



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA – CCMN
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGEO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGG**

RAFAEL CARVALHO SANTOS

**AVALIAÇÃO DA EROÇÃO DOS SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PEQUENO, PARATY – RJ**

**RIO DE JANEIRO – RJ
MAIO DE 2017**

RAFAEL CARVALHO SANTOS

**AVALIAÇÃO DA EROÇÃO DOS SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PEQUENO, PARATY – RJ**

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

Área de concentração: Planejamento e Gestão Ambiental.

Orientador: Antonio José Teixeira Guerra
Co-orientador: Alúísio Granato de Andrade

**Rio de Janeiro – RJ
Maio de 2017**

CIP - Catalogação na Publicação

S237a Santos, Rafael Carvalho
Avaliação da erosão dos solos na bacia
hidrográfica do rio Pequeno, Paraty - RJ / Rafael
Carvalho Santos. -- Rio de Janeiro, 2017.
140 f.

Orientador: Antonio José Teixeira Guerra.
Coorientador: Aluísio Granato de Andrade.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,
Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação
em Geografia, 2017.

1. Erodibilidade. 2. Uso e manejo do solo. 3.
Geomorfologia. 4. Diagnóstico ambiental. 5. Unidade
de Conservação. I. Guerra, Antonio José Teixeira,
orient. II. Andrade, Aluísio Granato de, coorient.
III. Título.

Rafael Carvalho Santos

**AVALIAÇÃO DA EROSÃO DOS SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PEQUENO, PARATY – RJ**

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

Área de concentração: Planejamento e Gestão Ambiental.

Aprovada em _____

Antonio José Teixeira Guerra, Ph.D, Departamento de Geografia/UFRJ

Aluísio Granato de Andrade, Doutor, EMBRAPA Solos

André de Souza Avelar, Doutor, Departamento de Geografia/UFRJ

Helena Polivanov, Doutora, Departamento de Geologia/UFRJ

Dedico aos meus pais, Zenilde e Edvaldo, pelo apoio, confiança, paciência e carinho, essenciais durante esta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Desenvolver um projeto de pesquisa é uma tarefa desafiadora, mas quando realizada com o apoio de pessoas dispostas a contribuir com sua concretização, essa tarefa se torna muito mais enriquecedora.

Primeiramente, agradeço a Deus por iluminar os meus passos e me fortalecer na busca por meus sonhos, mesmo diante das dificuldades que surgem no caminho.

Aos meus pais e meu irmão, por estarem sempre perto, mesmo longe fisicamente.

Aos meus familiares pelas conversas, os conselhos, o incentivo, o apoio e a amizade.

Ao meu orientador, Antonio J. T. Guerra, sempre muito atencioso, responsável e aberto ao diálogo, seus ensinamentos foram imprescindíveis para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu co-orientador, Aluísio G. Andrade, pela atenção, conversas e direcionamentos na pesquisa.

Aos atuais e ex-integrantes do LAGESOLOS, por todo o apoio e ensinamentos nos trabalhos de campo e laboratório, as conversas, os debates, as confraternizações, enfim, pela convivência nessa equipe de pessoas responsáveis e amigas, durante os últimos dois anos (Leonardo Pereira, Aline Muniz, Luana Rangel, Hugo Loureiro, Gabriel Finotti, Maria Jorge, Antonio Guerra, Raphael David, Yolanda, Yasmin, Juliana de Paula, Alan, Celina, Jesus, Jullyana, Rafael Moreira, Marcelo Aurélio, Pablo, Luana Balbino e Stella Mendes).

À Leonardo Pereira, pela paciência e presteza em tirar minhas dúvidas e me ajudar sempre que precisei; à Gabriel Finotti, pela ajuda no geoprocessamento, nos trabalhos de campo e nas análises laboratoriais de solo; à Hugo Loureiro, pelas risadas e apoio em todos os meus trabalhos de campo; à Luana Rangel e Aline Muniz, pelos bate-papos e ideias sempre que o assunto era a dissertação.

Aos professores do PPGG, especialmente, Mônica Marçal, Paulo César Gomes, Maria Naíse, Telma Medes, Josilda Moura, André Avelar e Antonio Guerra, por terem me possibilitado a ampliação e aprofundamento do conhecimento geográfico através das leituras, explanações, seminários, palestras... desenvolvidos em disciplinas oferecidas no mestrado.

À Helena Polivanov, professora do PPGL, por seus ensinamentos sobre mineralogia das argilas.

À Rosangela G. M. Botelho, pesquisadora do IBGE, pelos diálogos e sugestões para a pesquisa, assim como, pelos ensinamentos sobre macromorfologia de solos.

À CAPES pela concessão de bolsa de mestrado e a FAPERJ pelo financiamento desta pesquisa através dos projetos do LAGESOLOS.

Ao pós-doutorando, Pedro Alcântara, pela amizade e apoio durante trabalhos de campo e, também, pela ajuda nas longas jornadas de análises de solo no laboratório de Geomorfologia.

À Juliana Pena, Rafael Gomes, Diogo Reste, Geislam, Adejanildo, Fernanda Alcantara, David, Daniele, Samuel, Kátia, Eduardo, Lorena, Sérgio, Uriana e Débora Oliveira, por sempre terem me escutado e me tranquilizado nos momentos de angústia, pelos bate-papos descontraídos sobre a vida pessoal e acadêmica, enfim, pela amizade e alegria da convivência.

À Eduardo, motorista do IGEO, por ter nos levado em todas as atividades de campo, fundamentais nesta pesquisa, sempre bem-humorado e comunicativo, na Kombi branca, a qual vivemos muitas aventuras e histórias.

Aos colegas professores dos colégios Paulo VI e Polivalente pelo incentivo na fase de seleção para o mestrado, especialmente, Edineuza, Eliseth, Karol e Wesley.

Enfim, à todas as pessoas que contribuíram para a realização desta pesquisa.

Muito agradecido!

“O solo é o elo de ligação entre as rochas comuns e a atmosfera, e entre os restos mortais da Terra e a continuidade da vida”.

Grenville A. J. Cole, 1913.

“O ambiente dos seres humanos é complexo, e para entender a evolução e as características de uma área da paisagem é necessário reconhecer que muitos fatores estão envolvidos. Esses fatores não devem ser vistos como entidades distintas, pois interagem uns com os outros. A importância de diferentes fatores pode variar de acordo com a escala da investigação. Os seres humanos são um fator importante no ambiente – eles o modificam através de suas ações, e têm suas ações modificadas pelo ambiente.”

Andrew Goudie, 2001.

RESUMO

SANTOS, Rafael Carvalho. **Avaliação da Erosão dos Solos na Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, Paraty – RJ**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

A erosão dos solos é um exemplo de processo geomorfológico que vem acarretando a degradação ambiental em vários países do mundo, ocorrendo devido à interação de fatores controladores, sendo eles erosividade da chuva, erodibilidade do solo, características da encosta, cobertura vegetal e uso/manejo do solo. Porém, as atividades humanas desenvolvidas sem a preocupação com a conservação dos solos têm acelerado a ocorrência no tempo-espaço de processos erosivos causados pela água. Nesse sentido, o estudo objetiva avaliar o estado ambiental da bacia hidrográfica do rio Pequeno – Paraty/RJ diante das atividades antrópicas ali exercidas, com destaque para a problemática da erosão dos solos. Através da análise de fatores controladores dos processos erosivos, almeja-se fornecer elementos para o planejamento e a gestão de áreas degradadas na bacia em estudo, inserida no contexto regional do turismo e de Unidade de Conservação. A metodologia aplicada baseou-se na literatura nacional e internacional sobre erosão de solos, foram analisados os atributos geomorfológicos através de mapeamentos temáticos, a qualidade dos solos e sua erodibilidade foi avaliada na camada superficial de 0-20 cm, através da coleta e análise de propriedades físicas e químicas dos solos em diferentes pontos da bacia, e o mapeamento do uso e cobertura da terra foi feito através da classificação semiautomática de imagens de satélite. As características geomorfológicas da bacia conferem condições ambientais propícias a aceleração de processos geomorfológicos. Os solos analisados apresentaram resultados que demonstram baixa erodibilidade. No entanto, as mudanças na cobertura vegetal e o manejo inadequado têm influência direta no aporte de matéria orgânica do solo, podendo afetar suas propriedades e aumentar sua erodibilidade ao longo do tempo. Haja vista que o teor de matéria orgânica está concentrado no horizonte superficial do solo e depende diretamente da retroalimentação proporcionada pela cobertura vegetal. Com relação a evolução do uso e cobertura da terra entre 1986, 2000 e 2012, mudanças espaciais significativas foram observadas, especialmente, relacionada a expansão das áreas de pastagem sobre a floresta, mesmo dentro do Parque Nacional da Serra da Bocaina. Erosão laminar e em ravinas foram verificadas em pastagens sobre encostas íngremes e com sinais de superpastoreio.

Palavras-chave: Erodibilidade, Diagnóstico Ambiental, Unidade de Conservação.

ABSTRACT

SANTOS, Rafael Carvalho. **Avaliação da Erosão dos Solos na Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, Paraty – RJ**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

Soil erosion is an example of a geomorphological process that has led to environmental degradation in several countries around the world, occurring due to the interaction of controlling factors, such as rainfall erosion, soil erodibility, slope characteristics, vegetation cover and land use. However, human activities developed without concern for soil conservation have accelerated the time-space occurrence of erosive processes caused by water. In this sense, the objective of this study is to evaluate the environmental status of the River *Pequeno* drainage basin, situated in Paraty Municipality, Rio de Janeiro State, highlighting the soil erosion problem. Through the analysis of controlling factors of the erosive processes, it is intended to provide elements for the planning and management of degraded areas in the basin under study, inserted in the regional context of tourism and Conservation Unit. The applied methodology was based on the national and international literature on soil erosion, the geomorphological attributes were analyzed through thematic mapping, soil quality and its erodibility was evaluated in the 0-20 cm superficial layer, through the collection and analysis of physical and chemical properties of soils at different points in the basin, and the mapping of land use and land cover was done through the semiautomatic classification of satellite images. The geomorphological characteristics of the basin confer environmental conditions conducive to the acceleration of geomorphological processes. Soils analyzed showed results that demonstrate low erodibility. However, changes in vegetation cover and inadequate management have a direct influence on the soil organic matter input, which can affect its properties and increase its erodibility over time. It should be noted that the organic matter content is concentrated in the soil surface horizon and depends directly on the feedback provided by the vegetation cover. Regarding the evolution of land use and land cover between 1986, 2000 and 2012, significant spatial changes were observed, especially related to the expansion of pasture areas over the forest, even within the Serra da Bocaina National Park. Laminar erosion and ravines were observed in pastures on steep slopes and with signs of overgrazing.

Keywords: Erodibility, Environmental Diagnosis, Conservation Units.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo.....	46
Figura 2: Distribuição pluviométrica da estação São Roque, Paraty – RJ (1968-2011).....	48
Figura 3: Trecho do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro.....	51
Figura 4: Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, Paraty – RJ.....	54
Figura 5: Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, Paraty – RJ.....	55
Figura 6: Vegetação Potencial da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, Paraty – RJ.....	57
Figura 7: Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, Paraty – RJ.....	59
Figura 8: Marcando coordenadas (a), coleta em pastagem no terço médio da encosta (b), coleta de amostra volumétrica na profundidade de 0-10 cm (c) e coleta de bloco de solo indeformado (d) durante trabalhos de campo na Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, Paraty – RJ.....	65
Figura 9: Análise granulométrica.....	67
Figura 10: Análise da estabilidade de agregados.....	68
Figura 11: Análise de matéria orgânica.....	70
Figura 12: Composições RGB das imagens de satélite após a aplicação do realce de contraste.....	71
Figura 13: Hipsometria da BHRP, Paraty – RJ.....	75
Figura 14: Declividade da BHRP, Paraty – RJ.....	77
Figura 15: Orientação das Encostas da BHRP, Paraty – RJ.....	81
Figura 16: Forma das Encostas da BHRP, Paraty – RJ.....	83
Figura 17: Uso e Cobertura da Terra na BHRP em 1986.....	87
Figura 18: Uso e Cobertura da Terra na BHRP no em 2000.....	88
Figura 19: Uso e Cobertura da Terra na BHRP em 2012.....	89
Figura 20: Queimada em pastagem (a), cultivos em encosta íngreme com solo exposto (b), cultivo temporário na planície costeira (c) e pecuária extensiva na planície costeira (d) da BHRP, Paraty – RJ.....	91
Figura 21: Área de pastagem dentro do PNSB (a), curral (b), plantio de eucalipto cercada por pastagem “suja” (c) e pastagem com ocorrência de matacões (d) no limite do Parque na BHRP, Paraty – RJ.....	92

Figura 22: Bacia hidrográfica do Rio Pequeno, observada a partir da Pedra da Macela, com destaque para as áreas de pastagem e afloramento rochoso dentro do PNSB, Paraty – RJ.....	92
Figura 23: Área da Pedra da Macela entre 2001 (a) e 2016 (b), na BHRP, Paraty – RJ.....	93
Figura 24: Uso da terra em pontos de coleta na BHRP, Paraty – RJ.....	103
Figura 25: Sinais de processos erosivos na BHRP, Paraty – RJ.....	104
Figura 26: Pastagem em encosta íngreme dentro do PNSB na BHRP, Paraty – RJ.....	105
Figura 27: Encosta com convergência de fluxo formando feições erosivas.....	106
Figura 28: Localização dos transectos em estudo no baixo curso da BHRP, Paraty – RJ.....	108
Figura 29: Uso da terra nos transecto em estudo no baixo curso da BHRP, Paraty – RJ.....	109
Figura 30: Perfil topográfico dos transecto em estudo no baixo curso da BHRP, Paraty – RJ.....	110
Figura 31: Áreas com cultivo no transecto A.....	121
Figura 32: Área de pastagem do transecto B na BHRP, Paraty – RJ.....	122

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Pluviosidade média mensal da estação São Roque, Paraty – RJ (1968-2011).....	49
Gráfico 2: Declividade do PNSB na BHRP, Paraty – RJ.....	78
Gráfico 3: Forma das encostas da BHRP, Paraty – RJ.....	82
Gráfico 4: Granulometria das amostras da BHRP, Paraty – RJ.....	97
Gráfico 5: Densidade Aparente – Da e Porosidade Total – Pt das amostras da BHRP, Paraty – RJ.....	99
Gráfico 6: Matéria Orgânica das amostras de solo da BHRP, Paraty – RJ.....	101
Gráfico 7: Estabilidade de Agregados em solos da BHRP, Paraty – RJ.....	102
Gráfico 8: Granulometria das amostras do transecto A na BHRP, Paraty – RJ.....	112
Gráfico 9: Granulometria das amostras do transecto B na BHRP, Paraty – RJ.....	113
Gráfico 10: Densidade aparente – Da e Porosidade total – Pt das amostras do transecto A na BHRP, Paraty – RJ.....	114
Gráfico 11: Densidade aparente – Da e Porosidade total – Pt das amostras do transecto B na BHRP, Paraty – RJ.....	114
Gráfico 12: Teor de matéria orgânica nas amostras do transecto A, BHRP, Paraty – RJ.....	116
Gráfico 13: Teor de matéria orgânica nas amostras do transecto B, BHRP, Paraty – RJ.....	116
Gráfico 14: Estabilidade de agregados dos transectos em estudo na BHRP, Paraty – RJ.....	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Bases cartográficas e temáticas utilizadas.....	63
Quadro 2: Características dos pontos de coleta de amostras na BHRP, Paraty – RJ.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes hipsométricas e declividade da BHRP, Paraty – RJ.....	76
Tabela 2: Orientação das encostas da BHRP, Paraty – RJ.....	79
Tabela 3: Área das classes de uso e cobertura da terra em 1986, 2000 e 2012 na BHRP, Paraty – RJ.....	86
Tabela 4: Granulometria e classe textural das amostras da BHRP, Paraty – RJ.....	96
Tabela 5: Densidade Aparente, Densidade de Partículas e Porosidade Total, BHRP, Paraty – RJ.....	98
Tabela 6: Carbono Orgânico, Matéria Orgânica e pH das amostras da BHRP, Paraty – RJ..	100
Tabela 7: Estabilidade de Agregados em solos da BHRP, Paraty – RJ.....	101
Tabela 8: Granulometria e classe textural das amostras do transecto A na BHRP, Paraty – RJ.....	112
Tabela 9: Análise granulométrica das amostras do transecto B na BHRP, Paraty – RJ.....	113
Tabela 10: Valores médios de Carbono Orgânico – CO, Matéria Orgânica – MO e pH dos transectos em estudo, BHRP, Paraty – RJ.....	118
Tabela 11: Atributos químicos do solo sob diferentes usos na BHRP, Paraty – RJ.....	118
Tabela 12: Estabilidade de agregados dos transectos em estudo na BHRP, Paraty – RJ.....	119

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativas.....	16
1.2 Objetivos.....	18
1.2.1 Geral.....	18
1.2.2 Específicos.....	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL.....	19
2.1 Geografia, Geomorfologia e os Estudos Ambientais.....	19
2.2 Erosão dos Solos.....	29
2.3 Fatores Controladores dos Processos Erosivos.....	33
2.3.1 Erosividade.....	33
2.3.2 Erodibilidade.....	34
2.3.3 Características das encostas.....	38
2.3.4 Cobertura vegetal.....	39
2.3.5 Uso da terra.....	39
2.4 Erosão, Degradação e Conservação dos Solos.....	40
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	45
3.1 Clima.....	47
3.2 Geologia.....	49
3.3 Geomorfologia.....	51
3.4 Solos.....	53
3.5 Vegetação e Histórico de Ocupação.....	56
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	62
4.1 Levantamento Bibliográfico e Documental.....	62
4.2 Delimitação da Área de Estudo.....	63
4.3 Trabalho de Campo.....	64
4.4 Análises em Laboratório.....	66
4.5 Mapeamentos Temáticos.....	70
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
5.1 Atributos Geomorfológicos.....	74
5.2 Evolução do Uso e Cobertura da Terra.....	84
5.3 Indicadores de Erodibilidade do Solo.....	93
5.3.1 Análise da erodibilidade sob diferentes usos e características ambientais.....	93
5.3.2 Análise da erodibilidade ao longo de transectos.....	106
6. CONCLUSÕES.....	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126

1. INTRODUÇÃO

A relação sociedade-natureza é algo que ocorre no espaço ao longo da história humana, onde o homem se apropria e transforma a natureza para atender as suas necessidades básicas e também as necessidades criadas por ele na vida em sociedade (CASSETI, 1991; ROSS, 2006). Ao longo do tempo e com os avanços nas técnicas, esta relação foi intensificada e na segunda metade do século XX emergiu a questão ambiental como preocupação em âmbito mundial (LEFF, 2002; MADU, 2007; CUNHA e GUERRA, 2011; RODRIGUEZ, 2012; PIDWIRNY, 2014).

Atualmente, as atividades humanas desenvolvidas de forma inadequada têm causado mais problemas ambientais. O uso e ocupação desordenados de áreas protegidas, a má utilização/gestão dos recursos hídricos, o manejo inadequado do solo, entre outras atividades humanas, tem intensificado e/ou gerado a degradação ambiental. Com isso, o equilíbrio dinâmico do ambiente natural acaba por ser rompido e os danos à própria sociedade são percebidos, levando à perda da qualidade ambiental e cabendo a tomada de medidas que visem à conservação e recuperação das áreas degradadas (LIMA, 2008; LIMA, 2010; KONDOLF e PIÉGAY, 2011; JORGE e GUERRA, 2013; SANTOS, 2014 e 2015; OSMAN, 2014; BIRHANU, 2014; SALVATI *et al.*, 2015).

A erosão dos solos é um exemplo de processo geomorfológico que vem acarretando a degradação ambiental em vários países do mundo (COOKE e DOORNKAMP, 1990; BLUM, 2002; MORGAN, 2005; BOARDMAN, 2006; GUERRA, 2014 e 2016). Ela ocorre, sobretudo, devido à interação de alguns fatores controladores, sendo eles erosividade da chuva, erodibilidade do solo, características da encosta e cobertura vegetal. Porém, as atividades humanas desenvolvidas sem a preocupação com a conservação dos solos têm acelerado a ocorrência no tempo-espaço de processos erosivos, ligados ao escoamento superficial e subsuperficial da água, causando danos/riscos para a população (GOUDIE, 1995; MORGAN, 2005; GUERRA e MARÇAL, 2012; GUERRA, 2013; JORGE e GUERRA, 2013; HOLZ *et al.*, 2015).

A geomorfologia, nesse contexto, merece destaque por seu caráter integrador. Ela estuda as formas de relevo, analisando e interpretando sua geometria, gênese, composição, evolução, idade e dinâmica, considerando diferentes escalas espaço-temporais. Tendo em vista sua complexa interação com os grandes domínios da natureza (litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera) e com o homem, a geomorfologia tem muito a contribuir com os estudos ambientais voltados para o planejamento e a gestão do ambiente, inclusive nos diagnósticos de áreas

degradadas (CHISTOFOLETTI, 1980 e 1999; SUMMERFIELD, 1991; ROSS, 1997 e 2006; CASSETI, 2005; FLORENZANO, 2008; CUNHA e GUERRA, 2011; DOWNS e BOOTH, 2011; GARCÍA-RUIZ, 2015).

O litoral sul fluminense abriga uma grande biodiversidade dentro do domínio da Mata Atlântica, resultado da diversidade e complexidade das interações de características naturais que compõem a área. Esta região apresenta grandes desníveis topográficos, devido a presença de unidades morfológicas que vão desde Planícies Flúvio-Marinhas ao Planalto Cristalino Atlântico que compreende parte da Serra do Mar (localmente conhecida como Serra da Bocaina), com altitudes de até 2.088 metros (BRASIL, 2002; GUERRA *et al.*, 2013).

Visando proteger esta área de grande importância ambiental e também histórico-cultural, foram criadas quatro Unidades de Conservação: a Área de Proteção Ambiental do Cairuçu, a Reserva Ecológica da Juatinga, o Parque Estadual Mambucaba e o Parque Nacional da Serra da Bocaina – PNSB. No entanto, estas Unidades de Conservação vêm sofrendo diversas pressões antrópicas, ligadas às atividades agropecuárias, à ocupação de áreas inadequadas, o desenvolvimento do turismo sem um planejamento apropriado, enfim, obtendo como consequência, entre outros problemas, a degradação dos solos (GUERRA *et al.*, 2013).

Neste sentido, faz-se necessário estudos que busquem conhecer o ambiente e suas potencialidades e fragilidades, subsidiando ações que visem o uso, ocupação e/ou recuperação do solo de forma adequada. Através desta dissertação de mestrado espera-se compreender a complexa interação entre os componentes naturais e a pressão antrópica e identificar os danos ambientais sobre a área da bacia hidrográfica do rio Pequeno – Paraty/RJ, que abrange uma porção do PNSB e sua Zona de Amortecimento.

A presente pesquisa de mestrado integra o projeto “Recuperação de Áreas Degradadas por Atividades Agropecuárias com Técnicas de Bioengenharia e suas relações com o Turismo no Litoral Sul Fluminense (Angra dos Reis e Paraty)”, desenvolvido em cooperação entre o Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos – LAGESOLOS/UFRJ e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, com bolsa do edital CAPES/EMBRAPA nº 15/2014.

1.1 Justificativas

O Brasil é um país de extensão continental, suas paisagens são resultado da combinação dinâmica do clima, geologia, relevo, solo, hidrografia e vegetação, abrigando uma rica biodiversidade distribuída ao longo de seu território. Com o processo de ocupação do

território brasileiro, as configurações das paisagens passaram por intensa transformação até os dias atuais que levaram ao desencadeamento de diversos problemas ambientais e à diminuição da biodiversidade.

A Mata Atlântica foi um dos biomas brasileiros mais devastados do país, restando apenas 27% da área original, incluindo fitofisionomias e ecossistemas em diferentes estágios de regeneração, distribuída em vários fragmentos (MMA, 2010). Porém, dos 27% da área original de Mata Atlântica, menos de 8% representam remanescentes capazes de garantir a manutenção da biodiversidade a longo prazo. E, além disso, este bioma possui grande importância para a qualidade de vida dos aproximados 123 milhões de pessoas que vivem em sua área, principalmente, através da proteção e conservação de nascentes e rios que abastecem as populações rurais e urbanas, proteção do solo contra a erosão acelerada, perda de água e a ocorrência de movimentos de massa, e fornecimento de recursos naturais (MMA, 2010).

Logo, a degradação ambiental é algo que não pode passar despercebida, deve-se realizar estudos voltados para a conservação do meio ambiente e para a recuperação das áreas degradadas. Para tanto, faz-se necessário a participação das esferas política, econômica, social e acadêmica, realizar ações que busquem identificar os problemas e os vetores de pressão sobre o ambiente, a conscientização e capacitação da população local da necessidade de utilizarem um manejo adequado para a conservação do meio físico, a utilização de técnicas viáveis que amenizem as agressões das atividades humanas sobre a natureza, enfim, medidas que visem o uso mais adequado do ambiente, respeitando suas fragilidades e potencialidades naturais e, assim, minimizando os danos ambientais.

O município de Paraty abrange 40,3% do PNSB. Este parque foi criado pelo Decreto Federal nº 68.172 de 1971, com área de 134.000 ha, posteriormente modificado pelo Decreto Federal nº 70.694 de 1972, reduzindo sua área para 104.000 ha, estando 60% localizado no Estado do Rio de Janeiro e 40% no Estado de São Paulo. É uma área que abriga importante remanescente florestal de Mata Atlântica constituída por vasta biodiversidade, inclusive por espécies ameaçadas de extinção e endêmicas. Porém, o fato de estar numa Unidade de Conservação não eximiu a área de sofrer alterações ambientais desencadeadas por intervenções humanas, principalmente, associadas às atividades agropecuárias (BRASIL, 1971, 1972 e 2002; SILVA, 2014; NEVES, 2015).

Diante das belezas naturais do litoral sul fluminense e seus atrativos histórico-culturais ligados ao período colonial, o turismo passou a ser uma atividade incentivada pela esfera pública e privada na região. No entanto, esta atividade quando praticada sem um planejamento

adequado, também, pode levar à degradação ambiental, pondo em risco a integridade da biodiversidade, cujo PNSB busca preservar (BRASIL, 2002; RANGEL, 2014).

A escolha em estudar a bacia hidrográfica do rio Pequeno – BHRP, localizada no município de Paraty – RJ, foi feita após observar imagens no *Google Earth* do litoral sul fluminense e posterior reconhecimento de campo. A área chamou atenção por apresentar altos índices pluviométricos, alta declividade, grande remanescente de mata atlântica, abranger parte do PNSB e possuir traços marcantes de atividades antrópicas, sobretudo a agropecuária, mesmo dentro do limite desta Unidade de Conservação.

Esta dissertação vem contribuir para suprir a carência de trabalhos científicos sobre a temática na região, pretendendo avaliar o nível de degradação ambiental na bacia do rio Pequeno em Paraty-RJ, sobretudo no que se refere à erosão dos solos, enriquecendo a discussão da problemática dentro da ciência geográfica e da geomorfologia. Se tornando um instrumento de consulta para a sociedade civil, associações, comunidade acadêmica e órgãos públicos, sobre o entendimento dos processos erosivos e a qualidade ambiental na área de estudo. Contribuindo também, com considerações e sugestões para o planejamento e gestão ambiental na área da bacia e no PNSB.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral:

- Avaliar o estado ambiental da bacia hidrográfica do rio Pequeno – Paraty/RJ, diante das atividades agropecuárias ali exercidas, com destaque para a problemática da erosão dos solos. Neste sentido, através da análise de fatores controladores dos processos erosivos, almeja-se fornecer elementos para o planejamento e a gestão de áreas degradadas na bacia em estudo, inserida no contexto regional do turismo e de Unidade de Conservação.

1.2.2 Específicos:

- Caracterizar os aspectos físicos da paisagem e identificar fatores que influenciam a ocorrência de processos erosivos;
- Avaliar a erodibilidade dos solos sob diferentes usos, através de análises laboratoriais de propriedades físicas e químicas representativas;
- Analisar a dinâmica de uso e cobertura do solo e correlacionar com a presença de áreas degradadas;

- Verificar a ocorrência de processos erosivos e os fatores responsáveis pela degradação ambiental, levando em consideração as atividades turísticas e agropecuárias desenvolvidas na área.

2. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

2.1 Geografia, Geomorfologia e os Estudos Ambientais

A Terra passou por muitas mudanças desde o momento de sua formação. Os continentes e oceanos, assim como as formas de relevo que configuram a paisagem atual, são resultados de processos endógenos e exógenos que atuam sobre o planeta com frequência, intensidade e magnitude distinta no tempo-espaço, criando paisagens distintas.

A geomorfologia tem como objeto de estudo o relevo, tendo em vista suas especificidades e a sua interação com os grandes domínios da natureza (SUMMERFIELD, 1991; FLORENZANO, 2008). Os processos geomorfológicos são responsáveis pelo desenvolvimento das formas de relevo (CHRISTOFOLETTI, 1980 e 1999), e vice-versa (HUGGETT, 2011), tornando o conhecimento das formas, processos e suas inter-relações de grande importância para o uso adequado do ambiente. Logo, esta ciência tem estreitas relações com os estudos ambientais, haja vista que muitos processos geomorfológicos afetam e são afetados por atividades humanas (COOKE e DOORNKAMP, 1990; SUMMERFIELD, 1991; SELBY, 1993; GOUDIE, 1995; ROSS, 2006; HUGGETT, 2007; CUNHA e GUERRA, 2011; GUERRA e MARÇAL, 2012; MARQUES, 2013).

Nesse contexto, a geomorfologia se aproxima da geografia física fazendo parte da dinâmica ambiental e, também, influenciando os diferentes arranjos espaciais na paisagem. De maneira simplista, pode-se dizer que a geomorfologia se desenvolveu na interface entre a geologia e a geografia. Segundo Guerra e Guerra (2011), esta ciência é tida como geológica nos Estados Unidos e geográfica na Europa, isto porque ela estuda as formas da superfície terrestre, estando, também, próxima da geografia física.

A geografia física, por sua vez, pode ser considerada como o estudo da dinâmica dos sistemas ambientais complexos que modificam a Terra na zona de contato litosfera-hidrosfera-atmosfera onde se desenvolvem os organismos vivos, permitindo a análise dos arranjos espaciais dos elementos e processos estudados. Estando incluído, o impacto da interação sociedade-natureza (CHRISTOPHERSON, 2012). Ou seja, ela “abrange os processos e recursos que compõem a Terra, incluindo as atividades humanas, onde elas interagem com o

ambiente”, buscando compreender múltiplos aspectos do planeta, através da análise da paisagem, por vezes, de forma holística e considerando sua totalidade (PETERSEN *et al.*, 2013, p. 2).

Sendo assim, através de uma perspectiva geográfico-geomorfológica é possível compreender a dinâmica da paisagem na superfície terrestre, levando em consideração as inter-relações existentes entre os componentes do sistema ambiental e seus atributos (HUGGETT, 2007; GUERRA e MARÇAL, 2012). A partir de estudos sistemáticos da dinâmica ambiental é possível planejar o uso das terras e propor medidas para a gestão e recuperação de áreas degradadas, minimizando muitos dos problemas que afetam a qualidade ambiental do planeta.

Sousa (2009), ao tratar sobre a relação entre a geografia e a temática ambiental, resgata as mudanças no entendimento da noção de ambiente ao longo do tempo. Segundo a autora, a discussão sobre meio ambiente no século XIX referia-se especificamente aos estudos da natureza, já na atualidade o termo carrega uma forte capacidade de integração entre natureza e sociedade.

Na perspectiva de compreender a dinâmica ambiental de maneira integrada, muitos pesquisadores lançaram importantes contribuições, apontando para estudos sistêmicos, levando em consideração as interferências humanas sobre a dinâmica ambiental, referenciados na Teoria Geral dos Sistemas – TGS. Esta teoria foi formulada pelo biólogo Ludwing Von Bertalanffy na década de 1930, tendo bastante repercussão nas ciências em geral e passando por adaptações ao longo do tempo (GREGORY, 1992; VICENTE e PEREZ FILHO, 2003; SANTOS, 2004a; AMORIM, 2012; GUERRA e MENDONÇA, 2014; GUERRA, 2014). Sobre a TGS, o autor destaca que:

É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferentes quando estudado isoladamente e quando tratado no todo (BERTALANFFY, 1973, p. 53 *apud* MARQUES NETO, 2008, p. 70).

Dessa forma, os sistemas podem ser compreendidos como o “conjunto organizado de elementos e de interações entre os elementos” e seus atributos (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 4). Drew (2002, p. 21), define sistema como “conjunto de componentes ligados por fluxos de energia e funcionando como uma unidade”. Nas palavras de Mendonça (1992, p. 43), “sistema ou Teoria dos Sistemas pode ser definido como conjunto de objetos ou atributos e suas relações, organizadas para executar uma função particular”. E para Almeida e Tertuliano (2000, p. 115),

Sistema é um conjunto de unidades com relações entre si. Essas unidades possuem propriedades comuns. O conjunto encontra-se organizado em virtude das inter-relações entre as unidades, e o seu grau de organização permite que assume a função de um todo que é maior do que a soma de suas partes. Cada unidade tem seu estado controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades.

Logo, a Teoria Geral dos Sistemas busca compreender os fenômenos através da análise do todo, das partes e das inter-relações que ocorrem no sistema, apresentando-se em diferentes escalas e graus de complexidade. Nessa perspectiva, a realidade pode ser compreendida a partir de uma hierarquia de sistemas organizados em escalas e graus de complexidade variados. A maioria dos sistemas de interesse geográfico e geomorfológico funcionam através da entrada (*input*) e saída (*output*) de matéria e energia, ou seja, são sistemas abertos que recebem influência de um todo maior ao qual está inserido, relacionando-se com outros sub-sistemas do seu universo de funcionamento (CHORLEY, 1962 e 1971; CHORLEY e KENNEDY, 1971; CHRISTOFOLETTI, 1980 e 1999; SUMMERFIELD, 1991; VICENTE e PEREZ FILHO, 2003; PEREZ FILHO, 2006; PEREZ FILHO e QUARESMA, 2011; VALE, 2012; PIDWIRNY, 2014).

