacia hidrográfica como recorte espacial a ser estudado; além disso, apresentar uma previsão à ocorrência de processos erosivos na região.

Optou-se por adotar como escala de análise a bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes, e não apenas a área que se encontra dentro dos limites da APA do Cairucu, por exemplo, o que confere a esta pesquisa de mestrado a validade de seu recorte espacial de estudo, do ponto de vista geográfico e legal – a bacia hidrográfica é uma unidade de gestão ambiental por lei (NASCIMENTO *et al.*, 2010; ALBUQUERQUE, 2012; HOLLANDA *et al.*, 2012), e do ponto de vista geográfico, é a unidade espacial, por excelência, do estudo da Geografia Física. Tal recorte permite conhecer e avaliar os seus diversos componentes, e os processos e interações que nela ocorrem por meio da visão sistêmica e integrada do ambiente.

Vale ressaltar, também, que não foram encontrados trabalhos sobre esta temática na área estudada, a bacia do rio Mateus Nunes, o que torna a presente dissertação pioneira neste quesito.

4. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

4.1. Unidades de Conservação

Unidade de Conservação é definido por César *et al.* (2003) como um instrumento de política ambiental e de gestão territorial de que o país dispõe para regulamentar o acesso e o uso de recursos naturais, bem como assegurar a conservação do seu patrimônio natural. Trata-se de espaços territoriais com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo poder público, com objetivo de conservar a biodiversidade e outros atributos naturais nela contidos, com o mínimo de impacto humano (DALLA NORA, 2010; RANGEL, 2014). As áreas protegidas ao redor do mundo, tais como parques nacionais, reservas naturais, áreas de selva são comumente estabelecidas e geridas para proteção de recursos naturais e culturais (YÜKSEK *et al.*, 2010; TORRI *et al.*, 2013), destacando-se a garantia da conservação da biodiversidade e o seu uso público de modo sustentável (OLIVEIRA e FREITAS, 2012).

É a partir do século XX, principalmente, que a criação de áreas protegidas representa um modo como as sociedades reagem frente aos problemas ambientais (CASTRO JUNIOR *et al.*, 2009), sendo uma das estratégias adotadas por muitos países para conter os altos índices de devastação e proteger parte dos ecossistemas existentes (RINALDI, 2005). O estabelecimento de espaços especialmente protegidos é uma das ferramentas mais utilizadas atualmente para a conservação da natureza (MORSELLO, 2006; RANGEL, 2014). Esses espaços referem-se a porções do território separadas com limitações do uso da terra e dos recursos naturais, sendo extremamente necessário uma vez que a humanidade vem protagonizando há tempos a ocupação desenfreada do solo e o uso predatório dos recursos naturais.

Na legislação ambiental brasileira, as unidades de conservação fazem parte do sistema brasileiro de proteção ao meio ambiente, compondo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que foi instituído em 18 de julho de 2000, através da Lei Nº 9.985. Anterior à criação do SNUC, destaca-se o Código Florestal de 1934, que estabeleceu a criação legal dos Parques Nacionais através do Decreto 23.793, de 23 de Janeiro de 1934, sendo o Parque Nacional do Itatiaia, no Rio de Janeiro, a primeira Unidade de Conservação oficial no Brasil. Outro marco legal na criação de unidades de conservação no país foi o Código Florestal de 1965, instituída pela lei 4.771 de 15 de setembro de 1965, pois tornou possível o estabelecimento de unidades de conservação no modelo como conhecemos hoje (MEDEIROS *et al.*, 2006 in CASTRO JUNIOR *et al.*, 2009). Com o advento do SNUC foi possível “a

integração na forma de gestão das unidades de diferentes categorias e também de diferentes esferas de governo (e mesmo particulares), criando um sistema que pode ser coletivamente planejado” (CASTRO JUNIOR *et al.*, 2009).

Segundo o SNUC (Brasil, 2000), as unidades de conservação (UCs) são divididas em dois grupos: UCs de Proteção Integral e UCs de Uso Sustentável. Enquanto a primeira visa à preservação da natureza, com uso apenas indireto de seus recursos naturais, a segunda visa compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos recursos naturais (Oliveira e Freitas, 2012). As de Proteção Integral são classificadas em cinco tipos de unidades de conservação: (1) Estação Ecológica, (2) Reserva Biológica, (3) Parque Nacional (que também pode ser Estadual ou Municipal), (4) Monumento Natural e (5) Refúgio da Vida Silvestre. E as unidades de Uso Sustentável são classificadas em: (1) Área de Proteção Ambiental ou APA, (2) Área de Relevante Interesse Ecológico, (3) Floresta Nacional ou FLONA, (4) Reserva Extrativista, (5) Reserva da Fauna, (6) Reserva de Desenvolvimento Sustentável, (7) Reserva Particular do Patrimônio Natural ou RPPN (BRASIL, 2000). Cabe destacar a Área de Proteção Ambiental (APA) que, de acordo com o SNUC:

“é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais” (BRASIL, 2000).

Para Dalla Nora (2010), o atual sistema de unidades de conservação representa um alicerce ainda frágil para suportar as pressões sobre a biodiversidade e necessita de investimentos significativos. Portanto, Rinaldi (2005) afirma que somente a criação de unidades de conservação não basta para assegurar o patrimônio natural de uma região. É preciso promover a implementação e o manejo efetivo destas áreas para que elas possam cumprir os objetivos pelos quais foram criadas.

Exemplificando o que foi mencionado acima, Yüksek *et al.* (2010) avaliaram os efeitos das atividades dos visitantes (turísticas) e os tipos de manejo das condições ambientais da superfície do solo na Área Protegida de Kafkasör (Turquia), que é uma unidade de conservação, no entanto sem plano de manejo e acesso livre aos visitantes. Os resultados das atividades de campo e de análises de amostras de solo mostraram que é alta a compactação do solo devido às atividades turísticas, festivas e pastoris que têm ocorrido sem qualquer planejamento.

4.2. Bacia Hidrográfica: unidade espacial de análise

A adoção da bacia hidrográfica como unidade natural de planejamento, análise e gestão ambiental, possibilita avaliar os diversos elementos da paisagem (clima, geologia, relevo, solo, população) de forma integrada, entendendo assim os diferentes processos atuantes, naturais e antrópicos (CHORLEY *et al.*, 1984; COOKE e DOORNKAMP, 1990; BOTELHO, 2005; CUNHA e GUERRA, 2006; BOTELHO e SILVA, 2007; COELHO NETTO, 2007; LIMA, 2008; ALBUQUERQUE, 2012; LEAL, 2012; MACHADO e TORRES, 2012). Ela é considerada unidade espacial de estudo na Geografia Física desde o final da década de 60, basicamente por possuir uma visão sistêmica e integrada do ambiente (BOTELHO e SILVA, 2007).

De acordo com Nascimento *et al.* (2010):

“No Brasil, a importância do estudo de bacias hidrográficas ganha destaque por ser uma unidade de gestão ambiental, legitimada pela LEI Nº 9433 de 1997, onde as bacias hidrográficas são consideradas unidades de planejamento e um bem público dotado de valor econômico. Portanto, sua gestão deve obter participação do poder público associado aos seus usuários”. (NASCIMENTO *et al.*, 2010).

Como escala de análise, a bacia hidrográfica “permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem” por meio da visão sistêmica e integrada do ambiente; e ainda, nela é possível avaliar as ações humanas de forma integrada sobre o ambiente e suas consequências sobre o equilíbrio hidrológico, como afirmam Botelho e Silva (2007). Em concordância, Jenkins *et. al.* (1994 in BELINTANI e MEIRELLES, 2007), afirmam que:

“(...)em termos ambientais, a bacia hidrográfica é uma unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas. Constitui um sistema aberto que recebe energia fornecida pela atuação do clima e dos agentes geológico-geomorfológicos locais e elimina fluxos energéticos pela saída de água, sedimentos e materiais solúveis”. (JENKINS *et. al.*, 1994 in BELINTANI e MEIRELLES, 2007).

Uma das vantagens em delimitar a bacia hidrográfica como unidade de análise é a facilidade na definição de seus limites, definidos por seus divisores de águas, o que estabelece limites mais concretos (LIMA, 2008). Por outro lado, problemas como a necessidade de integração entre esferas de poder de diferentes lugares, que fazem parte da área da bacia, dificultam o diálogo. Sem essa integração, o desenvolvimento de um planejamento ambiental para a bacia pode ficar comprometido devido a conflitos em sua gestão (LIMA, 2008).

Entretanto, antes de adotá-la como escala de análise, é necessário conhecer e compreender sua definição, tal como sua dinâmica e seus elementos. Segundo Botelho (2005), bacia hidrográfica é a área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, e seus limites correspondem às porções mais altas do relevo que constituem os divisores de águas ou de drenagem. Em concordância, Coelho Netto (2007) afirma ainda que é esta uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. Cooke e Doornkamp (1974) mencionam que há uma entrada natural de água (precipitação) em qualquer bacia de drenagem e, conseqüentemente, uma saída natural também, de água e sedimento. Uma bacia hidrográfica recebe energia fornecida pela atuação do clima e da tectônica local, eliminando assim fluxos energéticos pela saída de água, sedimentos e solúveis (CUNHA e GUERRA, 2006; KUSIMI *et al.*, 2014). Há ainda perdas intermediárias, como os volumes de água evaporados e transpirados e também infiltrados profundamente (CHRISTOFOLETTI, 1979; SILVEIRA, 2001 *in* DOURADO, 2008). Assim, a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema aberto em relação à entrada (*input*) e saída (*output*) de energia (GUERRA e MENDONÇA, 2007).

Com isso, Coelho Netto (2007) aponta que “mudanças externas no suprimento de energia e massa conduzem a um auto-ajuste das formas e dos processos, de modo a ajustar essas mudanças”, pois há uma interdependência entre os elementos do sistema, um fator pode influenciar o todo e vice-versa (GILBERT, 1877 *in* COELHO NETTO, 2007). Cunha e Guerra (2006) complementam:

“Sob o ponto de vista do auto-ajuste pode-se deduzir que as bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas uma vez que, mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podem gerar alterações, efeitos e/ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída (descarga, cargas sólidas e dissolvida.). (...) Mudanças ocorridas no interior das bacias de drenagem podem ter causas naturais, entretanto, nos últimos anos, o homem tem participado como um agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrios da paisagem”. (CUNHA e GUERRA, 2006, p. 353-354).

Portanto, qualquer mudança que ocorra em uma bacia de drenagem altera a quantidade de água infiltrada no subsolo, que alimenta aquíferos, e altera a quantidade de sedimentos que são transportados para os canais fluviais (assoreamento) (VOLK *et al.*, 2010). Mudanças como desmatamento, urbanização em áreas de risco, uso inadequado da terra, manejo incorreto das atividades agropecuárias podem gerar eventos de caráter instantâneo e

catastrófico, como deslizamentos de terra, ou processos mais lentos e muitas vezes irreversíveis, como a erosão dos solos.

Nunes *et al.* (2013) adotaram duas bacias hidrográficas no sul e sudeste de Portugal para realizar um estudo dos impactos de tempestades sobre o escoamento superficial e erosão de solos a partir da combinação de alguns modelos, e um dos resultados encontrados demonstraram que dentro da bacia hidrográfica impactos das tempestades sobre a erosão do solo variam com o tipo de cobertura do solo, e as áreas de cultivo sofrem mais impactos negativos.

4.3. Erosão dos Solos

Para Blaikie e Brook-Field (1987) a degradação ambiental é um problema social. Segundo Noffs *et al.* (2000) degradação ambiental refere-se às modificações impostas pela sociedade aos ecossistemas naturais, alterando as suas características físicas, químicas e biológicas, comprometendo, assim, a qualidade de vida dos seres humanos. Neste mesmo contexto, Cunha e Guerra (2006) sintetizam que a aceleração dos processos de degradação é resultado do manejo inadequado somado às condições naturais.

A degradação dos solos constitui um dos tipos de degradação ambiental mais sérios em nossos dias: cerca de 15% das terras mundiais são atingidas por ela (BOARDMAN, 2006 *in* LIMA *et al.*, 2009). Para Hugo (2006), a degradação da terra se refere a processos provocados por atividades humanas que causam alterações de natureza física, química e biológica, de uma ou mais propriedades dos solos.

Um dos tipos de degradação do solo mais grave e perceptível é a erosão hídrica acelerada. Embora a erosão seja um processo natural, ela pode constituir-se em um tipo de processo de degradação do solo (MULLAN, 2013) a partir do momento em que ocorrem taxas maiores do que as que o ambiente pode suportar, ou seja, a partir do momento em que o equilíbrio do sistema natural foi quebrado e o ambiente se modifica, tentando se adaptar a um novo estado de equilíbrio energético (LIMA *et al.*, 2009).

A erosão pode ser definida como um processo de desagregação, remoção (*detachment*), transporte e deposição de partículas dos solos, das partes mais altas (encostas) para as partes mais baixas (vales); seja pela ação da água (erosão hídrica), seja pela ação do gelo (erosão glacial) ou, do vento (erosão eólica), funcionando como agente modelador do relevo, de forma natural ou acelerada (COOKE e DOORNKAMP, 1974; MARÇAL, 2000;

LEPSCH, 2002; FULLEN e CATT, 2004; GUERRA e GUERRA, 2005; MORGAN, 2005; MENDES, 2007; LIMA *et al.*, 2008; GUERRA *et al.*, 2009; BEZERRA, 2011).

Muitos são os estudos sobre a erosão dos solos, e em diferentes partes do globo (POESEN, 1986 (Bélgica); FULLEN, 1991 (Inglaterra); MORGAN *et al.*, 1997 (Suazilândia); BRYAN, 2000 (Canadá); KOSMAS *et al.*, 2000 (Grécia); BODOQUE *et al.*, 2005 (Espanha); COTLER e ORTEGA-LARROCEA, 2006 (México); HUGO, 2006 (Chile); BOU KHEIR *et al.*, 2006 (Líbano); SCHIETTECATTE *et al.*, 2008 (Cuba); SMITH e DRAGOVICH, 2008 (Austrália); GUERRA *et al.*, 2009 (Brasil); KEAY-BRIGHT e BOARDMAN, 2009 (África do Sul); NIGEL e RUGHOOPUTH, 2010 (Ilhas Maurício); XU *et al.*, 2012 (China); MULLAN, 2013 (Irlanda do Norte); KUSIMI *et al.*, 2014 (Gana)). Contudo, o presente estudo se insere nas áreas tropicais onde a erosão hídrica se destaca, devido à quantidade e intensidade das chuvas, que representam um dos agentes deflagradores desse processo (FULLEN e CATT, 2004; GUERRA, 2005; MORGAN, 2005; GUERRA, 2007; LIMA, 2008).

Assim, o trabalho erosivo da chuva (erosividade da chuva), associado aos fatores relevo (características das encostas), tipo de uso da terra, cobertura vegetal e solos (propriedades físicas e químicas) constituem os fatores controladores da erosão, determinando sua intensidade, o que torna importante conhecê-los para saber como, onde e por que ela ocorre (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; MORGAN, 2005; SALOMÃO, 2005; GUERRA, 2007; NIGEL e RUGHOOPUTH, 2010).

4.3.1. Erosividade da chuva

A ação erosiva da chuva depende da distribuição desta, no tempo e no espaço. Ela representa o principal elemento climático relacionado com desequilíbrios nas encostas. Embora o total pluviométrico seja utilizado em muitos estudos sobre erosão, ele não é suficiente para quantificar o potencial erosivo da chuva (GUERRA, 2007). A este se dá o nome de *erosividade da chuva*, que constitui a habilidade da chuva em causar erosão nos solos, em outras palavras, é a energia da água da chuva em causar mais ou menos erosão (HUDSON, 1961 *in* GUERRA, 2007; WALTRICK, 2010; MA *et al.*, 2014).

O impacto das gotas de chuva provoca a erosão através do seu golpeamento no solo, que rompe os agregados (condicionados à erosividade e à erodibilidade), e em seguida ocorre o movimento dessas partículas por *splash*, que em português pode ser traduzido como "erosão

por salpicamento" (COOKE e DOORNKAMP, 1974; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; GUERRA, 2005; MORGAN, 2005; MENDES, 2007; MA *et al*, 2014). Assim, a erosão por pingo de chuva (*raindrop*), é responsável pelas consequências da ruptura dos agregados: rastejamento, saltação, e seleção das partículas do solo - essa última ocorre de forma a selecionar as frações destacadas, como por exemplo, a entrada de frações mais finas no solo, reduzindo as taxas de infiltração (SELBY, 1990).

Além da erosão por pingo de chuva (*raindrop*), outro agente que atua no transporte das partículas de solo é o escoamento superficial (*runoff erosion*), ou fluxo de água (*flowing water*) (COOKE e DOORNKAMP, 1974), a partir da redução das taxas de infiltração do solo, o que gera um acúmulo de água na superfície que escoar quando a capacidade de armazenamento é saturada.

4.3.2. Características das encostas

A topografia é outro fator que contribui na velocidade dos processos erosivos. Aspectos como declividade, comprimento e forma da encosta podem afetar a erodibilidade dos solos. Alguns estudos apontam que à medida que o comprimento da encosta aumenta, o *runoff* pode aumentar ou diminuir; portanto é necessário avaliar esse parâmetro de forma conjunta com outros (COOKE e DOORNKAMP, 1974; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; MORGAN, 2005; GUERRA, 2007; PEREIRA, 2006 *in* MENDES, 2007). Com o aumento da declividade, a erosão pode diminuir devido à presença de solos mais rasos (MARÇAL, 2000; MORGAN, 2005; NEVES, 2011).

Pereira (2015) realizou um diagnóstico ambiental de solos degradados em uma sub-bacia do rio Maranduba, no município de Ubatuba (SP), com o objetivo de analisar os fluxos superficiais de escoamento e a drenagem da água. Sobre os resultados obtidos em uma estação experimental em encosta com cerca de 4° de declividade, salienta “a fragilidade dos ambientes degradados frente às altas taxas de perdas de solo e água, que no período de um ano e meio de monitoramento totalizam, aproximadamente, mais de 50 dias com ocorrências de escoamento, em solos que tendem à saturação prolongada”. Problemas como pressão da população local sobre as florestas, obras irregulares e em locais não adequados para moradia etc. agravam o depauperamento dos solos, e demonstram que encostas com altas declividades não são determinantes para a ocorrência do processo erosivo a partir do escoamento superficial.

Há influência da declividade na ocorrência de processos erosivos e pode ser mais considerável em determinadas classes do que em outras. Luk (1979 *in* GUERRA, 2007), ao estudar solos de Alberta (Canadá), concluiu que os solos de maior erodibilidade foram aqueles situados a 30° de declividade. Poesen e Govers (1986 *in* GUERRA, 2007) apontam que à medida que a declividade aumenta, diminui a densidade de ravinas, atribuindo-se isto a maior resistência do solo à selagem. Além disso, a ocorrência de processos erosivos pode tender a diminuir com o aumento da declividade devido à presença de solos mais rasos (MARÇAL, 2000; MORGAN, 2005). Lima (2008) considerou as encostas entre 10° e 15° e acima de 35° de declividade como de alta suscetibilidade, e as encostas entre 25° e 35° como de muito alta suscetibilidade à erosão, em seus estudos na bacia hidrográfica do rio Macaé.

Quanto à forma da encosta, esta pode ser classificada em côncava, convexa ou retilínea, podendo ocorrer a presença das três formas numa mesma encosta. Hadley *et al*, 1985 (*in* GUERRA, 2007) destacam que a forma das encostas vem a ser mais importante para a erodibilidade dos solos do que a declividade. A forma convexa geralmente apresenta solos mais rasos e funciona como dispersora de fluxos, gerando processos como rastejamento (*creep*) e *splash*, além da potencial formação de ravinas e voçorocas devido ao armazenamento de água nos topos das elevações. Já as concavidades funcionam como área de convergência de fluxos, com incidência de voçorocas, e de deposição de sedimentos. As formas retilíneas, por vezes, apresentam paredões muito íngremes e funcionam como dispersoras de fluxos (SUMMERFIELD, 1991 *in* VIERO, 2004; GUERRA, 2007; RODRIGUES, 2014).

4.3.3. Uso e ocupação da terra

O tipo de uso da terra é outro fator importante no desencadeamento de processos erosivos. De acordo com estudos que investigam as intensidades das taxas de erosão do solo constatou-se que diferentes tipos de uso da terra (floresta, pastagem, cultivos, solo nu etc.), sob diversas condições ambientais, apresentam valores diferenciados de perda anual de solo, por hectare (BIGARELLA, 2003 *in* IBGE, 2009).

Na área urbana, o processo de transformação da paisagem se dá de forma desordenada, a partir de um planejamento ineficiente, o que configura a esse tipo de uso diversos problemas ambientais, sendo a erosão dos solos um deles. Isso se deve principalmente ao estado de impermeabilização em grande parte dos solos da área urbana, o que não impede o

desenvolvimento de feições erosivas, como mostra Bezerra (2011) em estudos no município de São Luís, no estado do Maranhão, que vem sofrendo com o desenvolvimento de voçorocas devido ao elevado índice de urbanização da bacia do rio Bacanga nos últimos anos. Todavia, nas áreas de expansão da cidade e/ou de expansão demográfica, ou seja, na transição ruro-urbana, há um aumento do percentual de solo exposto, podendo aumentar a ocorrência de processos erosivos.

Na área rural, o solo é usado basicamente pela agricultura e pela pecuária, que geralmente necessitam de grandes extensões de terra para a sua prática. Logo, ocorre o desmatamento dessas terras para implantação das culturas e/ou da pastagem, no entanto nem sempre seguido de práticas conservacionistas. Desse modo, essas atividades afetam diretamente o processo de transformação do relevo atingindo de alguma forma todos os elementos de uma bacia hidrográfica (encostas, planícies – erosão e rios lagos, reservatórios - assoreamento e poluição das águas), por exemplo. Como consequência, tais transformações contribuem para o maior empobrecimento da população local afetada, colaborando até com o êxodo rural (GUERRA e MARÇAL, 2006; SHRESTHA *et al.*, 2014).

A combinação de solo exposto com pisoteio do gado, por exemplo, dá origem a diversos processos erosivos, resultando na degradação do solo. Porém, as áreas de pastagem, geralmente, são formadas por gramíneas que desenvolvem um sistema de raízes finas que ajudam esse tipo de vegetação a tolerar um pastoreio contínuo e frequente. Além disso, elas são adaptadas para o controle da erosão por possuírem a capacidade de diminuir a intensidade do escoamento superficial (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; DE BAETS *et al.*, 2006). Com o pastoreio excessivo e o manejo inadequado das pastagens, pode ocorrer a formação de caminhos preferenciais da água nos terracetes formados pelo pisoteio do gado, numa encosta, por exemplo, e daí associado às propriedades dos solos, características das encostas e intensidade das chuvas, o resultado pode ser a formação de feições erosivas.

4.3.4. Cobertura vegetal

A cobertura vegetal é outro fator controlador importante no estudo da erosão dos solos. Esta pode ser considerada o maior impedimento à ocorrência da erosão, pois tende a proteger a superfície do impacto da gota de chuva, através da camada de serapilheira, por exemplo. Isso reduz a quantidade de água disponível para o escoamento superficial por conferir ao solo (juntamente com suas propriedades) boa capacidade de infiltração,

dispersando e quebrando a energia da água que escoar superficialmente pelo aumento da rugosidade da superfície. A atuação das raízes das plantas mantém o solo no local e armazena água da chuva nas copas arbóreas e/ou arbustivas, interceptando as águas das chuvas por meio destas copas arbóreas e da serapilheira que absorvem parte da energia das chuvas, prevenindo a erosão por *splash* e proporcionando o retorno de parte dessa água à atmosfera através da evapotranspiração (COOKE e DOORNKAMP, 1974; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; LEPSCH, 2002; MORGAN, 2005; COELHO NETTO, 2007; GUERRA, 2007; MENDES, 2007; LOUREIRO, 2010).

Uma forma de se alterar o equilíbrio do sistema natural é modificando a cobertura vegetal de um solo, fator fundamental no controle da erosão, principalmente em países tropicais (SALOMÃO, 1999; MENDES, 2007; LIMA *et al.*, 2008). Kirkby e Morgan (1984) afirmam ainda que a erosão hídrica surge quando os solos estão desprovidos de vegetação. Entretanto, Cunha e Guerra (2006) citam que o desmatamento em si não é o causador da degradação, pois devem ser levados em consideração outros fatores como uso e manejo do solo, topografia, erosividade das chuvas, geologia, tipo de solo e suas propriedades físicas e químicas, características das encostas (GUERRA, 2007 e 2014).

Assim, a cobertura vegetal atua como a defesa natural de um terreno frente à erosão (SALOMÃO, 2005). É nela que ocorre a produção de matéria orgânica, que por sua vez, influencia diretamente a estabilidade dos agregados do solo. Elwell e Stocking (1976, *in* GUERRA, 2007) demonstraram que em uma área com mais de 30% de cobertura vegetal os processos erosivos tendem a diminuir.

Em outro estudo, os mesmos autores destacam que pode ocorrer erosão por ravinas na base das árvores devido ao fluxo de tronco (STOCKING e ELWELL, 1973 *in* GUERRA, 2007). Todavia, existe um consenso entre os estudiosos na ideia de proteção que a vegetação proporciona ao lugar, e quando ela é retirada para a implantação de alguma atividade antrópica (agricultura, pecuária, etc.), o solo perde essa proteção e passa à condição de maior susceptibilidade à erosão, pois há a redução do teor de matéria orgânica, o que confere aos agregados do solo menor estabilidade frente ao impacto das gotas de chuva, quebrando-os mais facilmente, formando crostas na superfície, o que passa a dificultar a infiltração da água da chuva, e conseqüentemente aumenta o *runoff* e, com isso, a perda de solo (GUERRA, 2007).

4.3.5. Propriedades do solo

Por fim, têm-se as propriedades dos solos como um dos fatores controladores da erosão, de grande importância na determinação da maior ou menor susceptibilidade à erosão, associada a outros fatores. Essas propriedades determinam a capacidade dos solos de resistir à ação mecânica dos agentes erosivos, além de permitir maior infiltração da água no perfil (BRYAN, 2000; ZORNOZA *et al.*, 2007; LIMA, 2008). Sendo assim, a erodibilidade de um solo é sua resistência em ser removido e transportado (MORGAN, 2005). É importante destacar que ela não é estática, ou seja, o uso agrícola e/ou o superpastoreio podem produzir modificações na erodibilidade com o tempo (GUERRA, 2007). Estas propriedades influenciam o movimento da água no solo, a distribuição das forças erosivas, e a resistência ao arrastamento das partículas, e na maioria dos casos, o efeito inicial mais importante é a forma como os solos vão responder à chuva (BRYAN, 2000; COLOMBANI *et al.*, 2014).

Segundo o Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009):

“A erodibilidade, definida como a resistência do solo tanto à remoção como ao transporte, está primeiramente condicionada às propriedades do solo, dependendo, secundariamente, da posição topográfica, do gradiente da vertente e do montante da perturbação antrópica, o que a torna essencialmente dinâmica no decorrer do tempo”. (IBGE, 2009, p. 109)

As propriedades dos solos podem ser divididas em físicas e químicas. Dentre elas, serão abordadas nesta pesquisa de mestrado as seguintes: textura, encontrada através da análise granulométrica; densidade aparente, densidade de partículas e porosidade; estabilidade dos agregados; matéria orgânica; e pH.

a) Textura

Um perfil de solo geralmente é formado pela combinação das três frações granulométricas areia (2,00 a 0,05 mm), silte (0,05 a 0,002 mm) e argila (< 0,002 mm), e o teor (%) de cada uma no solo determina a sua textura (USDA, 1993; EMBRAPA, 1997; DEXTER, 2004). A fração areia ainda pode ser subdividida em areia grossa (2,0 a 0,25 mm) e areia fina (0,25 a 0,05 mm). A classificação dos tamanhos das frações adotada neste trabalho está de acordo com Embrapa (1997). Kiehl (1979) menciona que a textura se refere “a proporção relativa dos diferentes grupos de partículas primárias”. Lemos e Santos (1996), EMBRAPA (1997), EMBRAPA (2006) e IBGE (2007) adotam a classificação textural

baseada no Triângulo Textural USDA (1993), que será adotada também neste trabalho (Figura 1 e Figura 2).

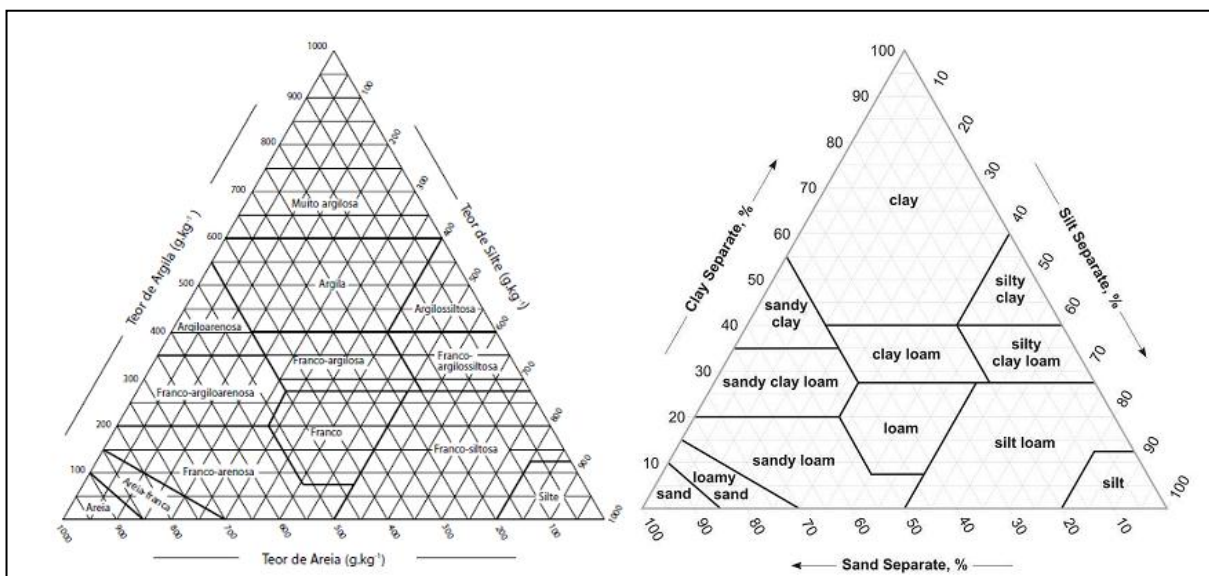


Figura 1. Triângulo Textural de Lemos e Santos (1996), resultados em g/kg, baseado no Triângulo Textural da USDA (1993), em %.

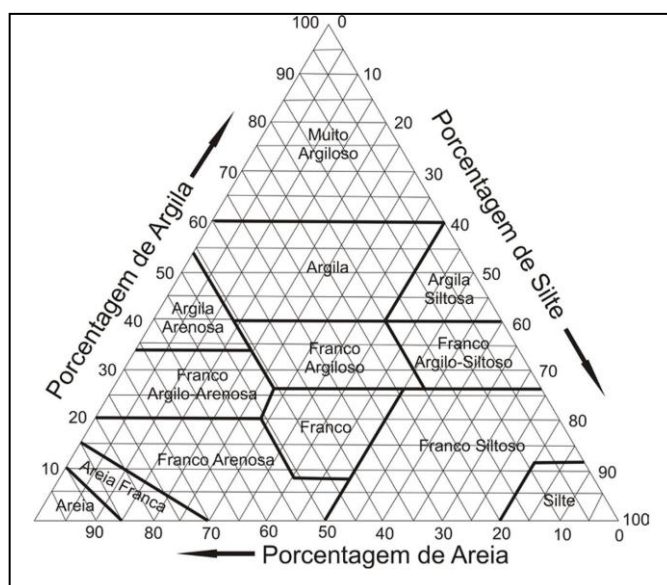


Figura 2. Triângulo Textural da USDA (1993), adaptado por Lemos e Santos (1996) resultados em %.