Segundo Chorley (1962 e 1971), se referindo a aplicação da TGS na geomorfologia, os sistemas abertos levam em consideração os vários atributos que os compõe e suas inter-relações, assim como as trocas de matéria e energia responsáveis pelas transformações no relevo e na paisagem. Eles podem atingir o equilíbrio dinâmico (*steady state*), onde a entrada e saída de matéria e energia são ajustados através das formas do sistema. A depender da quantidade de entrada de matéria e energia, os processos tendem a funcionar de maneira distinta, haja vista que o sistema possui energia e matéria armazenada, resultando em modificações nas saídas de matéria e energia e, também, em sua própria organização. Isto está ligado à capacidade de auto-regulação do sistema, onde as formas não estão em condições estacionárias, mas passando por transformações através dos processos ali atuantes, mesmo que lentamente e/ou envolvendo apenas alguns elementos da paisagem.

Devido ao fato de nos sistemas abertos não existir necessariamente a busca pela entropia máxima, que é a energia livre responsável por promover modificações no sistema, quando o equilíbrio dinâmico é rompido, ocorre a busca por um novo *steady state*, onde os fluxos de matéria e energia tendem a ser equacionados pelo sistema. Nos sistemas abertos, condições iniciais distintas podem levar a resultados finais semelhantes, ou seja, eles atingem a equifinalização (*equifinality*), isto está associado ao fato dos processos geomórficos serem influenciados por vários outros fatores que podem gerar resultados parecidos. Daí a necessidade

de levar em consideração nos estudos geomorfológicos não apenas a evolução dos fenômenos como também suas dinâmicas, já que muitos aspectos relacionados às condições iniciais podem desaparecer nessa busca dos sistemas abertos pelo equilíbrio dinâmico ou *steady state* (CHORLEY, 1962 e 1971).

Por fim, Chorley (1962 e 1971) sintetiza os pontos mais importantes da abordagem em sistemas abertos para a geomorfologia, são eles: o reconhecimento das interligações entre a forma e o processo; reconhecimento da importância do carácter multivariado dos fenômenos geomorfológicos; possibilidade de uma visão menos rígida sobre as mudanças das formas de relevo com o tempo; proporciona maior liberdade em relação aos objetivos e métodos da geomorfologia, podendo relacionar os fenômenos a um contexto mais amplo e não apenas específico; dirige as investigações geomorfológicas para o conjunto global da paisagem; incentiva estudos geomorfológicos em áreas cujas evidências históricas da erosão já foram removidas; e a compreensão de que a abordagem em sistemas abertos aplicado a geomorfologia está ligada a estrutura geral da geografia.

Assim, a abordagem em sistemas abertos possui uma série de vantagens para ser aplicada na geografia física e ciências associadas, possibilitando uma visão mais completa da realidade na compreensão da complexa dinâmica dos fenômenos, que não seguem uma direção linear, mas estão associados às inter-relações não lineares entre os diversos atributos dos sistemas, alimentados pelos fluxos de matéria e energia (CHORLEY, 1962 e 1971; CHORLEY e KENNEDY, 1971; CHRISTOFOLETTI, 1980 e 1999; SUMMERFIELD, 1991; VICENTE e PEREZ FILHO, 2003; PEREZ FILHO, 2006; PIDWIRNY, 2014).

Os estudos sistêmicos carecem de uma visão interdisciplinar, multidisciplinar e transdisciplinar. Como dito anteriormente, a TGS influenciou várias ciências. Na geografia, especialmente, na geografia física e na geomorfologia, a abordagem sistêmica foi adotada por diversos pesquisadores, entre eles: Sotchava, Bertrand, Chorley, Chorley e Kennedy, Hack, Strahler, Horton, Schumm, Tricart, Huggett, Scheidegger, Monteiro, Christofolletti e Troppmair (CHRISTOFOLETTI, 1980 e 1999; MENDONÇA, 1992; VICENTE e PEREZ FILHO, 2003; MARQUES NETO, 2008).

Para Gregory (1992), a abordagem sistêmica foi sendo adotada pelos diferentes campos da geografia física, ao longo do período entre 1935 e 1971. Iniciou com a criação do termo ecossistema proposto pelo ecólogo Tansley e, posteriormente, adotado pela biogeografia; na ciência dos solos, foi incorporada formalmente a partir dos trabalhos de Nikiforoff e Simonson, ambos de 1959, sendo desenvolvido na geografia física através da ampliação da abordagem em catena para a escala da bacia hidrográfica proposta por Huggett na década de

1970; na climatologia a abordagem sistêmica foi incorporada através de estudos desenvolvidos em outras disciplinas, assim como na geografia dos solos; e na geomorfologia, o principal responsável pela adoção da abordagem sistêmica, foi o trabalho de Chorley publicado em 1962.

Ainda segundo Gregory (1992), com a publicação do livro *Physical Geography: A Systems Approach*, de Chorley e Kennedy (1971), é que a abordagem sistêmica foi finalmente apresentada à geografia física, demonstrando as possibilidades de aplicação da teoria nas preocupações que permeavam seu campo de estudo naquele momento. Buscando, não apenas integrar os campos da geografia física, como também, aproximar a geografia física e humana através da elucidação das inter-relações entre os sistemas físicos e socioeconômicos, na análise da paisagem e dos processos.

De acordo com Mendonça (1992), a TGS influenciou na criação/aprimoramento de métodos bastante utilizados na geografia física, como o estudo da paisagem, o ecossistema, o geossistema e a ecogeografia. Monteiro (2000) entende que as investigações da paisagem, do ecossistema, do geocossistema, do geossistema, da geoecologia, entre outras, caminham na direção dos estudos integrados, haja vista a complexidade que permeia os fenômenos.

Neste sentido, Bertrand (2004) entende paisagem como um conjunto dinâmico e complexo que abarca as inter-relações entre os elementos físicos, biológicos e ação humana. Ele propõe um esboço que demonstra as múltiplas interações entre o potencial ecológico (clima, hidrologia e geomorfologia), a exploração biológica (vegetação, solo e fauna) e a ação humana que ocorrem na paisagem, formando a unidade da paisagem denominada geossistema.

Tricart (1977), por sua vez, destacou o papel da ecologia nos estudos ambientais, haja vista que ela integra a dimensão biótica e abiótica, que apoiada na abordagem sistêmica pode subsidiar estudos dos problemas referentes ao meio ambiente. Tendo a geomorfologia um carácter dinâmico, interagindo com outros meios dinâmicos. Segundo o autor, os fluxos de matéria e energia alimentam a dinâmica de um conjunto de fenômenos, constituindo um sistema com propriedades próprias que vão além da soma de seus componentes. O homem, neste contexto, é parte integrante dos sistemas, modificando-os e sendo influenciado por eles.

Buscando analisar e planejar a organização do espaço, Tricart (1977) propõe uma classificação para as paisagens levando em consideração a intensidade dos processos atuais, a qual denominou de Ecodinâmica. Essas unidades se dividem em: meios estáveis, encontram-se em situação “clímax” ou de “equilíbrio” onde os processos morfodinâmicos atuam lentamente, predominando a pedogênese sobre a morfogênese; meios *intergrades*, está na transição gradual entre os meios estáveis e instáveis, no balanço pedogênese/morfogênese, ora favorece a pedogênese ou em segundo caso a morfogênese; e meios fortemente instáveis, onde a

morfogênese predomina sobre a pedogênese na dinâmica natural, influenciando todo o sistema natural.

Monteiro (2000) relata sua busca pela concepção teórica do geossistema, capaz não somente de integrar os diferentes ramos da ciência geográfica, como revelar a aplicabilidade da geografia para outras áreas. Nessa busca, através de suas pesquisas, o autor demonstra o aperfeiçoamento teórico-metodológico para uma análise integrada, destacando a possibilidade de correlações nas unidades espaciais e seus atributos para compreender a riqueza de suas interações e os problemas nascidos nesse contexto, envolvendo processos naturais, socioeconômicos e políticos.

Martinelli e Pedrotti (2001), ao discutirem o conceito de paisagem, colocam que ela é dotada de uma complexidade relacionada à sua forma, estrutura e funcionalidade, onde para a sua compreensão faz-se necessário analisar os seus elementos constituintes integradamente.

Ab'Sáber (2003), entende a paisagem como resultado de processos históricos que atuaram e atuam sobre ela, modificando-a. Logo, ela carrega em si informações de um longo processo de formação para atingir o estado fisiográfico e ecológico atual, que permanece evoluindo. A sociedade, neste contexto, herdou e faz parte da paisagem, transformando-a através das atividades desenvolvidas nos diferentes territórios na superfície terrestre, muitas vezes, sem conhecer as limitações dos espaços e paisagem para determinados usos.

Desse modo, os estudos ambientais que visam avaliar, diagnosticar, planejar, recuperar e/ou gerir o ambiente, devem reconhecer não apenas o funcionamento dos sistemas ambientais naturais como também dos sistemas socioeconômicos, assim como suas complexas inter-relações. Principalmente, devido às transformações nas paisagens, desencadeadas pelas interações sociedade-natureza no tempo-espaço, reconhecidas mundialmente a partir da segunda metade do século XX com a emergência da questão ambiental (DREW, 2002; GUERRA, 1994; RODRIGUEZ *et al.*, 2004; ROSS, 1995, 2006 e 2011; CUNHA e GUERRA, 2011; PEREZ FILHO e QUARESMA, 2011; GUERRA e MARÇAL, 2012; SILVA e RODRIGUEZ, 2014).

Ross (2009) propõe a utilização de sistemas socioambientais como expressão da complexa relação sociedade-natureza, buscando compreender e planejar o uso e ocupação da natureza de forma equilibrada. Para ele,

Os sistemas socioambientais definem espaços geográficos produzidos que se estruturam através do ordenamento territorial, espontâneo ou planejado, cujos espaços naturais e sociais devem ser entendidos e administrados em função das potencialidades naturais e sociais e das fragilidades ambientais e socioculturais (ROSS, 2009, p. 137).

Sobretudo, ao reconhecer que no mundo contemporâneo a economia de mercado, em busca de expansão e maximização dos lucros, acaba influenciando direta e indiretamente a sociedade ao consumo e a exploração desordenada da natureza, podendo acarretar danos ambientais. As atividades agropecuárias, por exemplo, ocupam áreas antes cobertas por vegetação nativa e, muitas vezes, sem um manejo adequado, desencadeando uma série de problemas ambientais prejudiciais não apenas a natureza, mas também a sociedade. Então, pode-se afirmar que os problemas ambientais são também problemas sociais, considerando-se quem os causou/intensificou e suas consequências para a sociedade (GOUDIE e VILES, 1997; DREW, 2002; ROSS, 2006; MADU, 2007; CUNHA e GUERRA, 2011; KONDOLF e PIÉGAY, 2011; LEFF, 2012; ROBINSON *et al.*, 2014; SILVA e RODRIGUEZ, 2014; TABASSUM *et al.*, 2014; SALVATI *et al.*, 2015).

Para Leff (2002 e 2012), a crise ambiental é resultado do confronto da racionalidade econômica/tecnológica que permeia o mundo moderno ao se deparar com seus limites diante da complexidade ambiental. A busca por aumentar os lucros em curto prazo impõe um ritmo acelerado de exploração da natureza, o qual supera sua capacidade de suporte/auto-regeneração/resiliência (apesar do homem não interferir em sua essência de funcionalidade), levando a redução dos recursos naturais, a poluição e contaminação das águas, a degradação dos solos e, conseqüentemente, dos sistemas ambientais, enfim, ocasiona a degradação ambiental (ROSS, 1995, 2006 e 2011; PEREZ FILHO e QUARESMA, 2011; LEFF, 2002 e 2012; SANCHÉZ, 2008; PIDWIRNY, 2014).

Segundo Suguio (2008), os prognósticos ambientais são desanimadores, caso o homem moderno continue destruindo os ambientes naturais com tamanha intensidade. Para o autor, o desflorestamento da vegetação nativa no passado nunca foi tão intenso e extenso como se vê hoje em dia, colocando em risco de extinção inúmeras espécies da fauna e flora.

A degradação ambiental que atinge várias partes do globo terrestre é ocasionada, notadamente, pelo uso inadequado do solo sem levar em consideração suas características naturais e a adoção de um manejo que vise a conservação ambiental, cabendo a identificação, diagnóstico e recuperação dessas áreas. Estas medidas devem fazer parte das estratégias de planejamento e gestão ambiental, para que, assim, elas possam obter sucesso (FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; MADU, 2007; ANDRADE *et al.*, 2010; DUMANSKI, 2010; CUNHA e GUERRA, 2011; RODRIGUEZ *et al.*, 2011; PIDWIRNY, 2014; JORGE e GUERRA, 2013; GUERRA, 2014; OSMAN, 2014).

Para Sánchez (2008, p. 27), degradação ambiental pode ser conceituada como “qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais, ou como uma

alteração adversa da qualidade ambiental”. O crescimento urbano desordenado, o desmatamento desenfreado, o sobrepastoreio, as queimadas excessivas, o uso excessivo de fertilizantes no solo, enfim, a relação inadequada sociedade-natureza tem como consequências a redução da produtividade agrícola, a atuação de processos erosivos acelerados, a salinização e acidificação dos solos, o assoreamento de corpos hídricos, a contaminação da água, a diminuição ou extinção de espécies da biodiversidade local, a desertificação e/ou arenização, entre outros danos ambientais (GOUDIE e VILES, 1997; FULLEN e CATT, 2004; ROSS, 2006; ARAUJO *et al.*, 2007; MADU, 2007; ANDRADE *et al.*, 2010; GUERRA e GUERRA, 2011; SUERTEGARAY, 2011; VÁSQUEZ-MÉNDEZ *et al.*, 2011; CORRÊA *et al.*, 2014; GUERRA, 2014; OSMAN, 2014; ROBINSON *et al.*, 2014; SUERTEGARAY e OLIVEIRA, 2014; GUERRA, 2015).

Tricart (1977) expõe a necessidade de se realizar diagnósticos preliminares diante da organização ou reorganização do território, tanto em áreas urbanas como rurais, a fim de reconhecer as aptidões e limitações das terras, reduzindo os custos com obras e atividades inadequadas ao ambiente. O autor também ressalta a importância do meio rural na manutenção do ciclo hidrológico e garantia da oferta de água.

O diagnóstico permite conhecer as características de determinado ambiente, identificando suas fragilidades e potencialidades para diferentes formas de uso e ocupação, a fim de prevenir e minimizar custos econômicos, sociais e ambientais futuros. Nas áreas rurais, por exemplo, através dos conhecimentos das propriedades dos solos, das características das encostas e do clima é possível planejar o uso do ambiente, utilizando práticas conservacionistas que visem minimizar os danos ambientais, entre eles a erosão dos solos, e garantir o equilíbrio da dinâmica ambiental (COOKE e DOORNKAMP, 1990; SELBY, 1993; GOUDIE, 1995; ROSS, 1994, 1995 e 1997; LIMA-E-SILVA *et al.*, 2000; FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; ARAUJO *et al.*, 2007; DUMANSKI, 2010; GUERRA e MARÇAL, 2012; GUERRA, 2013, 2014, 2015 e 2016).

De acordo com a Resolução 001, de 23 de janeiro de 1986, promulgada pelo CONAMA, em seu Artigo 6º que trata das atividades técnicas desenvolvidas no Estudo de Impacto Ambiental:

I - Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto. Completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:

- a) o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;
- b) o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;
- c) o meio sócio-econômico - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a sócio-economia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.

Logo, o diagnóstico ambiental pode ser realizado tanto antes como após a ocorrência de alguma intervenção antrópica em determinada área. O diagnóstico deve ser orientado de acordo com as ações que se deseja implementar em dado ambiente, a exemplo da construção de uma rodovia ou a recuperação de uma área degradada, determinando os temas mais representativos a serem priorizados (LIMA-E-SILVA *et al.*, 2000; SANTOS, 2004b). Ele faz parte do planejamento ambiental, abarcando: a seleção de dados, informações e parâmetros; a análise integrada; e a elaboração de indicadores básicos para a tomada de decisão (SANTOS, 2004b).

Neste contexto, faz-se necessário definir planejamento ambiental. Para Santos (2004b, p. 28),

O planejamento ambiental consiste na adequação de ações à potencialidade, vocação local e à sua capacidade de suporte, buscando o desenvolvimento harmônico da região e a manutenção da qualidade do ambiente físico, biológico e social. Deve preceder e indicar mudanças no uso da terra e na exploração de fontes aceitáveis para as comunidades locais e regionais, ao mesmo tempo em que contemple medidas de proteção aos ecossistemas com pouca interferência humana.

Nesse sentido, o planejamento ambiental faz parte da política ambiental, envolvendo ações e intervenções do governo, das empresas e da sociedade civil, em diferentes escalas espaciais. Ele constitui um importante instrumento na tomada de decisão e, acima de tudo, um exercício técnico-intelectual na criação de diretrizes e programas para gestão ambiental (RODRIGUEZ *et al.*, 2004; SILVA e RODRIGUEZ, 2011 e 2014; RODRIGUEZ *et al.*, 2011).

Sendo assim, os estudos ambientais na atualidade desenvolvidos na geografia, com adoção de enfoque geomorfológico, buscam aplicar os conhecimentos levantados ao planejamento, gestão e recuperação de áreas, visando o desenvolvimento mais harmonioso entre sociedade-natureza. A geomorfologia juntamente com a pedologia tem papel importante nesses estudos, tendo em vista o desenvolvimento de atividades humanas sobre a superfície terrestre, e, portanto, sobre o relevo e o solo (TRICART, 1977; COOKE e DOORNKAMP,

1990; CHRISTOFOLETTI, 1999; FULLEN e CATT, 2004; ARAUJO *et al.*, 2007; DOWNS e BOOTH, 2011; GUERRA e MARÇAL, 2012).

De acordo com Santos (2004b, p. 78), a geomorfologia permite “interpretar a relação entre as configurações superficiais do terreno, a distribuição dos núcleos ou aglomerados humanos e dos usos do solo em função das limitações impostas pelo relevo”. Ela possui posição especial nos estudos ambientais, haja vista seu caráter integrador dentro do sistema ambiental por estar na interface entre as forças endógenas e exógenas, entre a litosfera e a atmosfera, influenciando e sendo influenciada por outros componentes do sistema ambiental e socioeconômico, devendo ser compreendida as formas de relevo, os processos associados e materiais constituintes. Situação está que lhe confere ligações entre as ciências da terra e as ciências humanas (COOKE e DOORNKAMP, 1990; ROSS, 1994, 1997 e 2011; CHRISTOFOLETTI, 1999; ARAUJO *et al.*, 2007; GUERRA e MARÇAL, 2012).

Downs e Booth (2011) expõem a importância dos estudos geomorfologia na gestão dos recursos naturais e nas políticas públicas, buscando integrar as preocupações com a conservação ambiental e a justiça social para-se entender as vulnerabilidades recíprocas e atreladas da sociedade e da paisagem. Para eles, com base na abordagem de serviços ambientais, que buscam maximizar os resultados positivos das atividades humanas, é possível construir uma gestão integrada com os processos naturais e a evolução da paisagem.

Para Kondolf e Piégay (2011, p. 105), “enquanto a escala de intervenção humana não põe em causa os processos geomorfológicos (e da biodiversidade e dos recursos que suportam), os seres humanos beneficiam do funcionamento saudável dos processos geomórficos”. Apontando, também, que através da gestão dos processos é possível fazer alterações nos ambientes em prol de melhorias no desenvolvimento das atividades humanas. Contudo, para que isso ocorra é preciso reconhecer a dinâmica geomorfologia dentro de uma escala mais ampla, que envolva não apenas o problema, mas a totalidade em que ele se insere.

Cabe agora pensar nas possibilidades do tipo de desenvolvimento que se deseja promover para que se tenha equilíbrio e controle em relação à degradação ambiental, buscando evitá-la e/ou minimizá-la. Nesta direção, Rodriguez (2012) expõe algumas recomendações para o bom funcionamento do sistema socioambiental levando em consideração questões ambientais e sociais, assinalando que

Para que o sistema socioambiental possa funcionar de maneira otimizada é necessário a manutenção das estruturas e funções do próprio planeta Terra, de sua natureza, e de seus espaços e territórios; é necessário o equilíbrio entre as entradas e saídas de energia e informação dos diversos subsistemas, e o

predomínio de uma qualidade de vida e de condições de vida dignas e aceitáveis para as populações humanas (RODRIGUEZ, 2012, p. 90).

Logo, a natureza não deve ser tratada isolada da sociedade, pois o planeta Terra é formado por vários subsistemas em constante inter-relação, tendo em vista ainda a ordem da problemática ambiental emergente na atualidade. Deve-se buscar formas de reverter a degradação ambiental, principalmente, a degradação do solo, camada superficial da superfície da litosfera fundamental no desenvolvimento dos seres vivos, especialmente, as plantas.

A recuperação de áreas degradada é um caminho sustentável para minimizá-las e, de acordo com suas respostas à recuperação, torná-las produtivas novamente. Para isto, a avaliação e/ou o diagnóstico do ambiente se faz necessário na verificação do nível de degradação e levantamento de conhecimentos sistematizados sobre a dinâmica ambiental da área, a qual a sociedade também faz parte. Tendo a geomorfologia neste contexto o papel integrador no funcionamento dos sistemas ambientais, sendo relevante a aplicação de seus conhecimentos ao planejamento e manejo ambiental.

2.2 Erosão dos Solos

O solo é um sistema aberto formado por componentes sólidos, líquidos e gasosos de origem mineral e orgânica, em diferentes estágios de desagregação e decomposição, onde ocorrem diversas interações entre a litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera. Ele recobre a maior parte da superfície da Terra, o que lhe confere características e comportamentos distintos de acordo com os fatores (material de origem, clima, relevo, organismos e tempo) e processos (adição, remoção, transporte e transformação) de sua formação (MENDONÇA, 2010; LEPSCH, 2011; PALMIERI e LARACH, 2011; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; GUERRA e MENDONÇA, 2014; IBGE, 2015).

Nesse sentido, os solos são sistemas dinâmicos que estão sujeitos a ajustes, de acordo com as mudanças nos fluxos de matéria e energia que lhes dão funcionamento, assim como com alterações na organização do sistema. As intervenções humanas sem uma preocupação com o funcionamento do sistema ambiental, e seus subsistemas, podem provocar desequilíbrios, entre eles a erosão dos solos, levando a degradação ambiental (DUMANSKI, 2010; OLIVEIRA, 2012; GUERRA e MENDONÇA, 2014; GUERRA, 2014 e 2016).

Para Mafra (2012, p. 301), a erosão hídrica pode ser definida como uma “série de transferências de energia e matéria geradas por um desequilíbrio do sistema água/solo/cobertura vegetal, as quais resultam numa perda progressiva do solo”. A autora também destaca a

importância da planificação do uso do solo, de acordo com suas limitações específicas e relações com o ambiente a sua volta, para tratar da problemática da erosão dos solos, tendo a compreensão dos fatores relacionados aos processos erosivos maior relevância do que as medidas de controle.

De acordo com Jorge e Guerra (2013, p. 10), a taxa de formação dos solos no mundo é em média de 1 tonelada/hectare/ano, porém “na África, Ásia e América do Sul, as perdas chegam a 30 t/ha/ano, e 17 t/ha/ano na Europa, mesmo em condições de clima temperado, com chuvas menos intensas”. Os danos ambientais causados pela erosão podem ser percebidos no local (*onsite*) e fora do local (*offsite*), sendo exemplos, respectivamente, a diminuição da fertilidade dos solos e o assoreamento de rios, lagos e reservatórios (JORGE e GUERRA, 2013; GUERRA e MENDONÇA, 2014; GUERRA, 2014; LIU *et al.*, 2015).

A erosão dos solos pode acontecer em encostas com declividade superior a 3°, contribuindo com sua evolução, tendo taxas de transporte de sedimentos variadas ao longo da alta, média e baixa encosta, de acordo com as características da mesma e sua interação com outros fatores controladores. A erosão nas encostas causada pela água é a que mais ocorre no mundo, possuindo duas fases básicas, são elas: a remoção de partículas do solo e o transporte dessas partículas pela superfície ou subsuperfície até diminuir a energia do fluxo e ocorrer a deposição do material em partes mais baixas da encosta, resultando numa terceira fase, ou lançando-o no canal fluvial (COOKE e DOORNKAMP, 1990; GOUDIE, 1995; MORGAN, 2005; ARAUJO *et al.*, 2007; JORGE e GUERRA, 2013; GUERRA, 2013, 2014, 2015 e 2016; OSMAN, 2014).

A ação da água nas encostas é responsável pelo desenvolvimento dos processos erosivos mais comuns na superfície terrestre, começando pelo impacto da gota da chuva sobre o solo rompendo com a estabilidade dos agregados e promovendo a erosão por salpicamento (*splash*) através da desintegração das partículas superficiais, criando, em muitos casos, crostas (*crust*) na superfície do solo reduzindo a infiltração de água no mesmo, formando poças (*ponds*). Essas poças, ao se romperem ou transbordarem, e/ou o solo quando saturado provocam o escoamento superficial (*runoff*) difuso que promove a erosão laminar (*sheet erosion*), podendo evoluir para escoamento superficial concentrado, formando ravinas (*rills*), que possuem dimensões menores que meio metro de largura e profundidade, podem ser subdivididas de acordo com seu estágio de evolução em microrravinas (*micro-rills*), microrravinas com cabeceiras (*headcuts*) e se ocorrerem pontos de ruptura (*knickpoints*) podem criar bifurcações originando uma rede de ravinas (*rill network*), e até voçorocas (*gullies*), caso o fluxo concentrado continue incidindo sobre as ravinas e a aprofundando e alargando até

atingir mais de meio metro de largura e de profundidade (SELBY, 1993; GOUDIE, 1995; MORGAN, 2005; ARAUJO *et al.*, 2007; GUERRA, 2012, 2013, 2014 e 2015; GUERRA e MENDONÇA, 2014; OSMAN, 2014).

O escoamento subsuperficial também pode causar a erosão através da criação de dutos (*pipes*) com dimensões variadas, por onde a água infiltrada percorre levando partículas do solo ao longo da encosta, podendo evoluir para voçorocas caso ocorra o colapso do seu teto. A erosão deve ser analisada considerando as complexas inter-relações entre diversos fatores naturais e a ação humana que vão controlar a atuação destes processos no tempo-espaço, podendo intensificar, retardar ou mesmo impedir sua ocorrência (SELBY, 1993; MORGAN 2005; ARAUJO *et al.*, 2007; GUERRA, 2012, 2013, 2014 e 2015; GUERRA e MENDONÇA, 2014).

Bako *et al.* (2016) destacam a importância da umidade antecedente para a suscetibilidade do solo à erosão causada pelo impacto da gota de chuva, ressaltando também que a força do impacto da gota sobre a superfície do solo depende da relação entre a profundidade da fina camada de água da chuva, que pode ser formada pelo escoamento superficial, e do tamanho da gota. Haja vista que o escoamento superficial gera uma “blindagem” do topo do solo ao *splash*, à medida que leva a uma desconexão entre o comportamento de pressão no interior da água e a superfície do solo, influenciando na desagregação e nas taxas de erosão por salpicamento.

A microtopografia inicial do topo do solo é um fator importante no início do processo erosivo. Ela cria uma rugosidade cujo papel no processo de precipitação-escoamento é atrasar o início do escoamento, no início da precipitação, resultando em aumento da infiltração (GUERRA, 2012; ZHAO *et al.*, 2015). Durante as chuvas a rugosidade na superfície do solo sofre mudanças dinâmicas, agregados são rompidos e micro depressões são preenchidas, influenciando na infiltração, na retenção de sedimentos, no escoamento superficial e granulometria do material erodido (ZHAO *et al.*, 2015).

Para Zhao *et al.* (2015), o benefício do aumento da rugosidade da superfície do solo para a conservação da água é ditado pelo regime de chuvas, à medida que recolhe a água através da infiltração para aumentar a umidade do perfil do solo. Contudo, com o aumento da rugosidade da superfície do solo, apesar de diminuir a velocidade do escoamento no início da chuva, aumenta a profundidade da camada de água sobre o solo, podendo levar ao rompimento de micro depressões produzindo maiores quantidades de escoamento (ZHAO *et al.*, 2015).

Pereira *et al.* (2016) evidenciam a ocorrência de processos erosivos superficiais em terrenos de baixa declividade (4°) e com horizonte B exposto, através de estudo com parcela de erosão realizado no litoral norte paulista. Os autores destacam que o comportamento

hidrológico pode ser prejudicado em solos sem cobertura vegetal, e também em solos cujo horizonte A foi perdido, caracterizando a presença de uma área degradada, pois os solos possuem baixo teor de matéria orgânica, dificultando o crescimento das plantas a curto prazo, e baixa capacidade de drenagem, por apresentar baixa porosidade para absorção da água das chuvas, podendo acelerar a ocorrência do escoamento superficial. Nessas condições, foi verificado que em 17 meses de monitoramento 22% da água das chuvas foi escoada e aproximadamente 6,9 t/ha de solo foram perdidas, predominando na parcela a erosão laminar.

Comino *et al.* (2016), em estudo sobre a variabilidade da erosão dos solos e processos hidrológicos nas vinhas em encostas do Mediterrâneo, observaram várias diferenças de permeabilidade entre alta, média e baixa encosta, assim como alta concentração de silte e areia entre 0 e 5 cm de profundidade, e argila de 5 a 15 cm. Associado a estas características, as chuvas concentradas, as encostas íngremes entre 15° e 42°, a alta cobertura de rochas e rugosidade do terreno e a inexistência de cobertura vegetal, são fatores que contribuem para a atuação de processos erosivos acelerados que tendem a transportar as partículas pouco coesas para os fundos de vale, formando feições nas encostas e causando inundações nos fundos de vale por conta do assoreamento.

Segundo Guerra *et al.* (2014), o Brasil é marcado por uma grande diversidade de tipos de solos e características ambientais relacionadas, revelando potencialidades no uso da terra no país, como também limitações impostas pelas características naturais e socioeconômicas. Os autores afirmam que a taxa de erosão nas encostas varia bastante, dando o exemplo do Rio Grande do Sul, em que a estimativa de erosão é de, aproximadamente, 40 t/ha/ano numa área cultivada de 6 milhões de hectares, e no Paraná, onde a média ficou entre 15-20 t/ha/ano numa área sob cultivo mecanizado, cabendo a adoção de medidas que visem a conservação dos solos e recuperação das áreas degradadas, reduzindo desta maneira as perdas de recursos naturais e financeiros.

Comumente a bacia hidrográfica é utilizada como unidade espacial para o planejamento ambiental, incluindo estudos geomorfológicos e de erosão de solos, por ser considerada um sistema aberto, possuindo, assim, entrada (*input*) e saída (*output*) de matéria e energia, respectivamente, através da entrada de chuvas e saída de água e sedimentos. Ela representa uma unidade propícia ao estudo das complexas inter-relações entre os componentes da paisagem e os processos associados (CHRISTOFOLETTI, 1980 e 1999; COOKE e DOORNKAMP, 1990; SUMMERFIELD, 1991; GUERRA e BOTELHO, 1998; RODRIGUEZ *et al.*, 2004; ROSS, 2006; CUNHA e GUERRA, 2011; RODRIGUEZ *et al.*, 2011; BOTELHO, 2012; COELHO NETO, 2013; GUERRA e MENDONÇA, 2014; BOTELHO e SILVA, 2014).

Logo, os processos erosivos podem ser detonados através da interação de múltiplos fatores ambientais, causando sérios danos à dinâmica da natureza e à sociedade. Cabendo o estudo detalhado destes fatores para a compreensão e avaliação da erosão dos solos, buscando, assim, medidas adequadas que visem à redução da degradação ambiental.

2.3 Fatores Controladores dos Processos Erosivos

A erosão é controlada por diversos fatores complexos e inter-relacionados, devendo ser analisados de maneira integrada para se compreender o processo erosivo, são eles: a erosividade da chuva, ligado à capacidade da chuva em causar a erosão levando em consideração sua intensidade, quantidade, tempo de duração e energia cinética; a erodibilidade dos solos, associado à susceptibilidade do solo em ser erodido, onde as propriedades físicas e químicas (textura, estabilidade de agregados, densidade aparente e real, porosidade, pH e matéria orgânica) vão indicar a situação do mesmo; as características das encostas, que através de sua declividade, comprimento e forma (côncava, convexa ou retilínea), vão interferir na maior ou menor erodibilidade dos solos; a cobertura vegetal, que protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, em sua ausência o *splash* pode romper os agregados do solo e formar crosta, favorecendo à formação de poças (*ponds*) e, podendo evoluir para o escoamento superficial (*runoff*) e gerar outras feições erosivas; e o uso da terra, ligado às diversas atividades humanas desenvolvidas sobre o solo (COOKE e DOORNKAMP, 1990; SELBY, 1993; GOUDIE, 1995; MORGAN, 2005; ARAUJO *et al.*, 2007; GUERRA, 2012 e 2013; GUERRA e MENDONÇA, 2014; GUERRA *et al.*, 2017).

2.3.1 Erosividade

A erosividade da chuva tem como parâmetros para sua análise o total de chuvas, sua intensidade, frequência, duração e energia cinética, influenciando no efeito *splash*, na infiltração de água no solo e no escoamento superficial. A medida que aumentam as chuvas, o solo vai ficando saturado diminuindo a capacidade de infiltração e favorecendo o escoamento superficial, cujo volume varia muito de acordo com as características das chuvas, considerando também outros fatores controladores, como as propriedades físicas, químicas e umidade antecedente do solo, cobertura vegetal e características das encostas. O escoamento superficial, apesar de aumentar a remover de partículas, diminui o efeito *splash* através do amortecimento do impacto da gota de chuva sobre o solo (COOKE e DOORNKAMP, 1990; SELBY, 1993;

GOUDIE, 1995; MORGAN, 2005; GUERRA, 2012 e 2013; COELHO NETO, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

A intensidade (e duração das chuvas) é um parâmetro que se destaca na erosividade, pois seu aumento geralmente é proporcional ao da erosão em decorrência, a depender das características do solo, da velocidade e capacidade de infiltração. A energia cinética das chuvas, estritamente relacionada a intensidade, leva em conta a duração das chuvas e o volume, tamanho e velocidade das gotas. A frequência das chuvas vai influenciar diretamente no escoamento superficial através da umidade do solo, entendendo que chuvas, mesmo de baixa intensidade, em intervalos curtos vão favorecer o escoamento, pois o solo encontra-se com umidade antecedente elevada. A erosividade das chuvas é complexa, varia muito no espaço e tempo, e, deve ser analisada associando outros fatores, como demonstra Reed (1979, *apud* GUERRA, 2013), intensidade de 1mm/h com total pluviométrico de 10mm em solos suscetíveis pode causar erosão (SELBY, 1993; MORGAN, 2005; GUERRA, 2012 e 2013; COELHO NETO, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Pereira *et al.* (2015) expõem a contribuição de chuvas com baixa intensidade, porém de maior frequência, no escoamento superficial e ocorrência de erosão laminar, considerando a rápida saturação do solo devido a sua umidade antecedente. Os autores chegaram à conclusão, de acordo com o estudo realizado em região de clima tropical úmido, que os meses de maior intensidade de chuvas foram janeiro e dezembro, concentrando 28,6% do total pluviométrico anual, todavia, ao analisarem eventos chuvosos entre abril e outubro de 2014, notaram que 80,3% das chuvas foram de intensidade leve (< 2,5mm/h) resultando em elevadas taxas de perda de solo por erosão laminar, principalmente, em áreas degradadas.

2.3.2 Erodibilidade

A erodibilidade dos solos refere-se à resistência do solo à erosão, onde as propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos são significativas para a indicação da sua suscetibilidade à erosão associadas a outros fatores. As propriedades que influenciam na velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade de absorção da água pelo solo, assim como as que geram maior resistência a desagregação e remoção de partículas do solo, são fundamentais para acessar sua erodibilidade que varia ao longo do tempo de acordo com a dinâmica pedológica e sua relação com o ambiente. Entre elas, destacam-se: textura, teor e estabilidade dos agregados, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica e pH

(COOKE e DOORNKAMP, 1990; SELBY, 1993; GOUDIE, 1995; MORGAN, 2005; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

A textura se refere ao tamanho das partículas, onde algumas frações granulométricas são mais erodíveis que outras. As frações granulométricas do solo podem ser classificadas, de acordo com seu diâmetro, em: areia grossa (2-0,2 mm), areia fina (0,2-0,05 mm), silte (0,05-0,002 mm) e argila (< 0,002 mm) (EMBRAPA, 1997). Essa propriedade física do solo é de grande importância para coesão do solo, estabilidade de agregados e permeabilidade. As partículas grandes proporcionam maior porosidade e resistência a remoção pela gota de chuva devido a sua massa, apesar de apresentarem baixa agregação, tal como as partículas finas possuem maior resistência devido a maior coesão decorrente do aumento da superfície específica. Sabe-se que as frações areia fina e silte são as mais suscetíveis aos processos erosivos, já a fração argila, apesar de poder dificultar a infiltração, é mais resistente a remoção, principalmente quando formam agregados. Porém, a proporção de cada fração granulométrica associada a outras características do solo, como o teor de matéria orgânica, é que vai determinar maior ou menor erodibilidade (BRADY, 1989; MORGAN, 2005; LEPSCH, 2011; MAFRA, 2012; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

A estabilidade de agregados se refere a resistência do agregado (conjunto de partículas orgânicas e inorgânicas) quando em contato com água. Ela é fundamental para proporcionar maior porosidade, favorecendo a infiltração e diminuindo o escoamento superficial, e maior resistência do solo ao efeito *splash*, dificultando a ruptura dos agregado e a formação de crosta na superfície do mesmo. O teor de agregados diminui com a profundidade, pois está estritamente relacionado aos teores de matéria orgânica e argila, que são fundamentais para sua formação e estabilidade (DE PLOEY e POESEN, 1985; BRADY, 1989; MORGAN, 2005; GUERRA e GUERRA, 2011; GUERRA, 2012 e 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Os agregados, quando em contato com a água e possuir baixa concentração de argila e, principalmente, matéria orgânica, tendem a se romperem favorecendo o início do processo erosivo. Porém, caso os agregados possuam boa concentração de argilominerais e matéria orgânica tendem a resistir por mais tempo. O contato com a água diminui a coesão das partículas que formam os agregados, provocando conseqüentemente a sua ruptura. O tipo de argilomineral também influencia na estabilidade de agregados, a caulinita, haloisita e clorita não expandem em contato com a água se mostrando resistentes a erosão, a illita possui resistência intermediária, já a esmectita e vermiculita expandem em contato com água diminuindo a infiltração e acarretando no escoamento. Estas relações entre umidade do solo, composição química e

mineralógica da argila, matéria orgânica e água são bastante complexas (DE PLOEY e POESEN, 1985; BRADY, 1989; MORGAN, 2005; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

A densidade aparente indica a maior ou menor compactação do solo, onde densidade abaixo de 1 g/cm^3 representa baixa compactação e acima de $1,5 \text{ g/cm}^3$ alta compactação. Essa propriedade possui intimas combinações com a estrutura, densidade de partículas e porosidade do solo, visto que quanto maior for o grau de compactação do solo menor será a capacidade de infiltração de água no mesmo. O teor de matéria orgânica e a classe textural do solo também vão influenciar na sua densidade de maneira inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o teor de matéria orgânica e/ou texturas finas, menor será a densidade do solo. Entre as causas do aumento da densidade aparente está a agricultura, principalmente a agricultura mecanizada, o superpastoreio e a redução do teor de matéria orgânica, contribuindo para a ruptura dos agregados e formação de crostas, reduzindo a infiltração de água e aumentando a compactação do solo (BRADY, 1989; GUERRA e GUERRA, 2011; GUERRA, 2013; GUERRA, *et al.* 2017).

A porosidade dos solos é o percentual de espaços não ocupados por componentes sólidos do solo, ou seja, são os espaços ocupados por ar e água responsáveis por deslocar sólidos, líquidos e gases, além de permite atividade biológica nos solos. Essa propriedade é inversamente proporcional a densidade aparente, onde solos mais compactados possuem baixa porosidade e conseqüentemente menor capacidade de infiltração e vice-versa. Os poros podem ser divididos em macroporos, com diâmetro maiores por onde circula água durante as chuvas, e microporos, retém água por capilaridade que ficará disponível para a vegetação. A predominância de macroporos ou microporos vai influenciar na velocidade com que o ar e a água se movimentam no solo, geralmente, em solos de textura arenosa essa movimentação tende a ser mais rápida porque predominam macroporos, já em solos de textura fina tende a ser mais lenta, pois prevalecem os microporos, apesar de poder apresentar mais espaços porosos (BRADY, 1989; BRADY e WEIL, 2008; SILVA, 2012; GUERRA, 2013).

Desse modo, a porosidade está especialmente relacionada a textura, mineralogia e estrutura que influenciam na morfologia e diâmetro dos poros, sendo que variações verticais abruptas nessas características podem desencadear em processos erosivos, uma vez que a água infiltrada no horizonte mais superficial tende a reduzir sua velocidade acarretando na saturação do solo e no escoamento superficial e/ou subsuperficial (BRADY, 1989; BRADY e WEIL, 2008; SILVA, 2012; GUERRA, 2013).

Os componentes químicos e orgânicos dos solos são importantes por contribuírem para formação e estabilidade de agregados e melhorias na qualidade física do mesmo. Solos que apresentam menos de 2% de carbono orgânico, equivalente a 3,5% de matéria orgânica, são considerados erodíveis (MORGAN, 2005). A matéria orgânica está relacionada com a decomposição de espécies da fauna e flora oriundos do ambiente, cujas atividades humanas, desenvolvidas sobre a superfície e subsuperfície do solo, acabam influenciando em sua oferta e concentração. Logo, o teor de matéria orgânica varia bastante no espaço, sobretudo, em decorrência das diferentes relações entre clima, vegetação natural, textura e drenagem do solo, concentração de cálcio e uso da terra (BRADY, 1989; MORGAN, 2005; BRADY e WEIL, 2008; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; GUERRA, 2016).

A matéria orgânica favorece o aumento das ligações e reações químicas entre as partículas do solo que, além de contribuir para a estabilidade dos agregados, aumenta sua fertilidade através do fornecimento de nutrientes, tem boa capacidade de reter água melhorando a infiltração e diminui o impacto da gota de chuva sobre a superfície do solo, já que se concentra no horizonte superficial formando serapilheira, em muitos casos (BRADY, 1989; MORGAN, 2005; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

O potencial hidrogeniônico – pH do solo demonstra sua acidez e alcalinidade. Ele é um indicador de condições químicas, biológicas e físicas favoráveis ou não ao desenvolvimento das plantas e, à própria, pedogênese. Quando o solo se torna muito ácido é sinal de que ele pode estar compactado, mau estruturado, com baixo teor de matéria orgânica, com baixa atividade biológica e fertilidade, baixa capacidade de retenção de água, enfim, sujeito a degradação e, possivelmente, à erosão. Entre os fatores que remetem a degradação do solo, destacam-se. Geralmente, levando em conta a classe textural, os solos são considerados ácidos com pH menor que 5,0 em solos argilosos, menor que 5,5 em solos arenosos e menor que 4,0 em solos orgânicos, e considerados alcalinos com pH maior que 7,5 em solos argilosos e 7,0 em solos arenosos (BRADY, 1989; PRIMAVESI, 2002; LEPSCH, 2011).

Os solos ácidos ocorrem basicamente em regiões úmidas, devido ao acelerado intemperismo químico que provoca a decomposição dos materiais primários, formando minerais secundários, como óxidos de ferro e alumínio, sendo perdidas as bases trocáveis (especialmente, Ca, Mg, K e Na) através da lixiviação. Nessas regiões, há que se corrigir a acidez do solo através da calagem e oferta de matéria orgânica para o desenvolvimento da agricultura e conservação do solo.

Ao contrário, solos alcalinos possuem elevada saturação de bases, são característicos de regiões áridas e semiáridas onde o processo de lixiviação é baixo (BRADY, 1989;

PRIMAVESI, 2002; LEPSCH, 2011). Cabe destacar que o pH, a saturação de bases e a capacidade de troca catiônica – CTC são influenciados pelo uso do solo, logo ele deve ser considerado ao se estudar uma área. O pH deve ser tomado como um indicador a ser relacionado com outras propriedades do solo para a compreensão da erodibilidade (BRADY, 1989; PRIMAVESI, 2002; LEPSCH, 2011; GUERRA, 2013).

2.3.3 Características das encostas

As características das encostas são fatores controladores que podem influenciar na erodibilidade dos solos devido a declividade, comprimento e forma das encostas. A declividade juntamente com outros fatores, como o uso da terra e a cobertura vegetal, vai influir na velocidade dos fluxos, porém, em encostas íngremes a camada de solo tende a ser mais delgada, diminuindo, de certa forma, a disponibilidade de materiais a serem removidos. Com relação ao comprimento das encostas não se tem um consenso sobre sua análise, entende-se que ela deve ser associada a outras características e fatores que irão revelar sua importância no desenvolvimento de processos erosivos. Já a forma das encostas pode ser classificada em côncava, convexa e retilínea, a combinação dessas formas é muito importante no desencadeamento de processos erosivos, contribuindo para a concentração ou dissipação dos fluxos e materiais, favorecendo a infiltração vertical e/ou horizontal de água no solo, tal como influencia na espessura do solo (COOKE e DOORNKAMP, 1990; SELBY, 1993; GOUDIE, 1995; MORGAN, 2005; HUGGETT, 2007; GUERRA, 2013, 2015 e 2016).

Segundo Huggett (2007), as encostas possuem grande diversidade de formas, declividade e comprimento, resultante das variações ao longo da superfície terrestre do clima, vegetação, litologia e estrutura geológica que influencia nas variações dos processos geomorfológicos. Elas podem formar catenas com tipos de solos distintos na sequência entre o interflúvio e o fundo de vale resultado dos processos ali atuantes. Seu estudo permite o conhecimento do seu comportamento hidrogeomorfológico, devendo considerar especialmente as alterações nos processos desencadeadas pelas atividades humanas.

Para Grieve *et al.* (2016) o comprimento das encostas exerce grande controle sobre a taxa de transporte de sedimentos, articulando fluxos de poluentes, nutrientes e água, e nas taxas de erosão do solo tanto na encosta como na escala da bacia. Logo, num evento chuvoso encostas curtas tendem a ter sedimentos transportados mais rapidamente do que em encosta mais longas sob condições ambientais semelhantes.

2.3.4 Cobertura vegetal

A cobertura vegetal funciona como uma proteção natural para o solo contra a erosão. Ela protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e dispersa a água da chuva através de sua interceptação e armazenamento pelas folhas, galhos e troncos, perdendo água para a atmosfera por evapotranspiração, mesmo durante a chuva. Parte da água pode atingir o solo atravessando as copas e/ou por meio do fluxo de tronco. A vegetação também fornece matéria orgânica para os solos e contribui com sua permeabilidade e armazenamento de água, diminui a velocidade e dispersa o fluxo superficial através da formação de serapilheira. Todas essas funções contribuem para a redução dos processos erosivos garantindo a diminuição da energia cinética das gotas de chuva, maior teor e estabilidade de agregados e capacidade de infiltração de água no solo. Nas áreas com elevados índices pluviométricos, a cobertura vegetal vai funcionar como uma barreira, diminuindo o impacto das chuvas sobre o solo. Todavia, cada tipo de cobertura vegetal vai possuir respostas diferenciadas em relação à erosão, pois a depender das características morfológicas e densidade das espécies vegetais, vinculadas a outros fatores controladores, as taxas de perdas de solo serão distintas (COOKE e DOORNKAMP, 1990; SELBY, 1993; GOUDIE, 1995; MORGAN, 2005; VÁSQUEZ-MÉNDEZ *et al.*, 2011; COELHO NETO, 2013; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; NOUWAKPO *et al.*, 2016).

2.3.5 Uso da terra

O uso da terra influencia em todos os outros fatores, podendo contribuir ou controlar a atuação dos processos erosivos. Através de atividades humanas desenvolvidas de forma inadequada, como o desmatamento desenfreado, superpastoreio, mineração, cortes em encostas para construções e crescimento urbano desordenado, a degradação ambiental se processa. Essas práticas inadequadas expõem o solo ao impacto direto das gotas de chuva, diminui o aporte de matéria orgânica, desestabiliza os agregados, aumenta a compactação, diminui a infiltração e capacidade de armazenamento de água no solo, aumenta o escoamento superficial, provocando a desagregação e remoção das partículas do solo por salpicamento, erosão laminar, ravinas e voçorocas (BRADY, 1989; COOKE e DOORNKAMP, 1990; MORGAN, 2005; CUNHA e GUERRA, 2011; GUERRA, 2013).

2.4 Erosão, Degradação e Conservação dos Solos

A erosão ocorre com diferentes intensidades no tempo-espaço. Ela é um processo geomorfológico natural que acontece devido à instabilidade dos sistemas naturais, atuando na esculturação do relevo. Porém, as atividades humanas desenvolvidas sem considerar as características e funcionamento do ambiente natural podem intensificar este processo, trazendo consequências tanto para a natureza quanto para a sociedade. Devido ao desmatamento desordenado, as queimadas, o uso do solo em áreas inadequadas e/ou sem um manejo adequado, entre outras atividades humanas, o escoamento superficial e subsuperficial tende a aumentar, acarretando em taxas excessivas de perda de solo (COOKE e DOORNKAMP, 1990; GOUDIE, 1995; FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; JORGE e GUERRA, 2013; GUERRA, 2014 e 2016; IONITA *et al.*, 2015).

Os estudos voltados para a erosão dos solos devem abordar elementos sociais, políticos e econômicos, diante do entendimento de que as atividades humanas aceleram os processos erosivos e, também, transformam as paisagens desencadeando diversos problemas ambientais, cujas estratégias de conservação devem ser adotadas (GUERRA, 1994; CHICAS *et al.*, 2016). Dentro deste contexto, Guerra (1994, p. 14) aponta que os danos ambientais são sensíveis “as contradições, conflitos e confrontos sociais, políticos e econômicos em um país”, cabendo a participação do Estado no planejamento e gestão do uso das terras e nos projetos de diagnóstico, prevenção, controle e recuperação de áreas degradadas.

Segundo o projeto GLASOD, que buscou avaliar a degradação dos solos induzida pelo homem no mundo, dos 8,7 bilhões de hectares de terras no mundo cerca de 22% foram degradadas a partir da Segunda Guerra Mundial (GUERRA, 2014). A degradação dos solos emerge como uma preocupação em escala global, estando entre os grandes problemas ambientais que afetam o planeta. Entre os seus principais tipos, destacam-se a erosão, movimento de massa, desertificação, acidificação e salinização dos solos. A erosão parece ser o tipo de degradação do solo que mais ocorre no planeta, sem dúvida é a de maior distribuição espacial. Ela atinge diretamente os solos, sendo responsável pela perda do mesmo, afetando suas múltiplas funções (BRADY, 1989; FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; BRADY e WEIL, 2008; ASIO *et al.*, 2009; LEPSCH, 2011; GUERRA, 2014; OSMAN, 2014; IONITA *et al.*, 2015).

A erosão dos solos pode ocorrer tanto em áreas rurais como urbanas, estando associada aos fatores controladores. Nesse sentido, o uso e ocupação do solo é um fator de grande importância no entendimento, prevenção e controle dos processos erosivos, principalmente, quando se observa a expansão e intensidade das atividades humanas sobre a superfície terrestre

(GOUDIE, 1995; BLUM, 2002; MORGAN, 2005; GUERRA e MARÇAL, 2012; GUERRA *et al.*, 2015 e 2017).

Prosdocimi *et al.* (2016) realizaram um estudo detalhado da erosão hídrica na região do mediterrâneo, mostrando a complexidade na compreensão dos fatores desencadeadores desse processo nas áreas cultivadas com vinhedos, cultura que possui papel de destaque na oferta de emprego e renda. Através da utilização de uma série de métodos, como parcela de erosão, simulador de chuvas e sensoriamento remoto, eles concluíram que com o aumento da declividade as taxas de perda de solo se elevam, assim como, a diminuição do teor de matéria orgânica também aumenta essas taxas. Demonstrando que as técnicas de conservação adotadas não são suficientes para evitar as elevadas taxas de erosão laminar e ravinas que afetam os vinhedos, especialmente nas encostas íngremes e/ou áreas com solo exposto.

Ionita *et al.* (2015) expõem que a erosão só é vista como um perigo a partir do momento em que ameaça a humanidade, destacando os impactos da erosão por voçoroca e as dificuldades em sua compreensão, de seus fatores de controle e processos associados. Esse processo geomorfológico pode ser considerado como um indicador de degradação dos solos, provocando consequências ambientais e socioambientais negativas, na maioria das vezes.

Nas regiões tropicais a atuação de processo erosivos é mais intensa do que nas regiões temperadas, especialmente, devido às propriedades dos solos e às condições climáticas destas áreas. Associado a estes fatores, tem-se as pressões das atividades humanas sobre os processos de formação dos solos, contribuindo para sua degradação. Outra questão relevante é o fato de que a degradação dos solos apesar de ocorrer principalmente nos países em desenvolvimento, também atinge países desenvolvidos que dispõem de maior acesso a tecnologias (ASIO *et al.*, 2009; GUERRA, 2012 e 2013; JORGE e GUERRA, 2013).

No Brasil, a degradação das terras põe em risco a conservação de sua rica biodiversidade, e conseqüente equilíbrio dos sistemas ambientais, assim como a produtividade agropecuária que é uma das responsáveis por sustentar sua economia. A degradação química, física e a erosão hídrica são alguns dos problemas causados, na maior parte, por práticas agropecuárias sem o planejamento e a gestão adequadas das terras, como sobrepastoreio, desmatamento, uso excessivo do solo e/ou de defensivos agrícolas (LEPSCH, 2011; MAFRA, 2012; SALOMÃO, 2012; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Lepsch (2011) destaca atividades desenvolvidas por agricultores e pecuaristas, como a aração, o plantio e cultivo vertente abaixo, queimadas excessivas, pisoteio do gado, além do desmatamento e da mobilização do solo realizada por madeireiros e mineradores, ambas contribuem para aceleração da erosão hídrica, transportando materiais para as terras mais baixas

ou mesmo para o leito de rios e represas, podendo assoreá-los. O autor destaca que no Brasil, a erosão laminar é responsável pela maior taxa de perda de solos, sobretudo, devido sua atuação lenta e insidiosa. Sabe-se que ela tem sido vista como a principal forma de erosão sobre solos férteis nas encostas em todo o mundo (MÜLLER-NEDEBOCK e CHAPLOT, 2015).

Santos e Westphalen (2014), ao tratarem sobre a erosão dos solos no noroeste do Paraná, apontam que as causas da erosão estão associadas às características naturais da paisagem, a morfologia dos solos, a elevada pluviosidade e ao processo de ocupação, baseado em práticas inadequadas de manejo desde o ciclo do café da década de 1930, com desmatamento desordenado e plantio morro abaixo. Destacam também a preocupação nas esferas federal e estadual dada ao problema da erosão na região, elaborando e executando projetos que buscam compreender as causas e controlar o avanço da erosão em áreas urbanas e rurais.

Rodrigues (2014), ao tratar sobre a degradação dos solos no domínio morfoclimático dos Cerrados, relaciona os vários processos erosivos que atingem áreas urbanas e rurais com a vulnerabilidade das condições/características ambientais diante da expansão agrícola no Cerrado. A heterogeneidade e complexidade ambiental do cerrado é resultado da combinação de climas tropicais úmidos e tropicais estacionais com alta pluviosidade, embasamento geológico constituído por uma diversidade de tipos litológicos e arranjos geoestruturais, predomínio de solos ácidos ricos em alumínio, com boa drenagem e baixa fertilidade, sobre relevo plano e suavemente ondulado, favorecendo a mecanização agrícola, e da diversidade de formações vegetais.

Contudo, a maioria dos ambientes desse domínio morfoclimático tiveram sua capacidade de suporte ultrapassada diante do processo de colonização e ocupação, sob sistemas de manejo distintos, sendo o desmatamento, as queimadas, a compactação e alteração da estrutura dos solos, mudanças no nível de base, alguns dos fatores que contribuem para sua degradação. Erosão laminar, sulcos, ravinas e voçorocas são feições erosivas presentes nas paisagens do cerrado gerando prejuízos e gastos tanto para os produtores rurais como para o poder público. A vegetação, nesse contexto, pode contribuir para controlar e recuperar as áreas degradadas garantindo o funcionamento hidrogeomorfológico e o equilíbrio do sistema ambiental (MORGAN, 2005; RODRIGUES, 2008 e 2014; BACCARO, 2012).

A conservação do solo e controle da degradação assume lugar de destaque em escala global, diante da capacidade da sociedade moderna em gerar danos ambientais de acordo com a forma que a terra é gerida. Cabendo estudos que considerem as interações ambientais e socioeconômicas que ocorrem na paisagem, na busca por soluções para a degradação dos solos,

sobretudo, pensando nos produtores rurais que, ao mesmo tempo, sofrem com a degradação e são beneficiários com melhorias na gestão da terra (DUMANSKI, 2010).

Sietz e Dijk (2015) analisaram 63 casos de adoção de práticas de conservação do solo e da água na África Ocidental, demonstrando os múltiplos fatores que impulsionam a adoção dessas estratégias nas regiões áridas. Propõem que estas práticas incorporem as relações biofísicas e socioeconômicas considerando as diferentes escalas e graus de importância, os recursos disponíveis e formas como os agricultores gerem a terra, e o entendimento de que a adoção de práticas de conservação do solo e da água é um processo dinâmico.

Posthumus *et al.* (2015), em estudo sobre os custos e benefícios das medidas de controle de erosão no Reino Unido, chegaram à conclusão que medidas que requerem pequenas adaptações para as práticas agrícolas convencionais (faixas de proteção, *mulching*, plantio de alta densidade, lavoura em curva de nível, contenção de sedimentos etc.) parecem ser mais rentáveis na redução da erosão. Isto porque essas medidas são mais propensas a serem adotadas pelos agricultores, devido ao seu baixo custo e exigirem pequenas alterações na gestão agrícola, em comparação com outras medidas que envolvem grandes investimentos, ou mudança do uso da terra. Porém, estas medidas não são adequadas em todas as circunstâncias, logo, não podem ser amplamente promovidas.

Nesse sentido, emerge o desafio de avançar na compreensão do solo no espaço-tempo, de suas propriedades e processos associados, e do seu uso e gestão, assim como seus benefícios voltados para a sociedade (BLUM, 2002). No que diz respeito a erosão dos solos, vários estudos pelo mundo procuram avançar na compreensão do processo, através do conhecimento das complexas interações de seus fatores controladores, buscando aperfeiçoar e/ou criar novas técnicas para a conservação do solo e recuperação de áreas afetadas pela erosão (COOKE e DOORNKAMP, 1990; FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; BEZERRA, 2011).

Bertoni e Lombardi Neto (2014) destacam que as várias técnicas existentes para aumentar a resistência dos solos e reduzir a intensidade dos processos erosivos são de grande relevância para a conservação dos solos. Além disso, as técnicas de manejo conservacionista permitem aumentar a produtividade e a diversidade de culturas mantendo a fertilidade do solo, reduzindo os custos de operação e garantindo um maior retorno financeiro aos produtores.

A adoção de práticas conservacionistas, que protejam o horizonte A, onde se concentram maior quantidade de matéria orgânica, e possui uma estrutura mais permeável, é a melhor maneira de controlar a erosão dos solos. Estas práticas procuram evitar o impacto direto das gotas da chuva sobre o solo, aumentar a estabilidade dos agregados, aumentar a rugosidade

da superfície do solo e diminuir a velocidade do escoamento, garantindo maior capacidade de infiltração de água e recarga do lençol freático (LEPSCH, 2011; GUERRA, 2013).

As práticas conservacionistas do solo podem ser classificadas em três grandes grupos, as práticas de caráter: edáfico, voltadas para a fertilidade do solo e baseando-se, principalmente, na abolição ou redução das queimadas, na adubação (verde, química e orgânica, incluindo a calagem), e na rotação de culturas; mecânico, utilizam de ferramentas e/ou máquinas, geralmente, para reduzir a declividade do relevo ou corrigir seus efeitos no escoamento, através de terraceamento, plantio em curva de nível, construção de estruturas nas bordas das estradas para o desvio e infiltração da água escoada etc.; e vegetativo, que procura estender a cobertura vegetal por meio de florestamento e reflorestamento, pastagens bem manejadas, cultivos em faixas, cordões com vegetação permanente, cobertura morta etc.. Através destas práticas é possível manter o equilíbrio do sistema (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; LEPSCH, 2011; GUERRA, 2016).

Contudo, para a adoção de práticas conservacionistas, ou mesmo de recuperação de áreas degradadas, faz-se necessário conhecer o solo e o ambiente em que está inserido através de estudos básicos, haja vista que suas características físicas e químicas, assim como suas complexas inter-relações com o ambiente variam amplamente, cabendo estratégias de manejo e recuperação específicas. A manutenção da vida das populações locais é algo que não pode ser reduzido, há que se pensar em manejos e/ou recuperações adequadas ao sistema ambiental e viáveis para a população, fornecendo alternativas de renda para a mesma (FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; ASIO *et al.*, 2009; LEPSCH, 2011; GUERRA *et al.*, 2014; GUERRA *et al.*, 2015).

Portanto, a erosão dos solos deve ser estudada, buscando prevenir e/ou minimizar a degradação dos solos e, conseqüentemente, a degradação ambiental. Diante das interações entre as características naturais da paisagem, conferindo maior ou menor suscetibilidade, e os diversos usos do solo, por vezes desordenado, é que se processa a degradação, constituindo-se em um problema fundamental nos estudos ambientais. Assim, a compreensão dos processos erosivos é algo complexo, porém, essencial para adoção de medidas voltadas ao planejamento, gestão e recuperação de áreas degradadas.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Pequeno – BHRP, localizada no município de Paraty, litoral sul fluminense, no Estado do Rio de Janeiro (figura 1). É uma região marcada por grande desnível topográfico, com altitudes que vão de, aproximadamente, 0 a 1.840 metros entre a Baía da Ilha Grande e a Serra da Bocaina (Pedra da Macela) – segundo as cartas topográficas do IBGE (folhas SF.23-Z-C-I-1 e SF-23-Z-C-I-2), na escala de 1:50.000 –, que influencia na elevada pluviosidade, devido à ocorrência de chuvas orográficas, e na rica biodiversidade abrigada nos remanescentes de Mata Atlântica. Além de apresentar importante potencial de geodiversidade, resultante dos processos geológicos-geomorfológicos que atuaram e atuam nesse ambiente, que atrai turistas dispostos a contemplar essas paisagens naturais (BRASIL, 2002).

A BHRP tem área de 46,84 km², e possui hierarquia fluvial de 4^a ordem, padrão de drenagem dendrítico, com talvegue seguindo linha de fratura, fruto da associação de rochas graníticas e gnáissicas do embasamento cristalino com o relevo montanhoso dissecado da Serra do Mar, submetido ao clima tropical úmido (BRASIL, 2002).

A área de estudo está inserida no Parque Nacional da Serra da Bocaina – PNSB e sua zona de amortecimento, Unidade de Conservação – UC criada por Decreto Federal em 1971 e posteriormente modificada pelo Decreto Federal de 1972, abrangendo uma área de 104.000 hectares. O objetivo do Parque Nacional é proteger esta região de relevo movimentado, coberto por remanescentes do domínio da Mata Atlântica, onde encontram-se diversas nascentes de rios que drenam para a Baía da Ilha Grande e para o Vale do Rio Paraíba do Sul. Assim como, é um ambiente marcado pelo endemismo, refúgios ecológicos e espécies ameaçadas de extinção (BRASIL, 2002; RIO DE JANEIRO, 2011).

Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, Paraty - RJ

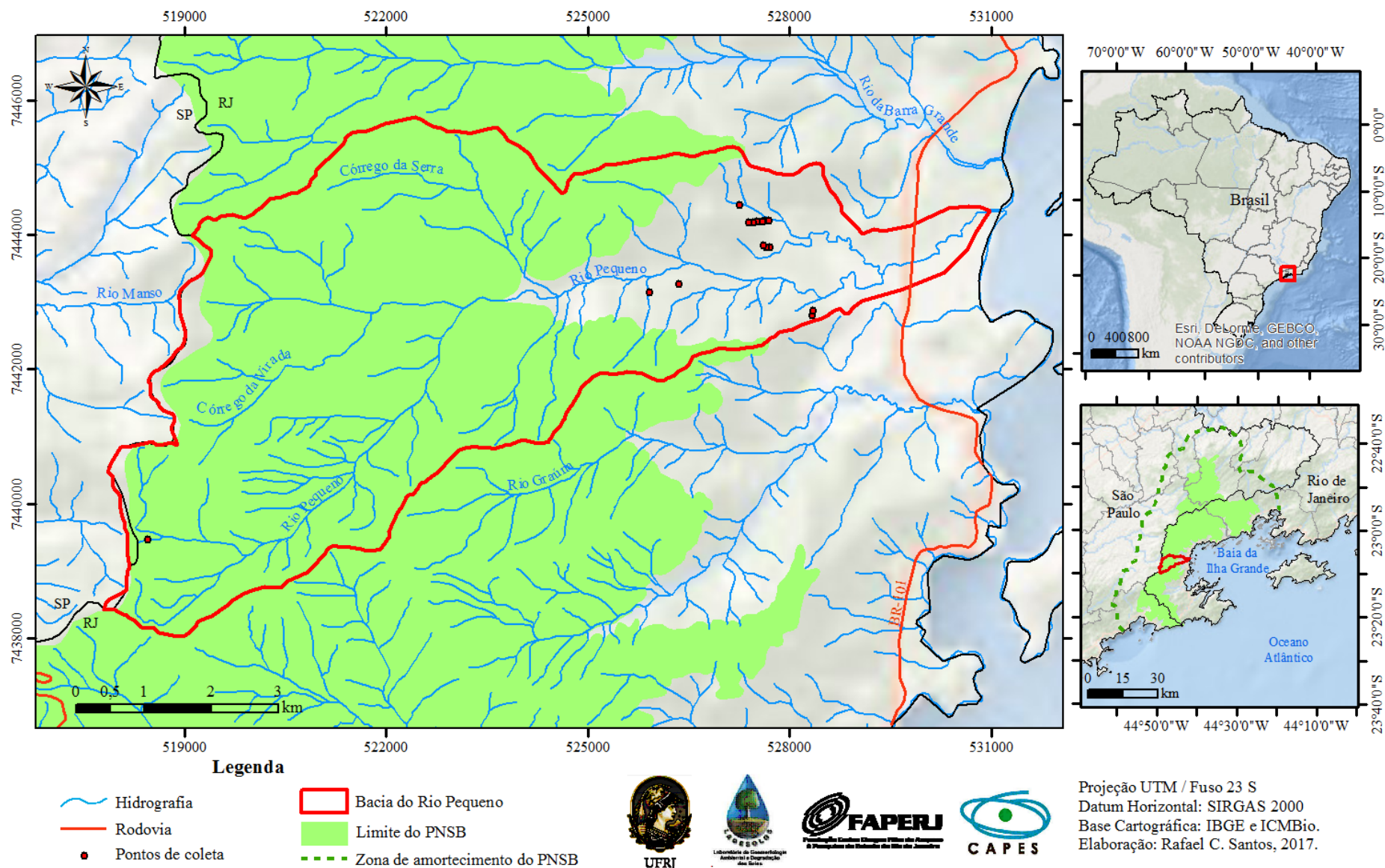


Figura 1: Localização da área de estudo.

3.1 Clima

O litoral sul fluminense apresenta os maiores índices pluviométricos do Estado e um dos mais altos índices pluviométricos anuais do Brasil (NIMER, 1979; MONTEIRO, 1999 *apud* SILVA, 2010). A dinâmica dos elementos atmosféricos nesta região é fortemente influenciada pelo relevo e pela amplitude altimétrica, acarretando em distribuição espacial e temporal irregular de chuvas e temperaturas (BRASIL, 2002).

O clima da área de estudo corresponde ao tropical úmido, com precipitações sazonais que resultam em estações chuvosas e outras mais secas ao longo do ano. Os índices pluviométricos anuais médios ficam entorno de 2.000 mm (BRASIL, 2002; RIO DE JANEIRO, 2011).

A estação pluviométrica São Roque, a mais próxima da bacia hidrográfica do rio Pequeno – BHRP, apresenta as maiores médias anuais da região, com 2.311 mm e média mensal de 193 mm (ANA, 2016). Isto se deve a posição geográfica da estação no litoral, sem presença de barreiras topográficas que impeçam a penetração dos ventos úmidos do quadrante sul (BRASIL, 2002). Ao analisar a distribuição temporal das chuvas nessa estação (figura 2 e gráfico 1), observa-se que o período mais chuvoso se estende de novembro a março, com médias mensais de pluviosidade superiores a 250 mm, enquanto o mais seco vai de maio a agosto, com médias inferiores a 100 mm mensais.