A textura é uma propriedade importante no estudo da susceptibilidade dos solos à erosão, pois algumas frações granulométricas são removidas mais facilmente do que outras, como por exemplo, os teores de silte e areia fina apresentam os maiores índices de erodibilidade (POESEN *et al.*, 2003; FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; GUERRA, 2005 e 2007; LIMA *et al.*, 2008; NEVES, 2011; LOUREIRO, 2013). Entretanto, estudos de Bryan (1974 *in* GUERRA, 2007), Farmer (1973 *in* GUERRA, 2007) e Salomão (2005)

atribuem maior destaque para a fração areia: solos arenosos geralmente se apresentam mais porosos, o que permite maior infiltração da água, dificultando assim a formação de escoamento superficial. Contudo, devido ao baixo teor de argila, esses solos proporcionam maior facilidade na remoção de sedimentos (*detachment*).

A areia grossa possui menor predisposição à erosão por ser maior e mais grosseira, dificultando o seu transporte pela água. Da mesma forma, a argila também tem menor predisposição à erosão, por ser a menor fração e pela sua maior capacidade de agregação. A argila, juntamente com a matéria orgânica, confere maior estabilidade aos agregados do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985), e retém mais nutrientes para os vegetais (LIMA, 2008). Solos mais argilosos possuem menos porosidade e reduzida infiltração, sendo mais resistentes ao *runoff* devido à coesão de suas partículas.

Gerrard (1992 *in* LOUREIRO, 2013) afirma que há uma rápida reação dos valores de pH e matéria orgânica a mudanças, no entanto a textura é uma propriedade mais difícil de sofrer alterações. Lima (2008) ressalta que fatores como o teor de matéria orgânica podem modificar o comportamento do solo frente aos processos erosivos, independente da textura que ele apresente.

b) Densidade aparente, densidade de partículas e porosidade

A densidade aparente mostra o grau de compactação dos solos, que é capaz de aumentar por diversas razões, e uma delas é a retirada da cobertura vegetal seguida de pisoteio de gado ou uso de máquinas agrícolas (MORGAN, 2005; GUERRA, 2007; LIMA, 2008). Segundo Lima (2008), “os valores de densidade aparente variam muito em função do tipo de solo e do local onde ele foi formado, sofrendo grande influência da cobertura vegetal e das práticas de manejo empreendidas”.

É uma propriedade que estabelece uma relação inversa com a porosidade do solo. Para Morgan (2005), o valor limite entre baixa e alta densidade aparente do solo corresponde a $1,50 \text{ g/cm}^3$. Em solos cobertos por florestas verificam-se valores naturalmente mais baixos de densidade aparente, entre $0,6$ e $0,8 \text{ g/cm}^3$, o que se deve à maior quantidade de raízes e aos constantes aportes de matéria orgânica. E entre $1,1$ e $1,6 \text{ g/cm}^3$ se predominarem as frações minerais e o manejo inadequado (KIEHL, 1979; YÜKSEK *et al.*, 2010).

A densidade de partículas, ou real, é a relação de uma amostra de solo e o volume ocupado por suas partículas sólidas (KIEHL, 1979). E ainda, Lima (2008) diz que essa propriedade do solo “informa, indiretamente, o material de origem, possibilitando a leitura do

passado do ambiente e das influências que este material poderá ter sobre quaisquer atividades que sejam desenvolvidas no futuro”.

Por sua vez, a porosidade é o resultado do cálculo entre densidade aparente e densidade real. Ela pode ser definida como a quantidade de espaços ocupados por gases ou líquidos. A ação do *splash*, por exemplo, causa o destacamento de partículas do solo que entopem os poros do solo, impedindo a livre circulação da água.

Grohmann (1975) afirma que a porosidade varia em valores mínimos de 40 a 60% e extremos de 30 a 80%. Ressalta ainda que as alterações nesta propriedade do solo, tanto as naturais quanto as antrópicas, modificam o movimento da água e do ar interno ao solo, o que reflete em processos bioquímicos. Para Kiehl (1979), a variação nos solos arenosos é de 35 a 50% e para os argilosos de 40 a 60%. Lima (2008) estabeleceu os valores para as classes de suscetibilidade, em seu estudo na bacia hidrográfica do rio Macaé: porosidade baixa (35 a 40%) – alta suscetibilidade; porosidade média (40 a 55%) – média suscetibilidade; e porosidade alta (acima de 55%) – baixa suscetibilidade.

c) Matéria orgânica

A matéria orgânica do solo pode ser definida como resíduos de plantas e animais em diferentes estágios de decomposição, depositados sobre o solo. Em geral, esses resíduos predominam em solos protegidos por cobertura vegetal, como, por exemplo, de floresta, formando uma camada superficial no solo chamada serrapilheira. E ainda, o processo de formação da matéria orgânica no solo é dependente do tipo de flora e fauna que vive sob e sobre o solo (MAGDOFF, 1992 *in* SILVA *et al.*, 1999; LEPSCH, 2002; CASTRO JUNIOR, 2004 *in* LIMA, 2008; GUERRA, 2007; YÜKSEK *et al.*, 2010).

Segundo Kirkby (1980 *in* RAMIDAN, 2003), a matéria orgânica desempenha papel semelhante ao da argila, no que se refere à retenção de água para o solo, assim como de substâncias nutritivas inorgânicas e orgânicas, e atua como uma propriedade "cimentante" na formação de agregados do solo, e por consequência melhora características físicas dele como permeabilidade, porosidade, retenção de água e a estabilidade desses agregados (LEPSCH, 2002; GUERRA, 2005; MORGAN, 2005; BRADY e WEIL, 2008). Desse modo, quanto maior o teor de matéria orgânica no solo, maior será a estabilidade dos agregados, e maior será a resistência deles ao impacto das gotas de chuva, e assim maior resistência ao *splash* e a formação de escoamento superficial (FULLEN, 1991; GUERRA, 2005 e 2007; MORGAN, 2005; GARCÍA-RUIZ *et al.*, 2013). Sua maior influência está em solos com maiores teores de

silte e areia, frações com maior erodibilidade. Ou seja, há uma correlação inversa entre erodibilidade dos solos e teor de matéria orgânica. Índices inferiores a 3,5% de matéria orgânica, que representam valores de carbono inferiores a 2,0%, conferem ao solo maior susceptibilidade à erosão (MORGAN, 2005; GREENLAD *et al.*, 1975 *in* GUERRA, 2007; CONFORTI *et al.*, 2013).

d) Estabilidade dos agregados

O agregado é um conjunto de partículas primárias (argila, silte, areia) do solo que se aderem umas às outras mais fortemente do que a outras partículas circunvizinhas (KEMPER e ROSENAU, 1986; MADARI, 2004). Um conjunto de agregados, de diferentes tamanhos e estabilidade, compõe o solo. A estabilidade de agregados é influenciada pelo teor de matéria orgânica presente no solo, considerada o melhor agente agregador, e ambos implicam nas taxas de erodibilidade (GUERRA, 2007; VOGELMANN *et al.*, 2013; JIEN e WANG, 2013). O teor de argila também é considerado um fator importante para controlar a estabilidade de agregados e sua erodibilidade, segundo Bryan (1971 *in* RAMIDAN, 2003) e Jakšík *et al.* (2015).

As práticas de manejo e uso da terra afetam positiva ou negativamente a agregação de um solo, de acordo com alguns estudos (CASTRO FILHO *et al.*, 1998; MADARI, 2004; Guerra, 2005; COTLER e ORTEGA-LARROCEA, 2006). Madari (2004) cita que, de acordo com alguns trabalhos, “a estabilidade de agregados é um fator relevante no controle da erosão hídrica em solos tropicais ácidos, pois a erodibilidade de solos é diretamente relacionada à estabilidade de agregados em água”. Jakšík *et al.* (2015) afirmam ainda que a estabilidade dos agregados do solo é um fator essencial na avaliação da vulnerabilidade a degradação dos solos.

Segundo Castro Filho *et al.* (1998), no estudo da agregação do solo podem ser usados como parâmetros o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA). O DMP é tanto maior quanto maior for a porcentagem (%) de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores, ou seja, este parâmetro pode ser entendido como a presença de agregados grandes no solo, e ele pode ajudar a refletir a resistência do solo à erosão, de forma que há maiores espaços porosos entre os agregados e ocorre maior infiltração. O DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência. O IEA representa uma medida da agregação total

e não considera a distribuição por classes de agregados, sendo que quanto maior a quantidade de agregados < 0,25 mm, menor será o IEA.

e) pH

O pH é uma propriedade química que é utilizada em muitos estudos de erosão dos solos (KOSMAS *et al.*, 2000; RASIAH *et al.*, 2004; MORGAN, 2005; GUERRA, 2007; MENDES, 2007; ZORNOZA *et al.*, 2007; LIMA, 2008; GEISSEN *et al.*, 2009; LOUREIRO, 2010; NEVES *et al.*, 2011). Por meio da medição do pH do solo é obtida sua acidez ou alcalinidade, e deve ser analisado em conjunto com outras propriedades ou índices de erosão dos solos (GUERRA, 2007; GEISSEN *et al.*, 2009).

Além disso, é necessário considerar informações sobre o histórico de utilização do solo da área estudada, como mostra o trabalho de Boardman (1983a *in* GUERRA, 2007), em que seus resultados apontam a relação dos altos valores de pH de solos arenosos, do sul da Inglaterra, com o histórico de uso agrícola da região. Solos com baixos valores de pH indicam solos ácidos, deficientes em cálcio que contribui “na retenção do carbono, através da formação de agregados, que combinam húmus e cálcio”. (GUERRA, 2007). Solos com altos valores de pH indicam solos alcalinos, e possuem maior atividade biológica devido à dispersão de oxigênio, pelo aumento da floculação que se dá pela predominância de cátions na solução (MENDES, 2007).

Em relação aos valores, Oliveira (2011) propõe a seguinte interpretação do pH (Tabela 1):

Tabela 1. Interpretação do pH, segundo Oliveira (2011).

Interpretação do pH	
Acidez elevada	abaixo de 5,0
Acidez média	5,0-6,0
Acidez fraca	6,0-7,0
Neutro	7,0
Alcalinidade fraca	7,0-7,8
Alcalinidade	acima de 7,8

Ainda de acordo com o autor:

“A alcalinidade ocorre quando a pluviosidade é baixa e acumulam-se sais de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na). Solos alcalinos são característicos de regiões áridas e semiáridas. A acidez do solo desenvolve-se devido à remoção de bases pelas plantas e pela água, permitindo que o hidrogênio (H^+) tome os lugares

das bases. A maioria das plantas cresce a um pH levemente ácido, ou seja, entre 5,5 e 6,5. Os solos ácidos podem conter poucos nutrientes e elementos tóxicos às plantas, como o alumínio (Al^{3+}), por exemplo. Como a maior parte dos solos brasileiros são ácidos, há a correção do pH por adição de calcário ($CaCO_3$), procedimento denominado calagem.” (OLIVEIRA, 2011, p.99-100).

Guerra (2007) afirma que a intervenção do homem somada a combinação do pH com as demais propriedades do solo torna complexa a compreensão do seu papel na erodibilidade dos solos, e essa complexidade pode gerar dificuldades ao fazer generalizações sobre as propriedades dos solos, apontando o cuidado necessário ao analisar, na verdade, os fatores controladores da erosão.

4.3.6. Outros fatores

Embora esteja relacionado a outros fatores aqui supracitados, o **tipo de solo** também apresenta influência à ocorrência de processos erosivos. Embrapa (2006) desenvolveu um novo sistema de classificação de solos, em nível nacional. Pode-se destacar como principais tipos de solos do Brasil: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos.

Jarbas *et al.* (2015) afirmam que os Neossolos Flúvicos, por exemplo, ocupam na paisagem as áreas de várzea, ou seja, pouco ou não sujeitas à erosão. São solos que apresentam texturas mais comuns nas classes franco-arenosa, franco-argilosa, argilossiltosa, franca e argilosa (SILVA e OLIVEIRA NETO, 2015). Os Latossolos, em geral, são solos muito intemperizados, profundos e de boa drenagem (IBGE, 2007), com classe textural variando de média a muito argilosa (CUNHA e GUERRA, 2006), o que confere a baixa erodibilidade (EMBRAPA, 2006). Os Latossolos Vermelho-Amarelos são comuns nas encostas da serra do Mar (PALMIERI e LARACH, 2006; SILVA, 2014).

Os Neossolos são solos constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso, e os Neossolos Litólicos apresentam horizonte A diretamente sobre o substrato rochoso e ocorrem nos relevos acidentados de morrais e serras (PALMIERI e LARACH, 2006; IBGE, 2007). Os Cambissolos ocorrem de forma mais representativa nas superfícies topográficas forte onduladas e montanhosas (PALMIERI e LARACH, 2006) e são naturalmente suscetíveis aos processos erosivos (PEREIRA *et al.*, 1994 e SANTOS *et al.*, 2006 in LIMA, 2008; ROSS, 1997 in SILVA, 2014). Muitos trabalhos em diversas áreas do estado do Rio de Janeiro comprovam isto (LIMA, 2008; NEVES, 2011; LOUREIRO, 2013; SILVA, 2014).

Além dos tipos de solo, a **geologia** também participa do elenco de fatores que exercem influência, mesmo que de forma indireta, na ocorrência de processos erosivos. O embasamento rochoso, por exemplo, vai influenciar na composição mineralógica e granulométrica dos solos (VIERO, 2004; LIMA, 2008).

Duarte *et al.* (2014) consideraram diversas classes geológicas, em seus estudos de suscetibilidade à erosão na região hidrográfica do rio Guandu (RJ). A classe Batólito Serra dos Órgãos (Granodiorito) obteve grau de suscetibilidade baixo e a classe Sedimentos Fluviais grau de suscetibilidade muito alto. Dummer *et al.* (2010) afirmam que:

“Os granitos são rochas compostas essencialmente por quartzo, feldspato e biotita, de relativamente difícil intemperização quando comparadas a rochas metamórficas (principalmente as foliadas), e em geral, originam solos de textura grossa e com elevado percentual de cascalho.” (DUMMER *et al.*, 2010, p.6).

O Plano de Manejo da APA do Cairuçu (PARATY, 2004), relaciona substrato rochoso e composição granulométrica dos solos. Abaixo, descrição dessa relação para o Domínio Gnáissico e Corpos Graníticos da APA do Cairuçu (relacionados à área de estudo da presente pesquisa):

“Ambos domínios sustentam principalmente os relevos de morros e montanhas. A alteração dessas rochas resulta na formação de solos areno-siltosos ou argilo-siltosos e micáceos, sendo que o teor de areia e silte varia em consequência do teor de quartzo e feldspato das rochas. Assim, predominam termos argilosos e siltosos nas porções mais micáceas, e termos argilo-arenosos e areno-argilosos, com grânulos e fragmentos de quartzo, nas porções quartzo-feldspáticas. O solo superficial é argilo-arenoso e apresenta espessuras de 1 a 2 m, enquanto o solo de alteração pode atingir de 10 a 15 m de espessura nos relevos mais suaves. Nos relevos de Morros e Montanhas (MHM) o solo superficial tem 0,5 m de espessura, enquanto que o solo de alteração é mais delgado, com espessuras inferiores a 5 m. Associadas a essas rochas é comum a presença de encostas rochosas e a formação de campos de blocos e matacões, com diâmetros de 0,6 a 3 m, na superfície do terreno e emersos no solo de alteração.” (PARATY, 2004, p.28).

4.4. Diagnóstico versus Prognóstico nos estudos de erosão dos solos

Os estudos de erosão dos solos podem ser realizados a partir de duas grandes abordagens: prognóstico e diagnóstico. A grande diferença entre elas é a ocorrência de processos erosivos e suas consequências, pois o diagnóstico está relacionado à caracterização da situação real de uma área em que já ocorrem processos erosivos, enquanto que o prognóstico está relacionado à previsão, à ocorrência de processos erosivos, geralmente em áreas que podem apresentar feições erosivas ou estão em estágio inicial.

Em 1984, o primeiro Relatório de Qualidade do Meio Ambiente foi publicado no Brasil, e instituído pela Lei 6938/81, e a responsabilidade por sua divulgação anual ficou a cargo do IBAMA, incluído pela Lei nº 7.804, de 1989. No âmbito estadual, o Rio de Janeiro vem elaborando diagnósticos ambientais desde 1977, ano em que foi confeccionado um mapa com os principais problemas ambientais associados às diferentes formas de atuação da então FEEMA. A expressão “diagnóstico ambiental” foi oficializada pela legislação brasileira (§ 1º, art. 18, Decreto nº 88.351/83) no que se refere ao conteúdo mínimo do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Na Resolução 001 do CONAMA, de 23/01/1986, artigo 6º, encontra-se a definição de diagnóstico ambiental: “completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área” (ROSS, 2006).

Dentro desse contexto, a elaboração de um diagnóstico ambiental pode ocorrer antes da implantação de um projeto, por exemplo, sem ter gerado ainda nenhum tipo de impacto ambiental (Resolução 001 do CONAMA, de 23/01/1986), ou pode ocorrer após a alteração antrópica do ambiente. Este tipo de diagnóstico se faz necessário quando o objetivo é a recuperação de áreas degradadas, por meio de diagnósticos de degradação (CUNHA e GUERRA, 2006). Assim, o diagnóstico de uma área degradada constitui o primeiro passo para a sua recuperação (GUERRA e MARÇAL, 2006). O diagnóstico de degradação requer levantamentos sistemáticos, e isso se dá através do monitoramento das várias formas de degradação, ou seja, é por meio da mensuração que é possível contribuir para a realização do diagnóstico (CUNHA e GUERRA, 2006; BEZERRA, 2011). No entanto, a mensuração como forma de monitoramento de degradação, possui suas limitações e nem sempre é possível, sendo necessárias outras técnicas para compor o diagnóstico.

Yüksek *et al.* (2010) investigaram os efeitos das mudanças no uso da terra e os tipos de manejo sobre as propriedades superficiais do solo em uma área protegida na Turquia a partir de trabalhos de campo, levantamento dos tipos de uso da terra e suas intensidades, análises de amostras de solo. Com base nos fatores considerados para o diagnóstico, concluíram que a área protegida em questão sofre fortemente pressão antrópica, principalmente na época de um festival local, causando destruição das propriedades superficiais dos solos e da estrutura da vegetação.

Neves (2011) elaborou uma proposta de diagnóstico do estágio atual de degradação dos solos, por erosão, no médio curso da sub-bacia do rio São Pedro (Macaé – RJ), a partir da erodibilidade dos solos (em áreas degradadas e não degradadas), do levantamento quantitativo e qualitativo das feições erosivas presentes na área e da análise das características ambientais

da área. Este trabalho destacou a importância do diagnóstico ambiental como ferramenta de gestão e planejamento tanto para áreas degradadas como para as (ainda) não degradadas, conhecendo suas características, funções e processos envolvidos.

Shrestha *et al.* (2014) avaliaram a erosão dos solos nas áreas montanhosas da Tailândia buscando compreender os fatores responsáveis na geração do *runoff* e da erosão dos solos na área. Além disso, esses autores identificaram áreas críticas à formação de ravinas e voçorocas. Desse modo, num mesmo trabalho foi realizado um diagnóstico e um prognóstico específico.

Apesar de não ser encontrado de forma regulamentada na legislação ambiental brasileira, o prognóstico ambiental

“(...) procura prever e caracterizar os potenciais impactos sobre seus diversos ângulos, analisando suas magnitudes através de técnicas específicas, com o objetivo de interpretar, estabelecendo a importância de cada um dos potenciais impactos em relação aos fatores ambientais afetados e, avaliar, por meio da importância relativa de cada impacto quando comparado aos demais, propondo medidas mitigadoras, compensatórias e programas de monitoramento ambiental” (DNIT, 2006).

Seu objetivo é antecipar a possível situação ambiental que pode ocorrer diante das características da área estudada. Um prognóstico ambiental, com ênfase em erosão de solos, pode ser elaborado a partir de mapas de risco, de suscetibilidade, de fragilidade etc., ou ainda pela análise dos fatores ambientais relevantes de forma integrada, embasada na bibliografia sobre o assunto. Nóbrega e Cunha (2011) ponderam sobre metodologias que adotam a visão integrada dos elementos ambientais:

“De um modo geral se fundamentam em princípios sistêmicos, ressaltando a integração dos elementos que compõem o meio físico e a sua interdependência, destacando na análise a importância das transformações impostas pelas atividades humanas no jogo de forças que constrói esse meio. Nesse aspecto é dado destaque às condições de cobertura da superfície dos solos, avaliando o grau de proteção em função dos diferentes tipos de revestimento vegetal e uso e, ainda, em alguns casos, práticas adotadas e o seu efeito sobre a dinâmica responsável pela suscetibilidade do meio à erosão” (NÓBREGA e CUNHA, 2011, p. 63).

A expressão suscetibilidade ambiental se refere à probabilidade de um processo natural poder afetar uma área com uma determinada intensidade (LIMA, 2010). Para Wang *et al.* (2013), suscetibilidade está relacionada à erodibilidade do solo. O livro “Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios”, desenvolvido pelo IPT (BRASIL, 2007), apresenta uma definição para o termo, de modo a diferenciá-lo dos outros termos anteriormente citados (Figura 3):

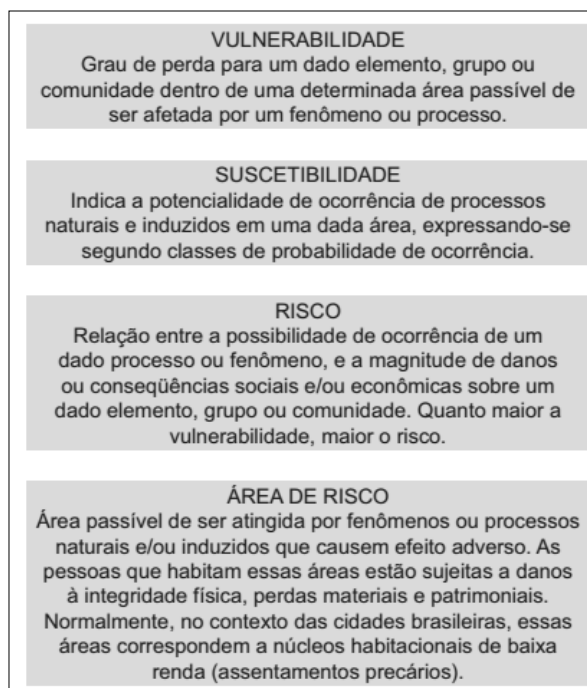


Figura 3. Definições adotadas pelo IPT (BRASIL, 2007).

Castro *et al.* (2005) classificam a erosão de solos como risco natural relacionado aos processos exógenos, e está associado ao comportamento dos sistemas naturais e às atividades que interferem e/ou são afetadas direta ou indiretamente por processos da dinâmica superficial ou interna da Terra. O termo *risk* é muito comum em artigos científicos internacionais, embora o seu emprego se assemelhe ao termo *susceptibility*. Bou Kheir *et al.* (2006) mapearam o risco à erosão dos solos em escala regional no Líbano. Lima (2010) mapeou a fragilidade dos solos à erosão da bacia hidrográfica do rio Boa Esperança (Nova Friburgo-RJ). Routschek *et al.* (2014) elaboraram cenários futuros sobre o risco à erosão, numa bacia hidrográfica na Saxônia (Alemanha), através de simulações de um modelo baseado em SIG, e levaram em consideração o manejo do solo e as mudanças climáticas esperadas, concluindo que o primeiro fator controla mais as taxas de erosão do que o segundo fator.

Xu *et al.* (2012) avaliaram o risco de erosão dos solos causada pela água, na região do Mar Bohai (China), durante a estação chuvosa, a partir do modelo acoplado RUSLE-IDM, o que resultou em um mapa de risco à erosão para cada mês da estação chuvosa (Julho, Agosto e Setembro). O mapa de risco à erosão do mês de Julho apresentou risco alto e concluiu-se que alta cobertura vegetal e práticas de controle à erosão dos solos são eficazes fatores na prevenção do fenômeno.

Veyret e Richemond (2013) consideram a erosão acelerada dos solos como um tipo de risco natural agravado, ou provocado pelas atividades humanas. No entanto, muitos estudos de caso tratam a possibilidade de ocorrência de processos erosivos como suscetibilidade (VIERO, 2004; LIMA, 2008; COSTA *et al.*, 2009; VALE JUNIOR *et al.*, 2009; XAVIER *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2012; GUIMARÃES e VALE, 2012; GUO *et al.*, 2013; DUARTE *et al.*, 2014; SILVA, 2014).

Silva (2014), em seus estudos na estrada Paraty-Cunha, gerou um mapa de suscetibilidade à erosão, para a bacia hidrográfica do rio Perequê-Açu, a partir da avaliação dos mapas de solos, uso e cobertura do solo e declividade, seguindo a metodologia proposta por Ross (1994) de sobreposição de mapas a análise multicritério, atribuindo pesos e notas às variáveis. Vale destacar a importância das geotecnologias nos estudos de previsão ao desencadeamento de processos erosivos, pois o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e de imagens de satélite fornecem informações de síntese para a avaliação de riscos, por exemplo (LOUREIRO e FERREIRA, 2013).

Dessa forma, a partir do levantamento bibliográfico feito para esta dissertação de mestrado, pode-se concluir a importância dos estudos prognósticos e diagnósticos de erosão dos solos a partir da visão sistêmica, levando em consideração o maior número possível de indicadores ambientais, não apenas com o objetivo de realizar um levantamento isolado sobre cada indicador, mas buscando fazer a inter-relação, que se faz necessária, entre eles.

5. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (também conhecido por rio Patitiba ou Corisco) está localizada no município de Paraty, na região sul fluminense. Com cerca de 50 Km² de área, é uma bacia de 5ª ordem, tem sua nascente a cerca de 1.300 metros de altitude e sua desembocadura no mar, mais precisamente na Baía de Paraty, que faz parte da Baía da Ilha Grande. Com mais de 600 habitantes (IBGE, 2010), é uma das principais bacias do município de Paraty (GUERRA *et al.*, 2013) e da APA do Cairuçu, e o rio Mateus Nunes (rio principal), com 14,6 Km de extensão, representa o limite norte desta unidade de conservação, de modo que os afluentes da margem esquerda estão fora da unidade de conservação (Figura 4). Segue trecho do Plano de Manejo da APA do Cairuçu (PARATY, 2004) sobre a bacia em questão:

“As mais importantes bacias da APA são as dos rios Mateus Nunes, dos Meros e Parati-Mirim, sendo que esta última possui a maior área de contribuição e a drenagem com maior dimensão e volume de água. O rio Mateus Nunes representa o limite norte da APA do Cairuçu, de modo que somente os afluentes da margem direita estão dentro da APA. As demais bacias não se encontram estruturadas através de uma drenagem principal, contendo microbacias que drenam diretamente para o mar” (PARATY, 2004, p.39).

A APA do Cairuçu foi criada a partir do Decreto Federal n. 89.242, de dezembro de 1983, em Paraty. Com 33.800 ha, esta APA é considerada estratégica para a conservação da biodiversidade do bioma Mata Atlântica, pois constitui um corredor ecológico entre as matas primárias da Reserva Ecológica Estadual de Juatinga (criada pelo Decreto Estadual nº 17.981, de 30 de outubro de 1992), o Parque Nacional da Serra da Bocaina (instituído em 1971, pelo Decreto Federal nº 68.172, de 04 de fevereiro de 1971) e o Parque Estadual da Serra do Mar (criado pelo Decreto nº 10.251, de 30 de agosto de 1977) (GOMES *et al.*, 2004).

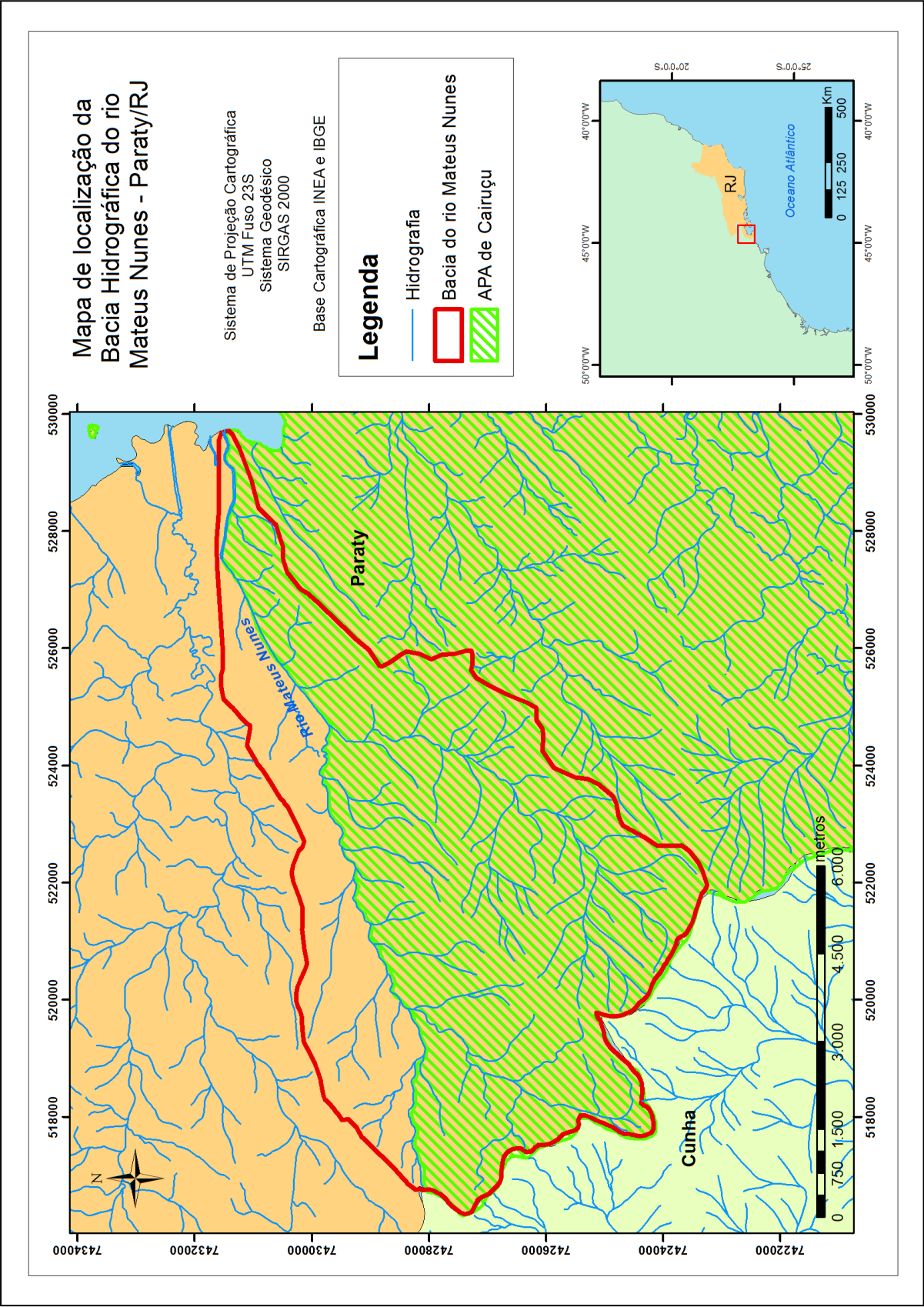


Figura 4. Mapa de localização da área de estudo: bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).

5.1. Histórico de uso e ocupação

O histórico de uso e ocupação das terras do que hoje é o município de Paraty passou pelo Ciclo do Ouro no século XVI (com escoamento do minério de Minas Gerais através da Estrada Real), pelo incremento no cultivo da cana-de-açúcar no século XVII (e daí produção de aguardente, que prossegue até os dias de hoje), pelo Ciclo do Café no século XVIII (o caminho do ouro passa a ser usado para o tráfico de escravos e para o escoamento da produção de café do Vale do Paraíba) e pelo Ciclo do Turismo a partir da década de 1950 (com a reabertura da estrada Paraty-Cunha e mais tarde, em 1973 com a abertura da Rio-Santos (BR-101) (PARATY, 2004).

No que se refere à área da APA do Cairuçu, a abertura de clareiras para o cultivo de roças de subsistência, bem como a retirada seletiva de madeira de lei para a construção civil e confecção de canoas e embarcações, ocorreram na proporção do crescimento da Vila de Nossa Senhora dos Remédios de Paraty (centro), desde o século XVII, porém com menos impacto nos dias de hoje. No entanto, as intervenções mais impactantes para a área foram: o corte raso para o plantio da cana-de-açúcar a partir do século XVII; além do corte para a introdução dos bananais, mandiocais, pastagens e outras culturas mais tarde, em meados do século XX; e abertura da rodovia Rio-Santos (BR-101), na década de 1970. É interessante destacar que até a abertura da rodovia, a região entre Ubatuba e Paraty não possuía nenhuma estrada e era coberta por floresta densa de Mata Atlântica. O acesso mais direto era realizado por trilha entre a Vila de Picinguaba (Ubatuba) e o bairro do Corisco (Paraty), ou entre o Corisco e a praia de Ubatumirim ou ainda por via marítima (PARATY, 2004).

Com a construção da rodovia, foram instalados empreendimentos turísticos e imobiliários, foram abertas estradas secundárias e se intensificou um processo de urbanização desordenado do meio rural e da região costeira. Guerra *et al.* (2013) mencionam que há intensa pressão sobre os fragmentos florestais devido aos novos empreendimentos (condomínios, hotéis, resorts à beira-mar). Essas mudanças trouxeram impactos sobre a fauna, desmatamento, ocupação das margens e poluição dos rios e processos erosivos nas encostas provocando assoreamento nos rios. Os sedimentos depositados nos rios afetam diretamente a produtividade dos manguezais e a navegabilidade na região, principalmente na área de influência direta da foz dos rios Mateus Nunes e Perequê-Açu.

O uso e ocupação mais atual nas localidades da área de estudo da presente pesquisa se referem: à transformação de núcleos de bairro rural para dormitório ou zona rururbana (no caso do Corisco); à substituição da prática da agricultura familiar na zona rural pelo trabalho fora (seja na construção civil ou no turismo, por exemplo) ou sítios que passam a ser áreas de lazer ligadas ao turismo; ao uso agropecuário na meia encosta, ao longo dos vales no Corisco e Corisquinho; a fragmentos de floresta ombrófila densa, em estágio inicial de regeneração, nas áreas mais íngremes e nas altas encostas, onde situam-se as fronteiras agropecuárias, ocupadas por florestas em estágio médio/avançado de regeneração (Paraty, 2004). O mapa de uso e cobertura da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Figura 5), do ano de 2007, adaptado de Cruz *et al.* (2009) – mapeamento realizado para todo o estado do Rio de Janeiro na escala 1:100.000 – a título de ilustração, revela boa parte da área com cobertura florestal ameaçada pelo avanço da pastagem. A Figura 6 mostra alguns registros fotográficos de campo na área da bacia.

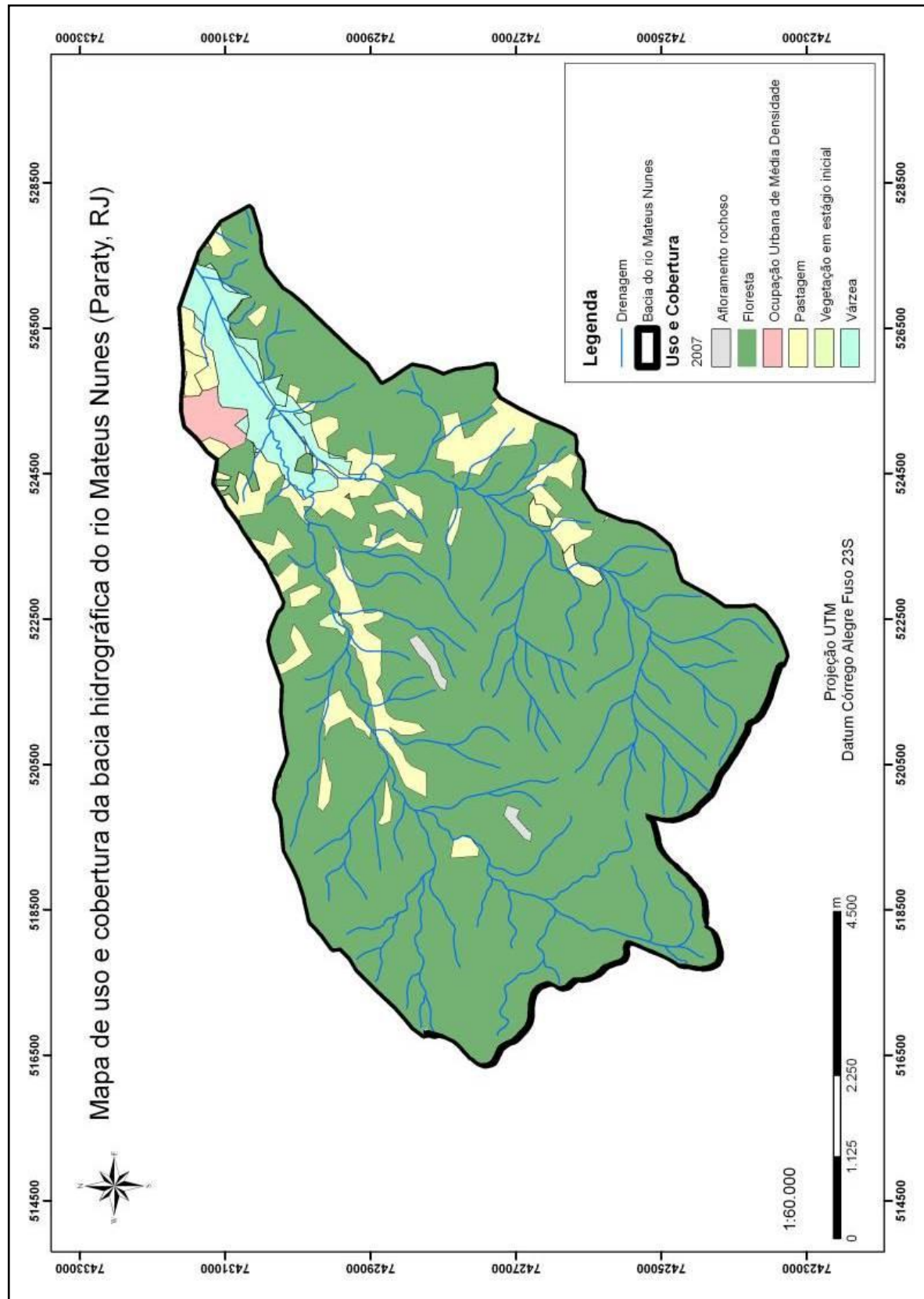


Figura 5. Mapa de uso e cobertura da bacia do rio Mateus Nunes (Paraty – RJ) – Adaptado de Cruz *et al.* (2009).



Figura 6. Registros fotográficos de campo na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Fotos: Sara Neves, 2013): (1) Vertente íngreme do Granito Parati e com poucas evidências de desmatamento; (2) trecho do rio Corisquinho, importante afluente do rio principal, em seu alto curso; (3) colina usada para pastagem próxima à planície de inundação do rio principal em seu baixo curso; (4) baixo curso do rio principal, próximo ao encontro com o rio Corisquinho.

5.2. Caracterização físico-ambiental

A região do APA do Cairuçu apresenta um zoneamento climático fortemente influenciado pela compartimentação regional do relevo e pelo desnivelamento altimétrico, que produzem descontinuidades no padrão de distribuição, espacial e temporal, dos regimes de precipitação e de temperatura. A classificação climática regional desta área corresponde ao tipo de clima tropical úmido, com sazonalidade no regime das precipitações (estação chuvosa x seca) (PARATY, 2004).

A partir dos dados de pluviosidade coletados e analisados no plano de manejo (Paraty, 2004), a APA do Cairuçu possui diferenciações de distribuição espacial da precipitação: A região ao sul da Ponta do Juatinga está mais exposta aos sistemas frontais SW e SE, de modo

que os dados de Picinguaba são correlacionáveis, entretanto a região a norte deste divisor já pertence ao domínio da Baía de Ilha Grande, em que há maior proteção dos sistemas frontais acima indicados, e índices menores de pluviosidade.

O arcabouço geológico da região da APA do Cairuçu é formado predominantemente por granitos e gnaisses do Complexo Gnáissico Granitoide de idade proterozoica, aos quais se associam sedimentos continentais, marinhos e mistos de idade cenozoica (PARATY, 2004; GUERRA, *et al.*, 2013). Segundo o mapa geológico do estado do Rio de Janeiro, realizado na escala 1:500.000 pelo CPRM (2000), a bacia do rio Mateus Nunes encontra-se sobre o Granito Parati, de idade paleozoica, ao lado do Granito Parati-Mirim (Neoproterozoico) que é a formação geológica predominante na área da APA como um todo (Figura 7).

A região da APA do Cairuçu destaca-se pela sua topografia acidentada, caracterizada por elevadas altitudes e grandes amplitudes das formas de relevo, derivado do contraste entre o domínio de Escarpas e Reversos da Serra do Mar com a Planície Costeira, gerando elevações que se estendem do nível do mar até cotas superiores a 1.300 metros de altitude. As maiores amplitudes topográficas situam-se no limite sudoeste da APA do Cairuçu, o que coincide com a divisa de estado, atingindo 1.325 m de altitude no pico do Corisco (PARATY, 2004).

De acordo com o mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro, realizado na escala 1:250.000 por Dantas (2000), a bacia do rio Mateus Nunes insere-se na estrutura geomorfológica das Escarpas da Serra da Bocaina, Mangaratiba e Mazomba, dentro da unidade morfoescultural das Escarpas Serranas, que por sua vez se insere na unidade morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico (GUERRA *et al.*, 2013). E apresenta dois sistemas de relevo (Figura 8):

- Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas (Terrenos Argilo-Arenosos das Baixadas)

Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas (Terrenos Argilo-Arenosos das Baixadas). Superfícies sub-horizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais (processos fluviais e de encosta) e Marinhos. Terrenos mal drenados com padrão de canais meandrante e divagante. Presença de superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das Baixadas (DANTAS, 2000).

- Escarpas Serranas

Relevo montanhoso, extremamente acidentado, transicional entre dois sistemas de relevo. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas; e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Densidade de drenagem muito alta com padrão de drenagem variável, de paralelo a dendrítico, ou treliça a retangular. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 500m e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha (DANTAS, 2000).

E de uma forma geral, o autor descreve geomorfológicamente a região da seguinte forma:

“Consiste num imponente alinhamento serrano que se notabiliza como uma muralha montanhosa, alçada por tectônica a mais de 1.000m de altitude. Esse escarpamento mergulha diretamente sobre as águas das baías da Ilha Grande e de Sepetiba por meio de costões rochosos, produzindo uma paisagem pontilhada de ilhas, cabos, sacos e enseadas que configuram o litoral sul fluminense. Esse escarpamento prolonga-se ininterruptamente desde a serra de Parati – um grande esporão que parte da escarpa principal da Serra da Bocaina e demarca a divisa com o estado de São Paulo – até a escarpa da serra do Mazomba, alcançando a baixada de Sepetiba. Consiste num importante segmento da cadeia montanhosa da Serra do Mar, que prossegue, a oeste, no litoral norte do Estado de São Paulo.” (DANTAS, 2000).

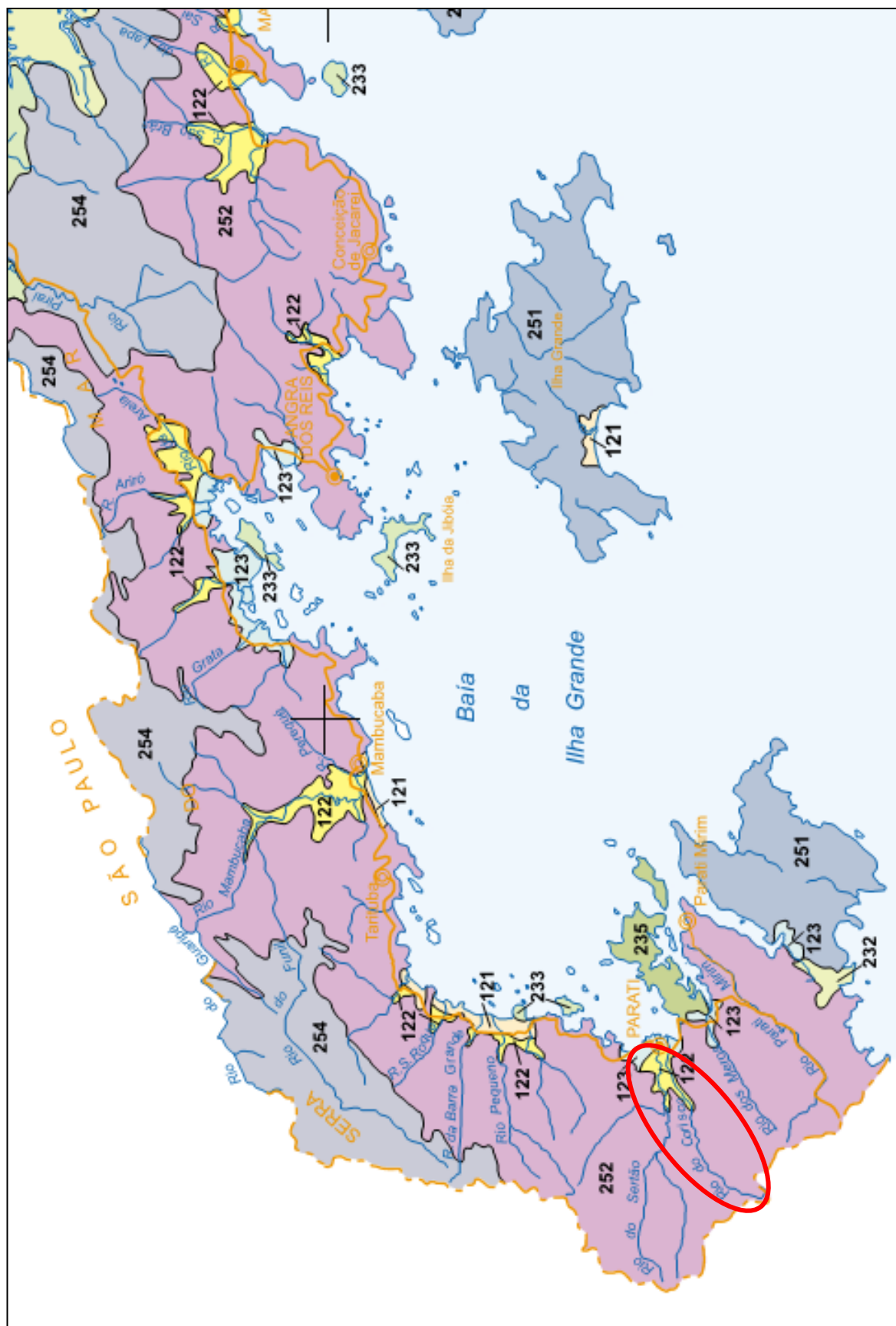


Figura 8. Trecho de Paraty do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro 1:500.000 (DANTAS, 2000): em lilás (252) – Escarpas Serranas; em amarelo (122) – Planície Colúvio-Alúvio-Marinhas. Em destaque (vermelho), localização aproximada da bacia do rio Mateus.

De uma forma geral, a bacia do rio Mateus Nunes concentra em sua área características representativas encontradas na área da APA, como descreve bem o seu Plano de Manejo (PARATY, 2004):

“Nos topos dos relevos montanhosos predominam cumes rochosos com paredes íngremes e expostas, muitas vezes com geometria alongada, formando cristas, ou localmente arredondada, gerando “Pães de Açúcar”. Esta feição é um exemplo de relevo jovem, em processo de denudação, em cujo sopé se formam corpos de tálus derivados da queda de blocos ou movimentos de massa gravitacionais. Os solos, quando chegam a se desenvolver, são pouco espessos e pedregosos (Cambissolos ou Neossolos), com grande suscetibilidade a escorregamentos planares (movimentos de massa controlados pelo contato solo/rocha). Portanto, são regiões de risco para a ocupação antrópica, sujeitas a escorregamentos e queda de blocos. Os corpos de tálus são suscetíveis a sofrerem processos de rastejo (movimentos lentos de massa), por serem materiais inconsolidados, podendo afetar estruturas apoiadas em sua superfície (edificações, estradas, pontes) ou subsuperfície (tubulações enterradas). Os relevos de morros apresentam formas mais arredondadas e vertentes mais suaves do que o relevo de montanhas e chegam a desenvolver solos mais espessos. Sua suscetibilidade a processos de escorregamentos é menor, porém ainda ocorre. A evolução atual deste relevo ocorre sob a forma de processos erosivos laminares, onde o solo é removido homoganeamente sob a ação da água da chuva.” (PARATY, 2004).

Como mencionado anteriormente, a topografia da bacia é acidentada, devido à presença do Granito Parati, por vezes aflorado sem cobertura vegetal, apresentando altas declividades, não permitindo o desenvolvimento de solos mais espessos, e sim, rasos como os Neossolos Litólicos. Nas encostas menos íngremes, do alto e médio curso, encontra-se o Cambissolo. Em direção à jusante, entre o médio e baixo curso, associado aos fundos de vale, verifica-se a presença de Latossolo vermelho-amarelo. E já no baixo curso, no trecho em que o canal principal se apresenta de forma mais retilínea, ocorrem solos aluviais ou Neossolo flúvico. Na desembocadura, desenvolveram-se solos indiscriminados de mangue. A Figura 9 mostra os tipos de solo que ocorrem na região (CPRM, 2000; CARVALHO FILHO *et al.*, 2003).

Em escala regional, Guerra *et al.* (2013), ao estudarem a geomorfologia dos municípios de Paraty e Angra dos Reis, apontam que 70% dos solos são Cambissolos e 10% Latossolos. Os Neossolos nas áreas de altitudes mais elevadas também são significativos, e mais próximos à costa aparecem os solos de mangue.

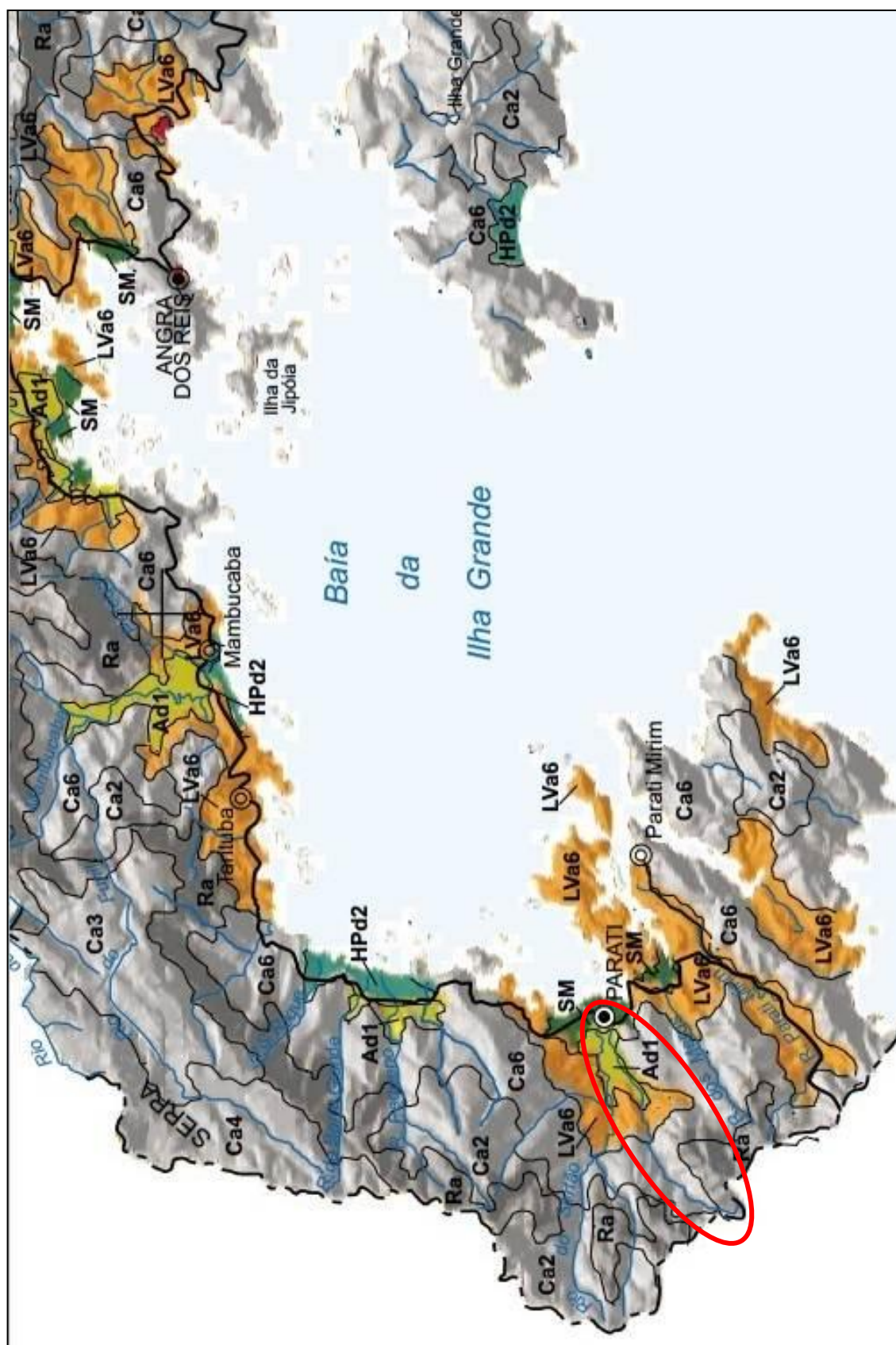


Figura 9. Trecho de Paraty do Mapa de Solos do Estado do Rio de Janeiro 1:500.000 (CPRM, 2000): em cinza escuro (Ra) – solos litólicos; em cinza claro (Ca6) – Cambissolo; em laranja (LVa6) – Latossolo vermelho-amarelo; em verde claro (Ad1) – solos aluviais; em verde escuro (SM) – solos indiscriminados de mangue. Em destaque (vermelho), localização aproximada da bacia do rio Mateus Nunes.

6. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados estão embasados na literatura nacional e internacional sobre erosão dos solos, contudo algumas adaptações foram necessárias (disponibilidade de dados, recursos, equipamentos, materiais etc.).

Para o alcance dos objetivos, a metodologia foi dividida em três etapas: análise das propriedades dos solos, mapeamentos e análise final dos indicadores ambientais.

6.1. Análise das propriedades dos solos

6.1.1. Seleção dos pontos e coleta de amostras de solo

Para as análises das propriedades físicas e químicas foram realizadas coletas de solo em 10 pontos, com diferentes tipos de uso, conforme mostra a Tabela 2. Vale ressaltar que houve predominância de coletas de amostras de solo em pastos por conta da representatividade desse tipo de uso na área estudada. As coletas ocorreram no trabalho de campo realizado em maio de 2014.

Tabela 2. Pontos de coleta e descrições de campo.

Pontos	Localização UTM		Tipo de uso e cobertura do solo	Observações
	Latitude	Longitude		
P1	524811	7429702	Pasto	Abandonado e com gramíneas altas
P2	524801	7428987	Floresta	Secundária ²
P3	524658	7428740	Agricultura	Cana-de-açúcar
P4	524227	7429124	Pasto	Semi-abandonado
P5	524050	7429617	Pasto	Com feições erosivas
P6	524875	7430765	Pasto	Abandonado
P7	527709	7431052	Floresta-pasto	Transição
P8	523040	7429198	Trilha	Borda
P9	522180	7429085	Agricultura	Cultivos variados
P10	524724	7430496	Pasto	Baixa declividade (7 graus)

O registro das informações foi feito por meio de caderneta de campo e fotografias. Com o aparelho de GPS Garmin 76CSx foram obtidas as coordenadas de cada ponto de

² Baseado na Resolução N° 29, DE 07 DE DEZEMBRO DE 1994 – Fonte: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res94/res2994.html>.

coleta. Foram pré-selecionados possíveis pontos para o trabalho de campo, para facilitar e planejar a atividade. A Figura 10 mostra a localização dos pontos de coleta.

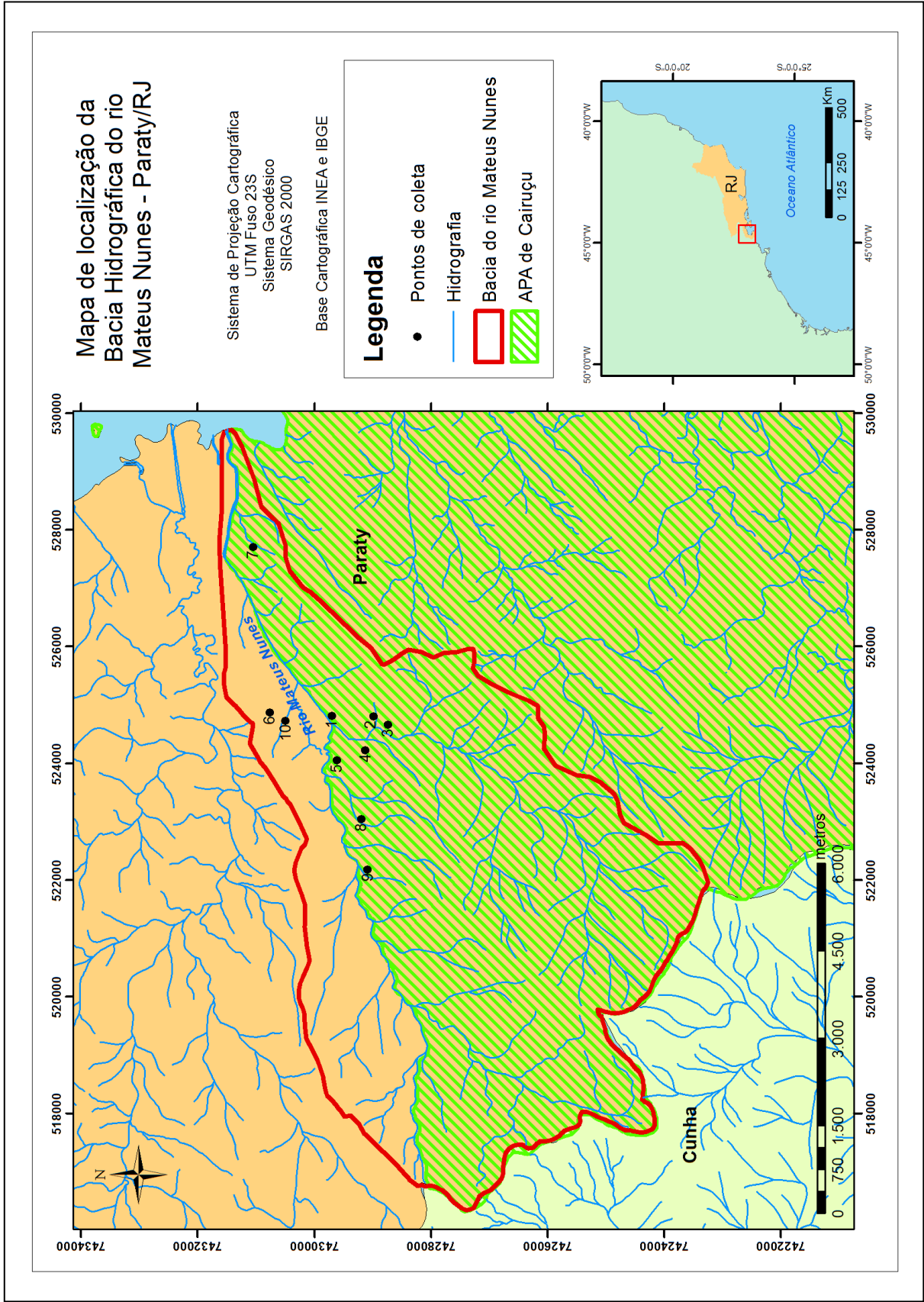


Figura 10. Mapa de localização dos 10 pontos de coleta (NEVES, 2015).

No total foram coletadas 30 amostras de solos, em profundidade de 0-20 cm para deformadas, e de 0-10 cm para indeformadas e para estabilidade de agregados. Para as coletas de amostras deformadas foi utilizado o trado holandês. Para as coletas de amostras indeformadas foi utilizado o coletor volumétrico, com anel de valor conhecido (100 cm³). Para as coletas de estabilidade de agregados foi preciso abrir uma mini-trincheira, com cerca de 20 cm de profundidade, e foi removida cerca de 3 cm da camada mais superficial, para que fosse evitada qualquer perturbação que pudesse alterar as propriedades originais de agregação do solo e não provocasse nenhuma deformidade nele. As amostras foram retiradas em blocos. Cada bloco de solo tem dimensões 7cmx15cmx10cm aproximadamente. Os blocos foram embrulhados em papel filme de PVC e depois em folhas de jornal, para que não quebrassem e para preservar a umidade do solo (CASTRO FILHO *et al.*, 1998; IBGE, 2007; ZORNOZA *et al.*, 2007; LIMA, 2008; CESÁRIO *et al.*, 2009; LIMA, 2010; YÜKSEK *et al.*, 2010; LOUREIRO, 2013). A Figura 11 mostra cada tipo de coleta realizada.



Figura 11. Tipos de coletas de amostras de solo realizadas em trabalho de campo na área de estudo (Fotos: Luana Moraes e Sara Neves, 2014).

6.1.2. Análises de laboratório

Nesta etapa foram realizadas análises das propriedades físicas e químicas das amostras coletadas. Nas amostras deformadas foram efetuadas as análises de granulometria, densidade de partículas, matéria orgânica e pH; todas essas amostras de solo, de cada ponto, foram secas ao ar e destorroadas. Nas amostras indeformadas foi obtida a densidade aparente do solo. Vale destacar que através dos resultados de densidade aparente e de densidade de partículas foi calculada a porosidade total do solo (EMBRAPA, 1997).

Todas as análises supracitadas, com exceção da queima de matéria orgânica, foram realizadas segundo o Manual da Embrapa (1997). A análise do teor de matéria orgânica foi baseada em dois métodos: queima (ignição) da matéria orgânica, em forno mufla (Ball, 1964) e o método de oxidação do carbono orgânico com dicromato de potássio (forma indireta de obtenção do teor de matéria orgânica) (EMBRAPA, 1997). E nas amostras em blocos foi realizada a análise de estabilidade de agregados do solo, adaptada de Castro Filho *et al.* (1998 e 2002), e que por sua vez está baseada na metodologia de Yoder (1936, *in* CASTRO FILHO *et al.*, 1998 e 2002).

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia Maria Regina Mousinho de Méis, do Departamento de Geografia (UFRJ).