Silva *et al.* (2012) calcularam, com base na precipitação média no período de 1970 a 2010, o índice de erosividade anual médio EI_{30} , que corresponde ao produto da energia cinética da chuva por sua intensidade máxima em 30 minutos, para a estação São Roque. Os autores encontram para esta estação o valor de 9.853 MJ/mm/ha/h/ano, indicando elevado potencial da chuva em causar erosão numa área sem proteção.

Nesse sentido, a Serra do Mar constitui uma barreira natural para a penetração de massas de ar no continente, provocando ocorrência de chuvas orográficas intensas, explicando os altos índices pluviométricos no litoral e sua diminuição em direção ao interior (GUERRA *et al.*, 2013). Assim como, a temperatura é mais baixa nas áreas mais elevadas do Planalto da Bocaina, com média anual de 17°C, e alta nas áreas mais baixas da vertente sul e litoral do PNSB, com média anual por volta de 21-23°C (BRASIL, 2002; RIO DE JANEIRO, 2011).

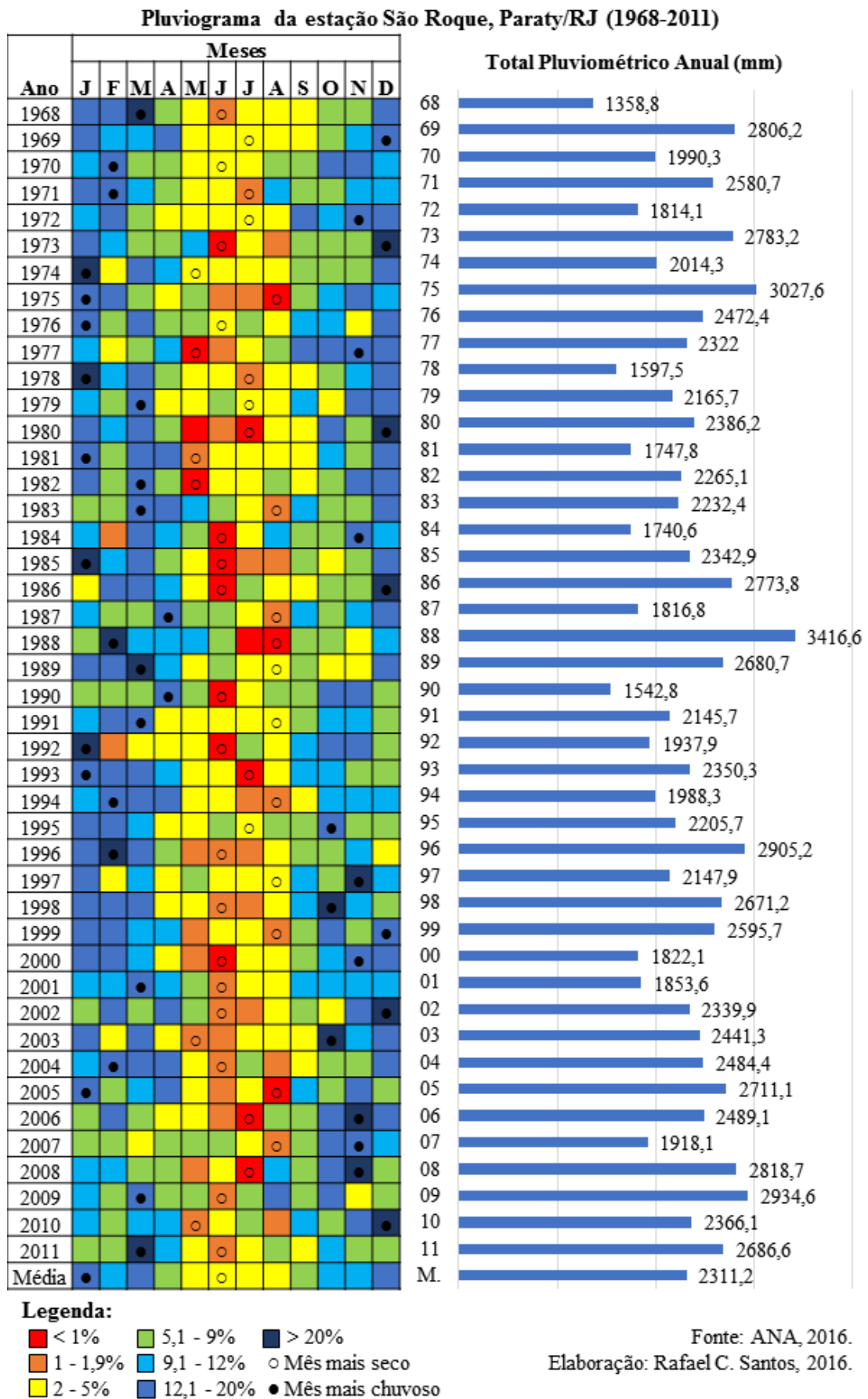


Figura 2: Distribuição pluviométrica da estação São Roque, Paraty – RJ (1968-2011).

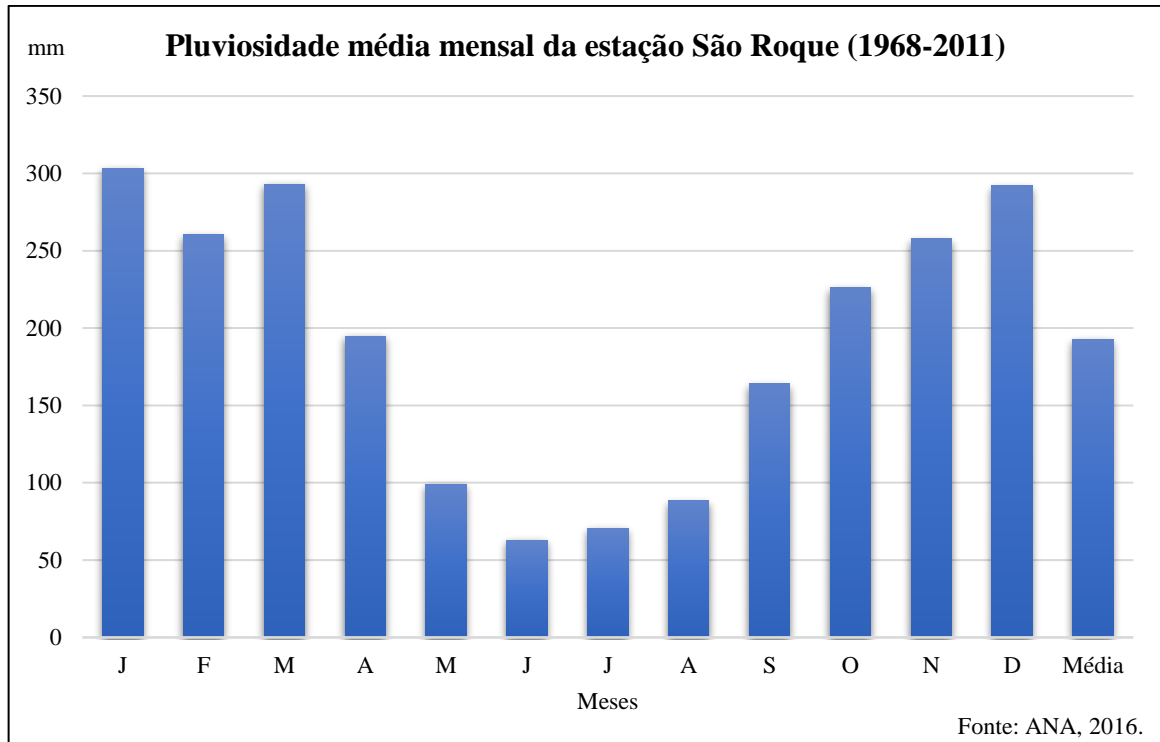


Gráfico 1: Pluviosidade média mensal da estação São Roque, Paraty – RJ (1968-2011).

Logo, a área de estudo, localizada na vertente à barlavento, apresenta elevada pluviosidade, mesmo nas estações secas, garantindo excedente hídrico durante, praticamente, todo o ano. Associado à cobertura vegetal e solos, os altos índices pluviométricos proporcionam elevada disponibilidade de recursos hídricos. Por outro lado, as chuvas intensas desta região, associadas a outros aspectos físicos da paisagem e às atividades humanas desenvolvidas de forma inadequada, podem acelerar processos geomorfológicos como a erosão e os movimentos de massa (POCIDONIO e SILVA, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2012; GUERRA *et al.*, 2013).

3.2 Geologia

A litologia do litoral sul fluminense é constituída, aproximadamente, por 50% de rochas granitóides e 30% gnáissicas, com porções menores de migmatitos, granitos e sedimentos do Holoceno que recobrem praias e planícies fluviais (GUERRA *et al.*, 2013). No Plano de Manejo do PNSB (BRASIL, 2002), destacam-se duas unidades lito-estratigráficas referente a área de estudo, são elas:

- Complexos Gnaissícos Granitóides, datados do Proterozoico, predominando na BHRP os granitos, que são rochas resistentes ao intemperismo e erosão, a depender de sua composição mineralógica, formam solos areno-siltosos ou argilo-siltosos e micáceos podendo variar o teor de areia e silte devido a variação do teor de quartzo e feldspato.

Devido a estas características, observa-se encostas rochosas e matacões com diâmetro entre 0,6 - 3 metros expostos e emersos no solo da região.

- Sedimentos Cenozóicos, ocorrem em menor proporção na área de estudo, predominando depósitos: colúvio-aluvionares, compostos por matacões, blocos, seixos e sedimento mais finos, ambos, originados de gnaisses e/ou granitos ao longo dos sopés de encostas nos vales dos rios principais, evidenciando a participação de processos fluviais; flúvio-marinhos, constituídos por areia, silte, argila, matéria orgânica e cascalho em menor quantidade, frutos de retrabalhamento dos sedimentos marinhos depositados nas planícies costeiras e, também, dos sedimentos depositados pelos rios; e cordões marinhos e praias, formada principalmente por diferentes frações de areia depositas pelo mar, além de matéria orgânica e de sedimentos fluviais.

A figura 3 representa as unidades geológicas da BHRP, na escala de 1:500.000, com predomínio do Granito Parati, formado a partir de episódios orogenéticos de magmatismo tardi-tectônico que ocorreram no Brasileiro III, na era Paleozoica, criando intrusões no Complexo Paraíba do Sul relacionadas as zonas de cisalhamento transcorrente, apresentando uma grande variedade de litotipos (SILVA e CUNHA, 2001; EIRADO *et al.*, 2006).

Em menores proporções, têm-se: o Granito Carrasquinho (magmatismo pós-tectônicos durante o Brasileiro III), próximo à divisa estadual RJ-SP, formando corpos tabulares, diques e pequenos batólitos cortando as rochas regionais; o Granito Paiol Velho, formado por magmatismo tardi-colisional no Brasileiro III, na era Proterozóica, ocorre em morros próximos ao litoral; o Depósito Colúvio-Aluvionar, foram formados a partir do Terciário-Quaternário através dos processos geomorfológicos que transportam os materiais alterados para partes mais baixas da encosta e sopé dos morros, formando rampas de colúvio e depósitos de tálus, assim como, está associado ao retrabalhamento dos materiais dos depósitos fluviais e flúvio-marinhos pela dinâmica fluvial; e os Depósitos Marinho e Flúvio-Marinho, também se formaram a partir do Quaternário devido a processos costeiros de transgressão e regressão marinha, e pelos depósitos fluviais (SILVA e CUNHA, 2001; EIRADO *et al.*, 2006).

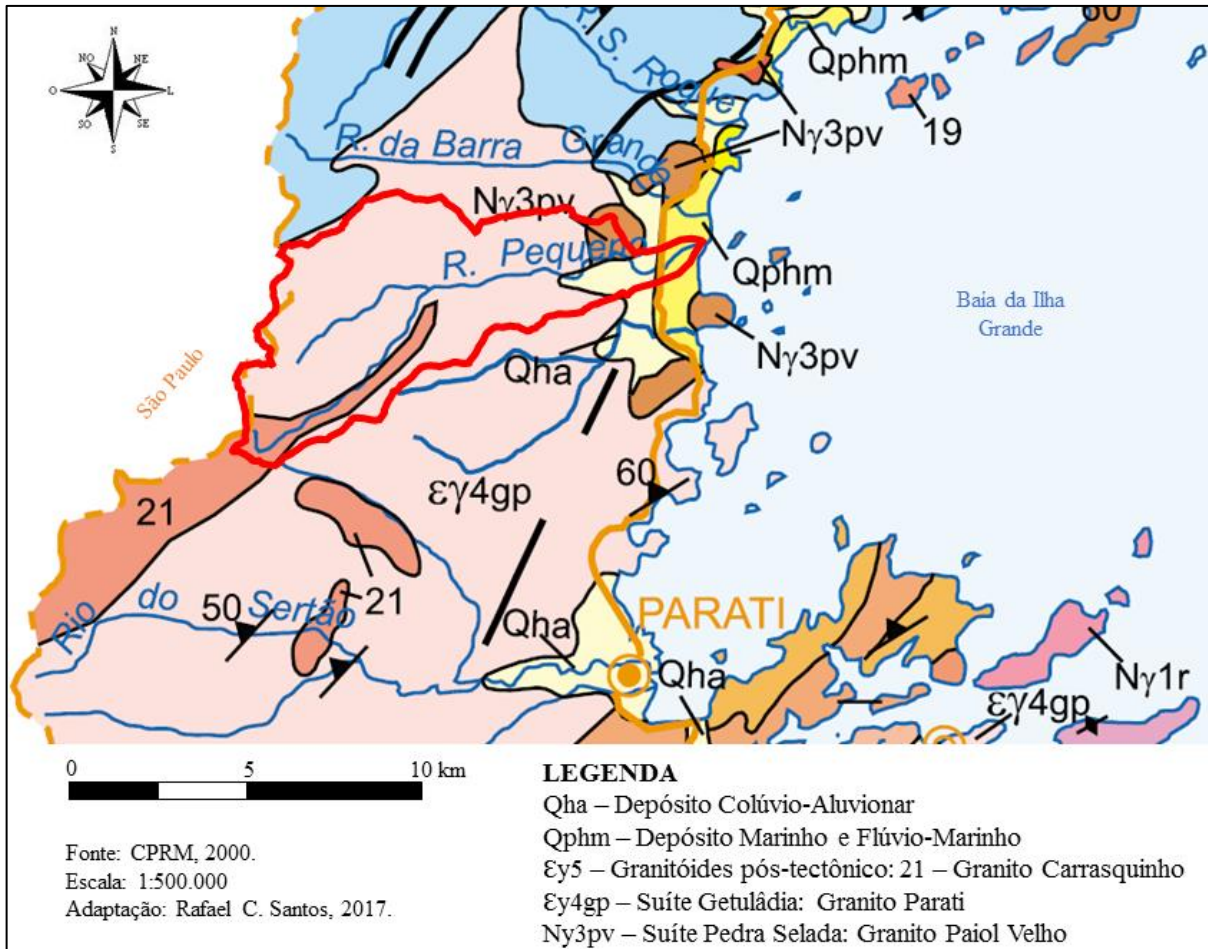


Figura 3: Trecho do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Destaque (em vermelho) para a localização aproximada da área de estudo. Fonte: CPRM, 2000.

3.3 Geomorfologia

A compartimentação geomorfológica da região sul fluminense é marcada por diversidade morfológica e topográfica, conseqüente de eventos tectônicos, falhas, fraturas e dobras, que influenciaram na morfogênese, assim como o clima (DANTAS, 2000; GUERRA *et al.*, 2013).

Segundo Almeida e Carneiro (1998), a cadeia de montanhas que compõem a Serra do Mar tem origens no Paleoceno, primeira época da era Cenozóica, devido a processos tectônicos de movimentação vertical, gerando uma grande frente de falhas dissecada. A estrutura e modelado atual do relevo são resultados de processos erosivos diferenciais regressivos que agiram e agem sobre as estruturas geológicas e as rochas com diferentes resistências, mesmo nos eventos morfotectônicos manifestados no Planalto Atlântico, entre o período Paleogeno e a época do Mioceno (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

Guerra *et al.* (2013), apontam que a Serra do Mar possui duas unidades morfológicas, são elas: o Planalto Cristalino Atlântico, que tem suas origens ligadas a atividade tectônica resultando na formação da Serra do Mar situada no lado oriental destacando suas escarpas montanhosas e elevadas, com altitudes médias variando entre 800 e 1200 metros, constituindo um divisor de águas entre a densa rede de drenagem que corre para a Baía da Ilha Grande e o Rio Paraíba do Sul; e o Vale do Paraíba do Sul, com origens nos episódios tectônicos da Serra do Mar e Serra da Mantiqueira. Eles destacam que nos municípios de Angra dos Reis e Paraty ocorre uma outra unidade, as Planícies Flúvio-Marinhas.

Ainda segundo os autores, os municípios de Paraty e Angra dos Reis possuem dois grandes domínios morfo-estruturais: o domínio do Planalto Atlântico, predominando serras escarpadas e altitudes de 400 a 2.100 metros, com orientação EW e NE-SW, conhecido localmente como Serra da Bocaina; e o domínio das Depressões Tectônicas Cenozóicas, possuindo falhas Pré-Cambrianas com orientação NE-SW, com altitudes entorno de até 600 metros, e subdivide-se em colinas dissecadas, terraços fluviais e planícies flúvio-marinhas.

De acordo com Dantas (2000), a área de estudo possui três unidades geomorfológicas: Escarpas Serranas, Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas e Planícies Flúvio-Marinhas. Predominam as Escarpas Serranas cujo relevo caracteriza-se por ter altas declividades, com escarpas festonadas e topos de morros alinhados. O embasamento geológico exerce certo controle estrutural, com presença de vales estruturais sobre falhas ou fraturas, como também zonas de cisalhamento ou rochas supracrustais condicionando lineamentos e segmentos da rede de drenagem. Este compartimento do relevo faz a transição entre as estreitas planícies flúvio-marinhas e as colinas e montanhas do Planalto da Bocaina.

Outras duas unidades geomorfológicas que ocorrem na área de estudo, numa estreita porção próximo à foz do Rio Pequeno, são as Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas e as Planícies Flúvio-Marinhas. Caracterizam-se por baixa declividade, terrenos mal drenados com rios meandrantés, ocorrendo presença de colinas isoladas, resultado interface de processos fluviais, de encosta e costeiros (DANTAS, 2000).

Com base na metodologia idealizada por Meis *et al.* (1982) e refinada por Silva (2002), que utiliza a bacia de drenagem de 1ª e 2ª ordem para se compreender o nível de dissecação do relevo, o Instituto Estadual do Ambiente elaborou o mapa geomorfológico para o Estado do Rio de Janeiro. A figura 4 mostra os compartimentos geomorfológicos da área de estudo, predominando as Serras Escarpadas (37,93km²), que possuem amplitude altimétrica superiores a 400 metros, sendo as áreas com topos mais elevados e com rede de drenagem fortemente influenciada pelas linhas de falhas. Ocorrem também Serras Isoladas e Locais (5,39km²),

representando áreas de transição entre amplitudes altimétricas distintas, Morros (0,22km²), que possuem amplitudes de 100 a 200 metros, e Planícies Fluviais e Flúvio-Marinhas (2,83km²), com amplitudes de até 20 metros, se estendendo por uma estreita faixa entre a Serra e a Baía da Ilha Grande.

3.4 Solos

As características climáticas, geológicas e geomorfológicas da região influenciam diretamente nos seus tipos de solo. O conhecimento de suas características é essencial para diagnosticar as áreas suscetíveis à erosão e inferir sobre o uso e manejo adequado do solo buscando sua conservação e/ou recuperação (GUERRA e BOTELHO, 1998; FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; BEZERRA, 2011; GUERRA, 2014).

Os solos predominantes no litoral sul fluminense são os Cambissolos e Latossolos, ocupando, respectivamente, cerca de 70% e 10% da área, sobretudo nas áreas montanhosas onde os solos tendem a ser mais rasos e pedregosos, devido ao predomínio de declividade acentuada e rochas resistentes. Além da ocorrência de Neossolos e solos de mangues e restingas distribuídos por poções menores entre os municípios de Angra dos Reis e Paraty (GUERRA *et al.*, 2013).

De acordo com o mapeamento realizado pela EMBRAPA (figura 5), na escala de 1:250.000, os solos predominantes na área de estudo são os Cambissolos. A classe de maior ocorrência é a CXbd4 (17,28km²), formada por Cambissolo Háplico Distrófico típico, ocorrendo em relevo montanhoso e escarpado, mais Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, em relevo montanhoso e forte ondulado, ambos com horizonte A moderado ou A proeminente. Estendendo-se por uma faixa com declividade acentuada e ocorrência de afloramentos rochosos, tem-se o RLd (14,02km²) – Neossolo Litólico Distrófico típico, com fase rochosa, mais Cambissolo Háplico Distrófico léptico ou típico, ambos em relevo escarpado e montanhoso, com A moderado (CARVALHO FILHO *et al.*, 2003).

Em porções próximas ao divisor de água, no topo da Serra da Bocaina, ocorre a classe CXbd3 (3,35km²), formada por Cambissolo Háplico Distrófico típico mais Cambissolo Húmico Distrófico típico, ambos em relevo forte ondulado e montanhoso. Na transição entre as Serras Escarpadas e a Planície ocorre o CXbd6 (8,79km²), constituído pelo Cambissolo Háplico Distrófico típico, mais o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico e mais o Latossolo Amarelo Distrófico Típico, todos com A moderado ou proeminente, em relevo montanhoso e forte ondulado (CARVALHO FILHO *et al.*, 2003).

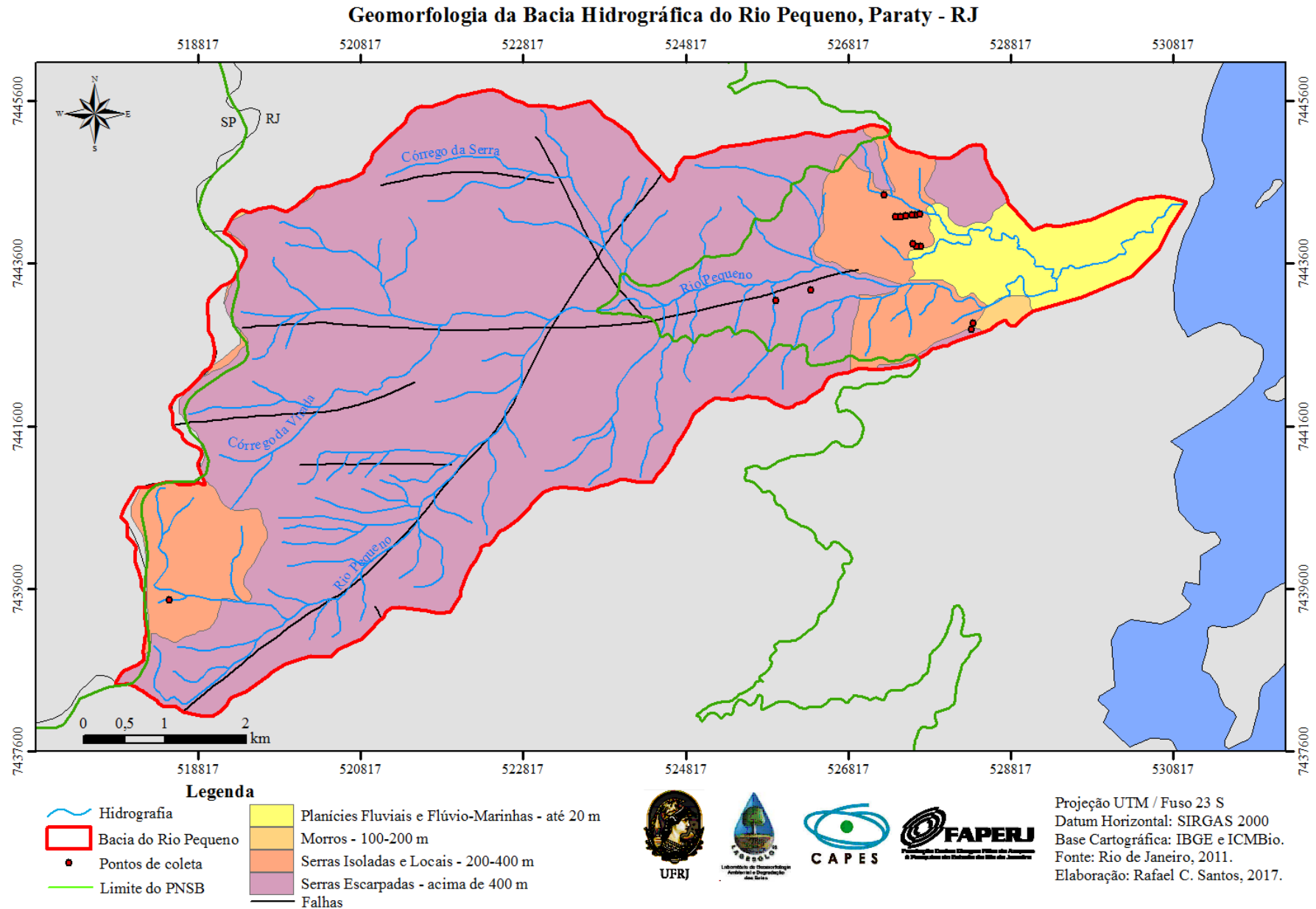


Figura 4: Geomorfologia da BHRP, Paraty – RJ. Fonte: Rio de Janeiro, 2011.

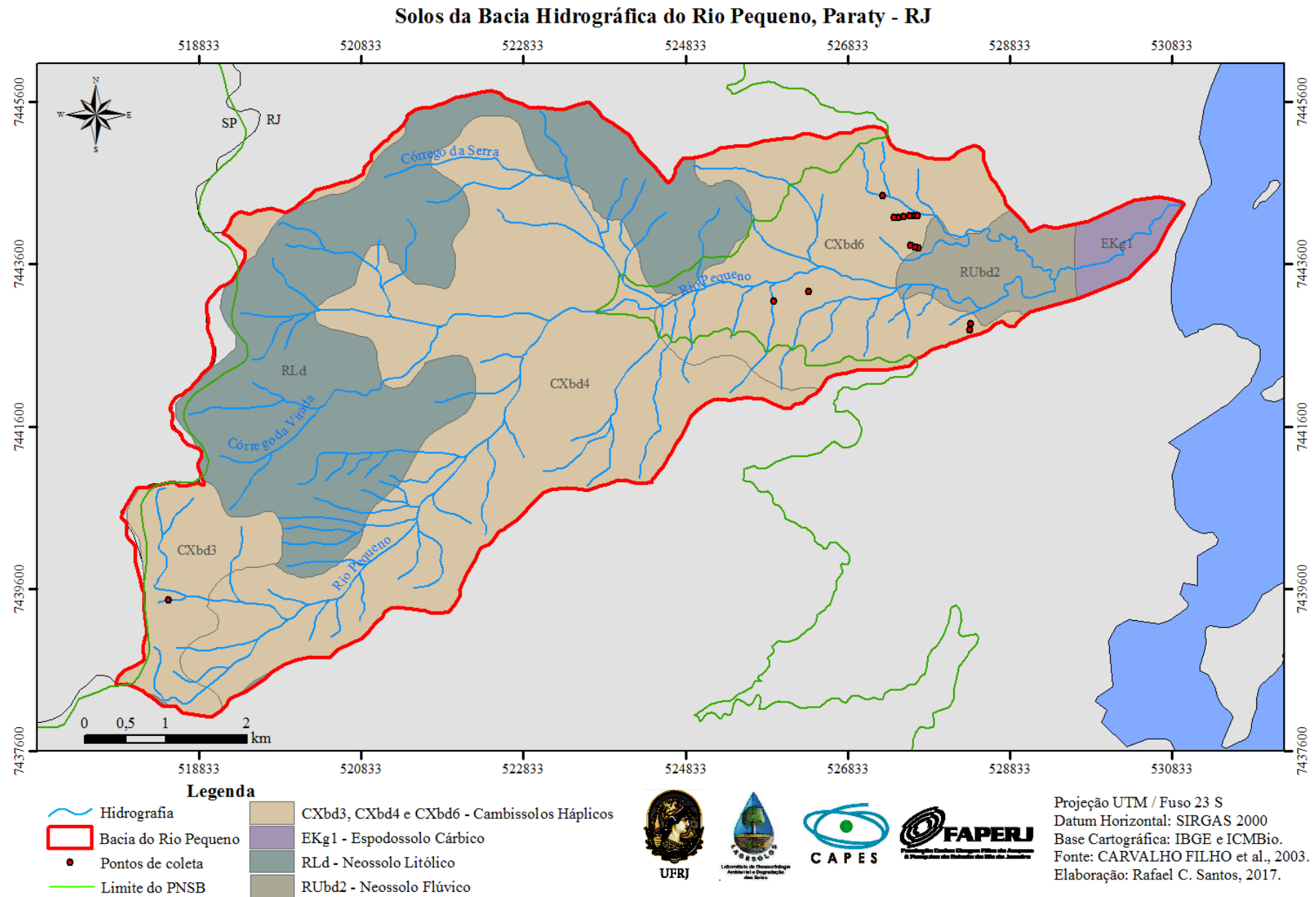


Figura 5: Solos da BHRP, Paraty – RJ. Fonte: Carvalho Filho *et al.*, 2003.

De maneira geral, os Cambissolos são pouco evoluídos, rasos a pouco profundos, com textura média e relação silte/argila elevada, e os Latossolos são evoluídos, profundos, textura média e argilosa, com boa drenagem. Ambos são ácidos e de baixa fertilidade (BRASIL, 2002).

Nas áreas de planície ocorrem uma complexa associação de solos, distribuídas em duas classes: RUBd2 (2,09km²), constituído por Neossolo Flúvico Distrófico gleico ou típico mais Gleissolo Háplico Distrófico típico, ambos ocorrem em relevo plano e possuem horizonte A moderado; e EKg1 (0,99km²), formado por Espodossolo Cárbico Hidromórfico arênico ou típico, mais Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico arênico ou típico, e mais o Neossolo Quartzarênico Órtico típico ou gleico, ambos em relevo plano (CARVALHO FILHO *et al.*, 2003). Parte desses solos são utilizados para cultivos temporários e pastagem, já outras porções, devido as oscilações do lençol freático, interferindo na disponibilidade de oxigênio, a acidez elevada, entre outras características, impõem certas limitações ao uso (BRASIL, 2002).

3.5 Vegetação e Histórico de Ocupação

A vegetação natural predominante na região é a Floresta Ombrófila Densa, porém existem ocorrências de outras formações vegetais, ambas constituídas por grande diversidade de espécies características do bioma da Mata Atlântica, resultado da combinação de atributos ambientais que criam essas diferenciações na paisagem (BRASIL, 2002). As mudanças de fatores topográficos, associados a litologia e aos aspectos climáticos, constituem influência marcante sobre a formação de diferentes tipos de solos e suas características. Assim como, o relevo também interfere na distribuição espacial das precipitações e temperaturas. Tudo isso contribui para a heterogeneidade da vegetação da região.

De acordo com o mapeamento da vegetação potencial do Rio de Janeiro, fundamentado principalmente em análises biogeográficas e bioclimáticas, há predomínio na área de estudo (figura 6) da Floresta Ombrófila Densa Montana (29,37km²), ocorrendo aproximadamente entre 500 e 1500 metros de altitude. Nas áreas mais elevadas, geralmente, acima de 1500 metros, ocorre a Floresta Ombrófila Densa Alto Montana (3,12km²). Entre as altitudes de 50 e 500 metros, ocorre a Floresta Ombrófila Densa Submontana (10,24km²), e, abaixo dos 50 metros de altitude, as formações de terras baixas (3,23km²).

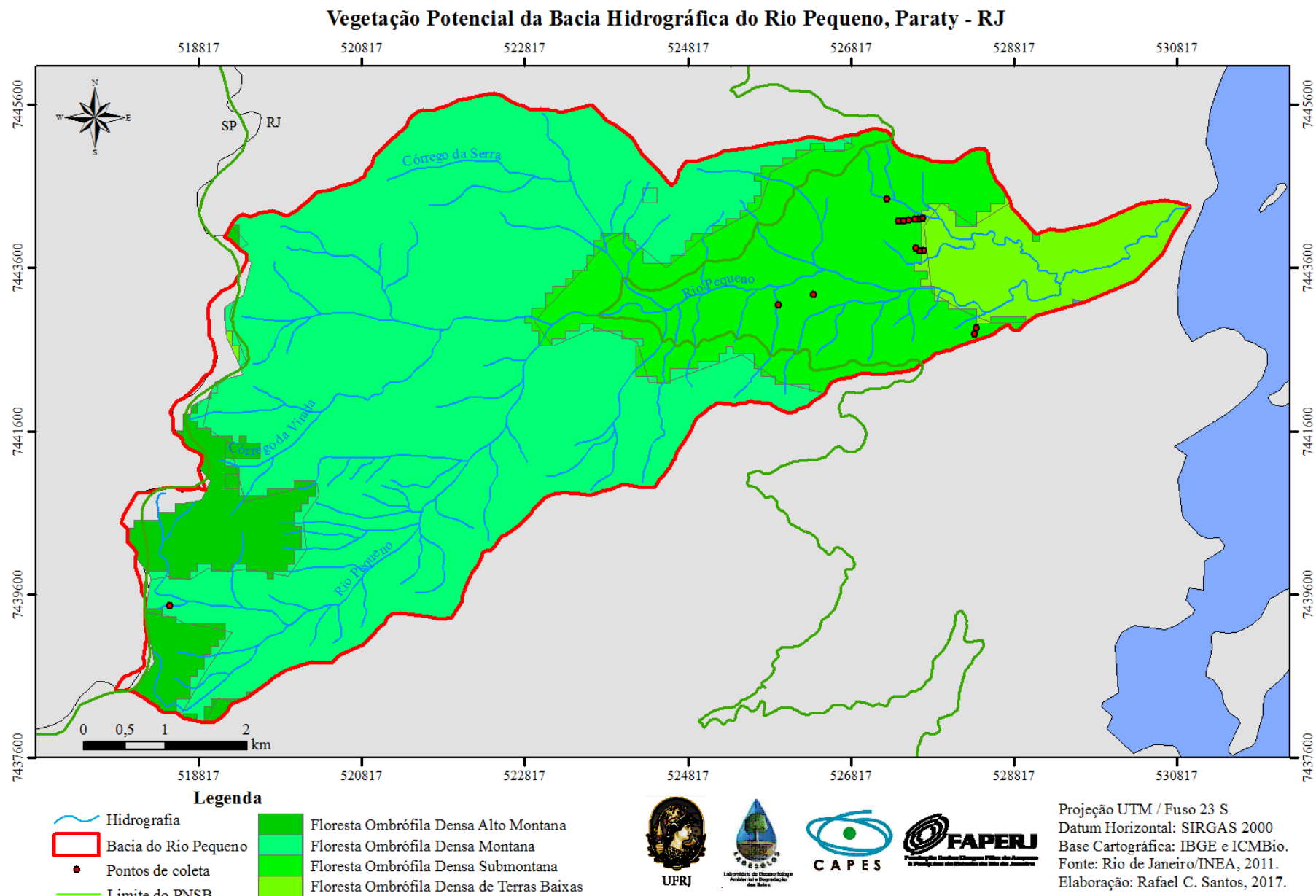


Figura 6: Vegetação Potencial da BHRP, Paraty – RJ. Fonte: Rio de Janeiro, 2011.

Contudo, as pressões das atividades humanas, desenvolvidas ao longo da ocupação territorial brasileira, deixaram e deixam suas marcas na paisagem. A cobertura vegetal natural foi quase que totalmente destruída e mesmo com a criação do PNSB, os remanescentes de Mata Atlântica e vegetação secundária continuam ameaçados. A população local da área de estudo é formada por famílias distribuídas de forma dispersa em pequenas propriedades, com produções variadas (banana, milho, feijão, mandioca, coco e café) e criação de animais (aves, bovinos, caprinos e equinos) (ALMEIDA, 1997; BRASIL, 2002).

Segundo Almeida (1997), antes da criação do PNSB predominavam os cultivos de subsistência, entre a maior parte dos pequenos produtores de Paraty, utilizando de técnicas como a coivara nas áreas de planície, onde se cultivava arroz, feijão, mandioca e cana-de-açúcar, e raleavam a mata nas encostas para se plantar bananeira. A agricultura, pecuária e extração de madeira e palmito eram praticadas livremente. Com a criação do Parque, essas atividades passaram a ser proibidas, sendo permitindo apenas o desenvolvimento de pesquisas e o turismo sustentável. Ainda segundo a autora, o Parque não foi implantado de maneira efetiva, desapropriando, indenizando e buscando dar alternativas, sobretudo, para os pequenos agricultores, em grande parte posseiros, que ali viviam, gerando uma situação conflituosa.

Através do mapeamento da Cobertura Vegetal, na escala de 1:25.000, realizado para o Rio de Janeiro (IBGE, 2017), fica evidente a distribuição da floresta e a ameaça da interferência antrópica na área de estudo (figura 7). Pode-se observar que mesmo dentro dos limites do PNSB, existe um eixo de ocupação que margeia o rio Pequeno, onde a floresta foi substituída por pastagem. De acordo com esse mapeamento, a floresta recobre 37,83km² da bacia, o campo antropizado, caracterizado pela interferência antrópica através do desmatamento e das queimadas, objetivando principalmente a extração de madeira e formação de pastagens, se estende por 7,83km², e, em menor proporção, têm-se a classe macega/chavascal e mangue correspondendo, respectivamente, a 0,42 e 0,04km².

Este cenário da BHRP e da região sul fluminense é resultado do seu histórico de ocupação. A região era ocupada pelos indígenas Guaianás, com a chegada dos europeus ao Brasil por volta do ano 1.500, ainda no início do período colonial, esta região passou a ser também ocupada pelos portugueses através do sistema de sesmarias (BRASIL, 2002; NASCIMENTO, 2005).

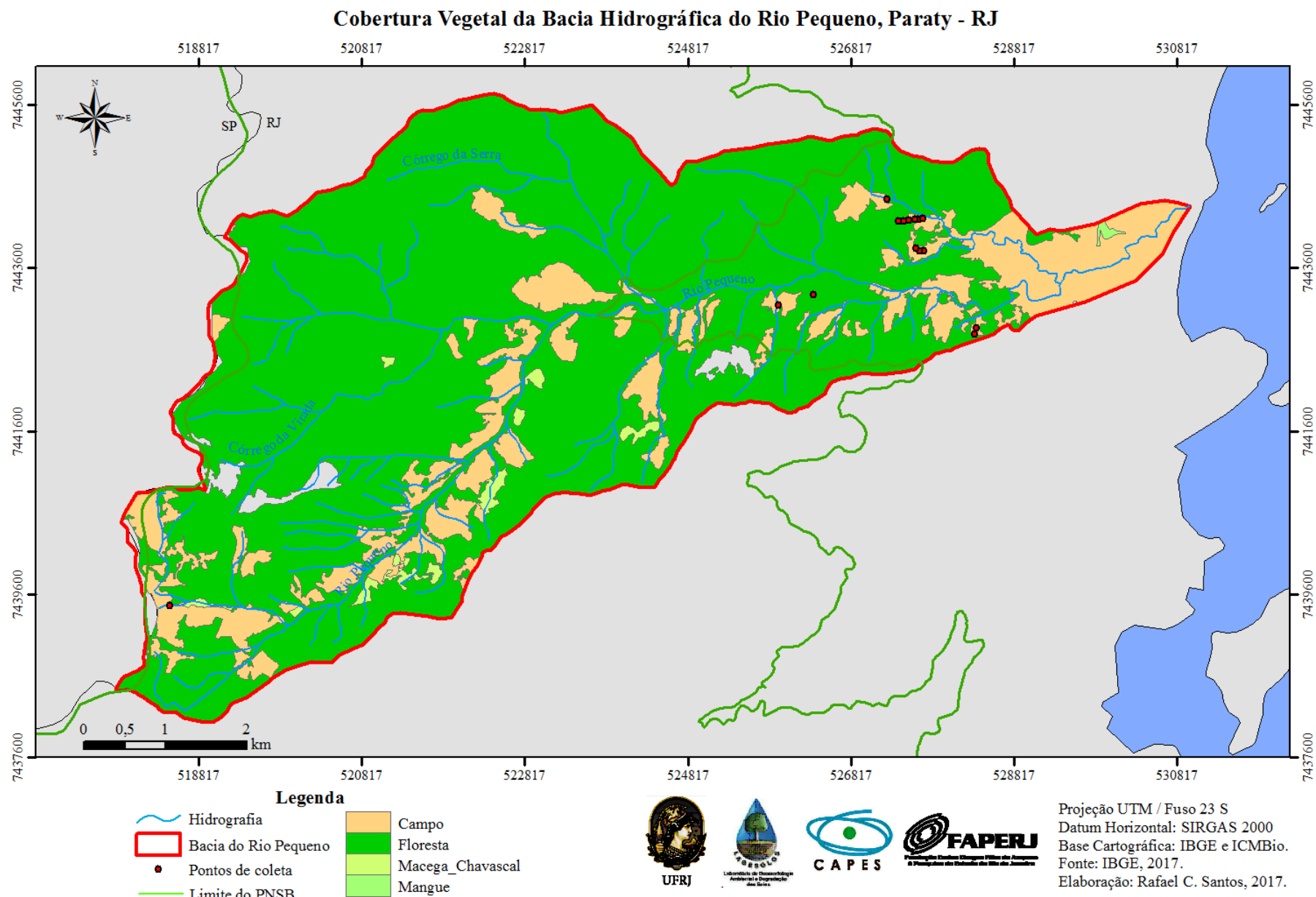


Figura 7: Cobertura Vegetal da BHRP, Paraty – RJ. Fonte: IBGE, 2017.

A localização dos primeiros núcleos de povoamento, no trecho onde futuramente seria criada a cidade de Paraty, possuía condições geográficas favoráveis à sua ocupação, por estar situada num local protegido na Baía da Ilha Grande, com oferta de água e planícies cultiváveis, além de possuir passagem pela Serra do Mar em direção ao interior, ocupando também um ponto intermediário entre os portos do Rio de Janeiro e Santos (BRASIL, 2002; NASCIMENTO, 2005).

Com o crescimento populacional e econômico, Paraty foi desmembrada do município de Angra dos Reis em 1667, elevada à condição de vila em 1720 e a cidade em 1844. Desenvolveram-se, principalmente, culturas de cana-de-açúcar e mandioca para produção de açúcar, aguardente, cachaça e farinha. Estes produtos eram exportados e/ou trocados em outras vilas e cidades, sobretudo, do Vale do Paraíba do Sul, passando pela trilha indígena Guaianá, através da Serra do Mar. Trilha esta (Caminho Velho ou Antigo Caminho do Ouro), que também foi utilizada no final do século XVII para escoamento do ouro vindo do interior de Minas Gerais e no início do século XIX do café produzido no Vale do Paraíba do Sul, ambos através do porto de Paraty, o segundo mais movimentado do Brasil no período colonial. Durante o Ciclo do Café, essa cultura chegou a ser implementada em algumas áreas do município, intensificando a destruição das matas (BRASIL, 2002; NASCIMENTO, 2005).

Tudo isso, associado às limitações impostas pelo relevo e solos para a expansão da agricultura, levaram a cidade a se dedicar ao comércio durante um longo período, sofrendo muitas vezes com o declínio dos grandes ciclos econômicos e/ou mudanças nas rotas comerciais (BRASIL, 2002; NASCIMENTO, 2005).

A partir de meados da segunda metade do século XIX, a cidade entra em decadência e passa por um período de certo isolamento, apresentando considerável êxodo populacional, decorrente da abertura da estrada de ferro em 1870, que ligava o Vale do Paraíba do Sul ao Rio de Janeiro, e também devido a abolição da escravatura em 1888, que era a principal mão-de-obra utilizada no cultivo da cana-de-açúcar, nos engenhos, na manutenção do Caminho do Ouro, na limpeza da cidade e dos rios (que devido ao acúmulo de galhos, acabavam espalhando suas águas pela planície de inundação). Por outro lado, esse isolamento preservou o patrimônio arquitetônico e a cultura tradicional da cidade, assim como, provavelmente reduziu as pressões sobre a Mata Atlântica (BRASIL, 2002; NASCIMENTO, 2005).

Nesse sentido, devido a importância histórica exercida por Paraty, ela foi considerada Patrimônio Histórico Estadual em 1945, tombada pelo Patrimônio Histórico e Artístico Nacional em 1958 e finalmente convertida em Monumento Nacional em 1966, passando também a incluir as áreas rurais do município. Então, objetivando proteger os remanescentes

florestais de Mata Atlântica, constituída por vasta biodiversidade, inclusive por espécies ameaçadas de extinção e endêmicas, foi criado o PNSB em 1971 (BRASIL, 2002; GOMES *et al.*, 2004; NASCIMENTO, 2005; NEVES, 2015).

Com a abertura da Rodovia Rio-Santos (BR-101) na década de 1970, a região passou a ser mais acessível, acelerando a urbanização, o crescimento populacional, a especulação imobiliária e o desenvolvimento do turismo, impulsionando a economia local/regional. Estas atividades intensificaram a ocupação da região, muitas vezes, sem o planejamento necessário e conservando práticas tradicionais de manejo, como as queimadas. A partir deste período foram criadas Unidades de Conservação para proteger os remanescentes florestais, muitos já degradados ao longo da história de colonização, e buscar manter o equilíbrio dinâmico deste sistema ambiental tão sujeito a atuação de processos geomorfológicos (ALMEIDA, 1997; DANTAS, 2000; BRASIL, 2002; SILVA, 2010; GUERRA *et al.*, 2013).

O município de Paraty possui área de 925km² (IBGE, 2015), abrigando 37.533 habitantes, sendo que apenas 9.844 residem na zona rural (IBGE, 2010). A economia se baseia sobretudo no turismo, além da pesca e das atividades agropecuárias. Entre os principais cultivos, se destacam a banana, a cana-de-açúcar e a mandioca. A pecuária extensiva conta com um rebanho bovino de aproximadamente 3.000 cabeças (IBGE, 2015).

Silva (2010) aponta que o processo de ocupação e uso indevido do solo em Paraty ocorre muitas vezes com o aval do poder público municipal, intervindo apenas em situações de desastres. A expansão urbana e rural no município, a especulação imobiliária, a grilagem de terras, a caça predatória, o extrativismo e a ocupação de encostas florestadas, muitas vezes pela população local e tradicional mais carente, constituem problemas para a conservação e gestão das UCs existentes no município (GOMES *et al.*, 2004; SILVA, 2010).

Assim, os conflitos entre a conservação e o uso da terra são evidentes, ainda existe ausência de diálogo entre as esferas de poder e suas ações. Faz-se necessário uma gestão integrada que envolva as diferentes esferas do governo, as ONGs e a população local. Contudo, mesmo entre as diferentes UCs administradas pelo mesmo órgão federal – o ICMBio – não há uma gestão compartilhada entre os administradores. Logo, para a conservação ambiental e o desenvolvimento, em bases sustentáveis, do município de Paraty, é preciso desenvolver estratégias que garantam uma gestão compartilhada e participativa entre os principais atores sociais (GOMES *et al.*, 2004; FONTES e GUERRA, 2016).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando alcançar os objetivos propostos, adotou-se um conjunto de procedimentos metodológicos baseados na literatura nacional e internacional, que foram realizados em diferentes etapas ao longo da pesquisa. Esses procedimentos podem ser sistematizados nas etapas a seguir: levantamentos bibliográficos e documentais, delimitação da área de estudo, trabalho de campo, análises em laboratório e mapeamentos temáticos.

4.1 Levantamento bibliográfico e documental

O levantamento bibliográfico sobre a temática estudada foi realizado ao longo do período da pesquisa, consultando monografias, dissertações, teses, livros e artigos nacionais e internacionais, visando elaborar o referencial teórico-conceitual e metodológico da dissertação. Para isso, o acervo das bibliotecas do LAGESOLOS, do Programa de Pós-Graduação em Geografia e do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza foram de fundamental importância. Além do acesso a artigos em periódicos nacionais e internacionais através do portal de periódicos da CAPES e das buscas *online* realizadas em anais de eventos e revistas.

Também foram feitos levantamentos documentais, recorrendo a documentos e dados, como cartas topográficas, mapas temáticos, imagens de satélite, pluviosidade, anuários estatísticos, entre outros, em órgãos como a Prefeitura Municipal de Paraty, Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Estadual do Ambiente – INEA, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBIO, Centro de Pesquisa e Recurso Mineral – CPRM, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS.

Os documentos cartográficos adquiridos foram processados no *software* ArcGIS 10.1, o Datum horizontal foi convertido para SIRGAS 2000 e produzido os mapas temáticos sobre a área de estudo. A principal base cartográfica foi obtida através das cartas topográficas do IBGE de 1974, na escala de 1:50.000, utilizando as curvas de nível e a hidrografia. Também foram adquiridas bases temáticas de geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal e limites do PNSB, além de imagens de satélite para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra (quadro 1).

Quadro 1: Bases cartográficas e temáticas utilizadas.

Dados	Formato	Órgão/Fonte	Ano	Escala/Resolução
Cartas topográficas (folhas SF.23-Z-C-I-1 e SF.23-Z-C-I-2)	Vetor	IBGE	1974	1:50.000
Limite do PNSB e zona de amortecimento	Vetor	ICMBio	-	-
Geologia	PDF	CPRM	2000	1:500.000
Geomorfologia	Vetor	INEA	2011	1:100.000
Solos	Vetor	EMBRAPA	2003	1:250.000
Vegetação potencial	Vetor	INEA	2011	1:100.000
Cobertura vegetal	Vetor	IBGE	2017	1:25.000
Imagem Landsat 5 – GLS (órbita/ponto 218/76)	GeoTIFF	USGS	1986	30 m
Imagem Landsat 7 – GLS (órbita/ponto 218/76)	GeoTIFF	USGS	2000	30 m
Imagem Rapideye (cenas 2328415 e 2328416)	GeoTIFF	MMA	2012	5 m

4.2 Delimitação da Área de Estudo

A escolha por estudar o litoral sul fluminense ocorreu devido aos projetos desenvolvidos pelo LAGESOLOS, voltados para a degradação dos solos pela erosão e o diagnóstico de áreas degradadas, nessa região que abriga um dos maiores remanescentes da mata atlântica no Estado. A bacia hidrográfica do rio Pequeno – BHRP foi selecionada para este trabalho em função das atividades humanas ali desenvolvidas e seu possível impacto sobre a conservação da mata atlântica, protegida por UC.

A delimitação da área de estudo foi feita através da articulação em ambiente SIG das cartas topográficas SF.23-Z-C-I-1 de Cunha e SF.23-Z-C-I-2 de Parati, na escala de 1:50.000, através do *software* ArcGIS 10.1, e, posterior, criação do polígono correspondente a bacia em estudo. Para a caracterização da área baseou-se nas referências bibliográficas e documentais levantadas. Para analisar a distribuição temporal das chuvas da estação pluviométrica São Roque, os dados de chuva fornecidos pela ANA foram tratados no *Excel* e elaborado o pluviograma, segundo a metodologia proposta por Silva (2001 *apud* SOUZA e SILVA, 2013).

Assim como, a atividade de campo para reconhecimento da bacia, realizada em 30 de setembro e 01 de outubro de 2015, foi de suma importância para a caracterização. Durante o trabalho de campo de reconhecimento constatou-se que a área de estudo ainda preserva importantes remanescente de mata atlântica, porém, sobretudo na zona de amortecimento do PNSB, a pressão antrópica põe em risco este ambiente através do desmatamento para a inserção de pastagem e agricultura, utilizando de técnicas inadequadas.

4.3 Trabalho de Campo

Os trabalhos de campo tiveram como objetivo realizar observações, anotações e registros fotográficos da paisagem na área de estudo, dialogar com os produtores rurais e coletar amostras de solo. Foram feitos três trabalhos de campo, respectivamente, nas datas de 30 de novembro a 1 de dezembro de 2015, de 3 a 4 de maio de 2016 e de 18 a 19 de julho de 2017.

Os critérios utilizados na escolha dos pontos de coleta foram baseados, previamente, em observações de imagens de satélite no *Google Earth*, onde a cobertura vegetal foi o fator decisivo, haja vista que nas áreas com pastagem e agricultura o solo se encontra mais exposto e foram observados sinais de processos erosivos. Procurou-se coletar as amostras no terço médio da encosta, onde a velocidade do escoamento superficial tende a ter maior potencial erosivo (MORGAN, 2005), levando em considerações o tipo de solo predominante, as características da encosta e o uso/cobertura da terra.

Durante os trabalhos de campo, o acesso aos locais previamente selecionados foi dificultado por conta da chuva, das péssimas condições das estradas rurais e, principalmente, pela falta de autorização dos produtores rurais para acessar suas propriedades. Um estudo da Fundação Nacional do Índio – FUNAI, avalia a possibilidade de identificar e abranger a delimitação da área de terras de uma comunidade indígena que vive na bacia, este fato tem deixado os proprietários rurais (muitos são caiçaras e outros novos moradores) da área extremamente preocupados e intransigentes.

Nesse sentido, não foi possível acessar certas áreas da bacia, então, as coletas ficaram concentradas na zona de amortecimento, seguindo critérios pré-estabelecidos (figura 1). As coletadas de amostras volumétricas, deformadas e indeformadas da camada superficial do solo foram feitas nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, onde se observa maior influência das atividades humanas sobre algumas propriedades do solo, fundamentais para sua resistência à erosão (figura 8). O fato de reconhecer que o topo do solo está sujeito a ocorrência de mais impactos do que em camadas mais profundas e, conseqüentemente, pode acarretar em alterações de suas propriedades físicas e químicas, quando associado a outros fatores controladores pode acelerar a atuação de processos erosivos causados pela água (ARAÚJO *et al.*, 2007; BRADY e WEIL, 2008; PEREIRA e THOMAZ, 2015; PEREIRA *et al.*, 2016).

Além disso, foram selecionadas duas encostas da BHRP correspondendo a zona de amortecimento do PNSB, onde se fez um transecto da média até a baixa encosta. O comprimento da encosta foi medido com utilização de uma trena, as formas das encostas em

planta e perfil também foram observadas, assim como a declividade. O uso e cobertura da terra se divide em floresta, cultivo temporário (madioca) recém-plantado e cultivo permanente (coqueiro) plantado a mais de 10 anos, no transecto A; já no transecto B, foi selecionada uma encosta numa área de pastagem que está sendo utilizada para esta função há mais de 15 anos. Ao longo das encostas foram coletadas amostras de solo nas profundidades citadas anteriormente, a fim de analisar a erodibilidade ao longo do transecto com usos representativos da área de estudo.



Figura 8: Marcando coordenadas (a), coleta em pastagem no terço médio da encosta (b), coleta de amostra volumétrica na profundidade de 0-10 cm (c) e coleta de bloco de solo indeformado (d) durante trabalhos de campo na BHRP, Paraty – RJ. Fotos: Rafael C. Santos, 2015 e 2016.

Em cada ponto foram coletadas 3 (três) amostras volumétricas e 1 (um) deformada para cada profundidade, e 1 (um) bloco indeformado na profundidade de 0-10 cm (figura 8). As amostras volumétricas foram coletadas utilizando anéis de Kopeck de 100 cm³, visando determinar a densidade aparente do solo, a densidade real e a porosidade total. As amostras deformadas foram utilizadas para a determinação da granulometria, pH, carbono orgânico e matéria orgânica. Já através dos blocos de solo foram feitas análises para verificar a estabilidade de agregados por via úmida. Além disso, em cada ponto a declividade da encosta foi medida

por meio de uma bússola *Brunton* com clinômetro e as coordenadas adquiridas com a utilização de um GPS *Garmin 60*.

4.4 Análises em Laboratório

Os procedimentos laboratoriais para análise dos atributos do solo podem ser subdivididos em: análises físicas – densidade aparente, densidade de partículas, porosidade total, granulometria e estabilidade de agregados; e análises químicas – pH e matéria orgânica. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Geomorfologia Maria Regina Mousinho de Meis no Departamento de Geografia da UFRJ, seguindo as orientações do Manual de Métodos de Análise do Solo da EMBRAPA (1997) e do método de Yoder (1936) modificado por Castro Filho *et al.* (1998) e Castro Filho *et al.* (2002).

A densidade aparente, oferece conhecimento sobre a compactação do solo, foi determinada através do método do anel volumétrico, com processo de secagem da amostra na estufa a 105°C e pesagem em balança de precisão, utilizando o cálculo:

- Densidade Aparente (g/cm^3) = peso da amostra seca (g) / volume do anel (cm^3).

A densidade de partículas determina o volume de sólidos numa amostra, seus resultados são utilizados para calcular a porosidade total, o método utilizado foi do balão volumétrico com álcool. Para sua determinação foi verificado o volume de álcool gasto para preencher um balão volumétrico de 50 ml contendo 20g de solo seco em estufa a 105° e aplicando os valores a fórmula:

- Densidade de partículas (g/cm^3) = peso da amostra seca (g) / (50 – volume de álcool gasto (cm^3)).

A porosidade total, se refere ao volume total de poros no solo ocupados por ar, água e raízes. Esta propriedade é inversamente proporcional a densidade aparente, ou seja, quanto maior a densidade aparente menor a porosidade total e vice-versa, interferindo na capacidade de infiltração de água no solo. Através dos resultados de densidade aparente e densidade de partículas, utiliza-se o cálculo:

- Porosidade total (%) = $100 (\text{densidade real} - \text{densidade aparente}) / \text{densidade real}$.

A análise granulometria é considerada uma das propriedades mais importantes no estudo da erosão devido a facilidade em que algumas frações granulométricas são removidas. De acordo com as diferentes combinações das frações de areia grossa (2,0-0,2 mm), areia fina (0,2-0,053 mm), silte (0,053-0,002 mm) e argila (<0,002 mm) encontradas no solo (EMBRAPA, 1997), será determinada sua classe textural e verificado junto com outras

propriedades a maior ou menor erodibilidade do solo (MORGAN, 2005; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Neste procedimento, se utilizou o método da pipeta (dispersão total), onde numa porção de 20g da amostra de Terra Fina Seca ao Ar – TFSA foi adicionado hidróxido de sódio (NaOH) e água destilada, a mistura foi agitada e deixada em repouso por 24 horas. Depois, foi levada ao agitador elétrico por 15 minutos, lavada na peneira de 0,053 mm, retendo a fração areia e escoando a fração silte e argila que foi armazenada numa proveta de 1000 ml (figura 9). O material da proveta foi agitado por 20 segundos, mediu-se a temperatura da água que determina o tempo de repouso necessário para a decantação do silte. Logo após o repouso, foi introduzida uma pipeta de 50 ml na profundidade de 5 cm da proveta, coletando a fração argila. As frações de areia e argila foram levadas a estufa por 24 horas a 105°C, levadas ao dessecador por 40 minutos e pesadas, sendo a fração areia peneirada na malha de 0,2 mm para separar areia fina da areia grossa. Ao final, cada fração foi definida utilizando as expressões da EMBRAPA (1997).



Figura 9: Análise granulométrica: amostras em repouso com dispersante químico (a), agitador elétrico (b), lavagem do solo (c) e argila em decantação na proveta de 1 L (d). Fotos: Rafael C. Santos, 2016.

A estabilidade de agregados, refere-se à capacidade dos agregados do solo em manter sua estabilidade quando em contato com água, possui estreitas relações com os teores de argila (e a mineralogia das argilas) e/ou matéria orgânica do solo, interferindo em sua porosidade e eficiência hidrológica (GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). Sua análise foi realizada no equipamento chamado Yoder, seguindo os seguintes procedimentos: homogeneização da amostra, passando o solo na peneira com malha de 4 mm e retendo os agregados na peneira de 2 mm; pesagem de 25 g de solo em triplicata, sendo uma amostra levada a estufa a 105°C e duas amostras são umedecidas; as amostras umedecidas foram colocadas num jogo de peneiras do equipamento (2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,250 mm; 0,125 mm) e submetidas a oscilações verticais na água durante 15 minutos com frequência de 32 rotações por minuto; decorrido o tempo, os agregados retidos em cada peneira são levados a estufa a 105°C durante 24 horas e levados ao dessecador (figura 10).

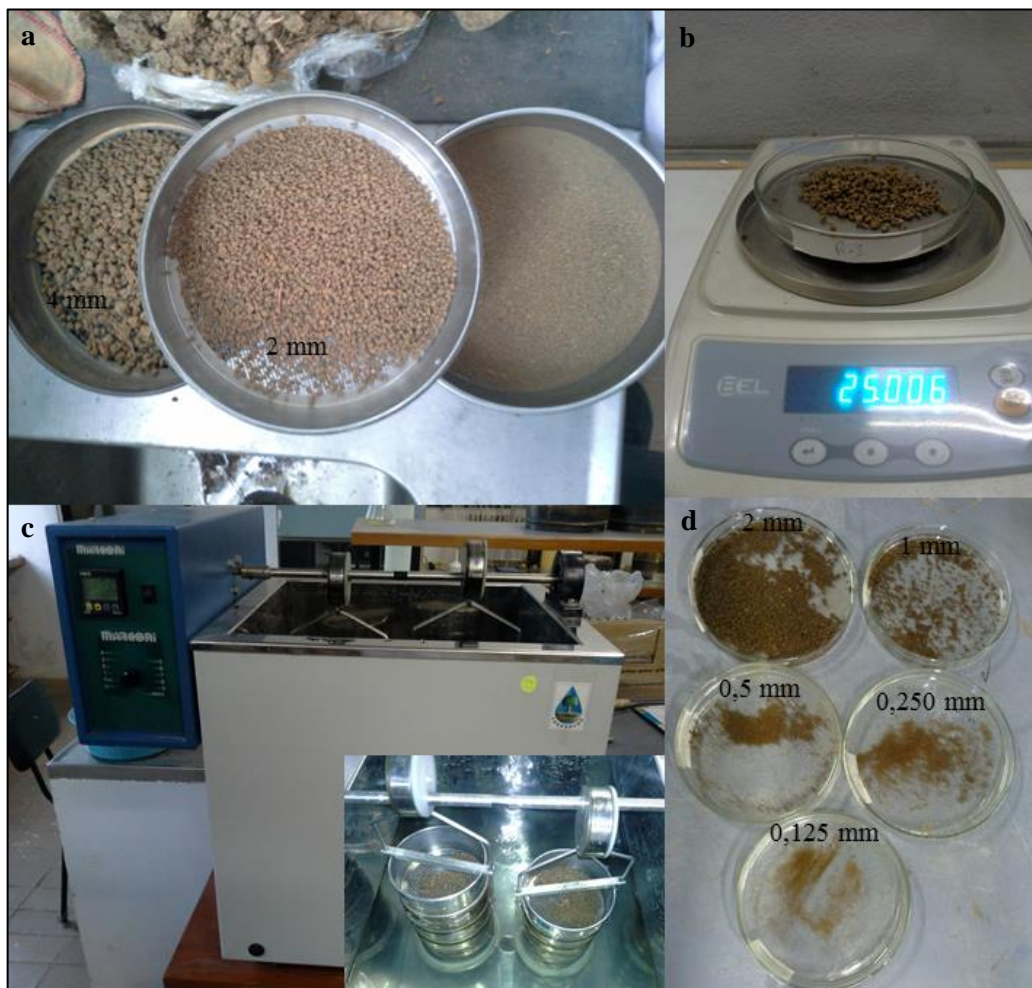


Figura 10: Análise da estabilidade de agregados: homogeneização dos agregados (a), pesagem das amostras (b), aparelho de Yoder com dois jogos de peneiras (c) e agregados retidos em cada peneira do Yoder (d). Fotos: Rafael C. Santos, 2016.

Após pesadas as amostras, os resultados foram utilizados nos cálculos do Diâmetro Médio Ponderado – DMP, Diâmetro Médio Geométrico – DMG e Índice de Estabilidade dos Agregados – IEA utilizando as equações de Kemper e Rosenau (1986) modificadas por Castro Filho *et al.* (2002), onde:

- DMP (mm) = $\sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$, em que w_i = proporção (%) de cada classe em relação ao total e x_i = diâmetro médio das classes, expresso em mm;
- DMG (mm) = $\exp \frac{\sum w_i \ln x_i}{\sum w_i}$, em que w_i = proporção (%) de cada classe em relação ao total e x_i = diâmetro médio das classes, expresso em mm;
- IEA (%) = $\frac{\text{peso total dos agregados} - \text{peso dos agregados } < 0,25\text{mm}}{\text{peso da amostra seca}} \times 100$.

O pH determina a acidez ou alcalinidade do solo, característica que vai influenciar diretamente em sua fertilidade. Assim como, é utilizado em estudos sobre erosão de solos em consonância com outras propriedades e indicadores, sendo importante na CTC e indicação de condições químicas que favorecem a atividade biológica interferindo na estabilidade dos agregados (PRIMAVESI, 2002; FONSECA, 2012; GUERRA, 2013). A medida do pH foi feita através de um Potenciômetro com eletrodo combinado imerso em suspensão solo:água, 1:2,5 (EMBRAPA, 1997).

E o carbono orgânico e matéria orgânica, exercem forte influência nas propriedades físicas e químicas do solo, sendo que a matéria orgânica possui entorno de 58% de carbono orgânico (PRIMAVESI, 2002). O teor de matéria orgânica no solo é muito importante no estudo de processos erosivos, principalmente, por contribuir para a estabilidade de agregados, aumentando a eficiência hidrológica e a CTC do solo (PRIMAVESI, 2002; MORGAN, 2005; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). A análise foi feita pela oxidação de matéria orgânica por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, sendo titulado o excesso de dicromato após a oxidação com solução de sulfato ferroso amoniacal (figura 15). Em seguida, utilizou-se as expressões:

- Carbono orgânico (g/kg) = $(40 - \text{volume gasto}) \cdot f \cdot 0,6$, onde $f = 40/\text{volume de sulfato ferroso gasto na prova em branco}$;
- Matéria orgânica (g/kg) = Carbono orgânico (g/kg) x 1,724.

Todas as análises laboratoriais foram feitas em triplicata, calculando-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Também, foram realizadas análises química de rotina para fins de fertilidade do solo na EMBRAPA Solos, através de três amostras deformadas coletadas em floresta, cultivo permanente e pastagem, na profundidade de 0-10 cm. A finalidade dessa análise foi observar a influência do uso e manejo do solo sobre a fertilidade e,

consequente, influencia sobre a qualidade do solo na área de estudo, podendo interferir na erodibilidade.



Figura 11: Análise de matéria orgânica: trituração do solo em gral (a), amostras de solo triturado e peneirado são pesadas em Erlenmeyer (b), aquecimento da solução em placa elétrica (c), solução antes do aquecimento (d), solução com indicador (e) e titulação (f). Fotos: Rafael C. Santos, 2016.

4.5 Mapeamentos Temáticos

Nessa etapa foram elaborados mapas temáticos de hipsometria, sombreamento, declividade, orientação das encostas, forma das encostas e uso e cobertura da terra. Todos esses mapas são apresentados nos resultados e discussão deste trabalho.

A elaboração do mapa de uso e cobertura da terra foi realizada no *software* SPRING 5.5.0 a partir das imagens Landsat da *Global Land Survey* – GLS, capturadas em 16/09/1986 e 26/06/2000, e das imagens Rapideye de 21/07/2012 (quadro 1). As classes temáticas de uso e cobertura da terra foram definidas de acordo com as observações feitas em campo e nas imagens de satélite do *Google Earth*, seguindo as orientações do Manual Técnico de Uso da Terra do

IBGE (2013), resultando nas seguintes classes: áreas de vegetação natural, áreas antrópicas agrícolas, solo exposto, afloramento rochoso, água e sombra.

Para o mapeamento das imagens utilizou-se a classificação supervisionada por região, técnicas que consistem no reconhecimento de áreas homogêneas, através da interação com o fotointérprete. Selecionou-se as bandas 543/RGB para as imagens Landsat e 352/RGB para as imagens Rapideye, as quais foram realçadas através da aplicação de contraste (figura 12). Em seguida, foi feita a segmentação por crescimento de região, a fim de agrupar os pixels vizinhos com características homogêneas, utilizando os valores de similaridade 5 e 25 e área do pixel 10 e 30, respectivamente, para as imagens Landsat e Rapideye. Os valores de similaridade e área do pixel foram definidos após realizar diversos testes, sendo esses os valores que apresentaram os melhores resultados para agrupar as feições das imagens em regiões e formar menos polígonos indevidos (SANTOS *et al.*, 2010).