6.1.2.1. Análise granulométrica

As amostras de solo de cada ponto foram secas ao ar, destorroadas e pesadas 20g. Após uma noite de repouso em Calgon (*hexametáfosfato de sódio*) e água, cada amostra foi colocada em um agitador elétrico por cerca de 15 minutos e, em seguida lavada manualmente para a separação entre a fração areia e as frações silte e argila, por meio da peneira de malha 0,053mm (n° 270 ou 53mic). O conteúdo das frações silte e argila foram armazenados, com água, em proveta de 1.000 ml.

O método da pipetagem foi realizado para a obtenção do teor de argila presente nos solos: com 1.000 ml completadas em cada proveta, agitou-se o conteúdo por cerca de 20 segundos, e mediu-se sua temperatura, com o auxílio de um termômetro. É através da temperatura de cada amostra que é feito o cálculo do horário para a pipetagem, de acordo com o Manual da Embrapa (1997).

A fração areia, retida na peneira no processo de lavagem, foi colocada em *becker* de peso conhecido, e levado à estufa para secar. Pesou-se o valor de areia total, e logo foi separada a fração areia grossa da fração areia fina utilizando-se peneira de malha 0,20 mm (nº70 ou 212mic). O cálculo dos teores das frações granulométricas, em porcentagem (%), feito ao final, é apresentado abaixo (Equação 1):

Teor de Argila (g) = [argila (g) - prova em branco] x 20 Em % (regra de três simples) = $\frac{20g - 100\%}{\text{Argila (g)} - x}$ Teor de Areia (%) (regra de três simples) = $\frac{20g - 100\%}{\text{Areia Total (g)} - x}$ Teor de Silte (%) = [Teor de Areia (%) + Teor de Argila (%)] - 100
--

Equação 1. Cálculo da % das frações granulométricas (adaptado de EMBRAPA, 1997).

Embora o Manual de Pedologia do IBGE (2007) recomende os resultados desta análise em g/kg, esta pesquisa adotou tanto g/kg quanto a % como forma de expressar e interpretar os resultados, de modo que em % a visualização dos teores das frações granulométricas se dá de forma mais clara.

A partir das porcentagens de cada fração do solo, as amostras foram classificadas de acordo com o triângulo textural elaborado adotado no Manual da Embrapa (1997), que está baseado no triângulo da USDA (1993), apresentado no Referencial Teórico-Conceitual desta dissertação.

6.1.2.2. Densidade de partículas

Foi feita com 20g de amostra de solo, álcool, balão volumétrico e bureta. Os 20g de cada amostra foram pesados em latas de alumínio e depois levadas à estufa por 6 horas, a 105°C. Novamente foram pesadas. Cada amostra foi transferida para seus respectivos balões volumétricos. O álcool foi adicionado na bureta de 50 ml. A transferência de álcool para o balão volumétrico foi feita pausadamente e este foi agitado a fim de eliminar as bolhas de ar, para que, assim, todos os poros do solo fossem preenchidos. Ao preencher 50 ml de álcool (e solo) no balão volumétrico, foi anotado o valor de álcool usado, por meio da leitura da bureta.

Ao final, dividiu-se o peso da amostra seca pelo valor de álcool gasto para preencher 50 ml do balão, obtendo-se o valor da densidade de partículas, em g/cm³, como mostra a Equação 2:

Densidade de partículas (g / cm³) = a / 50 – b

a = peso da amostra seca a 105°C
b = volume de álcool gasto

Equação 2. Cálculo da Densidade de partículas do solo (EMBRAPA, 1997).

6.1.2.3. Densidade aparente

A determinação da densidade aparente se deu através das amostras indeformadas de solo. Estas foram colocadas em latas de alumínio, de peso conhecido. Foram levadas à estufa por 24 horas, a uma temperatura de 105°C. O cálculo foi feito através da divisão entre o peso das amostras secas, em estufa, e o volume do anel do coletor (100 cm³), obtendo-se a densidade aparente do solo, em g/cm³ (Equação 3).

Densidade aparente (g / cm³) = a / b

a = peso da amostra seca a 105°C
b = volume da proveta

Equação 3. Cálculo da Densidade aparente do solo (EMBRAPA, 1997).

6.1.2.4. Porosidade

Com os valores da densidade aparente e da densidade de partículas é possível determinar os valores de porosidade total de uma amostra de solo, em porcentagem (%). Este valor é adquirido pela fórmula apresentada na Equação 4.

Porosidade total = $100 (a - b) / a$

a = densidade real
b = densidade aparente

Equação 4. Cálculo da Porosidade Total do solo (EMBRAPA, 1997).

6.1.2.5. Matéria orgânica

O teor de matéria orgânica das amostras de solo foi obtido a partir de dois métodos muito utilizados em laboratórios (SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008): 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. O primeiro método está baseado em Ball (1964) e o segundo no Manual da Embrapa (1997).

A razão para a escolha de dois métodos para a determinação do teor de matéria orgânica do solo é que ambos apresentam limitações: o método da queima induz a uma superestimativa da matéria orgânica na amostra, enquanto que o método de oxidação com dicromato de potássio tende a subestimar os valores de carbono orgânico, e consequentemente os de matéria orgânica (SCHUMACHER, 2002; ESCOSTEGUY *et al.*, 2007; SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008). Loureiro (2013) propõe que seja feita uma estimativa média entre os resultados desses dois métodos para que haja maior confiabilidade na análise final dos teores de matéria orgânica.

Para o método de queima da matéria orgânica – método direto – foram pesados 10g de solo de cada amostra deformada, seca ao ar, em cadinhos. Todos foram levados à estufa a uma temperatura de 105°C por 24 horas. Em seguida, eles foram pesados novamente, e os valores foram anotados. Logo, foram levados ao forno mufla a cerca de 375°C por 16 horas. Em

seguida foi registrado o peso das amostras nos cadinhos. A partir deste valor e do peso inicial da amostra foi calculado o teor de matéria orgânica (%), através de regra de três simples. A Figura 12 mostra o forno mufla e o tipo de cadinhos utilizados no procedimento.



Figura 12. Forno mufla e cadinhos com amostras, ambos usados para a análise de matéria orgânica pelo método direto (Sara Neves, 2015).

O método indireto de determinação da matéria orgânica do solo tem como objetivo determinar o teor de carbono orgânico, e tem como princípio a:

“Oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação é titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr).” (EMBRAPA, 1997, p. 85).

Aproximadamente 20g de amostra deformada de solo foi triturada em gral e passada em peneira de malha 0,180mm (80 mesh), e em seguida pesou-se 0,5g (desse material peneirado) em erlenmeyer de 250ml. Com o auxílio de uma pipeta adicionou-se 10ml da solução de dicromato de potássio 0,4N e, em seguida, as amostras foram levadas à fervura branda por cinco minutos e, após esfriarem, foram adicionadas 80ml de água destilada, 2,0ml de ácido ortofosfórico e três gotas do indicador difenilamina. Após isso fez-se a titulação, adicionando-se, com o auxílio de uma bureta, o sulfato ferroso amoniacal. Nesta etapa as amostras adquirem uma coloração azul escura até passarem a verde, então neste momento da mudança de cor anota-se o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto (Figura 13). Para cada amostra foram feitas duas repetições, obtendo-se a média para os cálculos.

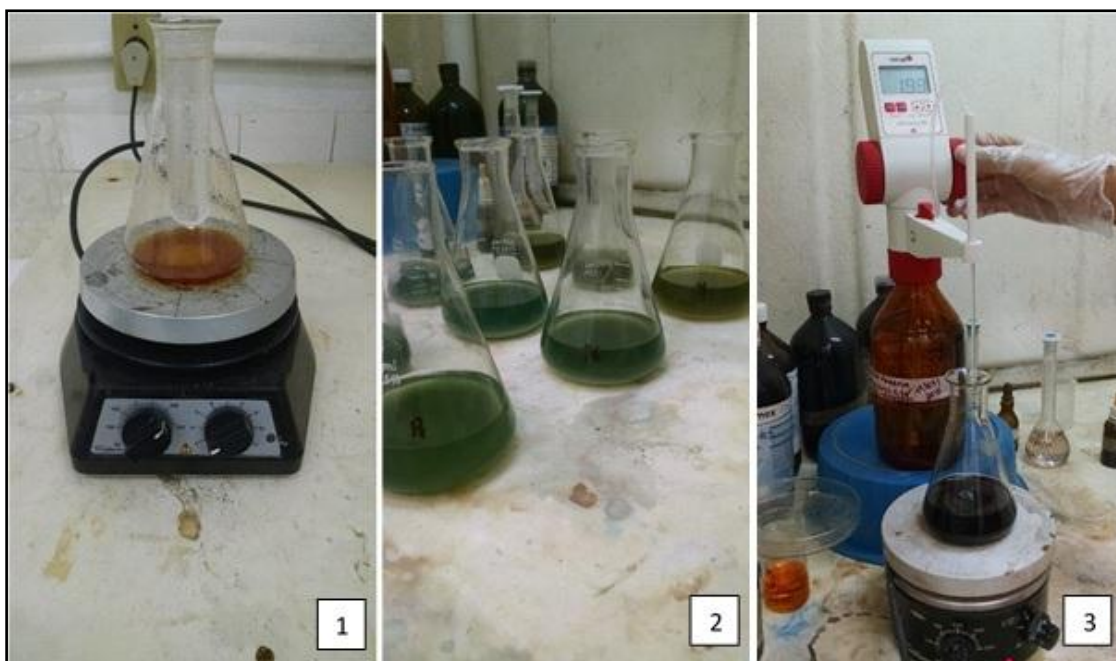


Figura 13. (1) Aquecimento da solução em placa elétrica; (2) soluções em repouso; (3) titulação (Fotos: Sara Neves, 2015).

É importante ressaltar que, para fins de cálculo, é necessário que haja uma prova em branco, com 10ml do dicromato de potássio, para cada solução de sulfato ferroso amoniacal produzida para o processo de titulação. O valor gasto deve ficar entre 37 e 43ml.

O teor de carbono orgânico foi obtido através da fórmula abaixo (Equação 5).

$$C \text{ (g/kg)} = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6$$

$$f = 40 / \text{volume sulfato ferroso gasto na prova em branco}$$

Equação 5. Cálculo do teor de carbono orgânico (EMBRAPA, 1997).

A partir do resultado do carbono orgânico foi possível obter o teor de matéria orgânica do solo, multiplicando-se o valor por 1,724. Este fator, chamado fator de Van Bemmelen, é aplicado, considerando que a matéria orgânica humificada é composta em 58% por carbono orgânico (ESCOSTEGUY *et al.*, 2007; SILVÉRIO e GONÇALVES, 2008). Desse modo, o cálculo para obter indiretamente o teor de matéria orgânica do solo é o seguinte (Equação 6):

$$\text{Matéria orgânica (g/kg)} = \text{C (g/kg)} \times 1,724$$

Equação 6. Cálculo do teor de matéria orgânica a partir do resultado de carbono orgânico (EMBRAPA, 1997).

6.1.2.6. pH

Para a medição do pH das amostras de solo foi utilizado o medidor de pH mod. 300M Analyser (Figura 14). Com base no manual de instruções do medidor de pH, este é estabilizado com soluções tampão de pH 4,00 e pH 7,00, antes da medição.

Foram pesadas de cada amostra deformada 10g de solo para a medição em 25ml de água. Depois de agitadas com bastão de vidro foram deixadas em repouso por cerca de 1 hora, e logo depois disso foi feita a leitura de medição do pH do solo.



Figura 14. Aparelho medidor de pH mod. 300M Analyser.

6.1.2.7. Estabilidade dos agregados

Cada bloco de amostra foi aberto e quebrado em alguns pedaços sobre o jogo de peneiras de malha 4 mm e 2 mm, dispostas verticalmente, e na base um depósito de mesmo diâmetro. O conteúdo foi agitado manualmente com muito cuidado. A massa de solo depositada sobre a peneira de malha 2 mm foi separada, para dar prosseguimento a análise. Foram pesadas três parcelas de 25g cada e transferidas para três placas *Petry*, representando

amostras A e B (duplicata), e amostra F.U. (fator de umidade). Isso é feito para que seja determinada a distribuição das classes de agregados por meio do tamisamento úmido pelo método Yoder (CASTRO FILHO *et al.*, 1998). Marcada a hora, cada amostra foi atomizada com borrifador de água para umedecer os agregados, pois a sua submersão repentina em água pode levar à destruição (HILLEL, 2003, *in* CESÁRIO *et al.*, 2009). Após esse procedimento, deixaram-se as amostras em repouso por 2 horas.

Posteriormente, as amostras foram transferidas para o jogo de peneiras (2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm) praticamente submerso em água no aparelho de oscilação vertical, através do método adaptado de Yoder (CASTRO FILHO *et al.*, 1998). O nível de água tocou levemente a peneira de malha 2 mm, que é a primeira, de cima para baixo. A duplicata (A e B) oscilou por 15 minutos. Depois, o conteúdo retido em cada uma das cinco peneiras de cada duplicata foi passado para respectivas placas *Petry*, com o auxílio de jatos de água (Figura 15). Em seguida, todas foram levadas à estufa a 105°C (juntamente com a amostra FU), por 24 horas.

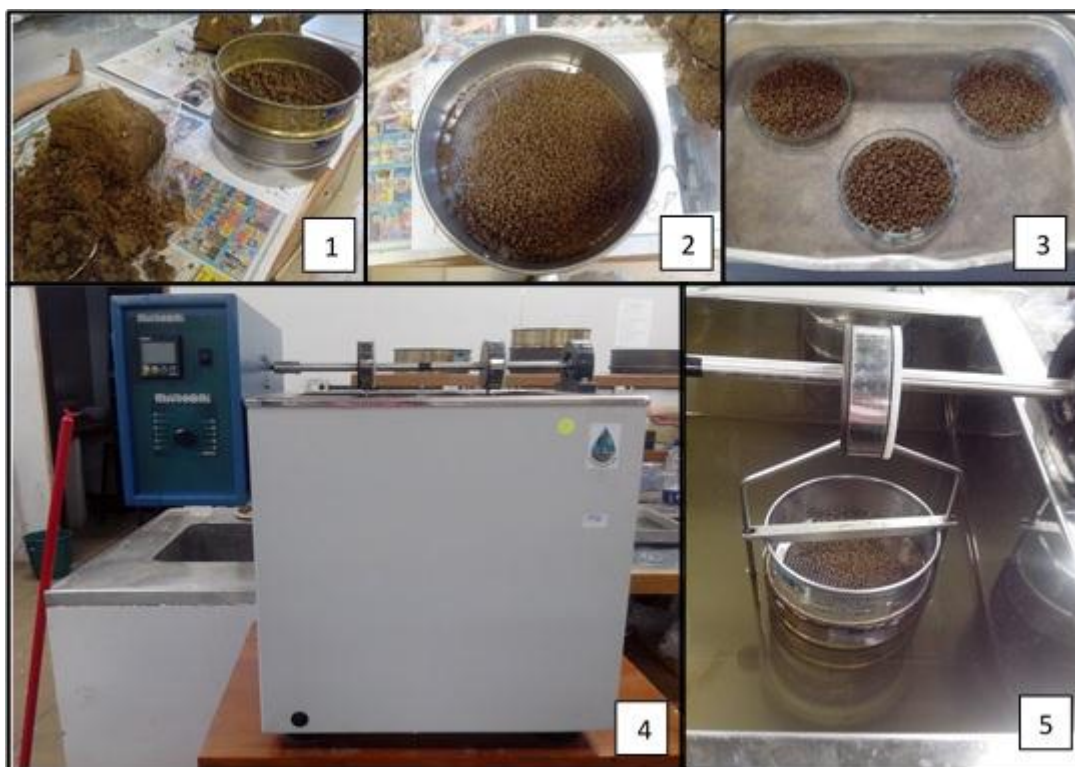


Figura 15. (1) Quebra de bloco de solo e peneiramento; (2) fração retida na peneira de malha 2mm e utilizada na análise; (3) placas *Petry* com 25g de agregados cada; (4) aparelho de oscilação vertical – “Yoder”; (5) uma das duplicatas em oscilação por 15 minutos (Fotos: Sara Neves, 2015).

Logo, foram pesadas e os valores obtidos foram usados para os cálculos do Índice de Estabilidade de Agregados (IEA), Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Diâmetro Médio

Geométrico (DMG), de acordo com Castro Filho *et al.*, 1998 e 2002, adaptado de Kemper e Rosenau (1986). A Equação 7 (RANGEL, 2014) a seguir mostra as fórmulas utilizadas.

- DMP através da equação abaixo, em que w_i = proporção (%) de cada classe em relação ao total; e x_i = diâmetro médio das classes, expresso em mm:

$$DMP (mm) = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$$
- DMG através da equação abaixo, em que w_i = proporção (%) de cada classe em relação ao total; e x_i = diâmetro médio das classes, expresso em mm:

$$DMG (mm) = \exp \frac{\sum w_i \ln x_i}{\sum w_i}$$
- IEA (%) obtido pela equação:

$$IEA = \frac{\text{peso total dos agregados} - \text{peso dos agregados} < 0,25\text{mm}}{\text{peso da amostra seca}} \times 100$$

Equação 7. Equações modificadas por Castro Filho *et al.* (2002) de Kemper e Rosenau (1986) (RANGEL, 2014).

Para facilitar os cálculos, foi utilizada uma planilha com todas as fórmulas dispostas de maneira que ao inserir os valores encontrados os resultados finais de cada parâmetro foram determinados. Além disso, através desses cálculos foi possível determinar a distribuição de macro e microagregados (%).

6.2. Mapeamentos

Foram realizados mapeamentos temáticos com base nos dados disponibilizados pelo INEA (Instituto Estadual do Meio Ambiente) e pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Os *softwares* utilizados foram ArcGis 10.1 e Spring 5.1.

O **mapa de suscetibilidade dos solos à erosão** foi elaborado a partir da análise de multicritério e do método de álgebra de mapas³. As classes, notas e pesos definidos para o mapeamento de suscetibilidade são apresentados na Tabela 3. Foi criado um arquivo *raster* para cada *shapefile* inserido. Após a conversão, os valores foram reclassificados (*Spatial Analyst – Reclassify*), isto é, foram inseridas as notas definidas para cada classe. A álgebra de

³Tutorial de Mapa de Suscetibilidade Erosiva, especificamente para o ArcGis, escrito por Vanessa Cecília Benavides Silva, geógrafa atuante como analista de GIS (*Geographic Information System*). Disponível em: <http://andersonmedeiros.com/mapa-suscetibilidade-erosiva-arcgis/>. Acessado em: 27 jun 2015.

mapas adotada foi a numérica, utilizada pelo ArcGis, com os pesos e notas atribuídos aos indicadores mapeados: $[Declividade] * 0,2 + [Geologia] * 0,1 + [Solos] * 0,25 + [Forma das encostas] * 0,1 + [Uso e Cobertura] * 0,35$.

A combinação de variáveis e o mapa de suscetibilidade à erosão foram elaborados a partir da ferramenta *Raster Calculator*, a partir da equação com todas as variáveis e seus respectivos pesos. Todos esses procedimentos foram realizados no ArcGis e de acordo com o tutorial de Silva (2013).

Tabela 3. Avaliação dos indicadores ambientais para o mapa de suscetibilidade dos solos à erosão.

AVALIAÇÃO DOS INDICADORES AMBIENTAIS – MAPA DE SUSCETIBILIDADE				
Indicadores analisados	CrITÉRIOS	Classes Propostas	Notas	Pesos
Declividade	< 3°	Nula	0	20%
	3-8°	Baixa	2	
	8-20° e > 45°	Alta	4	
	20-45°	Muito Alta	5	
Geologia	Batólitos	Baixa	2	10%
	Sedimentos Fluviais	Média	3	
Solos	Solos indiscriminados de mangue	Nulo	0	25%
	Neossolo Flúvico	Muito baixa	1	
	Latossolo	Baixa	2	
	Neossolo Litólico	Média	3	
	Cambissolo	Muito Alta	5	
Forma das Encostas	Retilínea	Baixa	2	10%
	Convexa	Média	3	
	Côncava	Alta	4	
Uso e cobertura da terra	Floresta	Nula	0	35%
	Urbano	Baixa	2	
	Pastagem	Alta	4	

As notas e classes atribuídas para cada indicador variaram entre 0 e 5, sendo: 0 – nulo; 1 – muito baixa; 2 – baixa; 3 – média; 4 – alta; 5 – muito alta. Os pesos variaram de 0 a 100%, de acordo com sua influência no processo erosivo, tendo como base a bibliografia nacional e internacional pesquisada, com destaque os trabalhos de Bou Kheir *et al.* (2006), Lima (2008), Lima (2010), Xu *et al.* (2012), Shrestha *et al.* (2014), Silva (2014).

A escala obtida no produto final (mapa de suscetibilidade) foi 1:100.000, pois as escalas trabalhadas foram: 1:100.000 nos mapas pedológico e geológico, e 1:50.000 nos mapas de declividade, de forma das encostas e de uso e cobertura do solo.

O **mapa de declividade** foi elaborado a partir das curvas de nível, na escala 1:50.000, provenientes das curvas de nível das cartas topográficas do IBGE relativas à área estudada: Cunha, Picinguaba, Juatinga e Parati. Foi utilizada a ferramenta *slope* do *software* ArcGis 10.1. A declividade adotada para a classificação foi o grau de declividade (ângulo de inclinação da encosta), e os intervalos foram adaptados dos estudos de Bigarella *et al.* (1979 *in* CUNHA e GUERRA, 2006), Lima (2010), Silva (2014). O produto final apresentou uma pequena falha à jusante da bacia por ausência de curvas de nível nesta parte, não sendo mapeada pelo programa utilizado.

Quanto à atribuição de pesos e notas ao fator declividade, encostas com declividade $> 3^\circ$ são suscetíveis aos processos erosivos (MORGAN, 2005; GUERRA, 2007). Declividades entre 8° e 45° podem ser consideradas de alta a muito alta suscetibilidade, pois há maior incidência de feições erosivas neste intervalo, sendo as encostas com mais de 20° de declividade as que mais se destacam (LUK, 1979 *in* GUERRA, 2007; MORGAN, 2005; BOU KHEIR, 2006; LIMA, 2008; LIMA, 2010; NEVES, 2011; MORAES *et al.*, 2012; SILVA, 2014; SUN *et al.*, 2014). As encostas com declividade $> 45^\circ$ podem apresentar menor ocorrência de feições erosivas, pois os solos se tornam mais rasos (MARÇAL, 2000; MORGAN, 2005; NEVES, 2011).

O **mapa de uso e cobertura do solo** foi elaborado a partir de cenas do satélite RAPIDEYE, do ano de 2011, com resolução espacial de 6,5 metros, na escala final 1:50.000. O processo de classificação semi-automática, com classificador *Battachyara* após a definição das classes, foi trabalhado no Spring 5.1 e o mapeamento final foi feito no ArcGis 10.1. Para a classificação dos tipos de uso da terra foi utilizado como base o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006) para a definição das diferentes classes encontradas, com adaptações (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação do uso e cobertura da terra, adaptado de IBGE (2006).

Classes adotadas no mapa de uso e cobertura da terra	Classes correspondentes (Nível I) no Manual do IBGE (2006)
Urbano	Áreas antrópicas não-agrícolas
Pastagem	Áreas antrópicas agrícolas
Floresta	Áreas de vegetação natural
Água	Água
Afloramento rochoso	-
Não classificado	-

Quanto à atribuição de pesos e notas ao fator uso e cobertura, na área urbana é menor a formação de feições erosivas devido à impermeabilização dos solos, no entanto nas áreas de expansão de uma cidade, onde há mais solo exposto, a suscetibilidade dos solos à erosão aumenta (BEZERRA, 2011). Na área rural, as áreas de pastagem são as mais suscetíveis à erosão devido ao pastoreio excessivo e ao manejo inadequado (YÜKSEK, 2010), muito comum no estado do Rio de Janeiro, bem como no Brasil (SILVA e BOTELHO, 2014; GUERRA, 2014). A cobertura vegetal aqui considerada, a floresta, atua como fator protetor do solo frente aos processos erosivos. Quanto maior for a cobertura, menor será a suscetibilidade à erosão, podendo ser nula em áreas de floresta mais densas (SALOMÃO, 2005; GUERRA, 2007; YÜKSEK, 2010).

O **mapa de formas das encostas** foi elaborado também com base nas cartas topográficas do IBGE, referentes à área de estudo, na escala final 1:50.000. Foi gerado através da ferramenta *Curvature* no *software* ArcGIS 10.1, e as classes adotadas foram: côncava, convexa e retilínea (MOORE *et al.*, 1991; LIMA, 2010; SILVA, 2014). O produto final apresentou uma pequena falha à jusante da bacia por ausência de curvas de nível nesta parte, não sendo mapeado pelo programa utilizado.

Quanto à atribuição de pesos e notas ao fator forma das encostas, encostas côncavas apresentam áreas de convergência de fluxos, concentrando, por exemplo, maior volume de água da chuva, o que contribui com a formação de feições erosivas, principalmente voçorocas (alta suscetibilidade); por outro lado, encostas convexas funcionam como dispersoras de fluxo, potencializando processos como *splash* e formação de ravinas (média suscetibilidade); encostas retilíneas estão associadas a paredões muito íngremes, consequentemente, menor incidência de processos erosivos (baixa suscetibilidade) (SUMMERFIELD, 1991 *in* VIERO, 2004; GUERRA, 2007; RODRIGUES, 2014).

O **mapa pedológico** foi baseado no detalhamento do mapa pedológico da EMBRAPA, da escala 1:250.000 para a escala 1:100.000, produzido pelo INEA, oriundo do estudo da “Favorabilidade das Terras a Múltiplos Usos” (RIO DE JANEIRO, 2011b), publicado no “Diagnóstico do Setor Costeiro da Baía da Ilha Grande” (RIO DE JANEIRO, 2015). Agradecimentos ao GEGET (Gerência de Instrumentos de Gestão do Território), setor do INEA, que gentilmente cedeu a base de dados para o mapeamento. Este mapa também foi elaborado no ArcGis 10.1, e foi utilizada a ferramenta *Clip* para obter o recorte da área de estudo.

Quanto à atribuição de pesos e notas ao fator tipo de solo, os Neossolos Flúvicos (JARBAS *et al.*, 2015), ocupam na paisagem as áreas de várzea, ou seja, pouco ou não

sujeitas à erosão. Os Latossolos possuem características que conferem baixa erodibilidade (CUNHA e GUERRA, 2006; EMBRAPA, 2006; SILVA, 2014). Os Neossolos Litólicos são pouco espessos e há forte contato solo-rocha (PALMIERI e LARACH, 2006; IBGE, 2007). Os Cambissolos são naturalmente suscetíveis aos processos erosivos (PEREIRA *et al.*, 1994 e SANTOS *et al.*, 2006 in LIMA, 2008; ROSS, 1997 in SILVA, 2014). Os solos indiscriminados de mangue não são suscetíveis à erosão por serem alagadiços e associados às planícies.

O **mapa geológico** foi baseado no Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, de escala 1:100.000, publicado em “O Estado do Ambiente – Indicadores Ambientais do Rio de Janeiro – 2010”, produzido pelo INEA (RIO DE JANEIRO, 2011a). Este mapa também foi elaborado no ArcGis 10.1, e foi utilizada a ferramenta *Clip* para obter o recorte da área de estudo.

Quanto à atribuição de pesos e notas ao fator geologia, os batólitos originam solos de textura grossa devido à sua composição, diferentemente dos sedimentos fluviais que originam solos de textura mais fina, mais suscetíveis à erosão, por outro lado, ocorrem em áreas de planície o que reduz a suscetibilidade à erosão (DUMMER *et al.*, 2010; DUARTE *et al.*, 2014).

E por fim, o **mapa hipsométrico** teve como base as cartas topográficas do IBGE e, a partir delas, foi elaborado um Modelo Digital de Elevação (*Digital Elevation Model - DEM*), utilizando-se a ferramenta *TIN (Triangular Irregular Network)* do *3D Analyst* do ArcGis 10.1. Escala final de 1:50.000 e intervalo de altitude que variou entre < 50 metros a > 1.200 metros (Pico do Corisco – 1.325 metros). O produto final apresentou uma pequena falha à jusante da bacia por ausência de curvas de nível nesta parte, não sendo mapeado pelo programa utilizado. Este mapa teve por objetivo complementar as informações sobre chuvas, nos Resultados.

6.3. Análise prognóstica dos indicadores ambientais

Esta etapa refere-se à organização, sistematização (em tabelas, gráficos, figuras) e análise dos dados e informações coletados em campo, analisados em laboratório, nos mapeamentos e nos levantamentos bibliográficos sobre a temática e sobre a área de estudo. Buscou-se analisar e inter-relacionar o conjunto de respostas obtidas, além disso, apresentar uma previsão à ocorrência de processos erosivos na região, levando em consideração todos os

indicadores ambientais analisados: chuvas, propriedades físicas e químicas dos solos, uso e cobertura dos solos, geologia, forma das encostas, declividade e tipos de solo.

Portanto, os **indicadores ambientais mapeados** foram analisados e inter-relacionados entre si, de acordo com a bibliografia e, ao final, todos os parâmetros mapeados foram analisados de forma integrada definindo-se classes de suscetibilidade, a partir de pesos e notas atribuídos a cada indicador, de acordo com sua maior ou menor influência na erosão – ou em função da precisão do dado obtido para este estudo. Assim, foi elaborada a representação da modelagem de suscetibilidade à erosão dos solos, através da sobreposição de mapas. Essa metodologia está baseada e adaptada de Ross (1994), Bou Kheir *et al.* (2006), Lima (2010) e Silva (2014).

Os indicadores gerados a partir dos **resultados das análises das propriedades físicas e químicas dos solos** não puderam ser considerados na elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão devido à pouca quantidade de pontos de coleta e à localização concentrada dos mesmos, o que não contemplou a totalidade da área da bacia hidrográfica estudada. Portanto, foram analisados, nos Resultados, de forma conjunta com os indicadores mapeados, obtendo-se ao final um panorama prognóstico à ocorrência de processos erosivos para a bacia em questão.

Cabe ressaltar que para esta dissertação de mestrado, **a pluviosidade** na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes foi um indicador considerado na análise prognóstica, mas de forma constante. Tal procedimento é explicado em função da existência de apenas uma estação pluviométrica⁴ próxima à área de estudo, ou seja, não há uma ou mais estações dentro dos limites da bacia. Dessa forma, os dados pluviométricos obtidos serão considerados para toda a bacia hidrográfica. Os dados de pluviosidade anual foram obtidos através da base de dados da ANA (Agência Nacional de Águas), no período de 1970 a 2010, e o índice de erosividade da chuva considerado foi o encontrado por Silva *et al.* (2013) para a região da área de estudo, também considerado constante.

⁴ Estação Parati, código 2344007. Localização: 524156 (E) / 7431708 (N). Fonte: Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH. Agência Nacional de Águas. <http://portalsnirh.ana.gov.br/>.