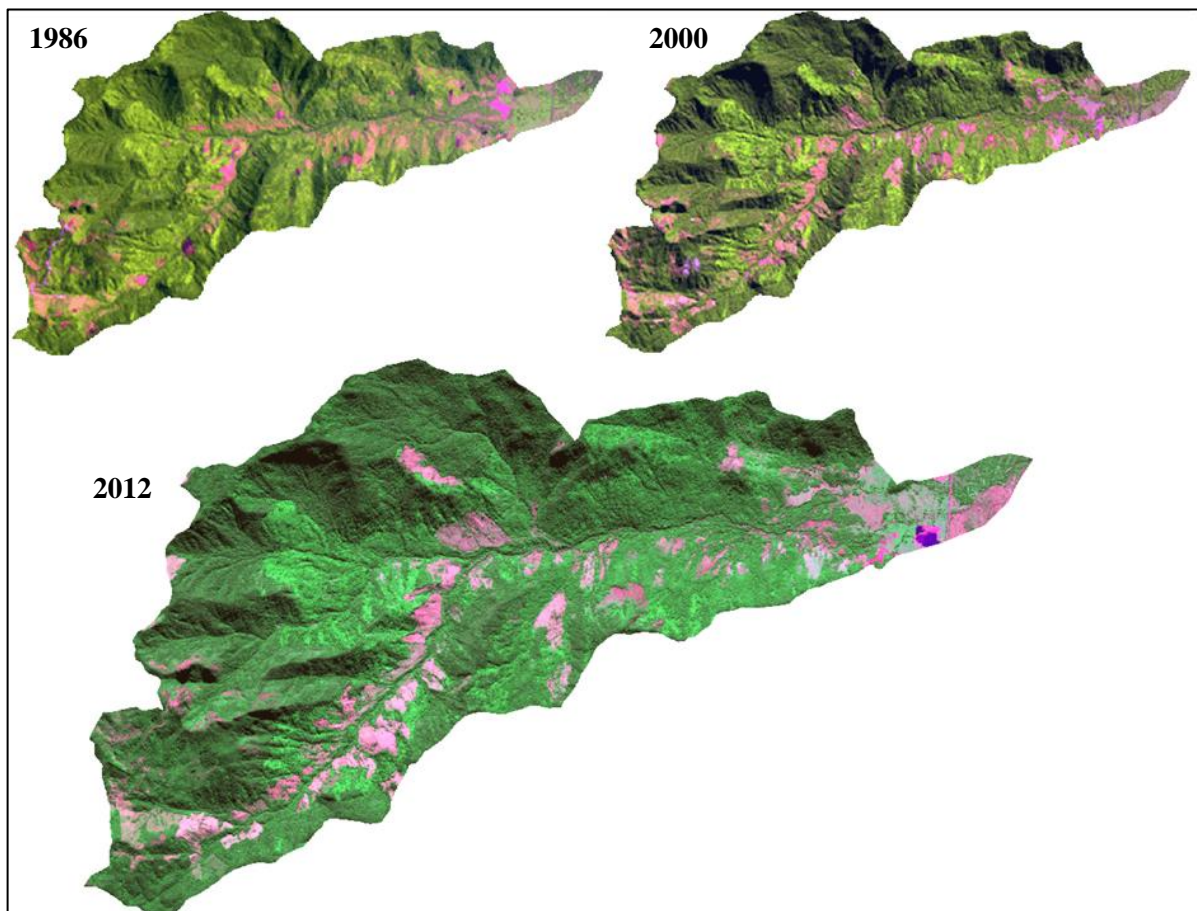


Figura 12: Composições RGB das imagens de satélite após a aplicação do realce de contraste.

As imagens segmentadas foram então classificadas empregando o classificador Battacharya, com limiar de aceitação de 95%, para isso foram adquiridas amostras de regiões das diferentes classes temáticas estabelecidas. Por fim, o mapa matricial gerado foi convertido

para vetor e realizado a edição vetorial para checagem e correção de erros. O layout dos mapas finais foi feito no ArcGIS 10.1 (SANTOS *et al.*, 2010).

Através das curvas de nível com equidistância de 20 m e da hidrografia das cartas topográficas da área de estudo, na escala de 1:50.000, foi criado um Modelo Digital de Elevação – MDE, que constitui uma representação digital contínua do relevo no espaço, muito utilizados em estudos de bacias hidrográficas (FERNANDES e MENEZES, 2005; FITZ, 2008). A estrutura matricial do MDE armazena em suas células valores de altitude que permitem calcular variáveis topográficas através da modelagem do relevo, levando em consideração a relação entre as células (VALERIANO, 2008; SALGADO *et al.*, 2011).

Para a elaboração do MDE foi utilizada a ferramenta *Topo to Raster*, na extensão *3D Analyst Tools* do módulo *ArcToolbox* do ArcGIS 10.1. Esta interpolação leva em consideração não apenas os dados de altitude, mas também a direção da drenagem, permitindo suavizar e aumentar a precisão para criar um modelo da superfície hidrologicamente consistente (FERNANDES e MENEZES, 2005; SALGADO *et al.*, 2011). O *raster* foi gerado com células de 25x25 metros e utilizado na criação dos mapas temáticos no ArcGIS 10.1.

O mapa hipsométrico foi elaborado através do fatiamento da altitude em classes, sobre o qual foi sobreposto o relevo sombreado com 55% de transparência. O sombreamento do relevo foi feito através da ferramenta *Hillshade*, na extensão *3D Analyst Tools*, utilizando o MDE da área de estudo.

Para a elaboração do mapa de declividade optou-se pela declividade em grau, que corresponde ao ângulo de inclinação entre dois pontos em relação a distância horizontal entre eles, podendo variar de 0 a 90 graus. Os intervalos e sua influência nos processos erosivos foram baseados no trabalho de Lima (2010), por sua vez, baseado nos estudos de Ross (1994) e IBGE (2009), sendo definidas cinco classes: 0-3° (muito fraca), 3-8° (fraca), 8-20° (moderada), 20-45° (forte) e maior que 45° (muito forte). Foi criado através da ferramenta *Slope*, na extensão *3D Analyst Tools*, utilizando o MDE da área de estudo.

O mapa de orientação das encostas foi gerado através da ferramenta *Aspect*, na extensão *3D Analyst Tools*, utilizando o MDE da área de estudo. A ferramenta se baseia na direção de declive do pixel em relação aos pixels vizinhos, obtendo resultados de orientação variando de 0 a 360 graus.

O mapa de forma das encostas foi gerado através da ferramenta *Curvature*, na extensão *3D Analyst Tools*, utilizando o MDE da área de estudo. Essa ferramenta leva em consideração a combinação da curvatura em planta e perfil, obtendo resultados expressos em valores negativos indicando encostas côncavas, positivos para encostas convexas e igual a zero para

encostas planas/retilíneas, contudo, não existem encostas absolutamente planas na realidade, permitindo, assim, considerar valores entre -0,1 e 0,1 para encostas planas (VALERIANO e ALBUQUERQUE, 2010; SILVEIRA e SILVEIRA, 2016).

Os mapas gerados foram então convertidos de *raster* para polígono, através da ferramenta *Raster to Polygon* na extensão *Conversion Tools* do módulo *ArcToolbox*. As classes temáticas foram então quantificadas. Também foram realizados cruzamentos de dados entre os mapas através da ferramenta *Tabulate Area*, na extensão *Spatial Analyst Tools* do módulo *ArcToolbox* do ArcGIS 10.1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Atributos geomorfológicos

Os atributos geomorfológicos fornecem informações relevantes no estudo da erosão dos solos. As características das encostas variam muito na superfície da Terra, mesmo em escalas grandes do terreno, e suas alterações pelas atividades humanas podem acarretar na aceleração de processos geomorfológicos, responsáveis pela evolução do relevo (FAVIS-MORTLOCK, 2012; GUERRA, 2015).

O conhecimento de parâmetros como altitude, declividade, forma das encostas, orientação das encostas, entre outros, são importantes para se caracterizar o relevo de forma mais completa (VALERIANO, 2008). Permitindo fazer observações sobre a dinâmica dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos sobre a superfície (SALOMÃO, 2012; COELHO NETTO, 2013).

As classes hipsométricas mostram o elevado desnível topográfico apresentado pela bacia hidrográfica do rio Pequeno – BHRP e, através do sombreamento do relevo, fica nítido a espacialização das unidades morfoesculturais, com predomínio de serras escarpas com topos rochosos (figura 13 e tabela 1). A amplitude altimétrica é de aproximadamente 1.840 m, com as cotas mais baixas próximas a 0 m e a curva de nível mais alta com 1.840 m, indicando elevada energia potencial para ocorrência do escoamento superficial. Apesar da resistência das rochas, a rede de drenagem possui forte potencial erosivo, incidindo sobre o relevo formando vales profundos com leitos pedregosos, assim como evidenciado por Ross *et al.* (2014). O limite do PNSB se estende entre a classe de 300-500 m e o topo da Serra da Bocaina, na divisa entre os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

A declividade é um parâmetro comumente utilizado para estabelecer critérios para uso adequado do relevo, identificando áreas suscetíveis à morfogênese (IBGE, 2009; CUNHA e GUERRA, 2011; SILVEIRA e SILVEIRA, 2016). Ela pode transformar a energia potencial em energia cinética, acelerando a velocidade do fluxo superficial e sua capacidade de transporte, sobretudo, quando o solo está sem cobertura vegetal. Assim como, encostas com declividades mais baixas podem favorecer o processo de infiltração (SELBY, 1993; MACHADO, 2014).

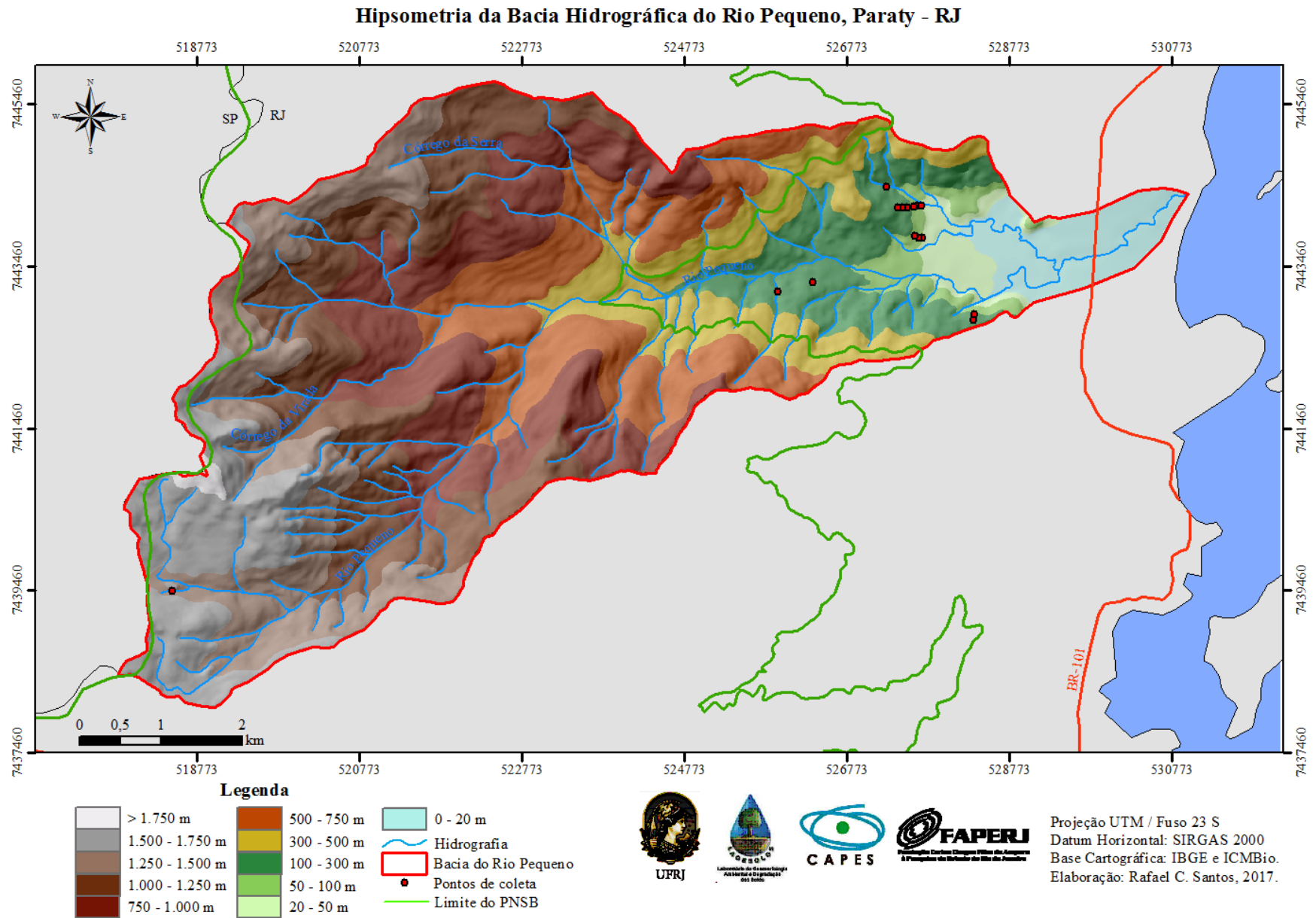


Figura 13: Hipsometria da BHRP, Paraty – RJ.

A classe de declividade predominante é a de 20-45° (figura 14 e tabela 1), ocupando uma área de 28,5 km² correspondendo a 61% da bacia, indicando forte influência para atuação de processos erosivos, como também de movimentos de massa, devido o predomínio do escoamento superficial semiconcentrado e concentrado (IBGE, 2009; FERNANDES e AMARAL, 2011). Seguida pela classe de 8-20° que ocupa 13,3 km² (28%) e apresenta influência moderada aos processos erosivos, se estendendo principalmente pelos fundos de vales. Nas classes com declividade inferiores a 8°, a pedogênese é predominante e os solos tendem a ser mais desenvolvidos (ROSS, 2006; IBGE, 2009). As duas classes com declividades menores que 8° totalizam 10% da bacia e de maneira geral, estão concentradas próximas a Baía da Ilha Grande nas altitudes de até 100 m. Enquanto que a classe com declividade superior a 45° ocupa apenas 1% da área de estudo.

O PNSB ocupa 36 km² da BHRP, ou seja, 76% da área de estudo. Desse total de 36 km², 68% possui declividade entre 20-45° e outros 28% de 8-20°, sendo um dos fatores relevantes na delimitação da área do Parque, indicando fortes restrições ao uso do solo, e alta suscetibilidade aos processos morfogenéticos (gráfico 2). As classes com predomínio de declividades acentuadas também foram encontradas em outras bacias hidrográficas sobre a Serra da Bocaina, a exemplo dos trabalhos de Silva (2014) e Neves (2015), respectivamente, nas bacias dos rios Perequê-Açú e Mateus Nunes em Paraty – RJ.

Tabela 1: Classes hipsométricas e declividade da BHRP, Paraty – RJ.

Hipsometria			Declividade		
Classes (m)	Km ²	%	Classes (°)	Km ²	%
0 - 20	2,17	4,6	0 - 3	2,06	4,4
20 - 50	0,95	2,0	3 - 8	2,47	5,3
50 - 100	0,94	2,0	8 - 20	13,30	28,4
100 - 300	3,76	8,0	20 - 45	28,54	61,0
300 - 500	4,92	10,5	>45	0,45	1,0
500 - 750	6,97	14,9	-	-	-
750 - 1000	8,43	18,0	-	-	-
1000 - 1250	7,50	16,0	-	-	-
1250 - 1500	6,60	14,1	-	-	-
1500 - 1750	4,43	9,4	-	-	-
> 1750	0,16	0,3	-	-	-
Total	46,83	100,0	-	46,82	100,0

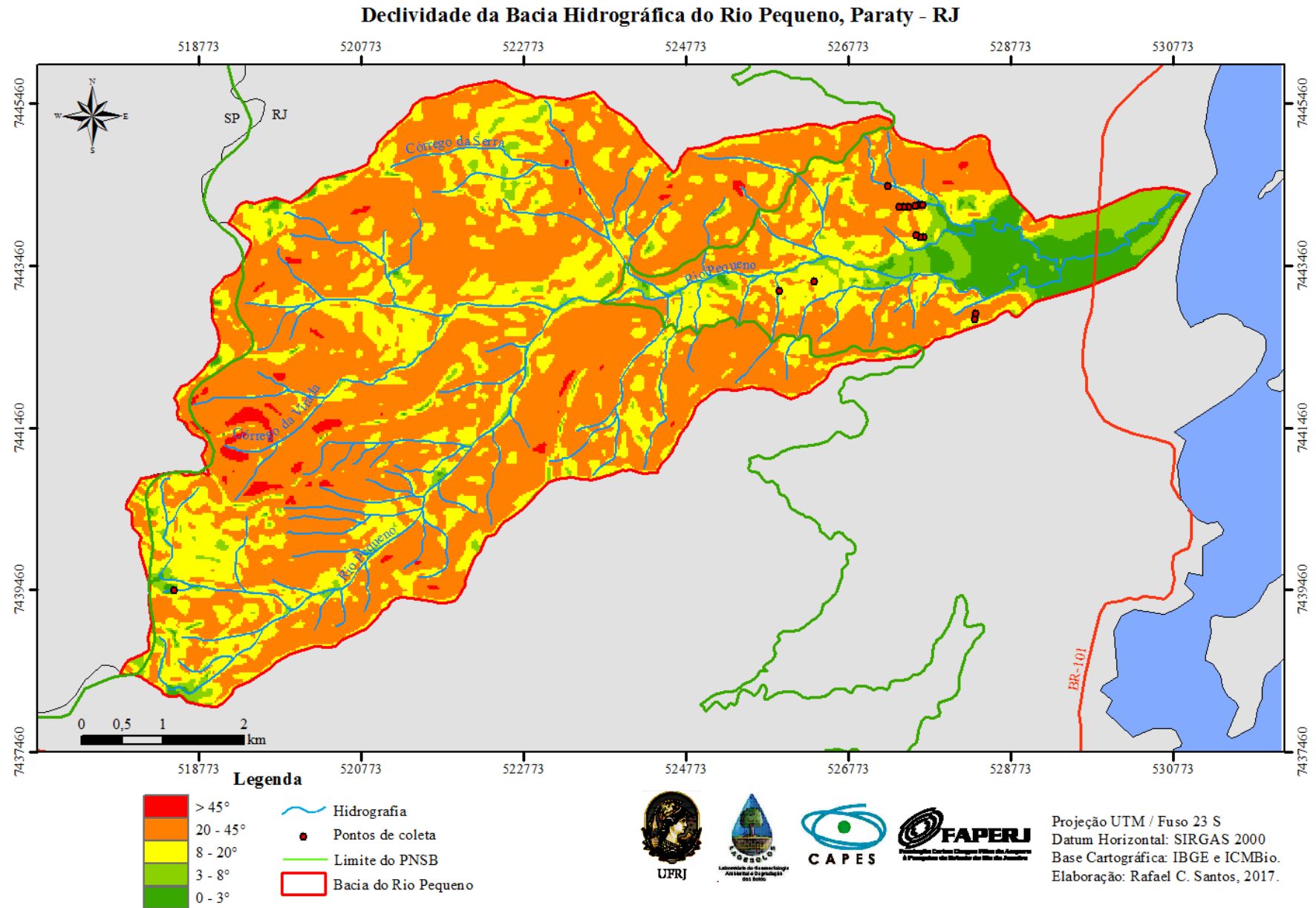


Figura 14: Declividade da BHRP, Paraty – RJ.

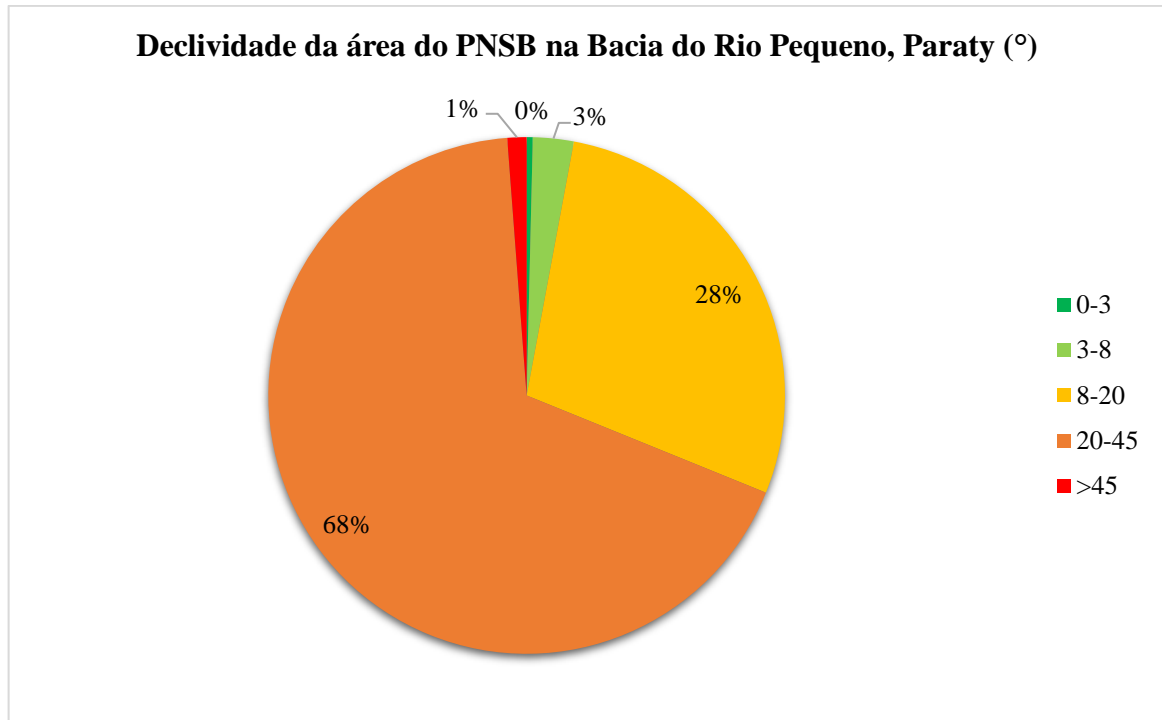


Gráfico 2: Declividade do PNSB na BHRP, Paraty – RJ.

Contudo, encostas com declividade a partir de 3° já podem sofrer erosão superficial. Além disso, áreas com declives acentuados tendem a ter solos menos espessos, diminuindo a oferta de material, e menores chances de selagem do solo pela formação de crosta. Fato que demonstra a complexidade no estudo da erosão dos solos, onde apenas um fator não é suficiente para explicar o problema, cabendo entender e refletir sobre a interação entre os fatores controladores desses processos (MORGAN, 2005; JORGE e GUERRA, 2013; GUERRA, 2015; PEREIRA *et al.*, 2016; GUERRA *et al.*, 2017).

A orientação das encostas segue a direção transversal as curvas de nível e o fluxo esperado do escoamento, variando de 0° a 360° a partir do norte geográfico (VALERIANO e ALBUQUERQUE, 2010). Na área de estudo a maioria das encostas estão orientadas para sudeste (24%), seguida por leste (17%), nordeste (16%), sul (15%) e norte (15%), as orientações sudoeste, oeste e noroeste somam 14% (figura 15 e tabela 2). A ferramenta utilizada para o mapeamento também classificou as áreas de planície, no entanto são áreas planas a suave onduladas.

Através desse parâmetro é possível inferir sobre a direção do fluxo superficial, a exposição das encostas a insolação e as chuvas. De maneira geral, no hemisfério sul as encostas orientadas para norte, nordeste, noroeste e leste recebem mais insolação do que as encostas orientadas para sul, sudeste, sudoeste e oeste, conseqüentemente, as primeiras possuem maior evapotranspiração do que as últimas. Essa variável geomorfológica pode gerar desdobramentos

sobre os atributos do solo e os processos pedogenéticos, podendo refletir significativamente sobre o uso e cobertura da terra quando associados a outros fatores (LIMA, 2008; MELLO, 2009; ROVANI e CASSOL, 2012).

No Estado do Rio de Janeiro, as encostas orientadas para o sul e sudoeste, por terem menor exposição aos raios solares, possuem maior incidência de florestas. Além disso, durante alguns períodos do ano elas recebem massas de ar úmidas que refletem nas precipitações. Já encostas orientadas para nordeste e noroeste, por terem maior insolação, são mais preferidas para a agricultura (PELOZO e SHIMABUKURO, 2009; NOGUEIRA, 2012).

Tabela 2: Orientação das encostas da BHRP, Paraty – RJ.

Orientação das Encostas		
Sentido	Km²	%
Norte	7,07	15,1
Nordeste	7,33	15,7
Leste	7,80	16,7
Sudeste	11,14	23,8
Sul	7,12	15,2
Sudoeste	1,72	3,7
Oeste	0,88	1,9
Noroeste	3,76	8,0
Total	46,81	100,0

Nesse sentido, na bacia do rio Pequeno as terras na margem direita do rio principal, por predominar a orientação para o norte, nordeste e noroeste, tendem a apresentar maior evapotranspiração do que as terras na margem esquerda, em decorrência da exposição aos raios solares. Notou-se também que as terras da margem direita são mais utilizadas para atividades agrícolas.

Sathler (2004), em estudo realizado na região serrana do Rio de Janeiro, encontrou maior ocorrência na concentração de matéria orgânica em encostas sob menor exposição solar ou cobertura vegetal densa e preservada. Demonstrando correlação entre encostas mais sombreadas e cobertura vegetal preservada com maiores conteúdos de matéria orgânica no horizonte superficial dos solos.

Isso demonstra que na área de estudo, apesar de predominarem solos jovens, a orientação das encostas e a cobertura vegetal natural contribuem significativamente para oferta de matéria orgânica aos solos, proporcionando, entre outros benefícios, melhoria da qualidade do solo e maior resistência aos processos erosivos.

A orientação das encostas, principalmente, para leste, além de sudeste, sul e sudoeste totalizam 59% da área de estudo, apresentando maiores índices pluviométricos devido as frentes frias recebidas nessas direções no litoral sul fluminense e o efeito orográfico proporcionado pela Serra da Bocaina. Por outro lado, as encostas com sentido norte, nordeste, noroeste e oeste, abarcam 41% da bacia e recebem menor quantidade de chuvas.

Ao relacionar a direção das encostas com a declividade, se observou que a maior parte das encostas orientadas para o norte (10%), nordeste (9%), leste (9%), sudeste (14%) e sul (10%), encontram-se sobre declive entre 20° e 45°. Nesse sentido, as vertentes mais úmidas tendem a ter a velocidade do escoamento aumentada pela declividade acentuada e pela força da gravidade, sobretudo, quando se considera o comprimento da encosta.

No entanto, no que se refere a precipitação, se observa que as chuvas diminuem com a altitude devido ao grande desnível topográfico apresentado pela bacia, como demonstram os dados do Plano de Manejo do PNSB (BRASIL, 2002), cabendo realizar estudos mais aprofundados sobre a influência da orientação das encostas na distribuição das chuvas.

A forma das encostas é uma característica que pode afetar a aceleração, desaceleração, convergência e divergência de fluxos ao longo de sua superfície, influenciando no transporte e deposição de materiais (GUERRA, 2015). As encostas podem ser classificadas de acordo com sua curvatura em perfil e planta, resultando em nove combinações, onde a forma côncava-convergente possui a máxima concentração e acúmulo do escoamento e a convexa-divergente possui máxima dispersão do escoamento (VALERIANO, 2008; SILVA NETO, 2013).

Na bacia em estudo predominam as encostas convexas em 43% da área, favorecendo a dispersão de fluxo e a erosão por salpicamento e laminar (gráfico 3 e figura 16). Além disso, segundo Hodges e Arden-Clarke (1986 *apud* GUERRA, 2013), as partes altas do relevo, constituídas principalmente por encostas convexas com baixa declividade, podem favorecer o armazenamento de água e detonar processos erosivos, como ravinas e voçorocas, caso a água seja liberada rapidamente.

As encostas côncavas ocupam uma área de 37%, sobretudo nas proximidades dos fundos de vale, elas são marcadas pela concentração de fluxo e pela erosão e deposição de materiais, à medida que há uma desaceleração do escoamento. E as retilíneas totalizam 20%, ocupando as partes centrais das encostas entre as convexidades e concavidades do terreno. A ferramenta utilizada para o mapeamento também classificou as áreas de planície como retilínea, no entanto são áreas planas a suave onduladas.

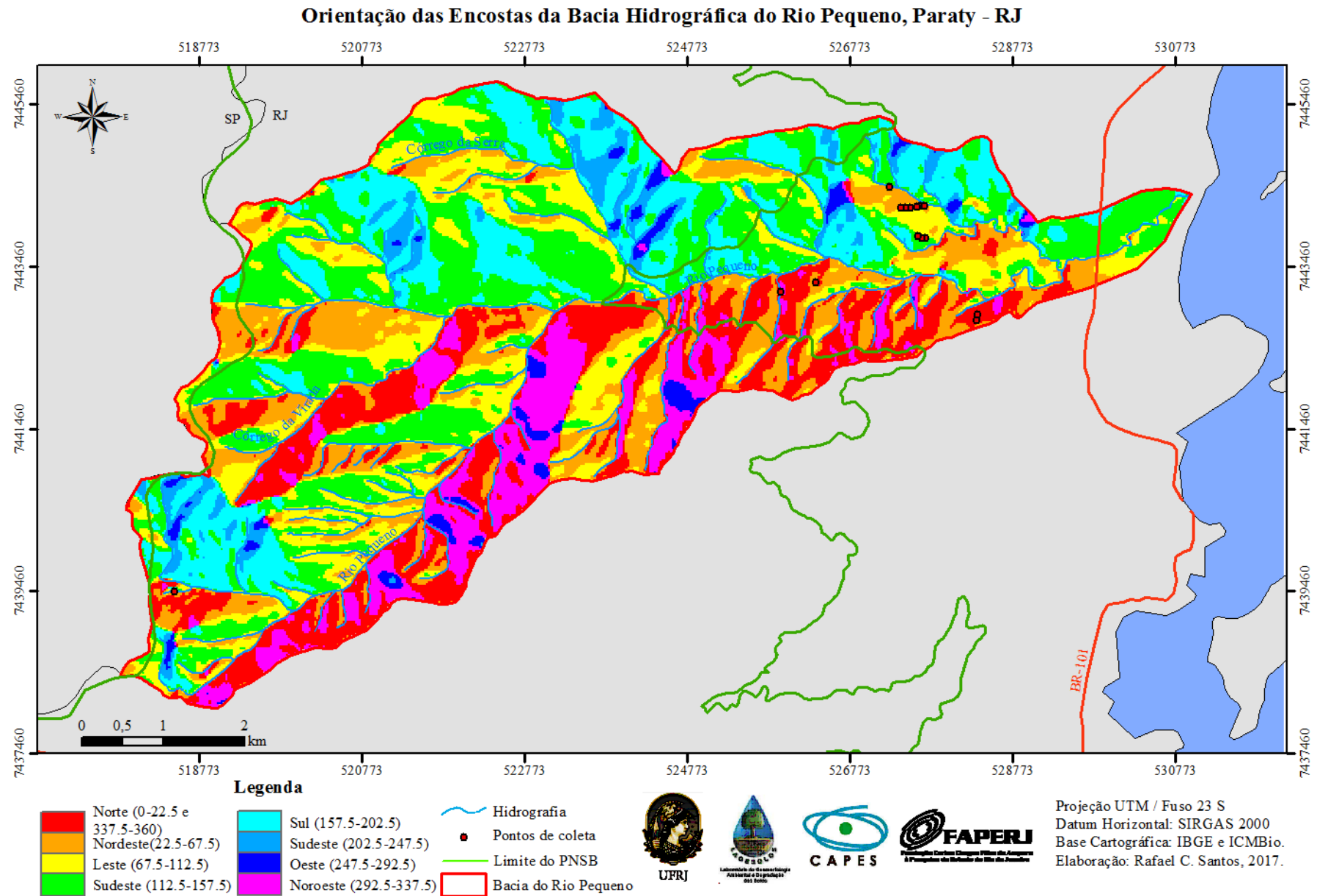


Figura 15: Orientação das Encostas da BHRP, Paraty – RJ.

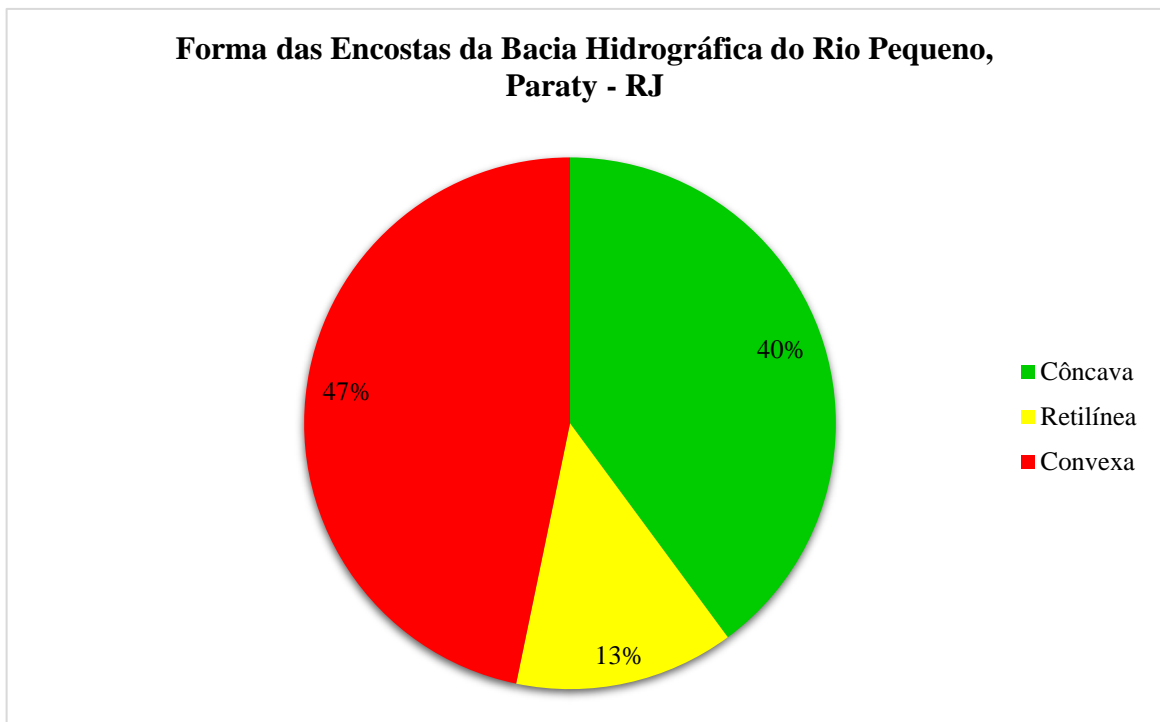


Gráfico 3: Forma das encostas da BHRP, Paraty – RJ.

Ao cruzar os dados de declividade com a forma das encostas, nota-se que a maior parte das encostas estão concentradas na classe de declividade 20-45°, sendo 29% convexas, 23% côncavas e 9% retilíneas. Indicando maior potencial erosivo devido os reflexos sobre os processos hidrológicos, haja vista as características físico-ambientais da bacia do rio Pequeno. No entanto, como ressaltado anteriormente, deve-se considerar a interação entre os aspectos geomorfológicos e outros fatores controladores para a compreensão da problemática da erosão dos solos.

O predomínio de relevo acidentado na BHRP cria condições ambientais desfavorável ao desenvolvimento de solos profundos e ao acúmulo de matéria orgânica, conseqüentemente, limita o uso agropecuário, estando a maioria dos solos suscetíveis aos processos erosivos. Todavia, a cobertura vegetal florestal tem papel primordial na proteção do solo e no fornecimento de nutrientes, capaz de minimizar os efeitos das chuvas com alto potencial erosivo.

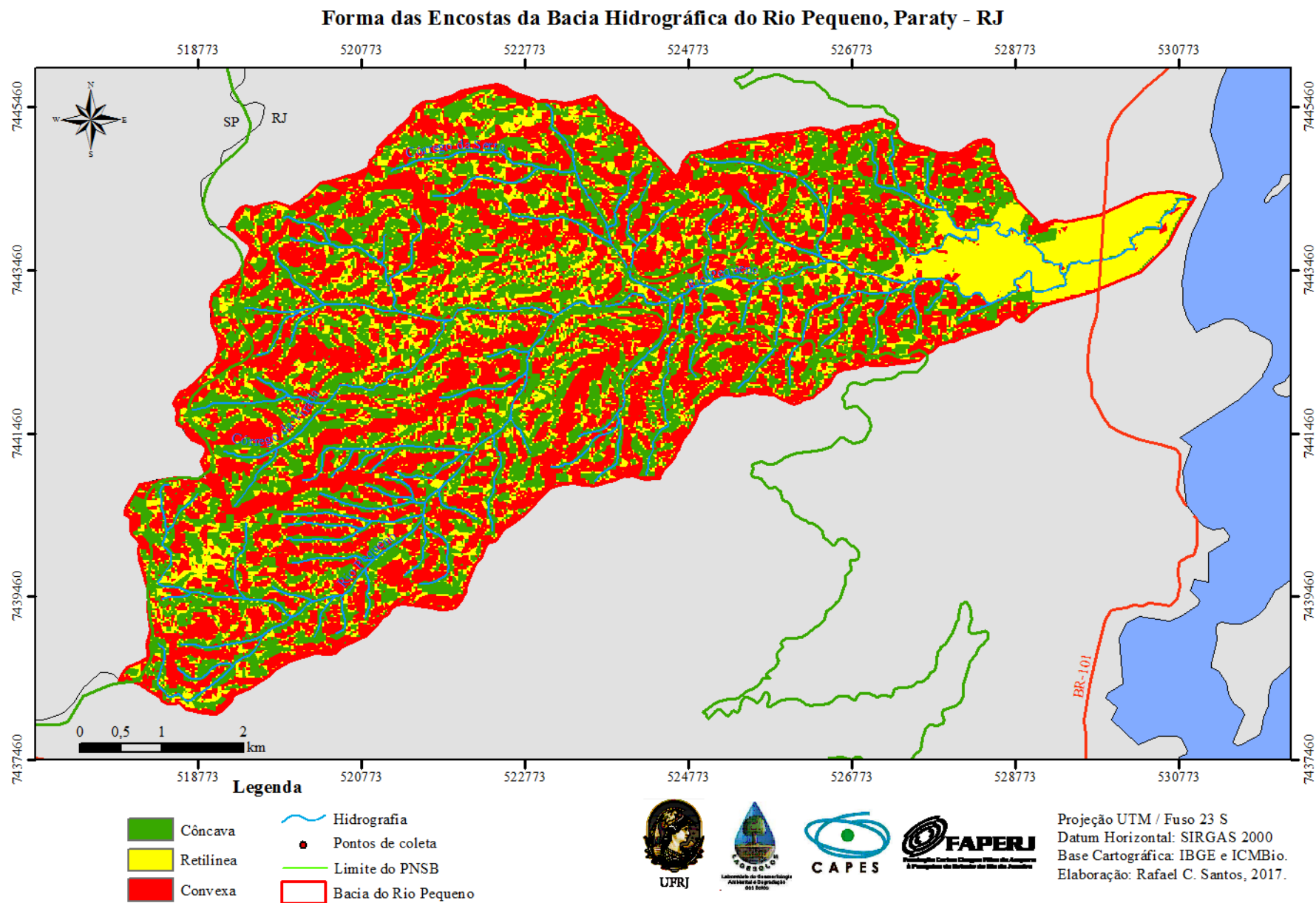


Figura 16: Forma das Encostas da BHRP, Paraty – RJ.

5.2 Evolução do Uso e Cobertura da Terra

As mudanças no uso e cobertura da terra permitem inferir sobre os diferentes arranjos espaciais que configuram a paisagem, assim como os processos e fenômenos naturais e sociais responsáveis pelas transformações ambientais. Quando se trata de um Parque Nacional e sua zona de amortecimento, essas informações assumem o papel de identificar possíveis vetores de pressão que podem ocasionar impactos, constituindo assim, relevante contribuição para a gestão e conservação ambiental.

Como discutido no tópico 3.5 deste trabalho, o histórico de ocupação do município de Paraty remete a influência dos grandes ciclos econômicos, como do ouro e do café, que associado as características ambientais e a posição geográfica, resultam em alguns dos fatores que levaram ao reconhecimento do município como Monumento Nacional. Desde então, foram criadas uma série de mecanismos legais para conservação ambiental, estabelecendo várias restrições ao uso da terra.

Para a área de estudo, foram estabelecidas seis classes de uso e cobertura da terra de acordo com as orientações do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) e os objetivos do trabalho, são elas:

- Áreas de vegetação natural – áreas cobertas por floresta ombrófila densa em diferentes estágios de sucessão e áreas de mangue, usadas para proteção e conservação ambiental;
- Áreas antrópicas agrícolas – áreas utilizadas para atividades agropecuárias, destacando as culturas temporárias (mandioca e feijão), permanentes (banana e coco) e, principalmente, as pastagens utilizadas para a criação de bovinos em sistema extensivo;
- Solo exposto – áreas cujo solo está sendo preparado para o cultivo, ou pastagens com sinais de superpastoreio e degradação do solo;
- Afloramento rochoso – áreas com afloramentos de rochas;
- Água – corpos d’água como lagos ou represas;
- Sombra – áreas não mapeadas devido a interferência do sombreamento do relevo e/ou de nuvens.

Nesse sentido, ao analisar a evolução do uso e cobertura da terra, observa-se que em 1986 (tabela 3 e figura 17), após 15 anos da criação do PNSB, a área de estudo possuía 40 km² (86%) cobertos por vegetação natural, classe representada por remanescentes florestais em

diferentes estágios de sucessão. As atividades antrópicas agrícolas, caracterizadas pela pecuária extensiva e agricultura, ocupavam 6 km² (13%), com manchas de solo exposto na área de planície e nas encostas dentro do Parque, representando menos de 1 km², respectivamente, em decorrência da preparação do solo para o cultivo e do desmatamento e queimadas para a expansão das pastagens.

No ano de 2000 (tabela 3 e figura 18), ocorreu uma ligeira diminuição nas áreas de vegetação natural, em decorrência também do aumento das áreas com sombra, que podem representar floresta e/ou afloramentos rochosos. As atividades agropecuárias, apesar de expandirem muito pouco quantitativamente, ampliaram suas áreas na porção oeste da bacia e, principalmente, dentro do PNSB. Na porção leste, houve uma consolidação na planície costeira da pecuária extensiva e dos cultivos temporários, enquanto que nas áreas mais elevadas, próximas ao limite do Parque, ocorreu uma ligeira diminuição dessa classe em relação a 1986.

No ano de 2012 (tabela 3 e figura 19), notou-se na planície costeira a formação de um lago decorrente da extração de areia, dividindo espaço com as atividades agropecuárias já praticadas. No oeste da bacia em estudo e dentro do PNSB, as pressões das atividades agropecuárias aumentaram. Apesar de baixa variação quantitativa das classes ao longo dos períodos analisados, a sua distribuição espacial demonstra aumento do desmatamento em algumas porções dentro do Parque.

A bacia do rio Pequeno possui 36 km² (76%) de sua área dentro do PNSB, ao longo de 26 anos (1986 a 2012), notou-se um gradativo aumento das atividades agropecuárias que ocupavam 9,1% do Parque em 1986, passando para 11,4% em 2000 e 11,2% em 2012, principalmente em encostas com declividade superior aos 20°. Enquanto, outros 11 km² (24%) compreendem a zona de amortecimento do Parque, onde 29,2% era ocupado com atividades agropecuárias em 1986, passando para 27,5% em 2000 e 26,8% em 2012.

As mudanças na paisagem da bacia do rio Pequeno refletem a preocupação dos proprietários de terra em consolidar o uso do solo, mesmo com as restrições impostas pelos fatores ambientais, principalmente, a baixa fertilidade dos solos e a declividade acentuada, como também as restrições legais que envolvem o PNSB e sua zona de amortecimento. Além disso, todo o município de Paraty está sujeito a restrições de uso, devido seu reconhecimento como Monumento Nacional, objetivando justamente proteger o patrimônio artístico e natural.

Tabela 3: Área das classes de uso e cobertura da terra em 1986, 2000 e 2012 na BHRP, Paraty – RJ.

Classes	1986		2000		2012	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Áreas de vegetação natural	40,06	85,51	38,16	81,45	39,06	83,37
Áreas antrópicas agrícolas	6,26	13,36	6,94	14,81	6,74	14,39
Solo exposto	0,24	0,51	0,21	0,45	0,20	0,43
Afloramento rochoso	0,20	0,43	0,26	0,55	0,27	0,58
Água	0,01	0,02	0,00	0,00	0,06	0,13
Sombra	0,08	0,17	1,28	2,73	0,52	1,11
Total	46,85	100,00	46,85	100,00	46,85	100,00

A expansão das áreas destinadas as atividades agropecuárias, sobre encostas íngremes da bacia, ainda hoje são baseadas na prática de técnicas rudimentares (figura 20 e 21). Devido ao baixo custo financeiro, os produtores rurais se utilizam frequentemente das queimadas para manter o pasto limpo e renovado, evitando que a vegetação secundária se regenere naturalmente. Contudo, as queimadas degradam a vegetação e o solo, podendo matar espécies endêmicas e/ou ameaçadas de extinção, impedir a conectividade entre fragmentos florestais ou mesmo avançar sobre as florestas, causando danos ainda mais sérios.

O relevo acidentado, os altos índices pluviométricos e os solos rasos, quando associados a retirada da cobertura florestal tendem a criar condições favoráveis aos processos morfogenéticos, como os movimentos de massa e a erosão do solo. Com a substituição das florestas por pastagem, agricultura ou solo exposto, a superfície do terreno fica mais desprotegida contra o impacto das gotas de chuva, a oferta de matéria orgânica e a formação de serapilheira tendem a diminuir, principalmente quando são feitas queimadas (figura 20a e 20b). Conseqüentemente, a capacidade de infiltração da água no solo diminui, favorecendo o aumento do escoamento superficial, cuja velocidade pode ser acelerada por conta da declividade, rugosidade e forma da encosta, acelerando a perda de solo (BOTELHO e SILVA, 2014; GUERRA, 2016; ILEK *et al.*, 2017).

A estreita planície costeira, devido a baixa declividade e facilidade de acesso, atualmente é a área da bacia mais utilizada, no que se refere a cultivos temporários, onde os produtores rurais adotam técnicas para melhorar a produtividade sendo a produção comercializada na própria região (figura 20c). A pecuária é outra atividade antrópica de maior expressão espacial na área de planície em relação a vegetação natural (florestas e mangue) (22d).

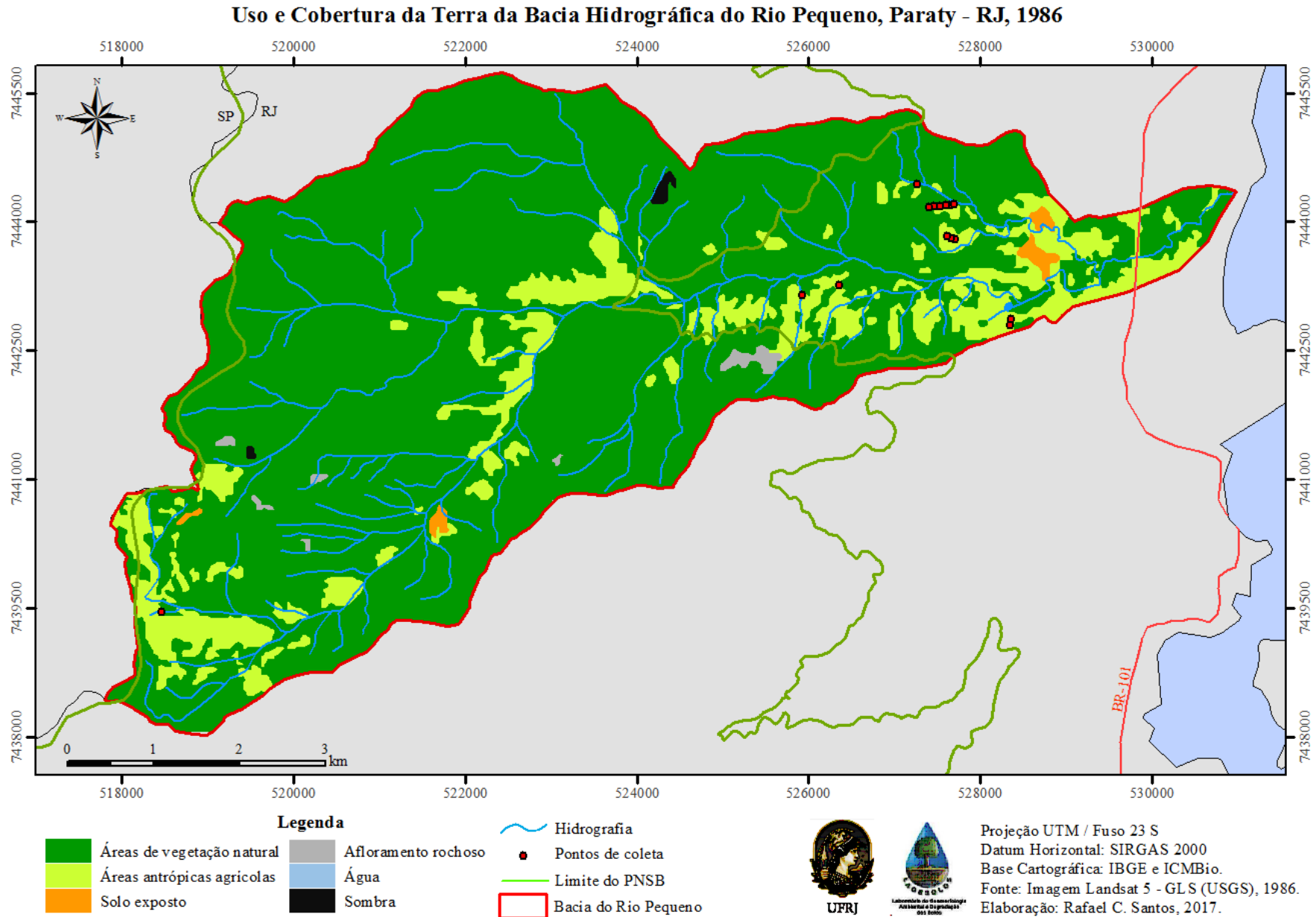


Figura 17: Uso e Cobertura da Terra na BHRP em 1986.

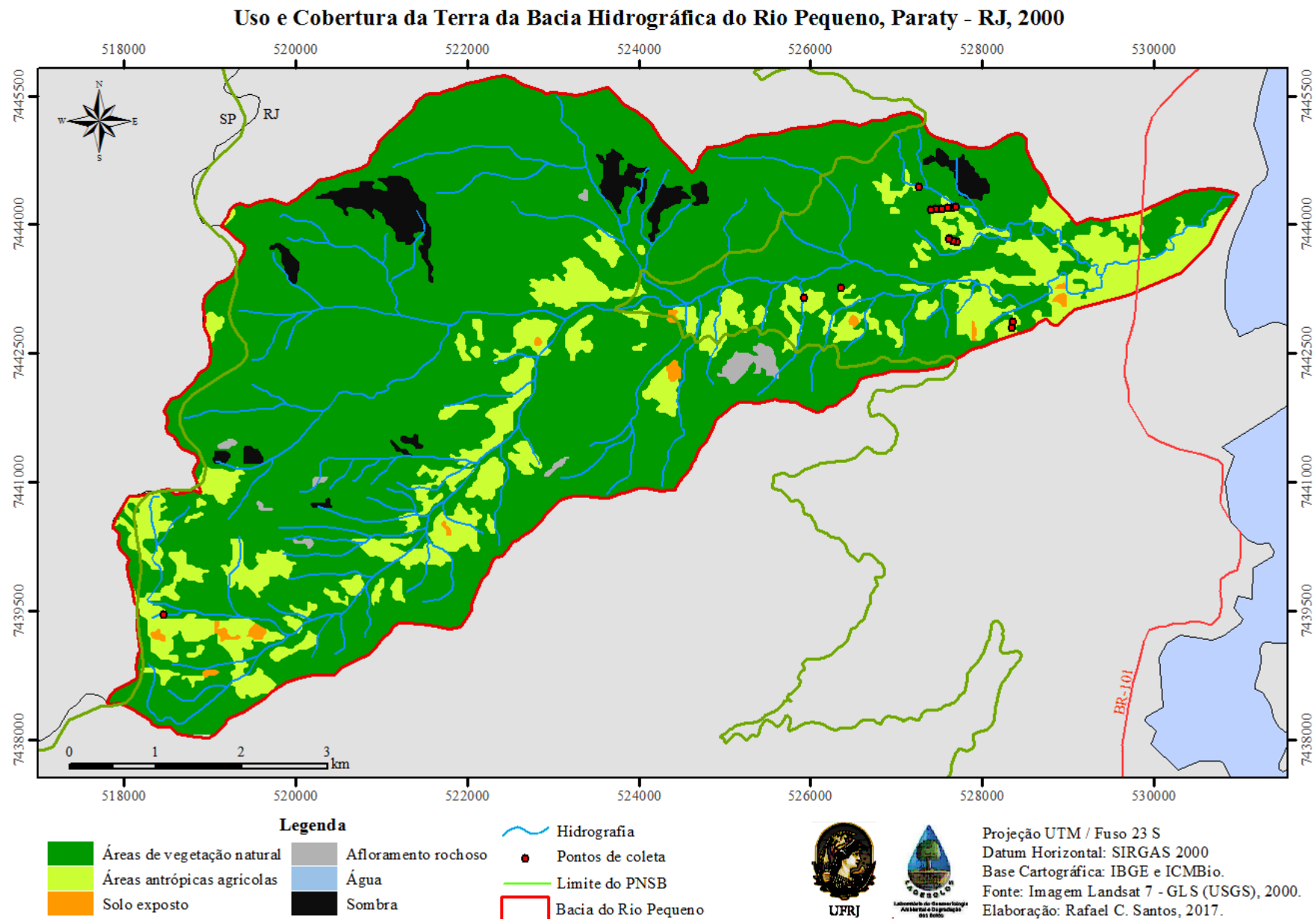


Figura 18: Uso e Cobertura da Terra na BHRP no em 2000.

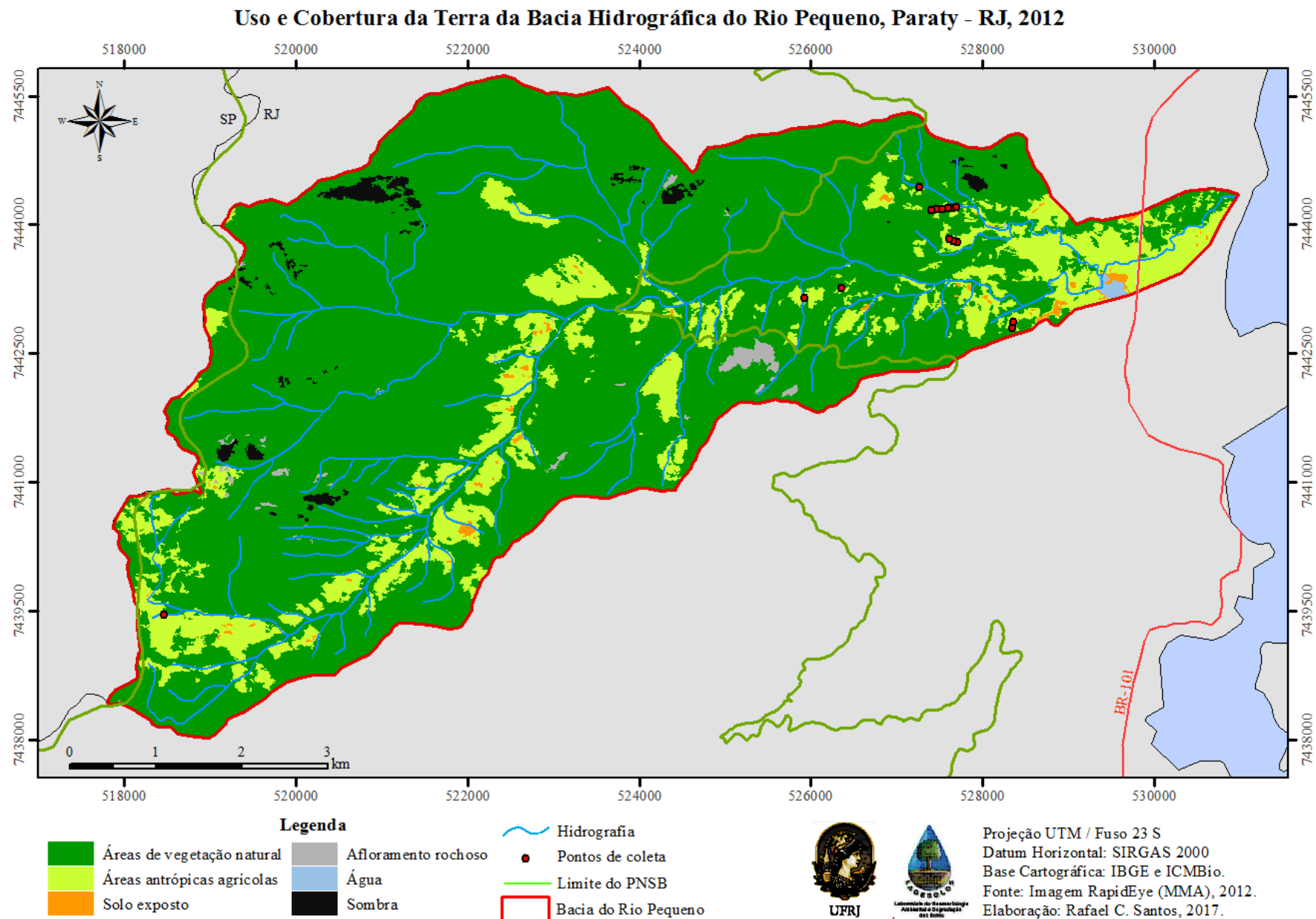


Figura 19: Uso e Cobertura da Terra na BHRP em 2012.

As áreas com agricultura na bacia são muito pequenas e dispersas pelas encostas próximas ao litoral. A medida que se avança na direção oeste da bacia, a pecuária é a principal atividade antrópica. Os pastos ocupam as áreas com declividades menos íngremes nas encostas próximas ao rio principal, geralmente, com blocos rochosos expostos na superfície do solo e sinais de superpastoreio. No alto da Serra da Bocaina, extremo oeste da bacia, as pastagens se estendem pelos terrenos declivosos no vale dentro da área do PNSB (figura 21). É comum nas áreas mais elevadas ocorrerem grandes afloramentos rochosos em meio a floresta.

Wang *et al.* (2016) avaliaram a relação entre as mudanças de uso/cobertura e a erosão do solo na China, entre o final da década de 1980 até 2010, mostrando que 56% do país foi afetado pela erosão hídrica e que as mudanças relacionadas as pastagens apresentaram os maiores impactos negativos relacionados ao problema. Costa e Silva (2015) discutem a relação entre a pecuária extensiva e a erosão dos solos em Santo Antônio de Pádua – RJ, onde o superpastoreio acaba compactando os primeiros centímetros do topo do solo, reduzindo a porosidade, agravando o escoamento superficial e provocando o surgimento de feições erosivas na paisagem.

Kassa *et al.* (2016), em estudo realizado no sudoeste da Etiópia, apontam que a degradação das terras decorre do desenvolvimento histórico da agricultura, sobretudo, em regiões montanhosas, convertendo as florestas em áreas agrícolas resultando em grande perda da biodiversidade local e aumento da degradação do solo, podendo tornar a degradação irreversível, caso medidas conservacionistas não sejam tomadas.

O turismo sustentável e a pesquisa científica deveriam ser as principais atividades praticadas na área do PNSB. A Pedra da Macela é o ponto mais alto da área de estudo e um dos principais atrativos turísticos, o acesso se dá através de uma estrada rural e uma trilha pavimentada, que leva também à antena de micro-ondas de Furnas, porém não existe nenhum controle ou conscientização para os turistas (figura 22). Além disso, a área da Pedra da Macela foi bastante afetada pelo desmatamento para abertura de pastagens e agricultura, apesar de atualmente isso está diminuindo (figura 23). Já a zona de amortecimento conta com uma pousada de alto padrão construtivo, que explora as belezas naturais para o desenvolvimento do turismo.



Figura 20: Queimada em pastagem (a), cultivos em encosta íngreme com solo exposto (b), cultivo temporário na planície costeira (c) e pecuária extensiva na planície costeira (d) da BHRP, Paraty – RJ. Fotos: Rafael C. Santos, 2015 e 2016.

Por outro lado, os conflitos relacionados ao uso da terra, na área de estudo, não envolvem apenas a gestão do PNSB e os produtores rurais, mas também a especulação imobiliária ascendente, as tensões entre os produtores rurais e os índios residentes na bacia, entre outros. Silva (2010) aponta que o processo de ocupação e uso indevido do solo em Paraty ocorre muitas vezes com o aval do poder público municipal, intervindo apenas em situações de desastres. A expansão urbana e rural no município, a especulação imobiliária, a grilagem de terras, a caça predatória, o extrativismo e a ocupação de encostas florestadas, muitas vezes pela população local e tradicional mais carente, constituem problemas para a conservação e gestão das UCs existentes no município (GOMES *et al.*, 2004; SILVA, 2010).

Logo, faz-se necessário um esforço conjunto entre os órgãos competentes, na tentativa de efetivar a implementação do PNSB, indenizando e regularizando a situação fundiária dentro do Parque, e traçando estratégias que garantam a população local manter suas atividades em consonância com as diretrizes legais que regem a UC e o município de Paraty, visando a conservação ambiental e qualidade de vida da população.



Figura 21: Área de pastagem dentro do PNSB (a), curral (b), plantio de eucalipto cercada por pastagem “suja” (c) e pastagem com ocorrência de matacões (d) no limite do Parque na BHRP, Paraty – RJ. Fotos: Rafael C. Santos, 2015 e 2016.

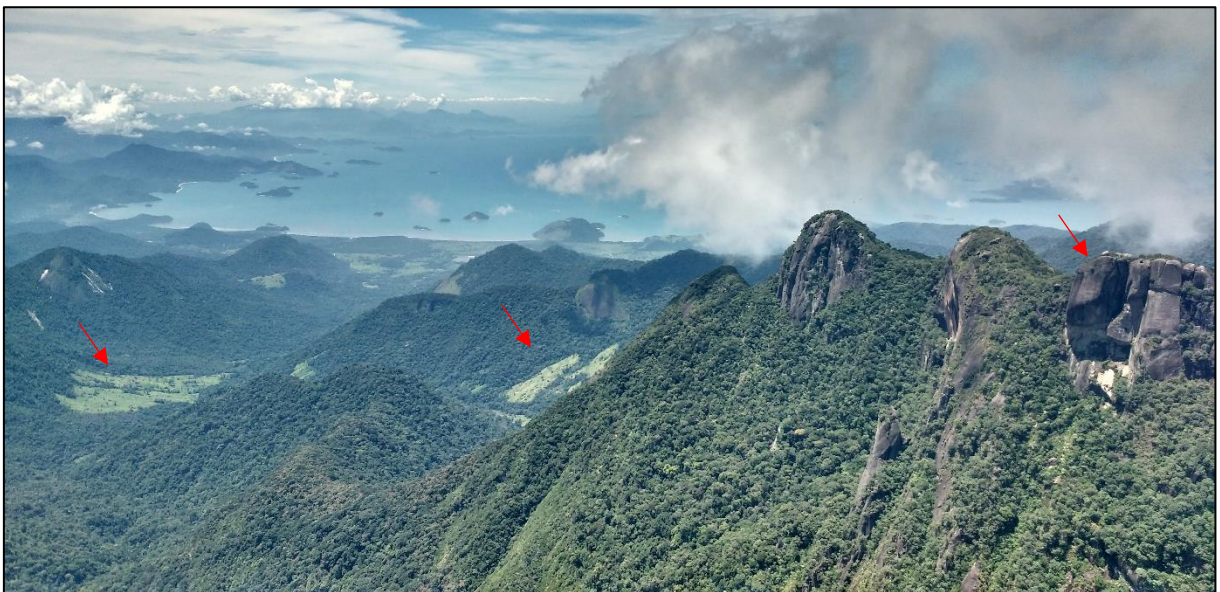


Figura 22: Bacia hidrográfica do Rio Pequeno, observada a partir da Pedra da Macela, com destaque para as áreas de pastagem e afloramento rochoso dentro do PNSB, Paraty – RJ. Foto: Alexandre S. Santos, 2017.



Figura 23: Área da Pedra da Macela entre 2001 (a) e 2016 (b), na BHRP, Paraty – RJ. Fonte: *Google Earth*, 2017.

5.1 Indicadores de Erodibilidade do Solo

5.1.1 Análise da erodibilidade sob diferentes usos e características ambientais

Como explicitado na metodologia, procurou-se coletar amostras nos locais onde as características ambientais fossem representativas da bacia hidrográfica do rio Pequeno – BHRP e tivessem potencial para geração de escoamento superficial (quadro 2 e figura 1). A pecuária é a principal atividade econômica desenvolvida na área, em termos de extensão espacial, e foi onde se fez a maior parte das coletas de amostras de solo. A agricultura, por sua vez, é praticada em áreas menores e foi representada por duas amostras, em locais onde o acesso foi possível. Também, foram feitas duas coletas em fragmentos florestais secundários.

Em todos os pontos de coleta foram feitas pequenas trincheiras na profundidade estabelecida para o estudo (0-20 cm), correspondendo à camada superficial do solo que na maioria das amostras representou o horizonte A. Este tópico procura analisar as propriedades do solo de cada ponto e correlacionar com as características ambientais da bacia, a fim de inferir sobre a erodibilidade e a suscetibilidade à erosão dessas áreas.

Os resultados da análise granulométrica (tabela 4 e gráfico 4) indicaram que todas as amostras possuem alto teor de areia, favorecendo a permeabilidade do solo, dos quais seis pontos apresentaram mais de 50% de areia na camada de 0-10 cm e quatro pontos na camada de 10-20 cm, sendo que os pontos P1, P2 e F2 o teor foi maior nas duas profundidades. Do total de areia, a areia grossa predominou em todos os pontos (> 77%), fração esta que se mostra

resistente ao arraste pelo escoamento, com exceção de A2 e P2 onde a concentração de areia grossa foi, respectivamente, 59% e 66% maior do que a areia fina. Com relação a areia fina, merecem destaque os pontos A2 e P2, que apresentaram mais de 20%, constituindo elevado teor dessa fração que é muito suscetível ao transporte pela água. Os teores de silte não foram muito altos, apenas em cinco amostras os valores foram superiores a 30%.

De maneira geral, as amostras possuem baixa concentração de argila com valores inferiores a 25%, com exceção de A1 (10-20 cm) e P3 (0-10 e 10-20 cm) que correspondem a camada de transição com o horizonte B, apresentando maior concentração dessa fração granulométrica. Ao comparar a granulometria das amostras, as médias do teor de areia representam 54%, o silte 28% e a argila apenas 18%. O teor de areia fina + silte obteve valor médio de 40% entre as amostras, destacando os pontos A2 e P2 que apresentaram os maiores valores, em torno de 51%. Além disso, esses dois pontos apresentam baixo teor de argila, especialmente P2 (< 5%), dificultando a formação de agregados estáveis.

A classe textural predominante foi franco arenosa, em decorrência do baixo teor de argila e elevado teor de areia, indicando alta suscetibilidade à erosão com relação a esta propriedade, sobretudo, quando os teores de silte são elevados (FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005). Contudo, observou-se que o que definiu as classes texturais foi a variação no teor de argila (gráfico 4).

Neves (2015) encontrou para a bacia do rio Mateus Nunes em Paraty – RJ o predomínio da classe franco argilo-arenoso, devido as concentrações dos teores de areia ($\cong 50\%$) e argila ($\cong 30\%$), sendo que os teores de argila foram maiores do que os encontrados para as amostras da BHRP. Pereira (2015), em estudo realizado na bacia do rio Maranduba em Ubatuba – SP, encontrou a classe franco arenosa para uma área degradada, conferindo elevada suscetibilidade aos processos erosivos, devido as intervenções antrópicas que degradaram o ambiente, deixando-o sujeito a erosividade das chuvas que nessa região possui os índices mais elevados do país. Lima (2008) também encontrou solos com teores de areia elevado e baixos teores de argila, no alto e médio curso da bacia do rio Macaé – RJ, com relevo semelhante ao da área de estudo.