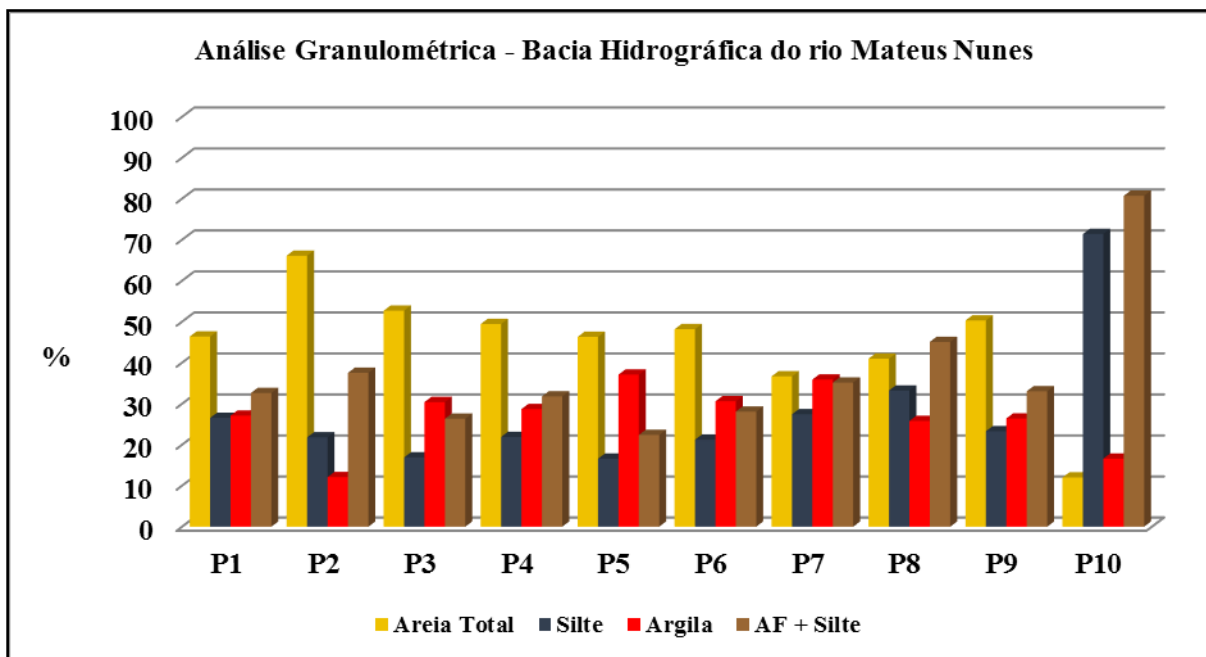
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1. Indicador erodibilidade dos solos: resultados das análises de solo

Os resultados obtidos a partir da análise granulométrica das amostras de solo coletadas na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes são apresentadas na Tabela 5 e no Gráfico 1:

Tabela 5. Resultados da granulometria (% e g/Kg) e classificação textural das amostras de solo. Para ilustrar, na última coluna, as frações que apresentam maior índice de erodibilidade, Areia Fina (AF) e Silte, em %.

Amostra	Granulometria										Classe Textural	AF + Silte (%)
	Areia Fina		Areia Grossa		Areia Total		Silte		Argila			
	%	g/Kg	%	g/Kg	%	g/Kg	%	g/Kg	%	g/Kg		
P1	6,09	60,9	40,29	402,9	46,38	463,8	26,53	265,3	27,10	271	Franco argilo-arenoso	32,62
P2	15,74	157,4	50,37	503,7	66,10	661,1	21,80	218	12,10	121	Franco arenoso	37,54
P3	9,44	94,4	43,26	432,6	52,70	527	16,90	169	30,40	304	Franco argilo-arenoso	26,34
P4	9,91	99,1	39,53	395,3	49,43	494,4	21,87	218,7	28,70	287	Franco argilo-arenoso	31,78
P5	5,79	57,9	40,52	405,2	46,30	463,1	16,60	166	37,10	371	Argilo-arenoso	22,39
P6	6,86	68,6	41,33	413,3	48,19	481,9	21,22	212,2	30,60	306	Franco argilo-arenoso	28,08
P7	7,73	77,3	28,94	289,4	36,67	366,7	27,44	274,4	35,90	359	Franco arenoso	35,17
P8	11,86	118,6	29,13	291,3	40,99	409,9	33,22	332,2	25,80	258	Franco	45,08
P9	9,76	97,6	40,55	405,5	50,31	503,1	23,29	232,9	26,40	264	Franco argilo-arenoso	33,05
P10	9,31	93,1	2,69	26,9	12,00	120	71,40	714	16,60	166	Franco siltoso	80,71

Gráfico 1. Distribuição granulométrica dos dez pontos analisados, em %.

A maior parte dos pontos analisados apresentou classe textural Franca, com alguma variação, mas predominância de Franco argilo-arenosa, pois em média apresentaram valores de areia em torno de 50% e argila em torno de 30%. A predominância da fração areia indica alta permeabilidade ao solo; a fração areia grossa se destacou nos resultados, que somada a argila podem conferir aos solos uma baixa erodibilidade. No entanto, os pontos P2, P8 e P10 podem ser destacados a partir dos resultados do teor de areia fina (AF) + silte, que apresentaram os valores 375,4, 450,8 e 807,1 g/kg (37,54%, 45,08% e 80,71%), respectivamente; essas frações apresentam os maiores índices de erodibilidade, pois são removidas mais facilmente do que outras (POESEN *et al.*, 2003; FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; GUERRA, 2005 e 2007; LIMA *et al.*, 2008; LOUREIRO, 2013). Lima (2008) menciona que teores de silte acima de 350 g/kg podem conferir média e alta suscetibilidade à erosão.

Em seus estudos de solos na bacia hidrográfica do rio Maranduba, em Ubatuba (SP), Pereira (2015) também encontrou predominância de classes argilosas e arenosas, apresentando em média 52% de areia, 26% de argila e 21% de silte, características estas semelhantes às da bacia do rio Mateus Nunes, além de possuírem praticamente os mesmos tipos de relevo, substrato rochoso e solos.

A Tabela 6 apresenta os valores encontrados para as análises de densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total. Os pontos P4, P5 e P6 apresentaram as maiores

densidades aparentes (1,58; 1,69; 1,60) e são áreas de pasto, sendo o P5 uma área de pasto ativa e que já apresenta uma rede de ravinas; uma delas encontra-se em processo de voçorocamento, observado no trabalho de campo. Esses pontos apresentaram densidades acima de 1,50 g/cm³, o que pode ser considerado alta compactação dos solos (MORGAN, 2005).

Tabela 6. Resultados das análises de densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total.

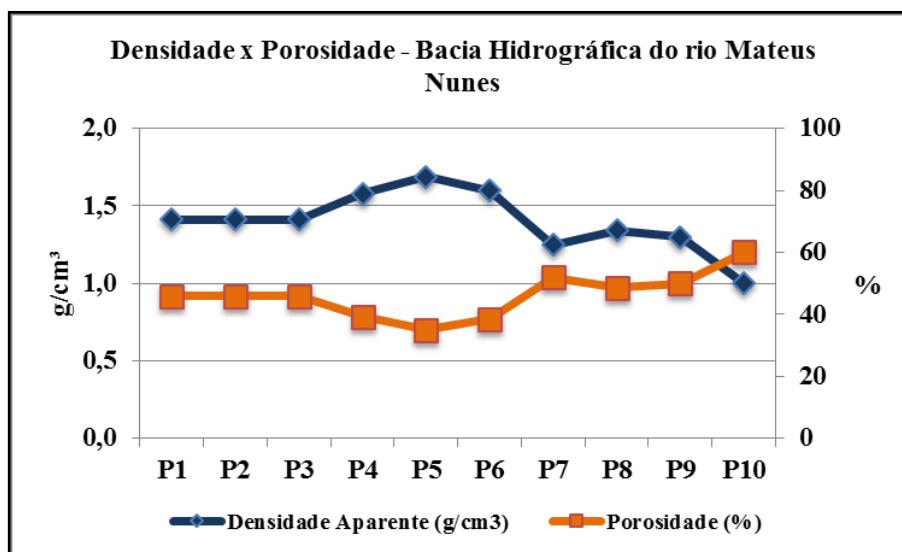
Amostra	Densidade Aparente (g/cm³)	Densidade de Partículas (g/cm³)	Porosidade (%)
P1	1,41	2,6	45,8
P2	1,41	2,6	45,8
P3	1,41	2,6	45,8
P4	1,58	2,6	39,2
P5	1,69	2,6	35,0
P6	1,60	2,6	38,5
P7	1,25	2,6	51,9
P8	1,34	2,6	48,5
P9	1,30	2,6	50,0
P10	1,00	2,5	60,0

Todos os outros 7 pontos ficaram abaixo de 1,50 g/cm³, entretanto 6 desses pontos apresentaram valores de densidade aparente entre 1,25 e 1,41 g/cm³ o que, segundo Kiehl (1979), pode indicar predominância das frações minerais e práticas de manejo inadequadas, embora um desses pontos (P2) seja o início de uma floresta (aberta), onde, segundo o mesmo autor, é comum encontrar valores abaixo de 0,8 g/cm³ devido à presença de raízes, por exemplo. Yüksek *et al.* (2010) encontraram valores de densidade aparente 1,52 e 1,66 g/cm³ em solos utilizados para pastagem e para atividades turísticas na área protegida de Kafkasör (Turquia), o que conferiu a esse tipo de uso maior compactação do solo em relação aos demais analisados.

A densidade de partículas apresentou em média 2,6 g/cm³, o que segundo Rangel (2014) está “de acordo com os tipos de solos da região, isto é, solos minerais, em que a média da densidade de partículas fica entre 2,3 e 2,9 g/cm³”.

O Gráfico 2 mostra a relação inversa entre os valores de densidade aparente e porosidade total.

Gráfico 2. Relação entre os valores de densidade aparente e de porosidade total.

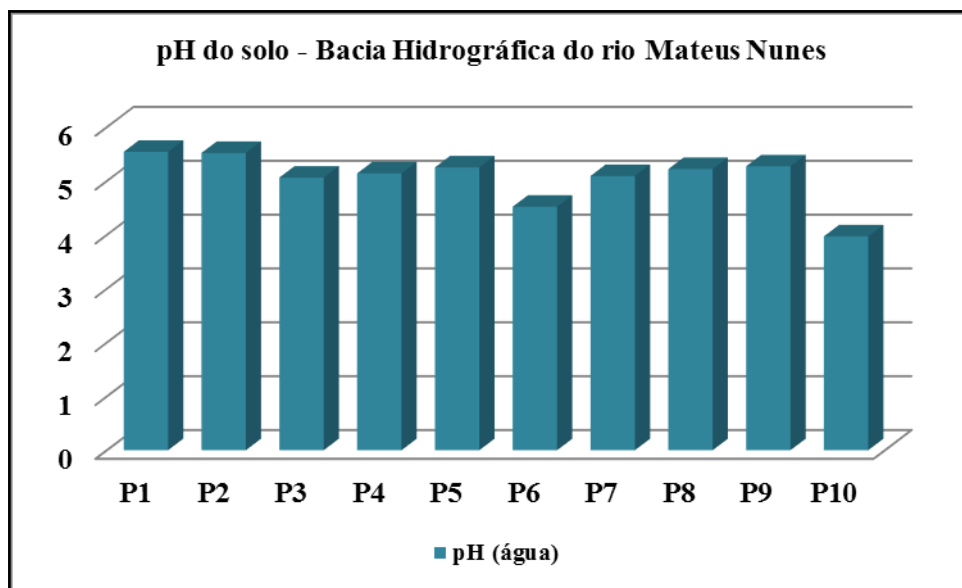


Os valores de porosidade variaram entre 35% e 60%. Para Grohmamm (1975 *in* LOUREIRO, 2013), geralmente a porosidade apresenta valores entre 40% e 60%, podendo chegar a valores extremos correspondentes a 30% e 80%. Os pontos, anteriormente citados, com os maiores valores de densidade aparente (P4, P5, P6) foram os pontos com menores valores de porosidade (39,2%; 35%; 38,5%), sendo o P5 o que apresentou o valor mais baixo de porosidade (35%), devido à sua compactação do solo (1,69 g/cm³), e claramente ajuda a explicar a ocorrência de processos erosivos na área. Além disso, esses três pontos correspondem a pastagens.

Os outros 7 pontos apresentaram porosidade superior a 45%, o que Lima (2008) considerou de baixa suscetibilidade à erosão. O P10 foi o ponto mais diferenciado, com 60% de porosidade e 1,0 g/cm³ de densidade aparente, além de 714 g/kg (71,4%) de silte. Apesar de ser um pasto ativo, apresenta baixa suscetibilidade à erosão por seu tipo de solo, Neossolo Flúvico, o que explica também as características do ponto supracitadas.

Quanto ao pH do solo, todos os pontos apresentaram pH inferior a 7,0 (Gráfico 3), o que confere acidez ao solo e, indiretamente, baixa estabilidade dos agregados (FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; OLIVEIRA, 2011).

Gráfico 3. Valores de pH do solo encontrados nas amostras analisadas.



Dos 10 pontos analisados, 8 pontos apresentaram acidez média, com valores variando entre 5,06 e 5,54, e 2 pontos apresentaram acidez elevada, 4,52 no P6 e 3,97 no P10. Diante desses resultados, ressalta-se a importância da cobertura vegetal ajudando o solo a manter coesão entre suas partículas, já que observando os resultados de pH de forma isolada, esses solos podem ser suscetíveis à erosão. Segundo Yoshioka (2005) a erosão também pode ser uma das causas da acidez do solo, pois há a remoção da camada superficial do solo, e esta possui maiores teores de bases e favorece a acidificação do solo, expondo as camadas mais ácidas do subsolo.

As feições erosivas presentes no P5 confirmam essa acidez do solo (5,25), somado a sua compactação ($1,69 \text{ g/cm}^3$) e baixa porosidade (35%). O menor valor de pH encontrado foi no P10, área de pasto ativo também, embora tenha apresentado 60% de porosidade, $1,0 \text{ g/cm}^3$ de densidade aparente.

O teor de matéria orgânica é apresentado na Tabela 7. Conforme mencionado na metodologia deste trabalho, o método pela perda por ignição (queima da matéria orgânica em Mufla) e o método pela oxidação do carbono orgânico (pelo dicromato de potássio) apresentam limitações, pois o primeiro superestima os resultados e o segundo os subestima. Sendo assim foi feita uma estimativa média (%) entre os dois resultados para maior confiabilidade na análise final, como propõe Loureiro (2013).

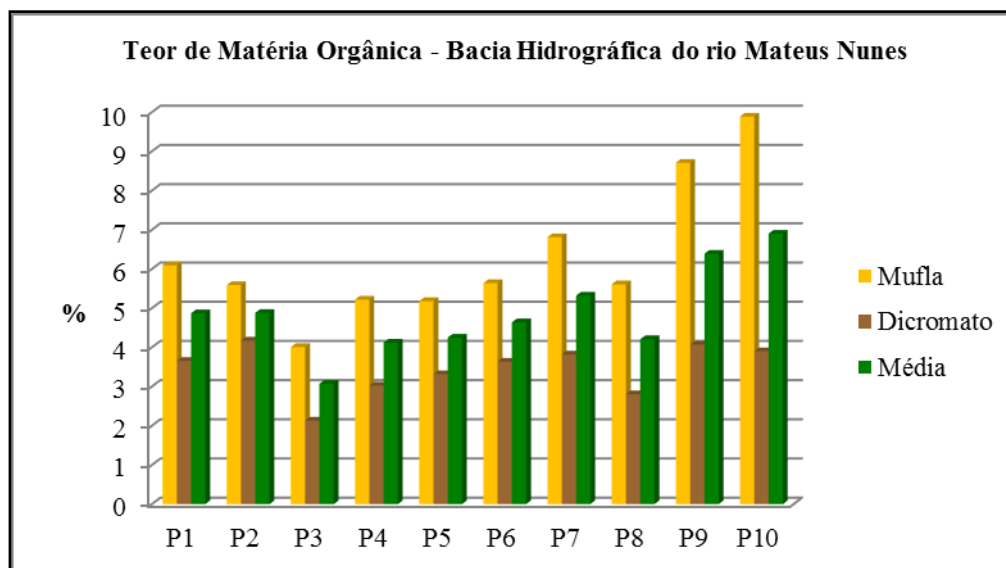
Tabela 7. Teores de matéria orgânica - resultados da utilização dos dois métodos. Na última coluna é apresentada a média entre os resultados dos dois métodos.

Amostra	Matéria Orgânica				Média (%)
	Mufla		Dicromato		
	g/kg	%	g/kg	%	
P1	60,9	6,09	36,55	3,65	4,87
P2	55,9	5,59	41,73	4,17	4,88
P3	40,1	4,01	21,33	2,13	3,07
P4	52,2	5,22	30,25	3,02	4,12
P5	51,8	5,18	33,15	3,31	4,25
P6	56,4	5,64	36,34	3,63	4,64
P7	68,1	6,81	38,21	3,82	5,32
P8	56,1	5,61	28,04	2,80	4,21
P9	87,1	8,71	40,69	4,07	6,39
P10	98,9	9,89	39,02	3,90	6,90

Com base nas médias, quase a totalidade apresentou teor de matéria orgânica acima de 3,5%, sendo este o limite entre baixa e alta suscetibilidade à erosão, citado por vários autores (MORGAN, 2005; GREENLAND *et al.*, 1975 in GUERRA, 2007; CONFORTI *et al.*, 2013). Apenas o P3 apresentou teor de matéria orgânica de 3,07%, o que pode estar diretamente ligado ao tipo de uso da terra: um pequeno cultivo de cana-de-açúcar pode trazer consequências negativas para o solo, como por exemplo a desertificação (PEREIRA *et al.*, 2009).

Como pode ser observado no Gráfico 4, os pontos P9 e P10 apresentaram os maiores valores do teor de matéria orgânica, acima de 6% na média, chegando a quase 10% (P10), pelo método da queima em forno mufla. Lima (2010) encontrou resultados como estes (em torno de 8%) em algumas amostras de solo na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança (Nova Friburgo – RJ), e ressaltou que esses valores favorecem a formação e a estabilidade dos agregados do solo, o que contribui para baixa suscetibilidade dos solos à erosão.

Gráfico 4. Resultados do teor de matéria orgânica em % em cada método e na média entre eles.



Os resultados da análise de estabilidade de agregados são apresentados na Tabela 8. Segundo Castro Filho *et al.* (1998) e Matos *et al.* (2008), o DMP, ou a presença de agregados grandes, pode refletir a resistência do solo à erosão, sendo assim, quanto maior for o agregado, maiores serão o DMP e os espaços porosos entre os agregados, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão. Os maiores valores de DMP e, consequentemente de DMG, foram encontrados nos pontos P1, P7 e P10, o que está diretamente relacionado ao teor de matéria orgânica desses pontos (4,87%, 5,32% e 6,90%, respectivamente).

Além disso, as maiores porcentagens de IEA (Tabela 8) foram encontradas também nestes pontos (P1 = 95,77%; P7 = 94,08%; P10 = 95,69%), o que também pode estar relacionado ao tipo de uso da terra: o P1 é um ponto em pasto abandonado, com gramíneas em altura considerável; o P7 é um ponto em área de transição da encosta entre floresta e pasto, e esse pasto também com características de abandono; e o P10 é um pasto ativo de baixa declividade. Apesar deste último ponto (P10) apresentar mais de 70% de silte e classe textural franco-siltosa, os resultados de agregação do solo foram satisfatórios, como mencionado acima, e que também está diretamente ligado ao teor de matéria orgânica desse ponto, que foi o maior de todos, 6,90% na média entre os dois métodos adotados, e à porosidade total (60%).

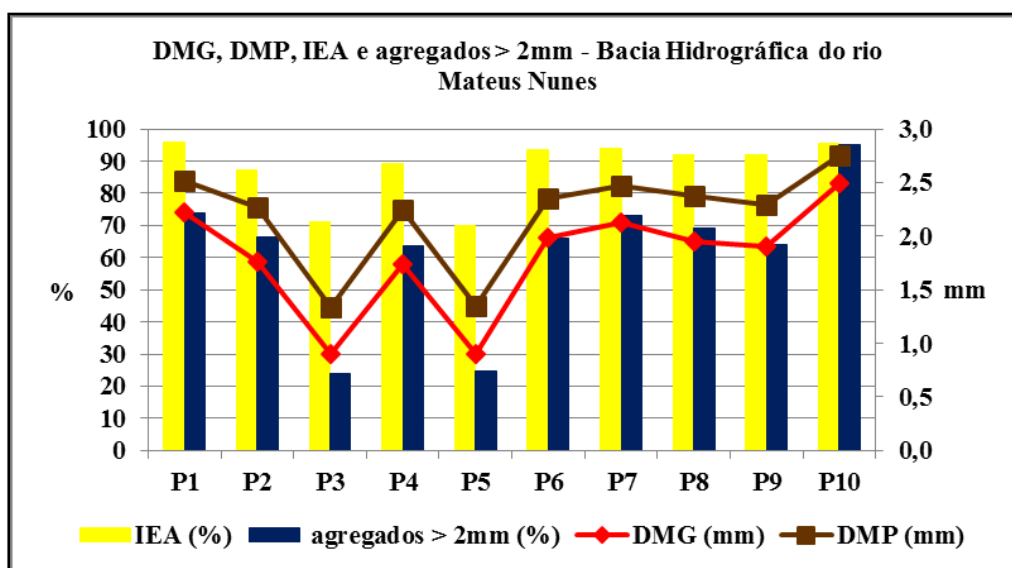
Tabela 8. Resultados da análise de estabilidade de agregados: DMP, DMG, IEA e Agregados > 2 mm.

ÍNDICES DE AGREGAÇÃO DO SOLO				
Amostra	DMG (mm)	DMP (mm)	IEA (%)	Agregados > 2mm (%)
P1	2,22	2,51	95,77	73,73
P2	1,76	2,27	87,26	66,30
P3	0,90	1,34	71,32	24,07
P4	1,74	2,25	89,27	63,74
P5	0,91	1,35	69,98	24,69
P6	1,98	2,35	93,45	65,86
P7	2,12	2,47	94,08	73,23
P8	1,96	2,38	91,81	69,21
P9	1,90	2,30	91,81	64,14
P10	2,49	2,76	95,69	95,29

O P5 destacou-se por ter apresentado o menor valor de DMP (1,35 mm), o menor IEA (69,98%) e a menor porcentagem de agregados > 2mm (24,69%), como também pode ser observado no Gráfico 5, ao compará-lo com os demais pontos. Todos esses dados mais uma vez estão de acordo com a situação atual de degradação por erosão deste ponto. Rangel (2014) encontrou no leito da trilha do ponto 4, de seus estudos em trilhas na APA do Cairuçu (Paraty, RJ), os valores 1,43 mm (DMP), 1,19 mm (DMG), 79,54% (IEA) e 40,18% (agregados > 2 mm), o que foi considerado pela autora como os valores mais baixos encontrados, explicando, assim, ser o ponto mais degradado. Apesar de serem usos distintos, a similaridade nos resultados apontou para uma mesma situação: degradação.

O P8 é um ponto na borda de uma trilha aberta e apresentou valores altos nos índices analisados, como por exemplo, DMP 2,38 mm e IEA 91,81% (Gráfico 5). Rangel (2014) também encontrou valores mais altos em todas as bordas da trilha Laranjeiras–Praia do Sono, em profundidade superficial 0-10 cm, em relação aos valores encontrados para o leito da trilha.

Gráfico 5. Índices de agregação do solo (DMG, DMP e IEA) e % de agregados > 2 mm.



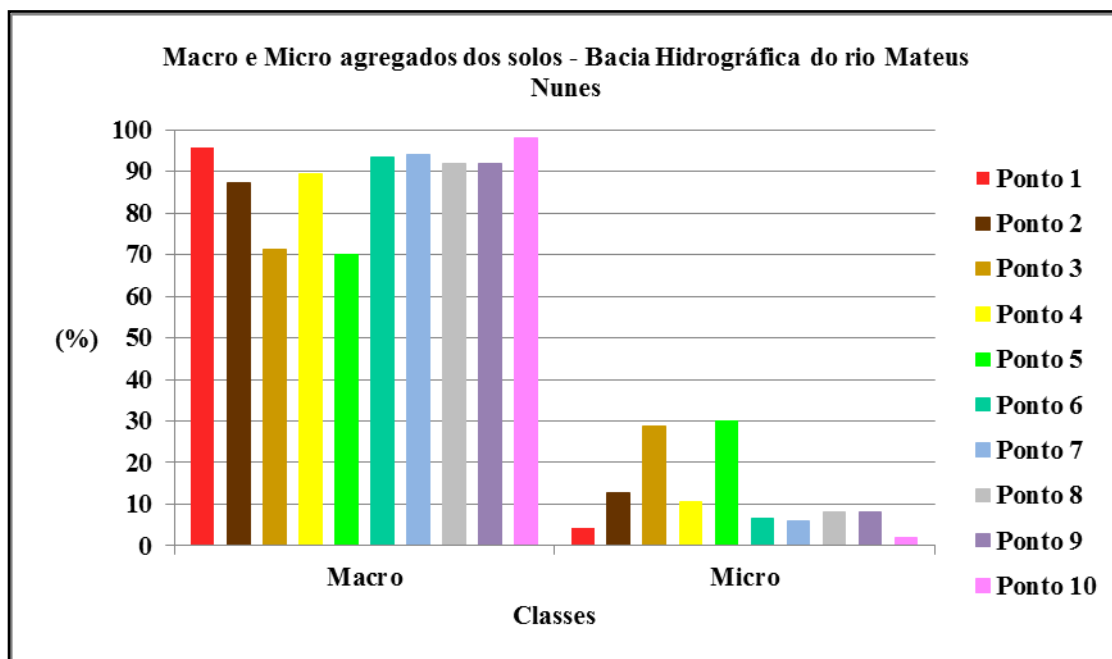
O P3 foi o ponto que apresentou o menor valor de DMP (1,34 mm) e de DMG (0,90 mm), e também o menor percentual de agregados > 2 mm (24,07), reiterando o que foi afirmado por Castro Filho *et al.* (1998), que quanto menor for o agregado, menor será o DMP e os espaços porosos entre agregados, diminuindo, portanto a infiltração e aumentando a suscetibilidade à erosão. Os resultados de matéria orgânica para este ponto foram os menores, e a média ficou em 3,07%, o que revela que neste ponto, os agregados do solo são instáveis. Dexter (1988 in CALONEGO e ROSOLEM, 2008) afirma que:

“Os solos com agregados estáveis de maior tamanho são considerados solos estruturalmente melhores e mais resistentes ao processo erosivo, pois a agregação facilita a aeração do solo, as trocas gasosas e a infiltração de água, em função do aumento da macroporosidade entre os agregados, além de garantirem a microporosidade e a retenção de água dentro dos agregados.” (DEXTER, 1988 in CALONEGO e ROSOLEM, 2008).

Os valores de macro e microagregados são exibidos no Gráfico 6. Todos os pontos apresentaram maior porcentagem de macro (cerca de 70% a 98%) do que de microagregados (cerca de 2% a 30%). Denef *et al.* (2001) afirmam que quando os macroagregados do solo estão pouco estáveis, ou seja, quando a argila e a matéria orgânica não conseguem unir as partículas de solo, pode haver desagregação e, conseqüentemente, formação de microagregados, que são compostos por agregados de diâmetro < 0,250 mm. Os macroagregados são compostos por agregados de diâmetro < 0,250 mm (MADARI, 2004).

O P5 e o P3 mais uma vez merecem destaque, pois foram os pontos que apresentaram as maiores porcentagens de microagregados no solo, cerca de 30%, o que evidencia uma intensa quebra dos macroagregados do solo (TISDALL e OADES, 1982).

Gráfico 6. Distribuição de macro e microagregados do solo.



7.2. Indicadores ambientais mapeados

Com base nos mapeamentos temáticos foi possível obter resultados espacializados e quantificados dos indicadores ambientais solos, geologia, forma das encostas, declividade e uso e cobertura do solo.

A Tabela 9 mostra a área (Km²) e a porcentagem (%) correspondentes às classes de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes. E na Figura 16 é apresentado o mapa de uso e cobertura da área de estudo.

Tabela 9. Ocorrência de cada classe de uso e cobertura na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Uso e Cobertura do Solo		
Classes	Km ²	%
Água	0,1	0,2
Urbano	4,6	8,8
Floresta	41,7	79,4
Pastagem	5,2	9,9
Afloramento rochoso	0,4	0,8
Não classificado	0,5	0,9

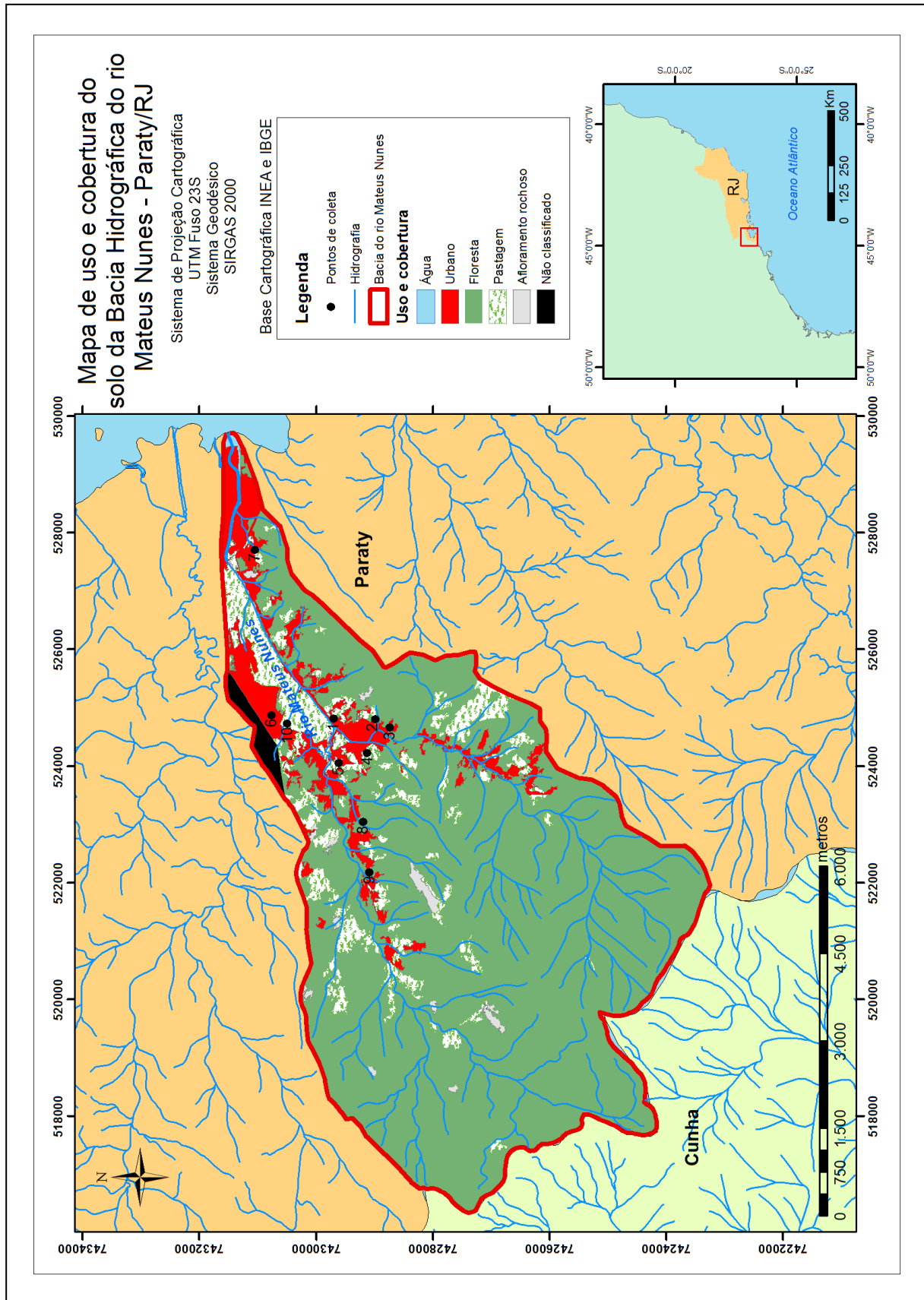


Figura 16. Mapa de uso e cobertura da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes. O trecho não classificado corresponde a parte em que a cena da imagem de satélite não cobria (NEVES, 2014).

O mapa de uso e cobertura do solo revela que grande parte de sua área encontra-se bem preservada, com 79,4% de cobertura por floresta, o que confirma o reduzido estágio de degradação por erosão em que os solos da paisagem da bacia estudada se encontram, observado em campo (Figura 17).



Figura 17. Cobertura florestal presente em boa parte da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes. Fotos de trabalho de campo (Fotos: Sara Neves, 2013).

Revela também que apenas 9,9% correspondem ao uso por pastagem e 8,8% ao uso urbano. Para uma área de unidade de conservação – boa parte da bacia – pode-se inferir como um resultado satisfatório, pois demonstra uso e ocupação controlados, atendendo a um dos objetivos imperativos de uma APA: “(...) e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação (...)” (BRASIL, 2000).

No entanto, esses dois tipos de uso podem acelerar o processo de degradação dos solos, pois deixam o solo mais exposto, logo, desprotegido (FULLEN e CATT, 2004; BEZERRA, 2011). Por outro lado, o uso urbano, por exemplo, pode apresentar certa proteção ao solo, pois a área ocupada encontra-se impermeabilizada por concreto e asfalto; o problema são as áreas de entorno dessa ocupação, que podem apresentar solo exposto, e os tipos de atividades desenvolvidas nesse espaço urbano.

As figuras 18 e 19 mostram os dois tipos de uso, pastagem e urbano, na área de estudo, observados em campo.



Figura 18. Parte das encostas cobertas por pastagem da bacia de estudo (Foto: Sara Neves, 2014).



Figura 19. Parte da área urbana da bacia de estudo (Foto: Sara Neves, 2014).

Vale ressaltar uma pequena observação quanto à classe “Água” encontrada no mapa de uso e cobertura: na verdade a área com essa classificação corresponde a uma área de mangue, de acordo com observações em campo e com o Plano de Manejo da APA do Cairuçu (Paraty, 2004).

A Tabela 10 mostra a área (Km²) e a porcentagem (%) correspondentes às classes dos tipos de solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Tabela 10. Classes de solos da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Solos		
Classes	Km²	%
Cambissolo	30,7	58,5
Latossolo	5,9	11,2
Solos Indiscriminados de Mangue	0,7	1,2
Neossolo Flúvico	3,3	6,1
Neossolo Litólico	11,9	23,0

O Cambissolo foi a classe de solo de maior ocorrência, com 58,5%. Segundo vários autores é o tipo de solo que apresenta maior suscetibilidade à erosão (PEREIRA *et al.*, 1994 e SANTOS *et al.*, 2006 in LIMA, 2008; LIMA, 2008; NEVES, 2011; LOUREIRO, 2013; ROSS, 1997 in SILVA, 2014; SILVA, 2014). O Neossolo Litólico foi a segunda classe de solo de maior ocorrência, com 23%, e também é considerado um tipo de solo crítico à ocorrência de processos erosivos, pois é pouco desenvolvido e está associado a elevadas declividades. O Latossolo (11,2%) é um tipo de solo com baixa suscetibilidade à erosão, o Neossolo Flúvico (6,1%) apresenta baixa ou nenhuma suscetibilidade e os solos indiscriminados de mangue (1,2%) apresentam suscetibilidade nula (CUNHA e GUERRA, 2006; EMBRAPA, 2006; JARBAS *et al.*, 2015). A Figura 20 apresenta o mapa de solos da área de estudo.

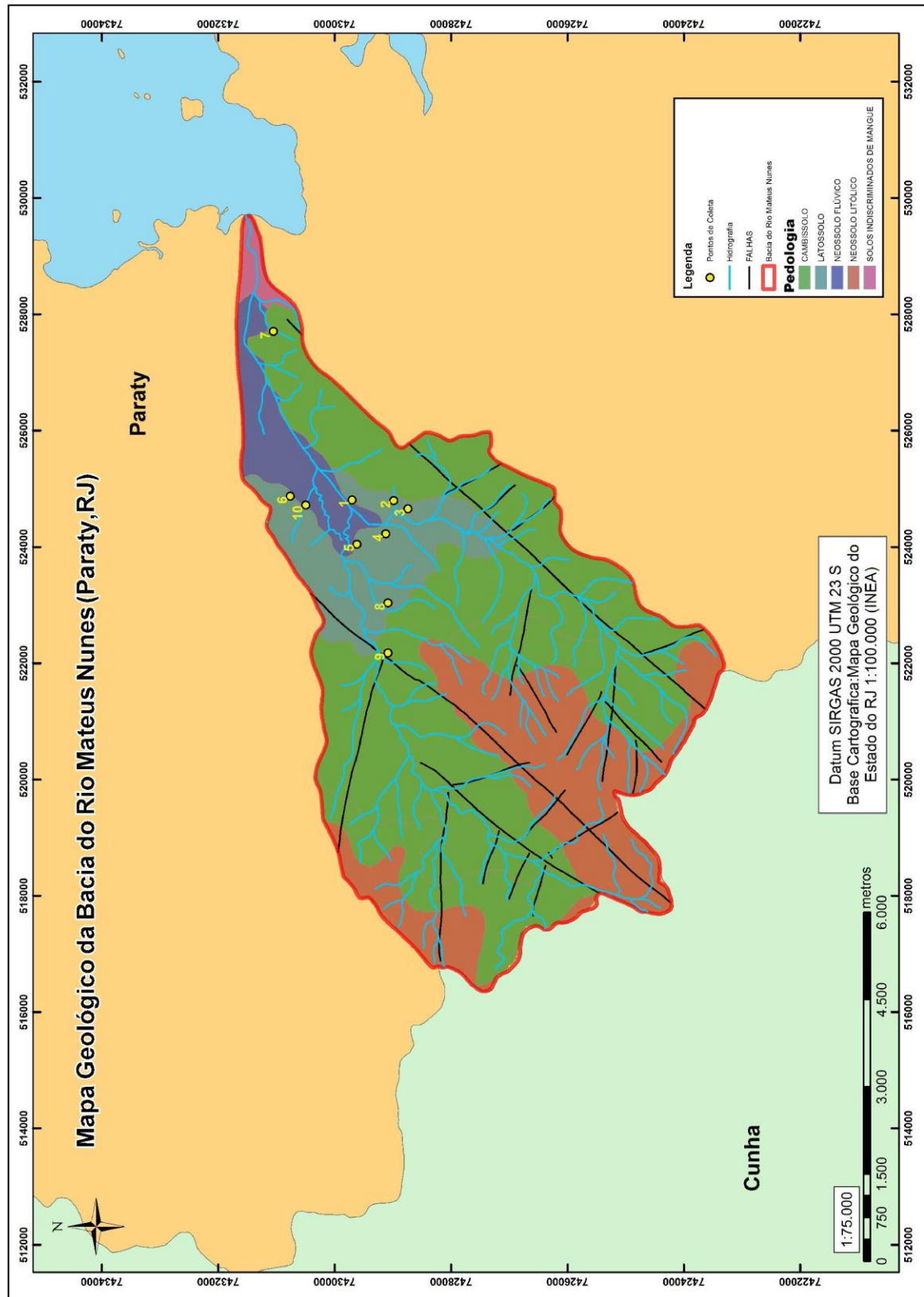


Figura 20. Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).

A Tabela 11 mostra a área (Km²) e a porcentagem (%) correspondentes às classes geológicas encontradas na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Tabela 11. Classes geológicas da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Geologia		
Classes	Km²	%
Batólito Serra dos Órgãos (Granito/Granodiorito)	42,2	80,7
Batólito Serra dos Órgãos (Granito Parati-Mirim)	5,7	10,9
Sedimentos fluviais	4,4	8,4

A bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes tem basicamente seu substrato rochoso granítico embasado em um corpo magmático denominado batólito⁵ (91,6%). As rochas graníticas, em geral, originam solos de textura grossa (DUMMER *et al.*, 2010), comprovado pelos resultados granulométricos deste estudo, o que pode sugerir uma baixa suscetibilidade à erosão, considerando apenas e de forma isolada o fator substrato rochoso.

A parte mais à jusante da bacia predominam os sedimentos fluviais, com 8,4% de ocorrência. Pode ser considerada uma classe com maior suscetibilidade à erosão devido à predominância de frações granulométricas mais finas. A Figura 21 apresenta o mapa geológico da área de estudo.

⁵ Leinz e Amaral (1989) mencionam algumas considerações sobre a definição e a origem de um batólito: “em regiões tectonicamente calmas, geralmente de grande antiguidade geológica, afloram grandes massas contínuas de rochas magmáticas, cortando discordantemente as rochas mais antigas” (p. 298).

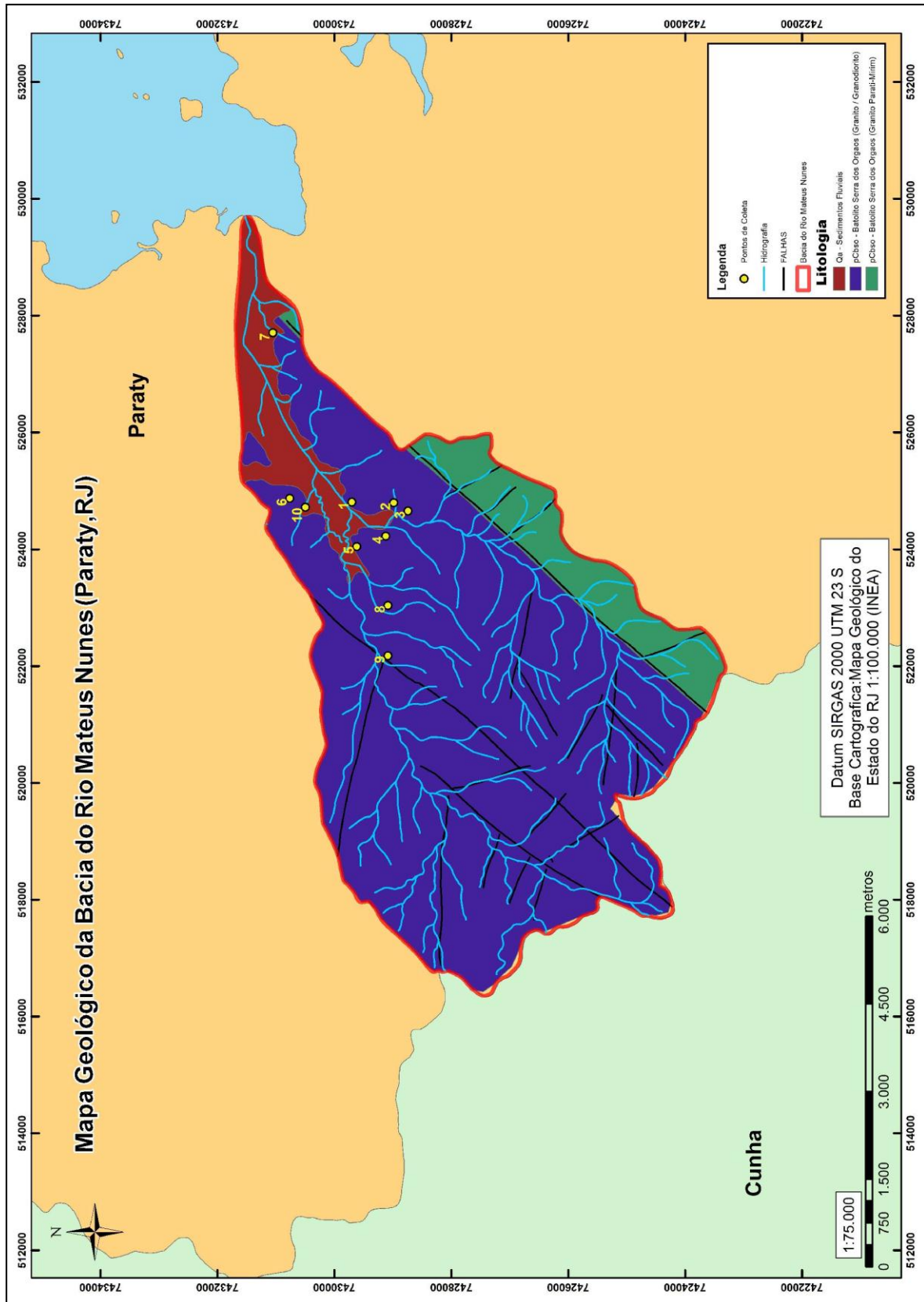


Figura 21. Mapa com as classes geológicas da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).

A Tabela 12 mostra a área (Km²) e a porcentagem (%) correspondentes às diferentes formas das encostas encontradas na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Tabela 12. Classes de forma das encostas encontradas na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Forma das encostas		
Classes	Km²	%
Retilínea	8,8	17,7
Convexa	21,0	42,2
Côncava	20,0	40,2

A forma retilínea obteve menor expressão espacial, com cerca de 17%. As formas convexa e côncava foram as mais expressivas na área da bacia, cada uma com cerca de 40%. Nestas duas formas predominam os processos erosivos, a forma convexa apresenta potencial para formação de ravinas e a forma côncava para formação de voçorocas (VIERO, 2004; GUERRA, 2007). Lima (2010) encontrou resultados semelhantes para a bacia hidrográfica do rio Boa Esperança (Nova Friburgo-RJ), cerca de 47% de encostas convexas e 43% de encostas côncavas, em relevo também semelhante (Escarpas Serranas).

A Figura 22 mostra um trecho côncavo (A) e outro convexo (B) de uma encosta, da bacia estudada. Em ambos é possível observar incisões que se assemelham a ravinas. No trecho A é possível visualizar certa profundidade, já no trecho B pode ser também o caminho da água no escoamento superficial em eventos chuvosos.

O mapa com a distribuição espacial das formas das encostas da bacia é apresentado na Figura 23.

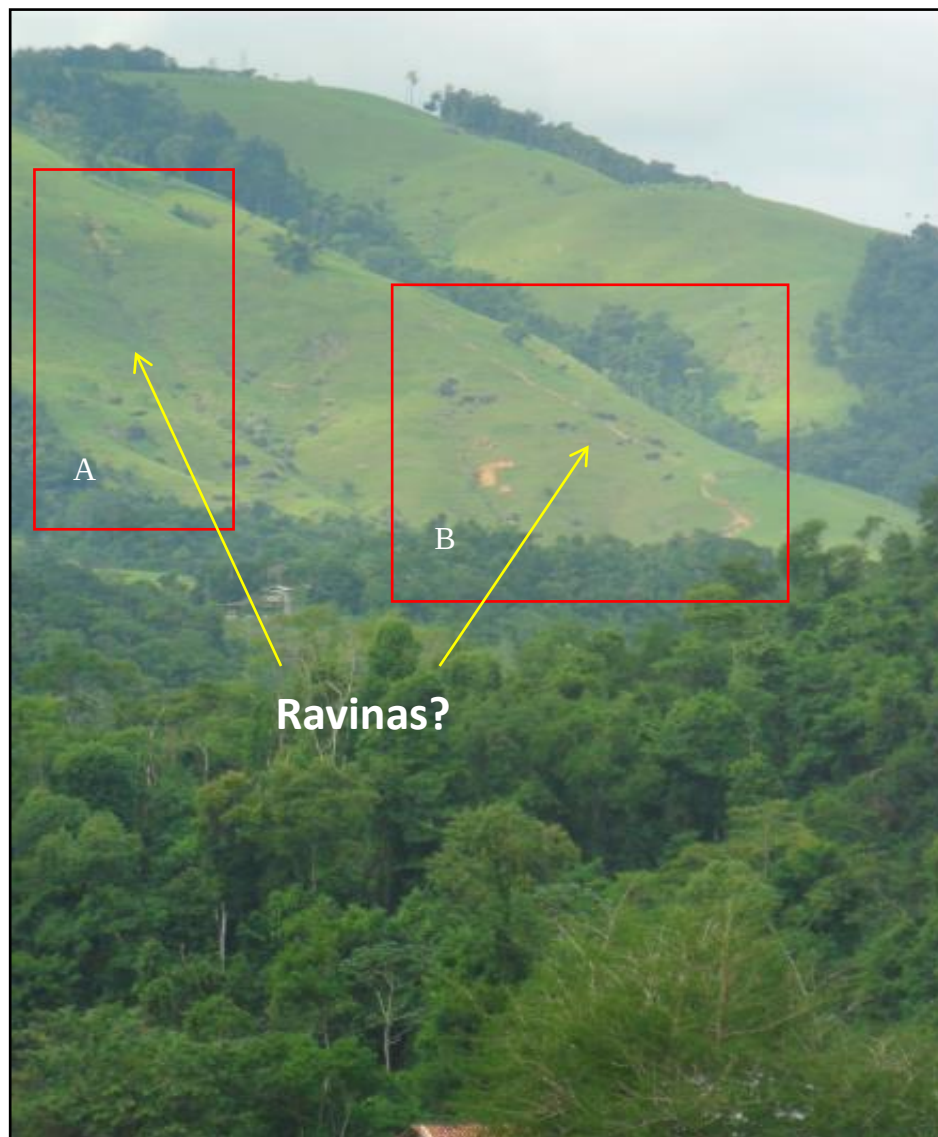


Figura 22. Possíveis ravinas em pastagem, trechos A (concavidade) e B (convexidade) (Foto: Sara Neves, 2014).

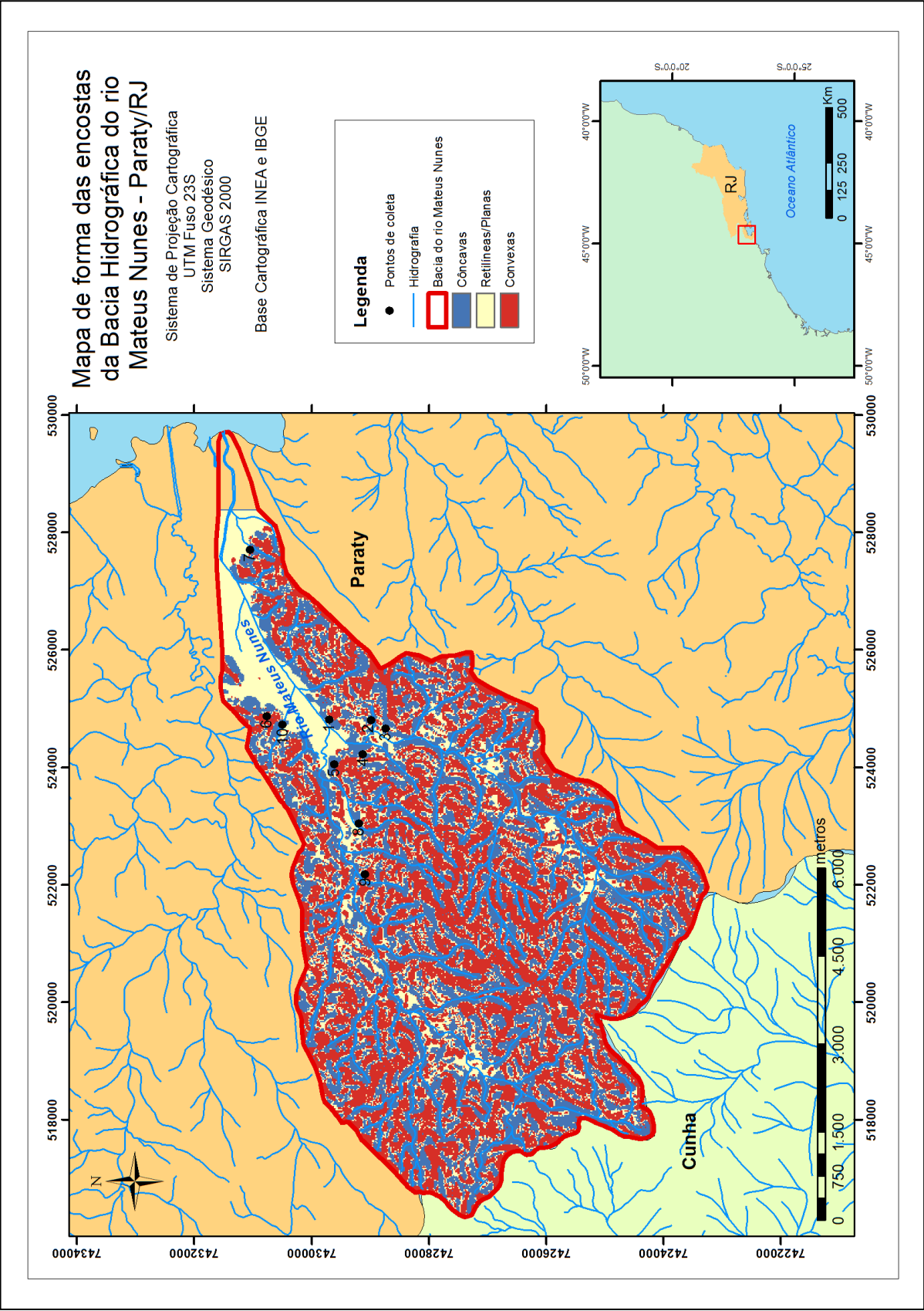


Figura 23. Mapa de forma das encostas da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).

A Tabela 13 mostra a área (Km²) e a porcentagem (%) correspondentes às classes de declividade encontradas na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Tabela 13. Ocorrência das classes de declividade na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Declividade		
Classes	Km ²	%
< 3°	5,3	10,5
3-8°	1,9	3,8
8-20°	16,1	31,9
20-45°	25,8	51,2
> 45	1,3	2,6

A classe de declividade com maior ocorrência na área da bacia foi a classe 20-45° (51,2%), seguida da classe 8-20° (31,9%). A classe de 8-20° proporciona solos mais desenvolvidos e, portanto, mais espessos e com maior disponibilidade de material; sendo assim, nesse aspecto, condições favoráveis aos processos erosivos, principalmente a forma erosiva mais grave e, muitas vezes, irreversível, a voçoroca.

Vieiro (2004) verificou que as voçorocas da bacia hidrográfica do rio Taboão ocorrem em um amplo intervalo de valores de declividade, entre 2,9% e 20,6% (o equivalente a cerca de 2° e 12°, respectivamente). O Manual de Geomorfologia do IBGE (IBGE, 2009) considera que declividades acima de 45% (cerca de 24°) são muito fortes, com predomínio de escoamento superficial concentrado. Lima (2008) considerou as encostas entre 25° e 35° como muito alta suscetibilidade à erosão, em seus estudos na bacia hidrográfica do rio Macaé (Macaé-RJ). O mapa de declividade gerado para a área da bacia é apresentado na Figura 24.

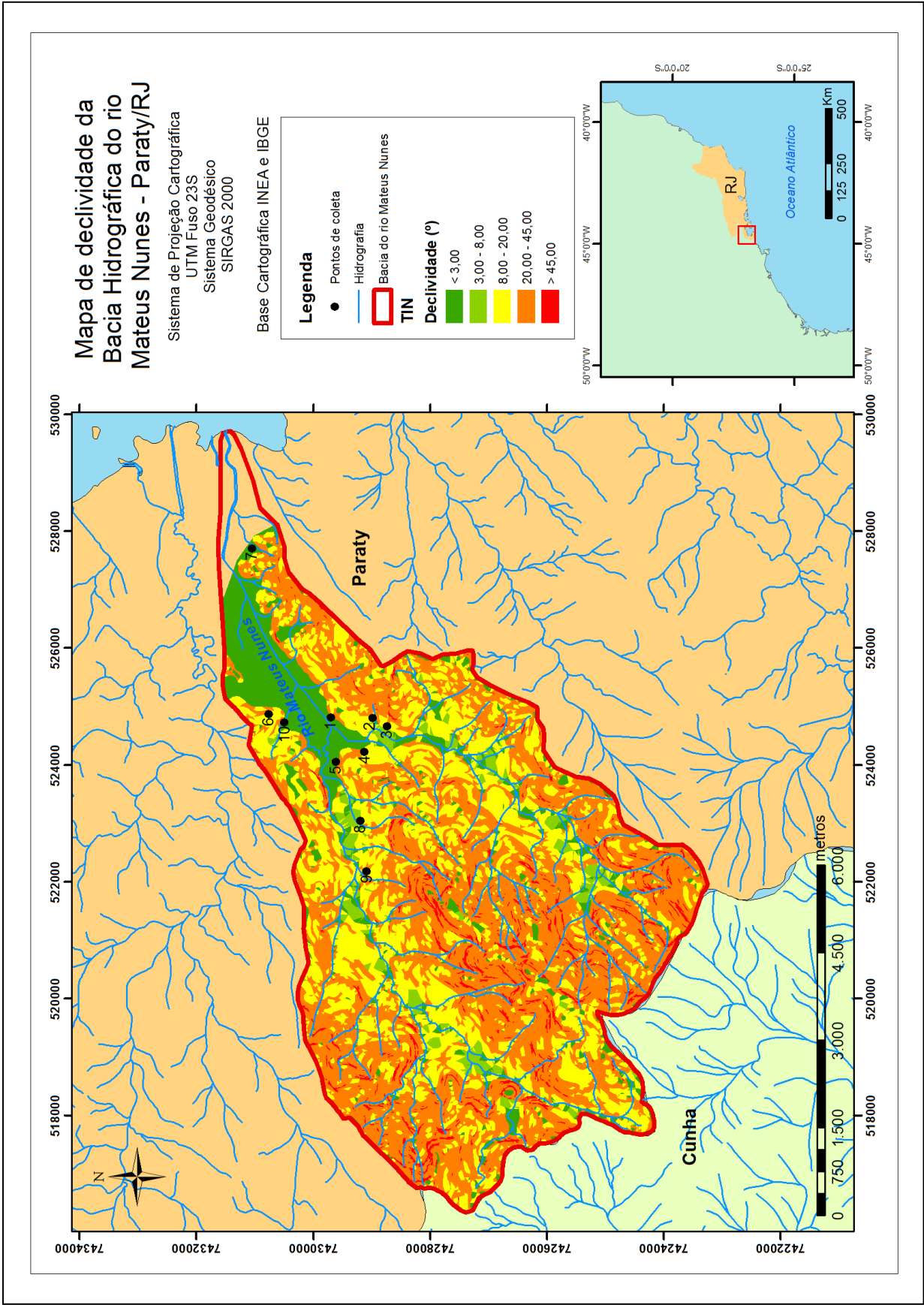


Figura 24. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).

7.3. Indicador chuva: regime pluviométrico e erosividade das chuvas

Em 2010, a precipitação anual foi em torno de 1.850 mm, registrado pela estação Parati. A distribuição dessa precipitação, ao longo dos meses do ano, é apresentada no Gráfico 7. Observa-se concentração pluviométrica nos meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março), e consequentemente ocorrência de eventos chuvosos de maior intensidade, o que é crítico para o desenvolvimento de processos erosivos, quando correlacionado com os demais fatores controladores da erosão. O Gráfico 8 apresenta as médias mensais de precipitação entre 1970 e 2010. Ao longo desses 40 anos os meses mais chuvosos, mais uma vez, são os meses de verão. A média anual ficou em torno de 1.580 mm.

Gráfico 7. Pluviosidade mensal, em mm, para o ano de 2010. Valores registrados pela estação pluviométrica Parati, considerados para toda a área da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

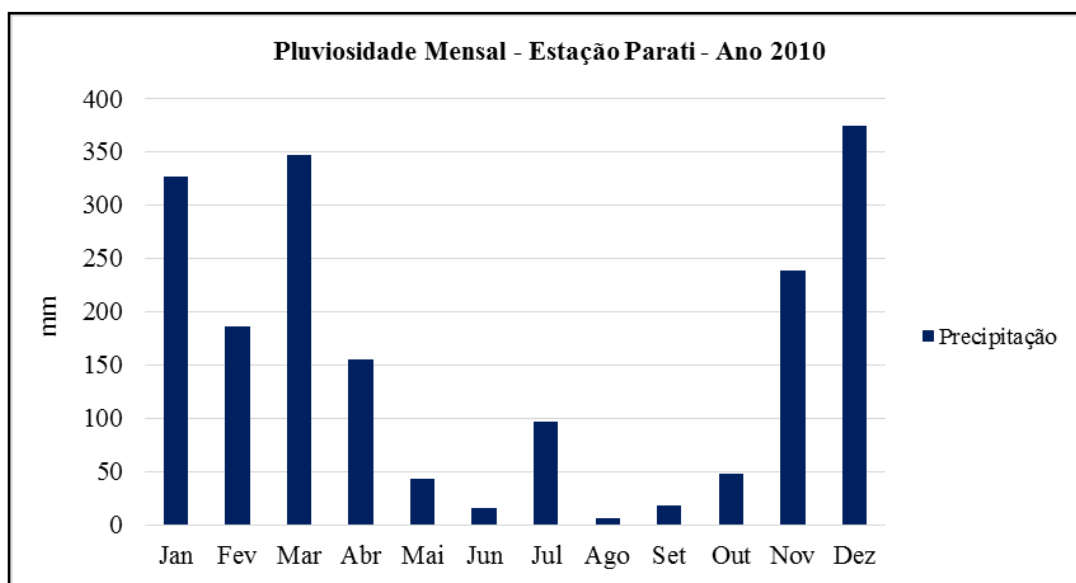
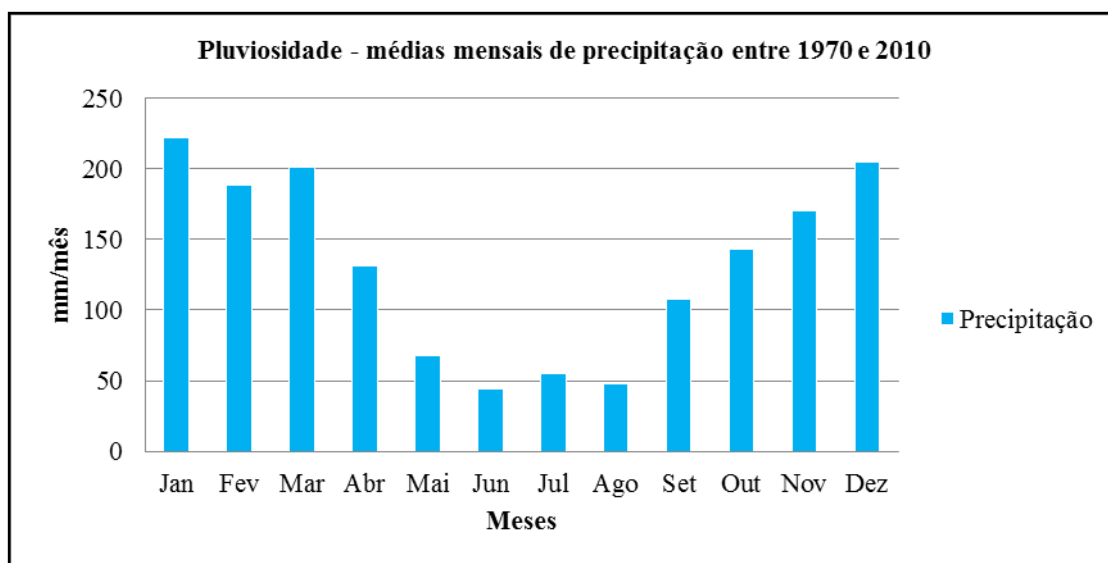


Gráfico 8. Médias mensais de precipitação entre os anos de 1970 e 2010. Valores registrados pela estação pluviométrica Parati, considerados para toda a área da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.



Há influência da altitude e da maritimidade no clima da região, comprovado pelos altos índices pluviométricos, o que ocorre, de modo geral, no litoral sul do estado do Rio de Janeiro (SILVA *et al.*, 2013; PARATY, 2004).

Há ocorrência de chuvas orográficas por conta das elevadas altitudes (Figura 25). Apesar dos valores elevados de precipitação, a bacia em questão está inserida numa região onde há maior proteção dos sistemas frontais justamente por conta da altitude do relevo. Ou seja, por estar localizada no litoral sul fluminense, está inserida num contexto de elevada precipitação, mas localmente, a bacia em si apresenta índices pluviométricos menores em relação a outras áreas, como por exemplo, mais ao sul, na Ponta da Juantinga, que está mais exposta aos sistemas frontais e com isso registra maior pluviosidade, de igual modo, na região de Picinguaba, no litoral norte paulista (PARATY, 2004).

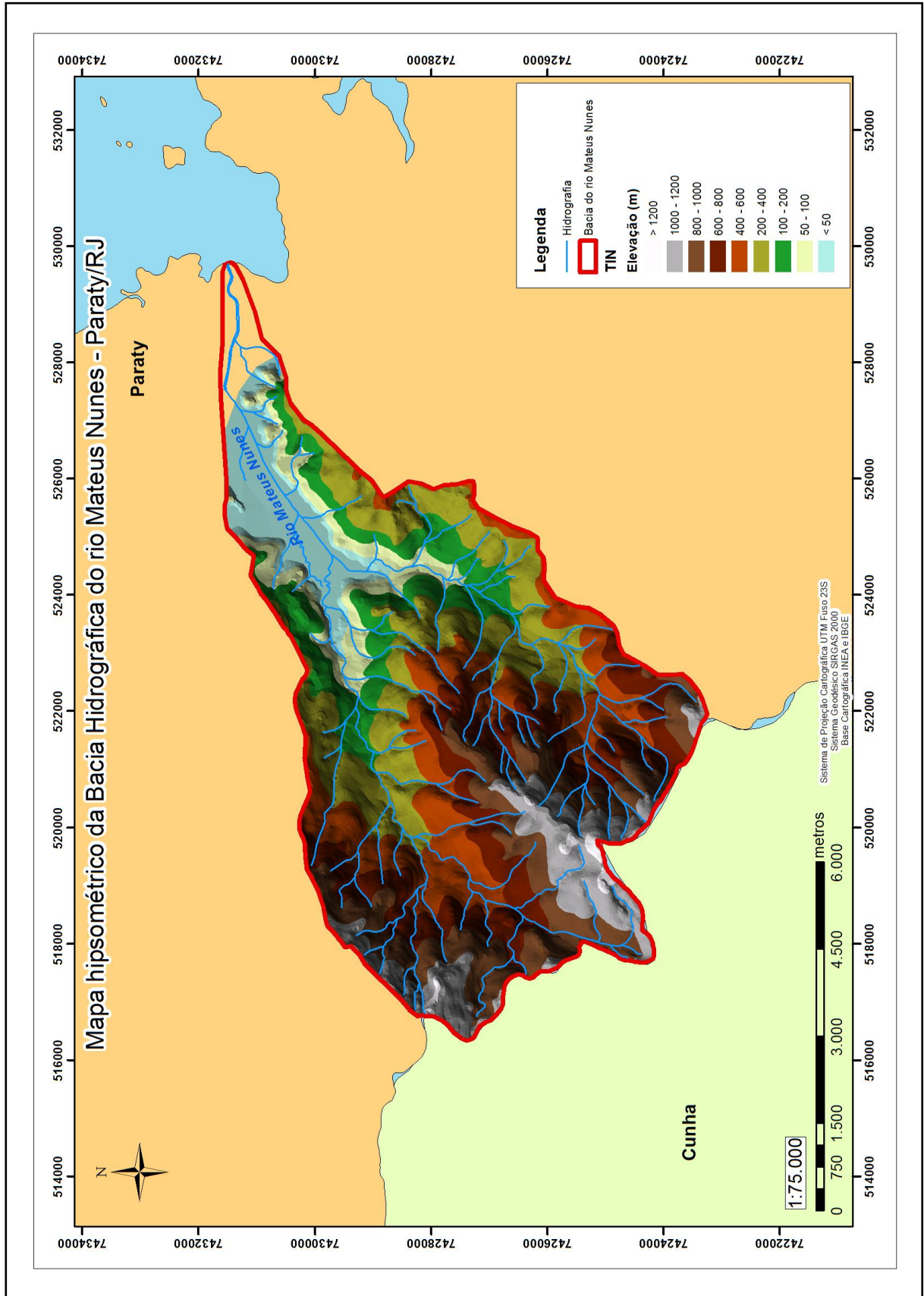


Figura 25. Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).

Quanto à erosividade das chuvas, importante fator para os estudos de erosão dos solos, foi considerado o Índice de Erosividade Anual (EI_{30})⁶ calculado para a estação Parati, elaborado por Silva *et al.* (2013). Este índice ficou em 5.557,9872 MJ/mm/ha/h/ano e foi considerado para toda a bacia. Gonçalves (2002), no mapeamento de erosividade para o estado do Rio de Janeiro, encontrou valores do EI_{30} entre 10.000 e 11.000 MJ/mm/ha/ano para a região sul fluminense (referindo-se a Mangaratiba, Angra dos Reis e Paraty). Larios (2007 *in* SANTOS, 2008) estabeleceu classes de erosividade da chuva média anual, e são as seguintes (Tabela 14):

Tabela 14. Classes de erosividade estabelecidas por Larios (2007 *in* SANTOS, 2008).

Classes de Erosividade	Valores de R (erosividade)
	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹
Muito baixa	R < 2455,0
Baixa	2455,0 < R < 4910,0
Média	4910,0 < R < 7365,0
Alta	7365,0 < R < 9820,0
Muito alta	R > 9820,0

O índice de erosividade anual para a bacia estudada pode ser interpretado como de média erosividade, considerando as classes determinadas por Larios (2007 *in* SANTOS, 2008). Schick *et al.* (2014), em seus estudos sobre erosividade da chuva em Lages (RS), encontrou a erosividade em 5.033 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e a classificou como de média severidade.

7.4. Análise prognóstica dos indicadores ambientais

A partir dos indicadores mapeados (solos, geologia, forma das encostas, declividade e uso e cobertura) foi possível elaborar um mapa de suscetibilidade à erosão dos solos (Figura 26).

⁶ EI_{30} foi um dos parâmetros considerados nos estudos de Silva *et al.* (2013) - e um dos mais utilizados - para a mensuração da erosividade da chuva. Corresponde ao produto da energia cinética da chuva por sua intensidade máxima em 30 minutos.

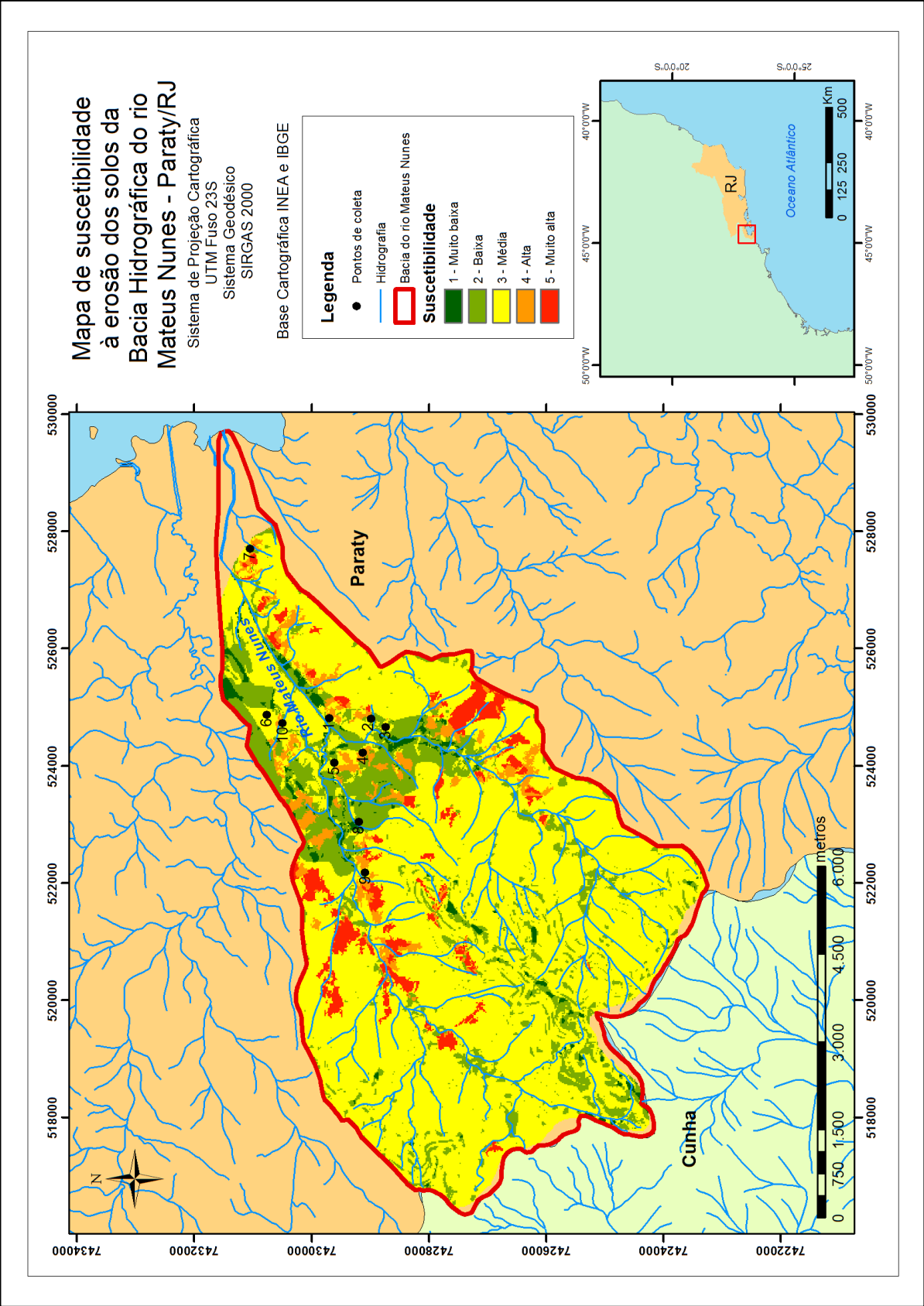


Figura 26. Mapa de suscetibilidade à erosão para a bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (NEVES, 2015).

A Tabela 15 mostra a área (Km²) e a porcentagem (%) correspondentes às classes de suscetibilidade encontradas na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Tabela 15. Ocorrência das classes de suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes.

Suscetibilidade à erosão dos solos		
Classes	Km²	%
Muito Baixa	1,0	2,0
Baixa	8,0	16,0
Média	37,0	74,0
Alta	2,0	4,0
Muito Alta	2,0	4,0

A bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes apresentou em mais de 70% da sua área média suscetibilidade à erosão. Além disso, 16% apresentou baixa suscetibilidade. As áreas da bacia que apresentaram alta e muito alta suscetibilidade, num total de 8%, estão associadas às encostas próximas aos vales, nas quais ocorre maior pressão antrópica.

Embora cerca de 80% da bacia esteja coberta por floresta, os outros fatores mapeados evidenciam que boa parte dessas encostas apresenta média suscetibilidade. Além disso, os demais fatores analisados aqui também contribuem para toda esta análise. Os pontos P2 e P7 (Figuras 27 e 28) foram os que apresentaram maior proteção da cobertura vegetal, consequentemente maiores teores de matéria orgânica (4,88 e 5,32, respectivamente), ausência de feições erosivas; mas é necessário atentar quanto a outros fatores como classe textural, franco arenosa em ambas, pH de acidez média e declividade 18° (medida em campo e corresponde com a classe de declividade do mapa).

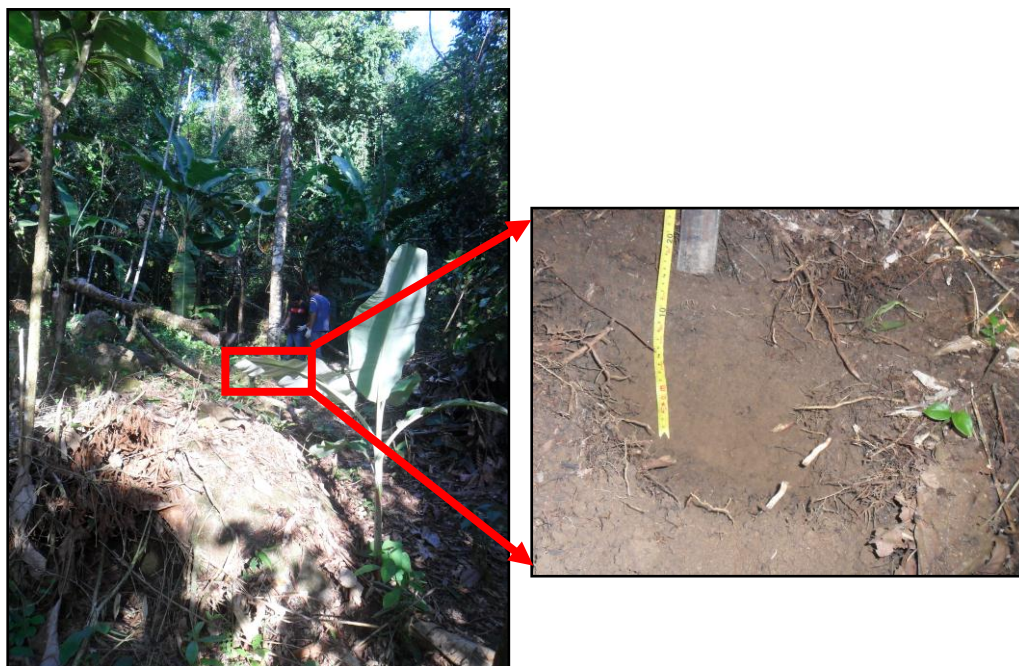


Figura 27. Ponto de floresta (P2). Em destaque, as raízes das árvores no local de coleta de solo (Fotos: Sara Neves, 2014).



Figura 28. Ponto de transição floresta-pasto (abandonado) (P7). Detalhe para os restos de um muro no sopé da encosta (Foto: Sara Neves, 2014).

Embora a floresta do P2 e do P7 já tenha sofrido algum desmatamento, observado em campo – neste último, principalmente, porque foi realizada a coleta na transição entre a floresta e o pasto abandonado – tem sido fundamental a presença dela para a proteção do solo.

A partir da perspectiva granulométrica e textural, a maior parte dos pontos apresentou valores significativos da fração argila, o que reduz as possibilidades à ocorrência de processos

erosivos acelerados, intensificados pelas frações de areia fina e silte, conforme a bibliografia. Lima (2008) considerou em seus estudos, na bacia do rio Macaé, que as classes texturais argilo-arenosa e franco argilo-arenosa possuem média suscetibilidade à erosão. Os pontos P3, P4 e P5 obtiveram essas classificações texturais, no entanto outros fatores os colocam em situação crítica à erosão dos seus solos. Esses três pontos têm seu substrato rochoso embasado no Batólito Serra dos Órgãos, de origem granítica, o que explica o solo de cada um apresentar cerca de 40% da fração areia grossa. Vale destacar também que esses pontos apresentaram média-alta suscetibilidade.

A densidade aparente também é crítica, visto que dois desses pontos (P4 e P5) apresentaram os maiores graus de compactação do solo (valores acima de $1,5 \text{ g/cm}^3$) e os menores valores de porosidade – juntamente com o P6. Os valores de pH de acidez média, de matéria orgânica entre os menores também (entre 3 e um pouco mais de 4%), o IEA entre os menores mais uma vez e dois desses pontos (P3 e P5) com as maiores porcentagens de microagregados no solo (cerca de 30%). O tipo de uso do P3 é o cultivo de cana-de-açúcar (agricultura) e do P4 e P5 pastagem (com gado) (Figuras 29, 30 e 31). Tipo de solo nos três pontos, Latossolo. Declividade de 20° , 29° e 23° , respectivamente (medida em campo). Todas essas características, somadas e inter-relacionadas, contribuem para a média-alta suscetibilidade dos solos à erosão, identificada a partir das interpretações baseadas na vasta bibliografia sobre o assunto e também no mapa de suscetibilidade aqui apresentado, mesmo não contemplando todos os fatores.

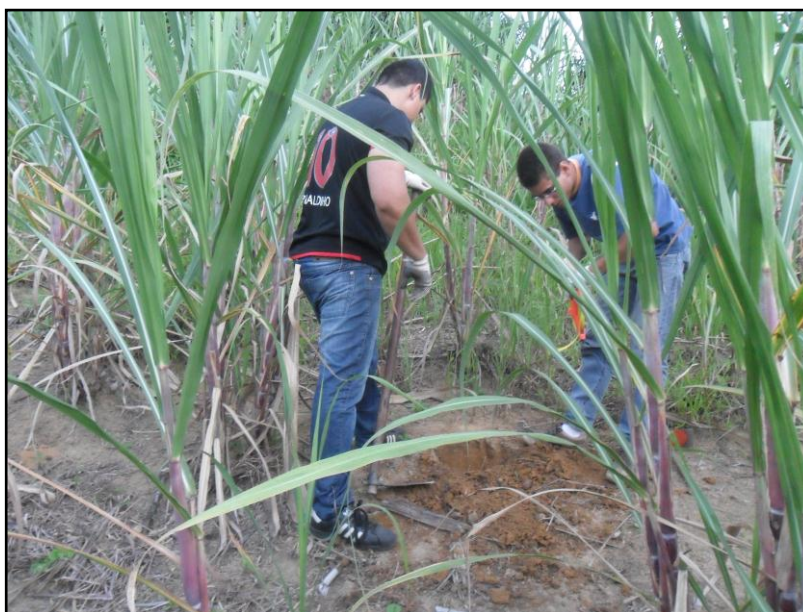


Figura 29. Cultivo de cana-de-açúcar (P3) em encosta na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Foto: Sara Neves, 2014).



Figura 30. Pasto "semi-abandonado"(P4). Observou-se em campo a presença de muitos terracetes na encosta, o que pode indicar uso mais intenso no passado. Contudo, as gramíneas encontram-se crescidas e há um pequeno gado, apenas cinco cabeças. (Foto: Sara Neves, 2014).



Figura 31. Pastagem ativa (P5), presença de muitos terracetes e feições erosivas (Foto: Sara Neves, 2013).

Fato é que algumas características desses pontos destacados, reveladas pelos resultados anteriormente citados, reduzem a possibilidade à ocorrência de processos erosivos de forma mais intensa, como por exemplo, os teores de silte e areia fina serem menos

expressivos em relação aos outros pontos, ou ainda os teores de matéria orgânica ficarem próximos ou acima de 3,5%, valor crítico considerado na bibliografia. Entretanto, pode-se inferir que o diferencial nesses pontos, que apontam para uma maior probabilidade na formação de feições erosivas, é o tipo de uso e o grau de intensidade dele. Além disso, a erosividade das chuvas deve ser considerada, já que obteve severidade média na contribuição para a ocorrência de processos erosivos.

A pressão antrópica exercida nesses três pontos pode ser um fator determinante na possível formação de feições erosivas, como já tem ocorrido no P5, mencionado anteriormente. Este ponto apresenta muitos terracetes, ravinas (Figura 32) e em alguns pontos dessa feição profundidade e largura do que pode ser uma voçoroca. Isto indica que não tem sido praticado um manejo adequado das pastagens, e necessita de uma maior atenção por parte da fiscalização da APA do Cairuçu, pois a ocupação e manejo sustentáveis, previstos para esse tipo de unidade de conservação, não tem sido efetivo nesta parte da bacia. Práticas de recuperação e prevenção devem ser adotadas.



Figura 32. Trecho da degradação observada no P5. Em destaque a configuração da ravina ali desenvolvida (Foto: Sara Neves, 2014).

Em termos de suscetibilidade, o P9 foi classificado como alta suscetibilidade. É um ponto que apresentou cultivos variados (abandonados), dentro de uma propriedade particular, mas que tem produzido estabilização do topo do solo (Figura 33). Neste caso, a cobertura do solo é composta por serrapilheira formada a partir de restos das árvores próximas e também pelos restos dos próprios cultivos (jambo, abacate, abacaxi, coco, e a maioria bananeiras). Apresentou um dos maiores teores de matéria orgânica (6,39%), um dos menores graus de compactação do solo (1,30 g/cm³), IEA e macroagregados do solo acima de 90%, valores esses importantes na prevenção contra processos erosivos.



Figura 33. Cultivos variados (P9). Destaque (em amarelo) para a proteção do solo com restos de folhas e espécies invasoras (Fotos: Sara Neves, 2014).

O P6 e o P10 merecem destaque, pois são pontos localizados na parte da bacia que está fora da proteção e das atenções do conselho gestor da APA do Cairuçu, isso porque a delimitação da APA não levou em consideração os limites naturais, sem qualquer visão sistêmica, utilizando o rio principal (Mateus Nunes) como limite norte, anteriormente mencionado nesta dissertação. Coelho Netto (2007) afirma que alterações significativas na composição ambiental de uma parte da bacia hidrográfica poderão afetar outras partes dela, portanto a interação e a interdependência entre os elementos de uma bacia devem ser

considerados no planejamento das formas de intervenção humana, ainda que o interesse do planejador/gestor esteja focado em uma parte apenas da bacia.

Esses pontos representam pastagens, em Latossolos, sob Sedimentos Fluviais, declividade variada (P6 inserido na classe 20-45° e P10 na classe 3-8°), densidade aparente também variada (P6 com 1,60 g/cm³ e P10 com 1,00 g/cm³), teor de matéria orgânica entre 4 e 6%, IEA e macroagregados acima de 93%. Todas essas características contribuem para a suscetibilidade mediana encontrada, mesmo levando em consideração os fatores não mapeados. Além disso, são pontos que apresentam terracetes bem demarcados, o que representa indícios de degradação (Figuras 34 e 35).



Figura 34. Pastagem do P6, com destaque para os terracetes observados em campo (Fotos: Sara Neves, 2014).



Figura 35. Pastagem do P10 (Foto: Sara Neves, 2014).

Apesar de ser uma análise prognóstica, este estudo identificou feições erosivas, diagnosticando, assim, sinais de degradação que já estão presentes na bacia. As figuras 36, 37 e 38 mostram algumas feições encontradas.



Figura 36. Voçoroca avistada da estrada do Corisco (Fotos: Sara Neves, 2014).



Figura 37. Pasto degradado avistado da estrada do Corisco (Foto: Sara Neves, 2014).



Figura 38. Encosta desmatada, com solo exposto e degradado. (1) Ravinas e (2) Voçoroca (Foto: Sara Neves, 2014).

Pode-se inferir que houve certo padrão na distribuição espacial das classes de muito alta e alta suscetibilidade: concentradas nas encostas dos vales fluviais, onde ocorre maior pressão antrópica em termos de desmatamento, queimadas, clareiras, uso e ocupação.

A classe de média suscetibilidade não apresentou distribuição espacial padronizada, embora seja expressiva e cubra boa parte da bacia; associadas às áreas de maior cobertura florestal e, ao mesmo tempo, às áreas de maior ocupação humana, inferindo-se que outros fatores foram mais determinantes para que tipos de uso e cobertura tão distintos apresentassem a mesma classificação. Mais à montante, a média suscetibilidade pode ser explicada pelo tipo de solo (Cambissolo) e pela declividade (8-20° e 20-45°), por exemplo, característicos dessas áreas de tal classificação. Por outro lado, mais à jusante, a média suscetibilidade pode ser explicada pelo tipo de uso do solo (Pastagem) e pelo embasamento rochoso (Sedimentos Fluviais).

As áreas que apresentaram baixa suscetibilidade estão associadas possivelmente a duas situações distintas: a primeira refere-se às áreas de mais baixa altitude da bacia, declividade inferior a 3°, forma retilínea das encostas, Neossolos Flúvicos; a segunda refere-se às áreas de maior e mais densa cobertura vegetal, declividades acentuadas (acima de 45°) e solos mais rasos por conta disso (Neossolos Litólicos).

O avanço urbano, a redução das áreas agrícolas e o abandono das pastagens indicam uma nova configuração espacial que foi se estabelecendo nesta área estudada (Figura 39). Através das observações de campo foi possível identificar a expansão urbana, entre 2013 e 2014, marcada pela quantidade de casas em construção. Curioso também destacar a dificuldade enfrentada para conseguir acessar a maioria das propriedades, pois não havia ninguém nelas, durante o dia, tanto em dias de semana, quanto em finais de semana. E isso é relatado no Plano de Manejo da APA do Cairuçu (PARATY, 2004). Acredita-se que boa parte da população tem deixado a vida rural e buscado oportunidades de emprego na cidade, o que pode ser resultado das limitações impostas no uso e ocupação da bacia por parte da unidade de conservação ali estabelecida – a APA do Cairuçu.



Figura 39. Avanço urbano na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes. Detalhe para a pequena contenção de encosta (Foto: Sara Neves, 2014).

8. CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes apresentou média suscetibilidade à erosão dos solos, considerando todos os indicadores ambientais analisados. Entretanto, a predominante cobertura florestal ainda funciona como protetora dos solos contra a formação de processos erosivos. A pergunta é: até quando? Pode ser que pelo fato de boa parte da sua área estar inserida em uma unidade de conservação ajude na preservação do ambiente. Sem falar no indicador declividade, que em boa parte é alto, e produz encostas íngremes, dificultando o avanço da ocupação humana. Há a necessidade de comprometimento e fiscalização por parte do conselho gestor da APA do Cairuçu para a manutenção dos remanescentes florestais e para o cumprimento da lei no que tange ao uso e ocupação da terra de maneira sustentável. Não menos importante, a conscientização da população no manejo dos solos e na proteção dos recursos naturais da área é indispensável.

Ficou clara a importância do prognóstico ambiental como ferramenta de planejamento e gestão, pois possibilita a análise dos elementos em conjunto, conhecendo suas potencialidades em gerar determinados processos, neste caso, erosivos. No entanto, analisar cada elemento nas suas peculiaridades e, ao mesmo tempo, de forma integrada não se constitui tarefa fácil. A visão sistêmica se faz imprescindível para os estudos ambientais, e o recorte espacial que mais atende a esta demanda é a bacia hidrográfica, o que tem sido objeto de estudo de inúmeros pesquisadores, seja na Geografia ou em outras ciências. Diante disso, faz-se necessário um questionamento: por que não considerar toda a bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes dentro dos limites da APA do Cairuçu? Propõe-se aqui rever a delimitação vigente.

A análise prognóstica aqui elaborada correlacionou os indicadores ambientais de forma subjetiva, por se tratar de um estudo embasado em probabilidades, considerando o conhecimento disponível sobre cada indicador na literatura nacional e internacional. A questão da subjetividade na ciência merece destaque, pois Ross *et al.* (2011) comenta que a adoção de modelos matemáticos em bases físicas permite que os parâmetros estudados sejam avaliados segundo equações matemáticas que descrevem o processo fisicamente, ao contrário da atribuição de pesos e notas pelo pesquisador de forma subjetiva. Por outro lado, Costa e Krüger (2003) defendem a articulação que deve existir entre subjetividade e objetividade, pois, segundo eles, “ao mesmo tempo em que o sujeito produz o objeto, o objeto produz o

sujeito”. E ainda, a subjetividade refere-se ao ato de conseguir compreender, já que a objetividade está baseada em observações e verificações, e estas duas estão sujeitas ao erro.

Houve a preocupação com a aquisição de dados primários e secundários, com os mapeamentos, as análises de solo e as atividades de campo. Pode-se destacar a importância das atividades de campo realizadas na área e o uso das geotecnologias para o cumprimento dos objetivos.

Ficou evidente, a partir dos indicadores aqui adotados, a participação do homem no processo de modificação da paisagem. Por meio de suas atividades, a partir de um planejamento ineficiente, ou até mesmo inexistente, ele deixa “marcas” que trazem consequências muitas vezes irreversíveis. Assim, se faz necessário (re)pensar em como evitar e conter essas consequências, neste caso, os potenciais e os já existentes processos erosivos acelerados.

Destaca-se a importância das análises de solo, consideradas aqui como um dos indicadores para o prognóstico final. Conhecer as propriedades físicas e químicas dos solos, a partir dos resultados das análises laboratoriais, contribui de forma mais precisa para os estudos de erosão indicando a resistência dos solos, tanto à remoção como ao transporte. A análise dos solos somada aos indicadores mapeados (tipo de solo, declividade, forma das encostas, geologia, uso e cobertura) e às chuvas sinalizaram a suscetibilidade mediana em boa parte da bacia. Destaque para os resultados das análises de densidade aparente e estabilidade de agregados que contribuíram fortemente na identificação de áreas suscetíveis à erosão, pois refletem o uso do solo empregado. O P5 apresentou a maior densidade aparente ($1,69 \text{ g/cm}^3$) e o menor IEA (69,98%), e foi identificado como o ponto mais degradado deste estudo por apresentar uma rede de ravinas e um processo de voçorocamento.

Mesmo em meio a dificuldades (acesso aos locais para coleta, acesso aos dados primários e secundários, uso de geotecnologias etc.), impostas pela complexidade e interdependência das variáveis, nos estudos e relatórios prognósticos e diagnósticos, considerar o máximo de parâmetros possíveis se faz necessário, do contrário há um grande risco de insucesso dos esforços e, conseqüentemente, desperdício de recursos humanos e financeiros.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, A. R. da. **Bacia hidrográfica**: unidade de planejamento ambiental. Revista Geonorte. Edição Especial, v. 4, n. 4, 2012, p. 201-209.
- ANA, Agência Nacional de Águas. Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH. Disponível em: <http://portalsnirh.ana.gov.br/>. Acesso em: 07 abr. 2014.
- BALL, D. F. **Loss in ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in noncalcareous soils**. Journal of soil science, v. 15, n. 1, 1964.
- BELINTANI, H.; MEIRELLES, M. S. P. **Integração temática de dados espaciais para avaliação do processo de erosão em bacias hidrográficas**. In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, 25 a 29 de novembro de 2007. Disponível em: http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/a02be1bf5a2f18c3864ee18eb71dee56_e88ffd7b668ba7984c5264128af76139.pdf. Acesso em: 19 jun 2015.
- BERNARDES, J. A.; FERREIRA, F. P. M. **Sociedade e Natureza**. In: Guerra, A.J.T. & Cunha, S. B. (Orgs). A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2010, p. 17-42.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985, 392p.
- BEZERRA, J. F. R. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga, São Luís – MA**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós- Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ): Rio de Janeiro, 2011.
- BLAIKIE, P.; BROOK-FIELD, H. **Land degradation and society**. Methuen: London, 1987, 296 p.
- BODOQUE, J.M.; DÍEZ-HERRERO, A.; MARTÍN-DUQUE, J. F.; RUBIALES, J. M.; GODFREY, A.; PEDRAZA, J.; CARRASCO, R. M.; SANZ, M. A. **Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots**: two examples from Central Spain. Catena, v. 64, 2005, p. 81-102.
- BOTELHO, R. G. M. **Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (orgs). Erosão e conservação do solo: conceitos, temas e aplicações. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2005, p. 269-297.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. **Bacia hidrográfica e qualidade ambiental**. In: VITTE, A. C. & GUERRA, A. J. T. (orgs). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2007, p. 153-192.

BOU KHEIR, R. B; CERDAN, O.; ABDALLAH, C. **Regional soil erosion risk mapping in Lebanon**. *Geomorphology*, v. 82, 2006, p. 347–359.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and properties of soils**. 14 ed., Pearson-Prentice Hall: Ohio, 2008, 990p.

BRASIL. DECRETO FEDERAL nº 68.172/71, de 04 de fevereiro de 1971. **Criação do Parque Nacional da Serra da Bocaina**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1970-1979/D68172.htm.

BRASIL. DECRETO FEDERAL nº. 89.242/83, de 27 de dezembro de 1983. **Criação da Área de Proteção Ambiental de Cairuçu**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89242.htm.

BRASIL, **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**. Lei nº 9.985 de 18/06/2000, Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm. Acessado em 28/10/2011.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, (orgs.), Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007, 176 p.

BRYAN, R. B. **Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope**. *Geomorphology*, v. 32, 2000, p. 385-415.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. **Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 4, 2008, p. 1399-1407.

CARVALHO FILHO, A. DE; LUMBRERAS, J. F.; WITTERN, K. P.; LEMOS, A. L.; SANTOS, R. D. DOS; CALDERANO FILHO, B.; CALDERANO, 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, 1 mapa, color. Escala 1:250.000, 2003. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/sigweb.html>.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. de O.; PIRES DO RIO, G. A. **Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas**. *Anuário do Instituto de Geociências*, Rio de Janeiro, Vol. 28, n.º 2, 2005, p. 11-30.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função**

de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, 1998, p. 527-538.

CASTRO FILHO, C., LOURENÇO, A., de F. GUIMARÃES, M. e FONSECA, I. C. B. **Aggregate stability under different soil management systems in a redlatosol in the state of Parana, Brazil.** Soil and Tillage Research, v. 65, n. 1, 2002, p.45-51.

CASTRO JUNIOR, E., COUTINHO, B. H.; FREITAS, L. E. **Gestão da Biodiversidade e Áreas Protegidas.** In: GUERRA, A. J. T. e COELHO, M. C. N. (orgs.). Unidades de Conservação – Abordagens e Características Geográficas. Editora Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2009, p.25-65.

CESÁRIO, F. V.; DONAGEMMA, G. K.; BALIEIRO, F. C.; MACEDO, J. R.; PRADO, R. B. **Estabilidade de agregados influenciado por diferentes tipos de usos do solo na região de Trajano de Moraes-RJ.** In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Universidade Federal de Viçosa: Viçosa (MG), de 6 a 10 de julho de 2009. Disponível em: http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo7/007.pdf.

CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A.; SUDGEN, D. E. **Geomorphology.** University Press: Cambridge, 1984, 605 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher. 1979.

COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia.** In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (orgs.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos, Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2007, p.93-148.

COLOMBANI, N.; MASTROCICCO, M.; DI GIUSEPPE, D.; FACCINI, B.; COLTORTI, M. **Variation of the hydraulic properties and solute transport mechanisms in a silty-clay soil amended with natural zeolites.** Catena, v. 123, 2014, p.195-204.

CONFORTI, M.; BUTTAFUOCO, G.; LEONE, A. P.; AUCELLI, P. P. C.; ROBUSTELLI, G.; SCARCIGLIA, F. **Studying the relationship between water-induced soil erosion and soil organic matter using Vis–NIR spectroscopy and geomorphological analysis: A case study in southern Italy.** Catena, v. 110, 2013, p. 44-58.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in Environmental Management: An introduction.** Second Edition. Clarendon Press: Oxford, 1974, p.410.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in Environmental Management: A new introduction.** Clarendon Press. Oxford, 1990, p.410.

COSTA, R. C.; KRUGER, V. **Concepções sobre objetividade/subjetividade no fazer ciência e possíveis implicações na sala de aula universitária.** In: Associação Brasileira de

Pesquisa em Educação em Ciências ABRAPEC (Org.), *Anais, IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Bauru, São Paulo, 2003.

COSTA, C. D. de O.; TEMÓTEO, A. da S.; ZIMBACK, C. R. L. **Caracterização de uma bacia hidrográfica quanto a suscetibilidade a erosão, utilizando técnicas de geoprocessamento.** In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, realizado de 25 a 30 de abril de 2009, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Natal, p. 3689-3695. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.17.18/doc/3689-3695.pdf>.

COTLER, H.; ORTEGA-LARROCEA, M. P. **Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico.** Catena, v. 65, 2006, p. 107-117.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Rio de Janeiro.** Brasília, 2000, 614p.

CRUZ, C. B. M.; ROSÁRIO, L. S.; ABREU, M. B.; ALMEIDA, P. M. M.; VICENS, R. S.; CRONEMBERGER, F. M. **Classificação Orientada a Objetos na Geração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro.** In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, de 25-30 de abril de 2009, INPE: Natal, p. 7789-7796. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.17.16.04.39/doc/7789-7796.pdf>.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Degradação Ambiental.** In: Geomorfologia e Meio Ambiente. Guerra, A. J. T. & Cunha, S. B. (orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 7ª edição, 2006, p. 337-379.

DALLA NORA, E. L. **Caracterização e diagnóstico ambiental das zonas de amortecimento de áreas naturais legalmente protegidas.** Estudo de caso: Estação Ecológica de Itirapina. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos: São Paulo, 2010, 85p.

DANTAS, M. E. **Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro.** Projeto Rio de Janeiro. CPRM: Brasília, 2000.

DE BAETS, S.; POESEN, J.; GYSSELS, G.; KNAPEN, A. **Effects of grass roots on the erodibility of topsoils during concentrated flow.** Geomorphology, v. 76, 2006, p. 54-67.

DENEF, K.; SIX, J.; PAUSTIAN, K. e MERCKX, R. **Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: short-term effects of physical disturbance induced by dry-wet cycles.** Soil Biology and Biochemistry, v. 33, 2001, p. 2145- 2153.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte. **IPR-716 - Manual para implantação de Plano de Ação de Emergência para Atendimento a Sinistros envolvendo o Transporte de Produtos Perigosos** - Edição IPR, Rio de Janeiro, 2006.

DEXTER, A. R. **Soil physical quality**: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, v. 120, 2004, p. 201-214.

DOURADO, R. G. M. **Análise ambiental da bacia do Ribeirão São João – Tocantins**. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia. UFRJ: Rio de Janeiro, 2008.

DUARTE, L. F.; BAPTISTA, A. C.; DEBIASI, P.; ANTUNES, M. A. H. **Carta de suscetibilidade à erosão da região hidrográfica do rio Guandu, RJ**. In: Anais XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, realizado de 03 a 07 de agosto de 2014, Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (SBC), Gramado. Disponível em: http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/6/154/CT06-40_1404394884.pdf.

DUMMER, J.; KOESTER, E.; BRUCH, A. F. **Levantamento geológico visando estudo sobre erosão do solo no município de Chuvisca, RS**. In: Anais XVI Encontro Nacional de Geógrafos, realizado de 25 a 31 de julho de 2010, Associação dos Geógrafos Brasileiros (AGB), Porto Alegre.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. CNPS: Rio de Janeiro, 2006, 306p.

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*, v. 31, 2007, p. 247-255.

FULLEN, M. A. **Soil organic matter and erosion processes on arable loamy sand soils in the west midlands of England**. *Soil Technology*, v. 4, 1991.

FULLEN, M. A., CATT, J. A. **Soil Management – Problems and solutions**. Londres, Arnold Publisher, 2004, 269p.

GARCÍA-RUIZ, J. M.; NADAL-ROMERO, E.; LANA-RENAULT, N.; BEGUERÍA, S. **Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges**. *Geomorphology*, v. 198, 2013, p. 20-36.

GEISSEN, V.; SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, R.; KAMPICHLER, C.; RAMOS-REYS, R.; SEPULVEDA-LOZADA, A.; OCHOA-GOANA, S.; JONG, B. H. J.; HUERTA-LWANGA, E.; HERNÁNDEZ-DAUMAS, S. **Effects of land-use change on some properties of tropical soils – an example from Southeast Mexico**. *Geoderma*, v. 151, 2009, p. 87-97.

GOMES, L. J.; CARMO, M. S.; SANTOS, R. F. dos. **Conflitos de interesses em unidades de conservação do município de Parati, estado do Rio de Janeiro**. *Informações Econômicas*, v. 34, n. 6, junho de 2004, São Paulo, 2004, p. 17-27.

GONÇALVES, F. A. **Erosividade das chuvas no estado do Rio Janeiro**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, Minas Gerais, 2002, 132 p.

GROHMAMM, F. **Porosidade**. In: MONIZ, A. C. (Org.) Elementos de pedologia. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 77-84.

GUERRA, A. J. T. **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (orgs). Erosão e conservação do solo: conceitos, temas e aplicações Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2005, p. 17-56.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 4 ed., 2005, 648 p.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2006, 192p.

GUERRA, A. J. T. **Processos Erosivos nas Encostas**. In: Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos. GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (orgs). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 7ª edição, 2007, p. 149-209.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. **Erosão dos Solos e a Questão Ambiental**. In: VITTE, A. C. & GUERRA, A. J. T. (orgs). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2007, p. 225-256.

GUERRA, A. J. T.; MENDES, S. P.; LIMA, F. S.; SATHLER, R.; GUERRA T. T.; MENDONÇA, J. K. S.; BEZERRA, J. F. R. **Erosão urbana e recuperação de áreas degradadas no Município de São Luís - Maranhão**. Revista de Geografia, v. 26, 2009, p. 85-135.

GUERRA, A. J. T.; MORGADO, C.; SANTOS, F. A. D.; SILVA, C. E.; ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; AGUIAR, L. A.; SÁ, M. F. P. S.; GARCIA, P. A. A.; FERMAN, R. K. S.; VIEIRA, R. P.; ALMEIDA, S. M. **Dicionário de Meio Ambiente**. Thex: Rio de Janeiro, 2009, 308 p.

GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. do C. O.; FULLEN, M. A. **The geomorphology of Angra dos Reis and Paraty municipalities, Southern Rio de Janeiro State**. Revista Geonorte, v. 9, n. 1, 2013, p. 1-21.

GUERRA, A. J. T. **Degradação dos Solos** – conceitos e temas (Cap. 1). In: GUERRA, A. J. T. e JORGE, M. do C. O. (orgs.). Degradação dos Solos no Brasil. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 1ª edição, 2014, 320p.

GUIMARÃES, T.; VALE, R. M. C. **Suscetibilidade a erosão do solo na cidade de Salvador – Bahia**. In: Anais 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), realizado de 21 a 24 de outubro de 2012, UFRJ: Rio de Janeiro.

GUO, J.; NIU, T.; POOYAN, R.; WANG, F.; ZAHO, H.; ZHANG, J. **Assessment of soil erosion susceptibility using empirical modeling**. *Acta Meteorologica Sinica*, v. 27 (1), 2013, p. 98–109.

HOLLANDA, M. P. de; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A. **Manejo de Bacias Hidrográficas e a Gestão Sustentável dos Recursos Naturais**. In: MARTINS, L. D.; HANNAS, T. R.; VENTURA, R. C. M. O.; ALVIM-HANNAS, A. K.; MENDONÇA, J. A.; FÚCIO, L. H.; LONGO, L. B. F.; LAMAS, L. P. A.; SILVA, L. B.; FURTADO, L. B.; COSTA, M. O.; SILVA, R. C. S. (Orgs.). *Atualidades em desenvolvimento sustentável*. Manhauçu: FACIG, v. 1, 2012, p. 57-66.

HUGO, G. **Trends in land degradation in South America**. Workshop of Agricultural Meteorology Programme (AgMP). World Meteorological Organization, Edited by R. Stefanski and P. Pasteris AGM-10, WMO/TD-No. 1428: Portland, Oregon, 2006, p. 127-146. Disponível em: http://www.wamis.org/agm/pubs/agm10/agm10_12.pdf. Acessado em: 25 ago 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2ª Edição. *Manuais Técnicos em Geociências*, nº. 7, Rio de Janeiro, 2006, 91 p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. 2ª Edição. *Manuais Técnicos em Geociências*, nº. 4, Rio de Janeiro, 2007, 91 p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª Edição. *Manuais Técnicos em Geociências*, nº. 5, Rio de Janeiro, 2009, 182p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse por setores censitários**. Censo 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>. Visualizado em: 25/05/2015.

JIEN, S-H; WANG, C-S. **Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil**. *Catena*, v. 110, 2013, p. 225-233.

JAKŠÍK, O.; KODEŠOVÁ, R.; KUBIŠ, A.; STEHLÍKOVÁ, I.; DRÁBEK, O.; KAPIČKA, A. **Soil aggregate stability within morphologically diverse areas**. *Catena*, v. 127, 2015, p. 287-299.

JARBAS, T.; SÁ, I. B.; PETRERE, V. G.; TAURA, T. A. **Flúvicos**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC): Brasília, 2015. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000gdhgdwhv02wx5ok0rofsmqwz38lcb.html. (Acessado em: 27 jun 2015).

KEAY-BRIGHT, J.; BOARDMAN, J. **Evidence from field-based studies of rates of soil erosion on degraded land in the central Karoo, South Africa**. *Geomorphology*, v. 103, 2009, p. 455-465.

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

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. Editora Agranômica “Ceres”: São Paulo, 1979.

KIRKBY, M.J.; MORGAN, R.P.C. (orgs.). **Erosion de suelos**. Limusa: México, 1984.

KOSMAS, C.; GERONTIDIS, St.; MARATHIANOU, M. **The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesbos (Greece)**. *Catena*, v. 40, 2000, p. 51–68.

KUSIMI, J. M.; AMISIGO, B. A.; BANOENG-YAKUBO, B. K. **Sediment yield of a forest river basin in Ghana**. *Catena*, v. 123, 2014, p. 225-235.

LEAL, A. C. **Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos**. *Revista Entre-Lugar*, ano 3, n. 6, UFGD, Dourados (MS), 2012, p. 65-84.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. do. *Geologia Geral*. São Paulo: Editora Nacional, 11 ed., 1989, 399 p.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 3ª ed, Campinas, 1996, 84 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. Ed. Oficina de textos: São Paulo, 2002.

LIMA, L. D. da M. **Suscetibilidade à Erosão dos Solos nas Sub-bacias do médio e alto cursos da Bacia do Rio Macaé / RJ**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geografia. UFRJ, Rio de Janeiro, 2008, 127 p.

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)*, v. 12, 2008, p. 000-000.

LIMA, L. D. da M.; GUERRA, A. J. T.; NEVES, S. R. de A.; SANTOS, L. B. dos. **Análise Integrada da Erosão em Áreas de Pastagem na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé/RJ**. In: *Anais do 8º Simpósio Nacional de Controle de Erosão*, realizado de 29 de março a 02 de abril de 2009, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), São Paulo.

LIMA, F. S. **Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Boa Esperança – Nova Friburgo (RJ)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), UFRJ, Rio de Janeiro, 2010, 140 p.

LOUREIRO, H. A. S. **Suscetibilidade dos Solos à Erosão na Sub-bacia Hidrográfica do Rio das Flores – Nova Friburgo/RJ**. Monografia para obtenção do bacharelado em Geografia. UFRJ: Rio de Janeiro (RJ), 2010, 54 p.

LOUREIRO, H. A. S. **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. Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), UFRJ, Rio de Janeiro, 2013, 216 p.

LOUREIRO, H. A. S.; FERREIRA, S. M. **O papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas e de movimentos de massa no Brasil.** In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (orgs.). Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, p. 95-125.

MA, R.; LI, Z.; CAI, C; WANG, J. **The dynamic response of splash erosion to aggregate mechanical breakdown through rainfall simulation events in Ultisols (subtropical China).** Catena, v. 121, 2014, p. 279-287.

MA, X.; HE, Y.; XU, J.; NOORDWIJK, M.; LU, X. **Spatial and temporal variation in rainfall erosivity in a Himalayan watershed.** Catena, v. 121, 2014, p. 248-259.

MACHADO, P. J. de O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia.** Cengage Learning: São Paulo, 2012, 178p.

MADARI, B. E. **Fracionamento de Agregados:** Procedimento para uma Estimativa Compartimentada do Seqüestro de Carbono no Solo. Embrapa Solos: Boletim de pesquisa e desenvolvimento, v. 22, 2004, 10p.

MAFRA, N. M. C. **Análise das limitações do uso do solo por suscetibilidade à erosão, no município Engenheiro Paulo de Frontin (RJ): uma abordagem sob o ponto de vista pedológico.** Dissertação de Mestrado. PPGG: Rio de Janeiro, 1985.

MAFRA, N. M. C. **Erosão e planificação de uso do solo.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, temas e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 2005.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos:** realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2007, p. 171-195.

MARÇAL, M. S. **Susceptibilidade à erosão dos solos no alto do curso da bacia do rio Açailândia – Maranhão.** Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação de Geografia (PPGG), UFRJ, Rio de Janeiro, 2000, 208p.

MARÇAL, M. S.; GUERRA, A. J. T. **Indicadores ambientais relevantes para a análise da suscetibilidade à erosão dos solos em Açailândia (MA).** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 4, n. 2, 2003, p. 01-16.

MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. **Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral.** Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.43, 2008, p.1221 -1230.

MENDES, S. P. **Diagnóstico Geotécnico e Sócio-Ambiental da Voçoroca do Bacanga, São Luís – MA**. Monografia para obtenção do bacharelado em Geografia – UFRJ: Rio de Janeiro, 2007, 58p.

MORAES, L. M. A. V.; ALEXANDRE, S. T.; BRIZZI, R. R.; SOUZA, H. S.; LOPES, C. F.; BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T. **Estudo da fragilidade ambiental no Parque Nacional da Serra da Bocaina, estado do Rio de Janeiro**. In: Anais 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), realizado de 21 a 24 de outubro de 2012, UFRJ: Rio de Janeiro.

MORGAN, R.P.C.; MCINTYRE, K.; VICKERS, A.W.; QUINTON, J.N.; & RICKSON, R.J. **A rainfall simulation study of soil erosion on rangeland in Swaziland**. Soil Technology, v. 11, 1997, p. 291-299.

MORSELLO, C. **Áreas protegidas públicas e privadas: seleção e manejo**. Editora Annablume/ FAPESP, São Paulo, 2006.

MORGAN, R.P.C. **Soil Erosion and Conservation**. England, Blackwell Publising, 3ª edição, 2005, 304 p.

MOORE, I. D., GRAYSON, R. B., e LANDSON, A. R. **Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications**. Hydrological Processes, nº. 5, 1991, p. 3–30.

MULLAN, D. **Soil erosion under the impacts of future climate change**: Assessing the statistical significance of future changes and the potential on-site and off-site problems. Catena, v. 109, 2013, p. 234-246.

NASCIMENTO, F. J. B.; HINGEL, R. de L.; SOUSA, P. A. de; MARÇAL, M. S. **Caracterização espaço-temporal das chuvas associada às vazões na bacia do rio Macaé - RJ**. In: Anais do IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. UFC: 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, 2011, 71 p.

NEVES, S. R. A.; LOUREIRO, H. A. S.; GUERRA, A. J. T. **Erosão dos Solos na bacia do rio Macaé: os casos das sub-bacias do rio das Flores e do rio São Pedro - RJ**. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. UFGD: Dourados, Mato Grosso do Sul, 2011.

NIGEL, R.; RUGHOPUTH, S. **Mapping of monthly soil erosion risk of mainland Mauritius and its aggregation with delineated basins**. Geomorphology, v. 114, 2010, p. 101-114.

NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E. da. **A paisagem, os solos e a suscetibilidade à erosão.** Revista Espaço Plural, Ano XII, n. 25, 2011, p.63-72.

NOFFS, P. S.; GALLI, L. F.; GONÇALVES, J. C (org.). **Recuperação de Áreas Degradadas da Mata Atlântica:** Uma experiência da CESP Companhia Energética de São Paulo. Caderno n. 3, Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, UNESCO: São Paulo, 2000, 48 p. Disponível em: http://www.rbma.org.br/rbma/pdf/Caderno_03.pdf. Acessado em: 25 out 2011.

NUNES, J. P.; SEIXAS, J.; KEIZER, J. J. **Modeling the response of within-storm runoff and erosion dynamics to climate change in two Mediterranean watersheds:** A multi-model, multi-scale approach to scenario design and analysis. Catena, v. 102, 2013, p. 27-39.

OLIVEIRA, A. M. M.; PINTO, S. A. F.; LOMBARDI NETO, F. **Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo.** Revista Estudos Geográficos, v. 5, n. 1, UNESP: Rio Claro, 2007, p. 63-86.

OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; RODRIGUES, D. B. B. **Mapeamento do risco a erosão na Área de Proteção Ambiental do córrego Lageado, MS.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE: Natal, 25-30 de abril de 2009, p. 4133-4140.

OLIVEIRA, D. de. **Técnicas de Pedologia.** In: VENTURI, L. A. B. (org.). Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula. Editora Sarandi: São Paulo, 2011, p. 83-106.

OLIVEIRA, S. M. & FREITAS, M. A. V. **Diagnóstico sócio-ambiental na unidade de conservação Parque Municipal Mansour – Uberlândia (MG).** In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. IBEAS: Goiânia (GO), 19-22 de novembro de 2012.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. In: Geomorfologia e Meio Ambiente. Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 7ª edição, 2006, p. 59-122.

PARATY, Prefeitura Municipal. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental de Cairuçu** – Encarte 1, 2004, 742 p.

PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S.; MORAES, E. C.; PRADO, B. R.; SILVA, G. B. S.; ARAI, E. **Estudo preliminar do impacto do cultivo da cana-de-açúcar: alterações no albedo e liberação de energia radiativa através das queimadas.** In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, realizado de 25 a 30 de abril de 2009, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Natal, p. 325-332. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.30/doc/325-332.pdf>. Acessado em: 18 jul 2015.

PEREIRA, L. dos S. **Análises físico-químicas de solos com distintas coberturas vegetais e processos hidroerosivos em área degradada na bacia do rio Maranduba - Ubatuba, São**

Paulo. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), UFRJ: Rio de Janeiro, 2015, 117p.

POESEN, J. **Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stones in the top layer of loose sediments.** Earth Surfaces Processes and Landforms, v. 11, 1986, p.1-10.

POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAETEN, G.; VALENTIN, C. **Gully erosion and environmental change: importance and research needs.** Catena, v. 50, 2003, p. 91-133.

RAMIDAN, M. A. S. **Estudo de um processo de voçorocamento próximo a UHE de Itumbiara – GO.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. PUC: Rio de Janeiro, 2003, 242 p.

RANGEL, L. de A. **O Impacto da Utilização de Trilhas na Área de Proteção Ambiental de Cairuçu – Paraty – Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), UFRJ, Rio de Janeiro, 2014, 184 p.

RASIAH, V.; FLORENTINE, S. K.; WILLIAMS, B. L.; WESTBROOKE, M. E. **The impact of deforestation and pasture abandonment on soil properties in the wet tropics of Australia.** Geoderma, v. 120, 2004, p. 35-45.

RINALDI, R. R. P. **Avaliação da efetividade de manejo em seis unidades de conservação do município do Rio de Janeiro, RJ.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 2005.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria Estadual do Ambiente. **O estado do ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro - 2010** / Organizadoras: Júlia Bastos e Patrícia Napoleão. – Rio de Janeiro: SEA; INEA, 2011a, 160 p.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria Estadual do Ambiente. **Estudo de Favorabilidade das Terras do Estado do Rio de Janeiro a Múltiplos Usos na Escala de 1:100.000.** Relatório preliminar, 2011b. Disponível em: http://arquivos.proderj.rj.gov.br/inea_imagens/publicacoes/Favorabilidade/Inea_Apresentacao_Relatorio_final.pdf. Acessado em: 07 jul 2015.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria Estadual do Ambiente (SEA). **Diagnóstico do Setor Costeiro da Baía da Ilha Grande:** subsídios à elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro. Versão preliminar, vol. 1. Rio de Janeiro: SEA; INEA, 2015, 242p. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdcz/~edisp/inea0073532.pdf>. Acessado em: 14 jul 2015.

RODRIGUES, S. C. **Degradação dos solos no Cerrado** (Cap. 2). In: GUERRA, A. J. T. e JORGE, M. do C. O. (orgs.). *Degradação dos Solos no Brasil*. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 1ª edição, 2014, 320p.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. Revista do Departamento de Geografia nº. 8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs**. In: *Geomorfologia e Meio Ambiente*. GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 7ª edição, 2006, p. 291-336.

ROSS, J. L. S.; FIERZ, M. S. M.; VIEIRA, B. C. **Técnicas de Geomorfologia**. In: VENTURI, L. A. B. (org.). *Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula*. Editora Sarandi: São Paulo, 2011, p. 29-54.

ROUTSCHEK, A.; SCHMIDT, J.; KREIENKAMP, F. **Impact of climate change on soil erosion — A high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony/Germany**. *Catena*, v. 121, 2014, p. 99-109.

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.). Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 1999, p. 229-268.

SALOMÃO, F. X. T. **Controle e Prevenção dos Processos Erosivos**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (orgs.). *Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações*. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2005, p. 229-268.

SANTOS, C. N. **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no estado do Rio de Grande do Sul**. Tese de Doutorado em Produção Vegetal. PPGA, UFPel: Pelotas (RS), 2008, 138p.

SÃO PAULO. DECRETO nº 10.251/77, de 30 de agosto de 1977. **Criação do Parque Estadual da Serra do Mar**. Disponível em: <http://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/211617/decreto-10251-77#>.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; GONZÁLES, A. P. **Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 38, 2014, p. 1890-1905.

SCHIETTECATTE, W.; D'HONDT, L.; CORNELIS, W. M.; ACOSTA, M. L.; LEAL, Z.; LAUWERS, N.; ALMOZA, Y.; ALONSO, G. R.; DÍAZ, J.; RUÍZ, M.; GABRIELS, D. **Influence of landuse on soil erosion risk in the Cuyaguaje watershed (Cuba)**. *Catena*, v. 74, 2008, p. 1-12.

SELBY, M. J. **Hillslope: Materials and Processes**. Oxford, Oxford University Press, 1ª edição, 1990, 451p.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU JUNIOR, J. S. **Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo**. Revista da Universidade de Alfenas, UNIFENAS: Alfenas, v. 5, 1999, p. 21-26.

SILVA, L.; LIMA, E. R. V. de L.; ALMEIDA, H. A. de; COSTA FILHO, J. F. da. **Caracterização geomorfométrica e mapeamento dos conflitos de uso na bacia de drenagem do Açude Soledade**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 3, 2010, p. 112-122, Homepage: www.ufpe.br/rbgfe.

SILVA, L. F. T. C.; CASTRO, U. N.; GUERRA, A. J. T.; LIMA, F. S.; MENDES, S. P.; BEZERRA, J. R. F. **Degradação ambiental em áreas destinadas à pecuária na sub-bacia hidrográfica do rio Sana, Macaé – RJ**. Revista de Geografia (UFPE), v. 29, n. 1, 2012. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/489/399>.

SILVA, L. F. T. C.; MARTINS, M. B.; GUERRA, A. T. J. **Caracterização Pluviométrica do litoral Sul Fluminense e Norte Paulista (Brasil)**. XIV Encontro de Geógrafos da América Latina. Lima, Peru. 8 a 12 de abril de 2013. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal14/Procesosambientales/Climatologia/01.pdf>.

SILVA, L. F. T. C. **Análise da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty- Cunha)**. Dissertação de Mestrado em Geografia, PPGG, UFRJ: Rio de Janeiro, 2014, 131p.

SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Degradação dos solos no estado do Rio de Janeiro (Cap. 7)**. In: GUERRA, A. J. T. e JORGE, M. do C. O. (orgs.). Degradação dos Solos no Brasil. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 1ª edição, 2014, 320p.

SILVA, M. S. L. da; OLIVEIRA NETO, M. B. **Neossolos Flúvicos**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC): Brasília, 2015. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CON T000gt7eon7k02wx7ha087apz246ynf0t.html (Acessado em: 27 jun 2015).

SILVA, V. C. B. **Tutorial de Mapa de Suscetibilidade Erosiva**. Março de 2013. Disponível em: <http://andersonmedeiros.com/mapa-suscetibilidade-erosiva-arcgis/>. Acessado em: 27 jun 2015.

SILVÉRIO, P.F.; GONÇALVES, C. **Influência dos métodos de determinação de carbono orgânico em solos nos estudos de qualidade da água subterrânea e de avaliação de risco**. In: Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - Natal, 2008. 11p.

SHRESTHA, D. P.; SURIYAPRASIT, M.; PRACHANSRI, S. **Assessing soil erosion in inaccessible mountainous areas in the tropics: The use of land cover and topographic parameters in a case study in Thailand**. Catena, v. 121, 2014, p.40-52.

SMITH, H. G.; DRAGOVICH, D. **Post-fire hillslope erosion response in a sub-alpine environment, south-eastern Australia.** Catena, v. 73, 2008, p. 274-285.

SUN, W.; SHAO, Q.; LIU, J.; ZHAI, J. **Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on the Loess Plateau in China.** Catena, v. 121, 2014, p. 151-163.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. **Organic matter and water-stable aggregates in soils.** Journal Soil Science. v. 33, p. 141-163, 1982.

TORRI, D.; SANTI, E.; MARIGNANI, M.; ROSSI, M.; BORSELLI, L.; MACCHERINI, S. **The recurring cycles of *biancana* badlands: Erosion, vegetation and human impact.** Catena, v. 106, 2013, p. 22-30.

USDA, United States Department of Agriculture. **Soil Survey Manual.** 1993, 315 p. Disponível em: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_050993.pdf.

VALE JÚNIOR, J. F. do.; BARROS, L. da S.; SOUSA, M. I. L. de; UCHÔA, S. C. P. **Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de *Acacia mangium* em Roraima.** Revista Agroambiente online, UFRR: Boa Vista, v. 3, n. 1, 2009, p. 1-8.

VETTER, S.; BOND, W. J. **Changing predictors of spatial and temporal variability in stocking rates in a severely degraded communal rangeland.** Land Degradation & Development, v. 23, 2012, p. 190-199.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. **Os tipos de risco.** In: VEYRET, Y. Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo, Contexto, 2013, p.63-69.

VIERO, A. C. **Análise da geologia, geomorfologia e solos no processo de erosão por voçorocas:** bacia do Taboão, RS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRS: Porto Alegre, 2004, 141p.

VOGELMANN, E. S.; REICHERT, J. M.; PREVEDELLO, J.; AWE, G. O.; MATAIX-SOLERA, J. **Can occurrence of soil hydrophobicity promote the increase of aggregates stability?** Catena, v. 110, 2013, p. 24-31.

VOLK, M.; MÖLLER, M.; WURBS, D. **A pragmatic approach for soil erosion risk assessment within policy hierarchies.** Land Use Policy, v. 27, 2010, p. 997-1009.

XAVIER, F. V.; CUNHAS, K. L. **Análise da suscetibilidade à erosão laminar na bacia do rio Manso, Chapada dos Guimarães, MT, utilizando sistemas de informações geográficas.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 11, n. 2, 2010, p. 51-60.

XU, L.; XU, X.; MENG, X. **Risk assessment of soil erosion in different rainfall scenarios by RUSLE model coupled with Information Diffusion Model: A case study of Bohai Rim, China.** Catena, v. 100, 2012, p.74-82.

WALTRICK, P. C. **Erosividade de chuvas no Paraná: atualização, influência do “El niño” e “La niña” e estimativa para cenários climáticos futuros.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Pedologia e Manejo do Solo, Linha de Pesquisa Física, Manejo e Qualidade do Solo e da Água, do Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná (UFPR): Curitiba (PR), 2010.

WANG, B.; ZHENG, F.; RÖMKENS, M. J. M.; DARBOUX, F. **Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences.** *Geomorphology*, n. 187, 2013, p. 1-10.

YOSHIOKA, M. H.; LIMA, M. R. de. **Experimentoteca de solos pH do solo.** Projeto Solo na Escola, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, 2005. Disponível em: <http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/experimentotecasolos7.pdf>. Acessado em: 07 jan 2012.

YÜKSEK, T.; KURDOGLU, O.; YÜKSEK, F. **The effects of land use changes and management types on surface soil properties in Kafkasör Protected Area in Artvin, Turquia.** *Land Degradation & Development*, v. 21, 2010, p. 582–590.

ZORNOZA, R.; MATAIX-SOLERA, J.; GUERRERO, C.; ARCENEGUI, V.; MAYORAL, A. M.; MORALES, J., MATAIX-BENEYTO, J. **Soil properties under natural forest in the Alicante Province of Spain.** *Geoderma*, v. 142, 2007, p. 334-341.