A densidade de partículas foi utilizada nos cálculos da porosidade total, seus resultados variaram de 2,46 a 2,60 g/cm³ (tabela 5), estando próximos ao valor médio (2,65 g/cm³) comumente encontrado na literatura, com exceção de P2 onde se encontrou 2,19 (0-10 cm) e 2,31 (10-20 cm), acredita-se que a alta concentração de matéria orgânica – MO tenha corroborado para este resultado (GUERRA e GUERRA, 2011; LEPSCH, 2011).

Quadro 2: Características dos pontos de coleta de amostras na BHRP, Paraty – RJ.

Ponto de coleta	Coordenadas UTM	Altitude (m)	Declividade (°)	Posição na encosta	Forma da encosta	Solo	Uso/cobertura da terra	Observações
F1	527405-7444174	165	21	Média encosta	Retilínea	Cambissolo	Floresta	Secundária
A1	527652-7444197	95	28	Média-Baixa encosta	Convexa	Cambissolo	Agricultura	Cultivo permanente de coco com solo exposto
A2	527262-7444441	146	26	Baixa encosta	Côncava	Cambissolo	Agricultura	Cultivo de banana, cana-de-açúcar e mandioca
P1	525926-7443142	241	26	Média encosta	Convexa	Cambissolo	Pastagem	Presença de matacões e sinais de superpastoreio
P2	518458-7439457	1.420	25	Baixa encosta	Retilínea	Cambissolo	Pastagem	Presença de matacões e terracetes
F2	528341-7442791	141	13	Alta encosta	Convexa	Latossolo	Floresta	Secundária
P3	528353-7442862	118	36	Alta-Média encosta	Convexa	Latossolo	Pastagem	Submetido usualmente a queimadas e com presença de terracetes
P4	526357-7443265	189	22	Média encosta	Convexa	Latossolo	Pastagem	Submetido a queimada recentemente
P5	527660-7443810	62	18	Média-Baixa encosta	Retilínea	Latossolo	Pastagem	Submetido a queimadas usualmente

Tabela 4: Granulometria e classe textural das amostras da BHRP, Paraty – RJ.

Ponto de coleta	Profundidade (m)	Granulometria										Classe Textural	
		Areia Grossa		Areia Fina		Areia Total		Silte		Argila			Areia Fina + Silte
		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%		%
F1	0-10	578	58,38	77	7,76	655	66,14	249	24,17	96	9,70	31,93	Franco arenoso
	10-20	376	37,99	113	11,45	490	49,44	340	33,39	170	17,17	44,84	Franco
A1	0-10	352	35,52	107	10,78	458	46,31	326	31,91	216	21,78	42,69	Franco
	10-20	317	32,03	95	9,55	412	41,58	236	22,84	352	35,59	32,39	Franco argiloso
A2	0-10	329	33,24	203	20,48	532	53,72	330	32,31	138	13,97	52,79	Franco arenoso
	10-20	288	29,12	200	20,18	488	49,31	277	26,99	235	23,70	47,18	Franco argilo-arenoso
P1	0-10	443	44,78	129	13,05	573	57,83	263	25,57	164	16,60	38,62	Franco arenoso
	10-20	438	44,25	122	12,36	561	56,61	257	25,01	182	18,38	37,36	Franco arenoso
P2	0-10	444	44,83	226	22,79	670	67,62	300	29,32	30	3,06	52,11	Franco arenoso
	10-20	429	43,33	212	21,41	641	64,74	314	30,71	45	4,54	52,13	Franco arenoso
F2	0-10	495	50,04	126	12,69	621	62,73	278	27,10	101	10,17	39,79	Franco arenoso
	10-20	453	45,71	114	11,49	566	57,20	265	25,80	168	17,00	37,29	Franco arenoso
P3	0-10	362	36,60	101	10,19	463	46,79	252	24,45	285	28,75	34,65	Franco argilo-arenoso
	10-20	351	35,40	76	7,65	426	43,05	195	18,70	379	38,25	26,35	Franco argiloso
P4	0-10	444	44,80	104	10,48	547	55,28	303	29,64	149	15,08	40,12	Franco arenoso
	10-20	399	40,26	89	9,00	488	49,26	270	26,23	243	24,51	35,24	Franco argilo-arenoso
P5	0-10	356	35,91	94	9,48	449	45,38	382	37,62	168	17,00	47,09	Franco
	10-20	505	50,99	77	7,74	582	58,73	279	27,16	140	14,11	34,91	Franco arenoso
Média		408,79	41,29	125,71	12,70	534,50	53,98	284,33	27,72	181,17	18,30	40,41	
Desvio padrão		74,47	7,52	49,26	4,98	79,83	8,06	43,72	4,42	93,05	9,40	7,63	
CV (%)		18,22	18,22	39,19	39,19	14,94	14,94	15,38	15,93	51,36	51,36	18,88	

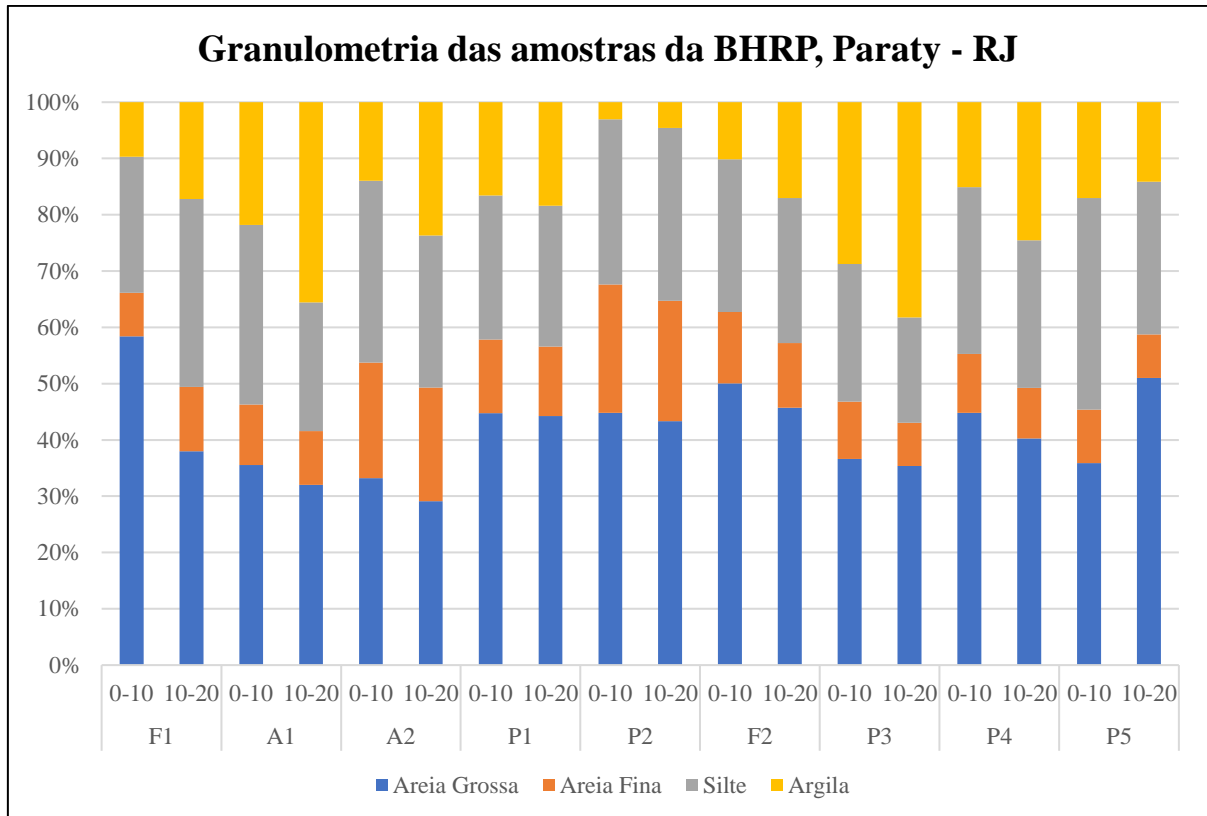


Gráfico 4: Granulometria das amostras da BHRP, Paraty – RJ.

A densidade aparente – Da apresentou resultados que indicam predominância de médio grau de compactação (tabela 5 e gráfico 5), com média de 1,22 g/cm³ para a profundidade de 0-10 cm e 1,33 g/cm³ na profundidade de 10-20 cm (BRADY e WEIL, 2008). A Pt apresentou resultados próximos a 50% em quase todos os pontos, correspondendo aos valores médios encontrados para os solos minerais, especialmente, devido ao elevado teor de areia e MO encontrados nas camadas estudadas (LEPSH, 2011).

O ponto P2 apresentou o resultado mais baixo de Da (0,85 g/cm³) na profundidade de 0-10 cm e, conseqüentemente, a maior porosidade total – Pt (61%), porém, esses valores diminuem significativamente na profundidade de 10-20 cm para 1,21 de Da e 47,6% de Pt. Acredita-se que por se tratar de uma área de pastagem com presença de terracetes com elevada altitude e baixas temperaturas, tenha favorecido o acumulado de MO no topo do solo, reduzindo os efeitos do pisoteio do gado e diminuindo a compactação na camada superficial (PRIMAVESI, 2002; GUERRA, 2013).

As amostras de floresta apresentaram resultados médios de densidade aparente, uma explicação é a elevada ocorrência de frações minerais e baixo teor de argila no solo (KIEHL, 1979 *apud* LOUREIRO, 2013). Em outra bacia hidrográfica do município, Neves (2015) encontrou em área de floresta Da de 1,25 a 1,41 g/cm³ e Pt de 45,8 a 51,9%. Já Santos (2011),

em estudo na Área de Proteção Ambiental Macaé de Cima, encontrou para fragmentos florestais Da entre 0,83 a 1,30 g/cm³ e Pt de 46,7% a 68,5%.

Os pontos P1 e P5 apresentaram valores de Da mais altos e baixa Pt na camada de 10-20 cm, indicando grau de compactação do solo que pode prejudicar o desenvolvimento das plantas e a infiltração de água no solo. Essas áreas de pastagens são utilizadas a muitos anos sem um manejo adequado que vise a conservação do solo. Neves (2015) encontrou resultados de Da e Pt para áreas com agricultura na profundidade de 0-10 cm, respectivamente, entre 1,30 g/cm³ e 1,41 g/cm³ e 46% e 50%; já nas áreas de pasto, os resultados variaram mais, com valores de Da entre 1,00 g/cm³ e 1,69 g/cm³ e Pt entre 35% e 60%. Loureiro (2013) encontrou em um pasto, sobre encosta íngreme e com feições erosivas, Da de 1,39 a 1,60 g/cm³ e Pt de 33,7 a 44,8%.

Segundo Thomaz e Dias (2009), em áreas de pastagem o pisoteio excessivo do gado é o principal responsável pela compactação do solo, sendo que em um terreno plano uma vaca (530 kg) exerce em média uma força de 250 kPa sobre o solo, em terrenos íngremes essa força pode ser muito maior devido o esforço do animal caminhando encosta acima. Além disso, os animais criam terracetes e caminhos preferenciais pelo pasto, esses caminhos acabam coletando o escoamento superficial e se tornando caminhos preferenciais para a água, transportando sedimentos encosta abaixo, obtendo taxas de perda de solo próximas a de áreas degradadas e áreas de agricultura sem manejo conservacionista (THOMAZ e DIAS, 2009; ANTONELI *et al.*, 2012).

Tabela 5: Densidade Aparente, Densidade de Partículas e Porosidade Total, BHRP, Paraty – RJ.

Ponto de coleta	Densidade Aparente		Densidade de Partículas		Porosidade Total	
	g/cm ³		g/cm ³		%	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
F1	1,21	1,19	2,47	2,52	51,06	53,04
A1	1,31	1,35	2,5	2,6	47,68	47,92
A2	1,23	1,27	2,5	2,56	51,03	50,35
P1	1,46	1,54	2,56	2,53	42,63	39,33
P2	0,85	1,21	2,19	2,31	60,92	47,58
F2	1,27	1,38	2,49	2,52	49,1	45,38
P3	1,31	1,37	2,53	2,46	48,14	44,26
P4	1,08	1,14	2,47	2,53	56,05	54,88
P5	1,24	1,5	2,52	2,56	50,59	41,42
Média	1,22	1,33	2,47	2,51	50,80	47,13
Desvio padrão	0,17	0,14	0,11	0,08	5,20	5,13
CV (%)	14,02	10,35	4,41	3,35	10,24	10,90

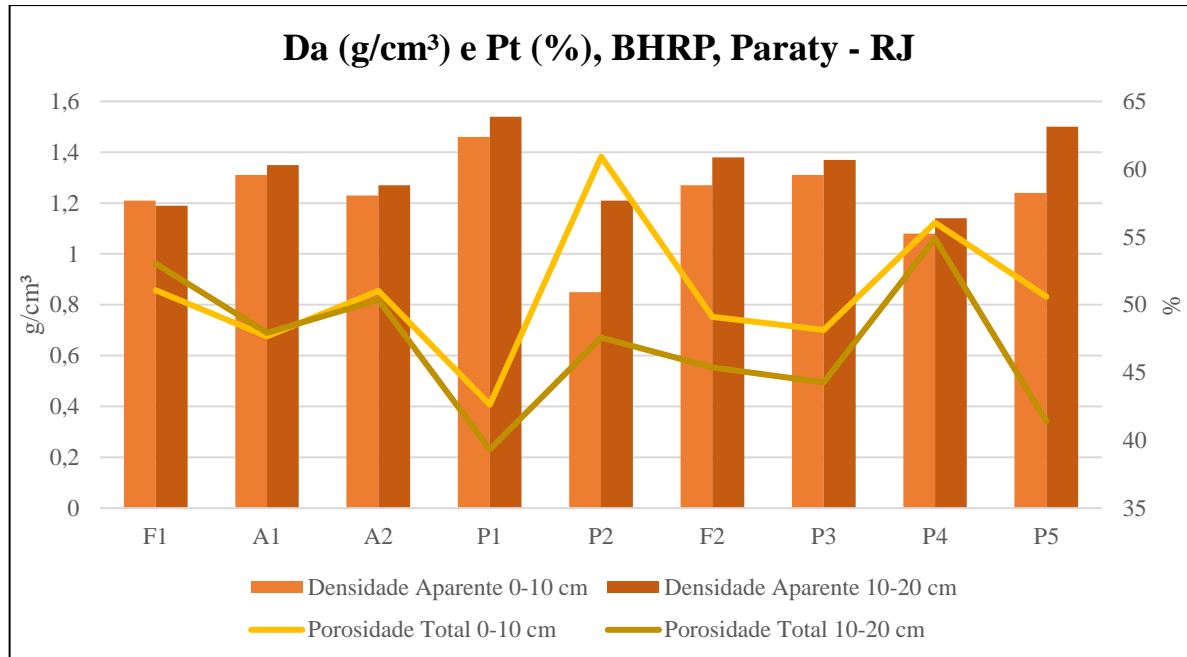


Gráfico 5: Densidade Aparente – Da e Porosidade Total – Pt das amostras da BHRP, Paraty – RJ.

Assim, o manejo das áreas de pasto é um dos fatores mais relevantes para a compreensão dessas variações, ele deve ser desenvolvido de forma adequada ao ambiente em questão, buscando minimizar e/ou evitar a compactação dos solos e, conseqüentemente, reduzindo o risco de erosão.

As amostras possuem pH ácido, com valores abaixo de 5,1 para todos os pontos, apresentando tendência a diminuir com a profundidade (tabela 6). Os valores mais baixos foram encontrados em P2 (pH 3,6) e o mais alto na área com agricultura (A2 – pH 5,1). A acidez elevada é uma das características dos solos da região, estando associada aos altos índices pluviométricos e clima tropical que aceleram a lixiviação, além, da MO ácida fornecida pela vegetação (ROSSI e QUEIROZ NETO, 2001; LEPSH, 2011).

Devido ao baixo teor de argila das amostras analisadas, o conteúdo de MO do solo é uma propriedade fundamental para a estabilidade de agregados. Morgan (2005) destaca que teores de carbono orgânico – CO inferiores a 2,0% e de MO menores que 3,5% conferem ao solo maior suscetibilidade à erosão. As amostras de floresta (F1 e F2) e de pastagem (P2, P4 e P5) apresentaram valores de CO e MO superiores aos limites mínimos para uma boa estrutura e resistência do solo, eles são maiores na camada de 0-10 cm e diminuem na camada de 10-20 cm (tabela 6 e gráfico 6). Nos pontos de agricultura (A1 e A2) e pastagem (P1 e P3) o teor de CO e MO também foi maior na camada de 0-10 cm e diminuiu para valores muito baixos com a profundidade, demonstrando que as características da encosta, a cobertura vegetal e,

principalmente, o uso e manejo do solo tem contribuído para a diminuição do aporte de MO dessas áreas (figura 24).

Neves (2015) encontrou solos com até 2,1% de MO em área agrícola e 3,0% em pastagem (0-20 cm), demonstrando sinais de degradação, sendo que na agricultura e pastagem os maiores percentuais foram de 4,1% e 4,9%. Loureiro (2013) encontrou, em uma encosta íngreme com pastagem degradada, valores de MO, na camada de 0-20 cm, de 0,87% a 2,56%. Resultados que demonstram o futuro dos solos da região, caso o manejo inadequado dos mesmos persista, haja vista a importância do teor de MO, limitado a poucos centímetros na camada superficial dos solos distróficos que revestem a maior parte do relevo montanhoso no litoral sul fluminense (GUERRA *et al.*, 2013).

Tabela 6: Carbono Orgânico, Matéria Orgânica e pH das amostras da BHRP, Paraty – RJ.

Ponto de coleta	Profundida (cm)	Carbono Orgânico		Matéria Orgânica		pH
		g/kg	%	g/kg	%	
F1	0-10	43,4	4,33	74,7	7,47	4,4
	10-20	24,7	2,46	42,5	4,25	4
A1	0-10	26,2	2,62	45,2	4,52	4,9
	10-20	12,4	1,24	21,4	2,14	4,6
A2	0-10	21,0	2,1	36,3	3,63	5,1
	10-20	12,3	1,23	21,2	2,12	4,8
P1	0-10	22,3	2,23	38,5	3,85	4,4
	10-20	18,5	1,85	31,9	3,18	4,4
P2	0-10	82,2	8,32	143,5	14,35	3,6
	10-20	48,8	4,88	84,1	8,41	3,6
F2	0-10	41,0	4,1	70,8	7,08	4,5
	10-20	22,3	2,23	38,5	3,85	4,1
P3	0-10	27,8	2,78	47,9	4,79	4,2
	10-20	11,8	1,18	20,4	2,04	4,1
P4	0-10	34,0	3,4	58,7	5,87	4,7
	10-20	20,7	2,07	35,7	3,57	4,5
P5	0-10	39,6	3,96	68,2	6,82	4,6
	10-20	28,9	2,89	49,9	4,99	4,8
Média		29,9	3,0	51,6	5,2	4,4
Desvio padrão		17,0	1,7	29,6	3,0	0,4
CV (%)		56,9	57,4	57,4	57,3	9,4

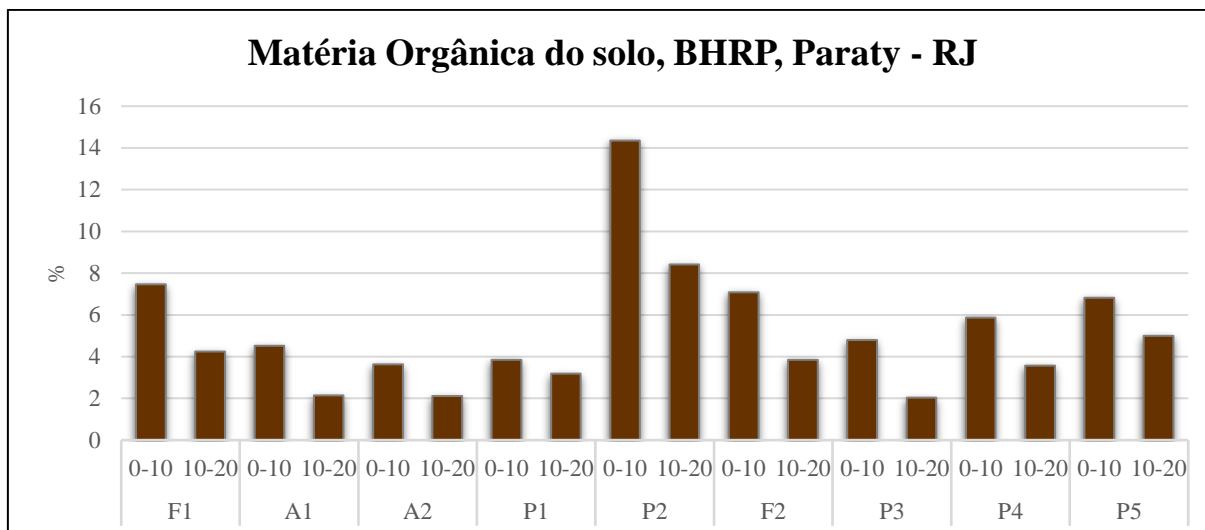


Gráfico 6: Matéria Orgânica das amostras de solo da BHRP, Paraty – RJ.

Os resultados para a estabilidade de agregados dos pontos analisados demonstram boa resistência aos processos erosivos na camada superficial do solo (tabela 7 e gráfico 7), diminuindo as possibilidades de formação de crosta e favorecendo a interligação entre os poros, aumentando a capacidade de infiltração e redução/retardamento do escoamento superficial (DE PLOEY e POESEN, 1985; GUERRA, 2013). Apesar dos baixos teores de argila, o conteúdo de MO na camada superficial do solo é alta, contribuindo para a estabilidade dos agregados, sendo que os pontos F1, P2, P4 e P5 apresentaram os melhores índices e P1, ponto com Da mais elevada, teve os piores.

Tabela 7: Estabilidade de agregados em solos da BHRP, Paraty – RJ.

Ponto de Coleta	DMP	DMG	IEA	Agregados > 2mm	Macroagregados	Microagregados
	Mm	mm	%	%	%	%
F1	2,92	2,83	98,88	95,98	99,45	0,55
A1	2,46	2,12	94,21	71,87	95,16	4,84
A2	2,59	2,29	94,99	78,77	95,62	4,38
P1	2,07	1,57	86,13	55,14	87,98	12,02
P2	2,77	2,47	96,04	88,58	98,97	1,03
F2	2,48	2,12	93,20	74,44	94,15	5,85
P3	2,60	2,31	95,31	79,31	96,03	3,97
P4	2,79	2,61	97,34	89,02	97,75	2,25
P5	2,75	2,46	95,85	87,81	98,07	1,93
Média	2,60	2,31	94,66	80,10	95,91	4,09
Desvio padrão	0,25	0,36	3,60	12,19	3,47	3,47
CV (%)	9,65	15,53	3,81	15,21	3,62	84,91

DMP – Diâmetro Médio Ponderado; DMG – Diâmetro Médio Geométrico; IEA – Índice de Estabilidade dos Agregados.

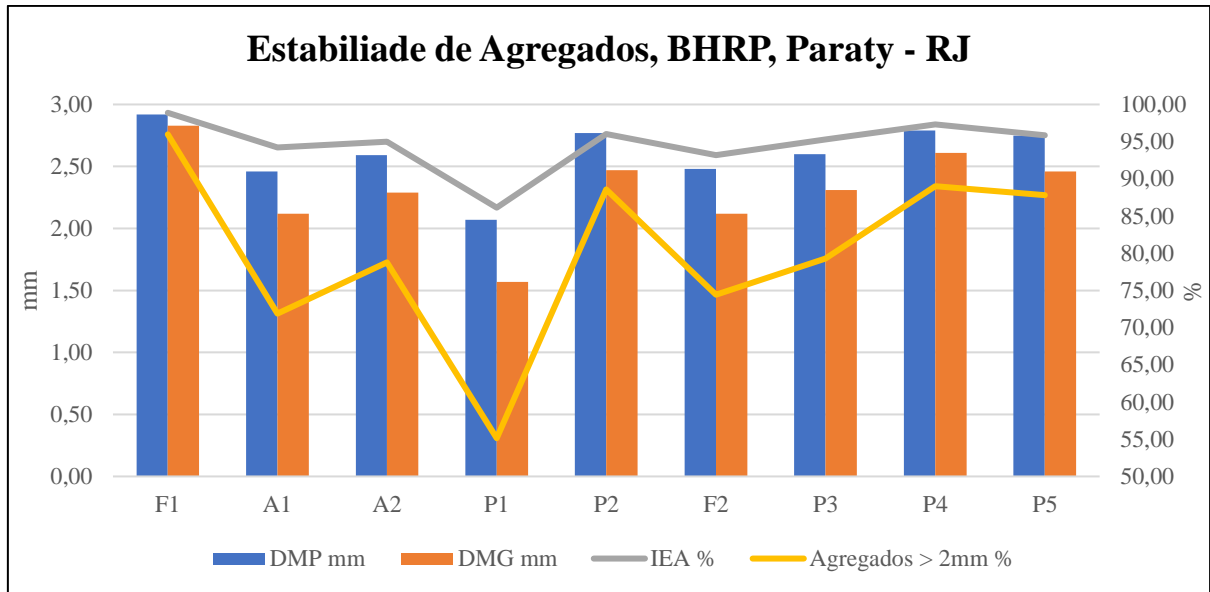


Gráfico 7: Estabilidade de Agregados em solos da BHRP, Paraty – RJ: Diâmetro Médio Ponderado – DMP, Diâmetro Médio Geométrico – DMG, Índice de Estabilidade dos Agregados – IEA e Agregados maiores do que 2 mm.

O DMP representa a porcentagem de agregados, em todos os pontos o resultado foi superior a 2 mm, indicando a predominância de macroagregados que favorecem a presença de poros no solo e o processo de infiltração. O DMG indica uma estimativa da classe de agregados com maior ocorrência; os resultados variaram de 1,57 mm (P1) a 2,83 mm (F1), obtendo a média de 2,31 mm. E o IEA representa a medida de agregação total, sendo que quanto maior a presença de microagregados (agregados < 0,25 mm), menor será o IEA (CASTRO FILHO *et al.*, 1998; CASTRO FILHO *et al.*, 2002; RANGEL, 2014).

Em áreas de floresta na Área de Proteção Ambiental Cairuçu em Paraty – RJ, Rangel *et al.* (2013) encontraram valores próximos aos estudados, com DMP de 2,42 a 2,73 mm e IEA de 94,7% a 98,4%, sendo que o percentual de microagregados variou de 3,59 a 10,23% e macroagregados de 89,77 a 92,75%. Em áreas de agricultura e pastagem, Neves (2015) encontrou valores de DMP bem mais baixos, entre 0,90 mm a 2,49 mm, e IEA de 70% a 95,8%.

Em áreas de agricultura a estabilidade dos agregados pode ser afetada pela preparação do solo, que acaba rompendo com os agregados e acelerando a oxidação e perda do carbono orgânico (CASTRO FILHO *et al.*, 1998). Já em áreas de pastagem, as gramíneas favorecem a estabilidade de agregados, devido ao seu sistema radicular, favorecendo a oferta de MO. Além disso, as pastagens não revolvem o solo (PEREIRA e THOMAZ, 2015). O maior problema relacionado às pastagens é o manejo inadequado que provoca o superpastoreio, responsável pela compactação do solo e diminuição de sua porosidade, conseqüentemente, dificultando a infiltração e decomposição da MO, reduzindo a capacidade de penetração das raízes e a

biodiversidade do solo, favorecendo o escoamento superficial e a erosão do solo (THOMAZ e DIAS, 2009; LEPSH, 2011; OSMAN, 2014).



Figura 24: Uso da terra em pontos de coleta na BHRP, Paraty – RJ. Cultivo permanente de coqueiro no A1 (a), cultivo temporário de mandioca no A2 (b) cultivo de banana (c) e pasto com presença de terracetes no P2 (d). Fotos: Rafael C. Santos, 2015 e 2016.

Por outro lado, apesar da presença de macroagregados estáveis reduzirem o potencial erosivo, eles favorecem o processo de infiltração e podem aumentar os riscos de movimentos de massa em eventos extremos em regiões com relevo movimentado, solos rasos e altos índices pluviométricos (RANGEL e GUERRA, 2017).

A atuação de processos erosivos na BHRP aumenta as possibilidades de degradação dos solos e do ambiente (figura 25), afetando tanto a área de amortecimento, como o interior do PNSB (figura 26). As pastagens que se estendem pelas encostas declivosas e sob manejo inadequado do solo, contribuem para o transporte de partículas e formação de feições erosivas. Na figura 25, é possível observar exemplos de áreas de pastagens afetadas pela erosão, sendo imprescindível a tomada de medidas mitigadoras. Caso contrário, a tendência é a perda do horizonte superficial, rico em MO, e a evolução das feições erosivas, causando danos mais graves aos produtores rurais e a conservação ambiental na área de estudo.



Figura 25: Sinais de processos erosivos na BHRP, Paraty – RJ. Erosão laminar em pastagem (a), pastagem com sinais de superpastoreio (b) pastagem com ravina em encosta com convergência de fluxo (c) e pastagem com ocorrência de ravinas (d). Fotos: Rafael C. Santos, 2015 e 2016.

Encostas convergentes e com declividade acentuada, quando têm sua cobertura vegetal natural substituída por pastagens e agricultura é comum a diminuição no teor de MO. Porém, associado a isso, o solo acaba ficando mais exposto à ação das chuvas e, geralmente, tem seu grau de erodibilidade aumentado, devido a alterações em suas propriedades físicas e químicas decorrentes das mudanças no uso e cobertura. As pastagens dentro do PNSB, por exemplo, são desenvolvidas sobre solos rasos e pedregosos e, para agravar ainda mais a situação, o superpastoreio associado à erosão expõe locais onde a vegetação de gramíneas acaba ficando mais rala, aumentando o risco de erosão (figura 26).

Anh *et al.* (2014), em estudo sobre as relações entre o uso da terra, os macronutrientes e a erosão, em região montanhosa no Norte do Vietnã, concluíram que as diferenças na cobertura vegetal e nas propriedades físicas do solo, entre usos específicos da terra, afetam os níveis de carbono e os nutrientes do solo, conseqüentemente, refletem sobre as taxas de erosão.



Figura 26: Pastagem em encosta íngreme dentro do PNSB na BHRP, Paraty – RJ. Destaque para ocupação humana dentro do Parque Nacional e para presença de blocos rochosos e canais de convergência de fluxo na encosta. Fonte: *Google Earth*, 2017.

A figura 27 mostra uma encosta com pastagem, nas proximidades do ponto P3, que usualmente sofre queimadas e apresenta terracetes, onde a convergência de fluxo está formando uma ravina com “degraus”. Acredita-se que essas feições erosivas foram formadas devido as condições criadas pela concentração de fluxo, a declividade acentuada da encosta e o manejo do solo, formando “degraus” ao longo da encosta (OLIVEIRA, 2012). No interior da ravina foi encontrada muita serapilheira transportada pelo escoamento superficial, além disso, o horizonte A foi quase totalmente perdido dentro da ravina. As feições erosivas são um pouco mais profundas na base do degrau, com acúmulo de serapilheira e partículas mais finas do solo.



Figura 27: Encosta com convergência de fluxo formando feições erosivas. Foto: Rafael C. Santos, 2015.

5.3.2 Análise da erodibilidade ao longo de transectos

Tal como os processos erosivos, a erodibilidade do solo varia no espaço e no tempo, de acordo com a dinâmica pedológica e sua relação com o ambiente (WANG *et al.*, 2013). Sabe-se que o uso da terra de forma inadequada, especialmente por atividades agropecuárias, pode provocar alterações diretas e/ou indiretas em atributos do solo, modificando sua estrutura, compactando-o e, conseqüentemente, o deixando mais erodível (MAFRA, 2012; GUERRA, 2013; KEESSTRA *et al.*, 2016).

Nesse sentido, visando analisar a erodibilidade do solo, através do estudo de seus atributos físicos e químicos, foram coletadas amostras ao longo de um transecto sob diferentes usos da terra. As encostas selecionadas estão localizadas no baixo curso da bacia do Rio Pequeno, onde foram feitos dois transectos da média até a baixa encosta. Com base nas imagens de satélite classificadas, nas imagens do *Google Earth* e nos trabalhos de campo, se observou que o uso da terra na área de estudo, ao longo dos últimos 30 anos, foi marcado pelas pastagens e pequenos cultivos de subsistência, com utilização de técnicas de capinagem, roçagem e

queimadas para limpeza do terreno até mesmo sobre as áreas florestadas, deixando o solo menos protegido contra o impacto das gotas de chuvas (figura 28 e 29).

O abandono de áreas de cultivo também foi verificado em campo, dando lugar a pastagens ou mesmo a recuperação natural da floresta (figura 29). As causas desse abandono são diversas, entre elas a improdutividade da terra, as dificuldades financeiras para produção, as dificuldades para a comercialização e os baixos preços dos produtos, tudo isso acaba desestimulando os pequenos proprietários rurais. A pecuária, por outro lado, possui custos muito mais baixos, pode fornecer leite para o consumo das famílias e os animais são mais facilmente comercializados quando necessário. No entanto, há necessidade de áreas mais extensas com pastagem para a criação do bovinos, resultando quase sempre em pressões sobre as florestas.

O transecto A possui, aproximadamente, 300 metros de comprimento com declividade média de 25°, a forma da encosta é retilínea em perfil e convexa em planta, o uso da terra se divide em três classes: floresta, cultivo temporário (madioca) recém-plantado e cultivo permanente (coqueiro) plantado a mais de 10 anos (figura 30). Já o transecto B possui, aproximadamente, 130 metros de comprimento e declividade média entorno de 18°, a encosta é retilínea em perfil e convexa em planta, a área é utilizada para pastagem a mais de 30 anos (figura 30)

Os resultados da análise granulométrica do transecto A demonstram que há um equilíbrio na distribuição do tamanho das partículas do solo, predominando a classe textural franco (tabela 8 e gráfico 8). A fração areia grossa mostrou-se presente em quantidades superiores à areia fina em todas as amostras, correspondendo a mais de 74% do total de areia, proporcionando maior porosidade e, apesar de apresentar baixa agregação, possui maior resistência à remoção pelas gotas de chuva e escoamento superficial devido a sua massa (MORGAN, 2005; BRADY e WEIL, 2008). No ponto F ocorre a maior concentração de areia grossa e a menor de argila, na profundidade de 0-10 cm, talvez devido ao processo de elutriação que provoca a remoção das partículas mais finas do topo do solo pelo escoamento superficial da água a longo prazo.

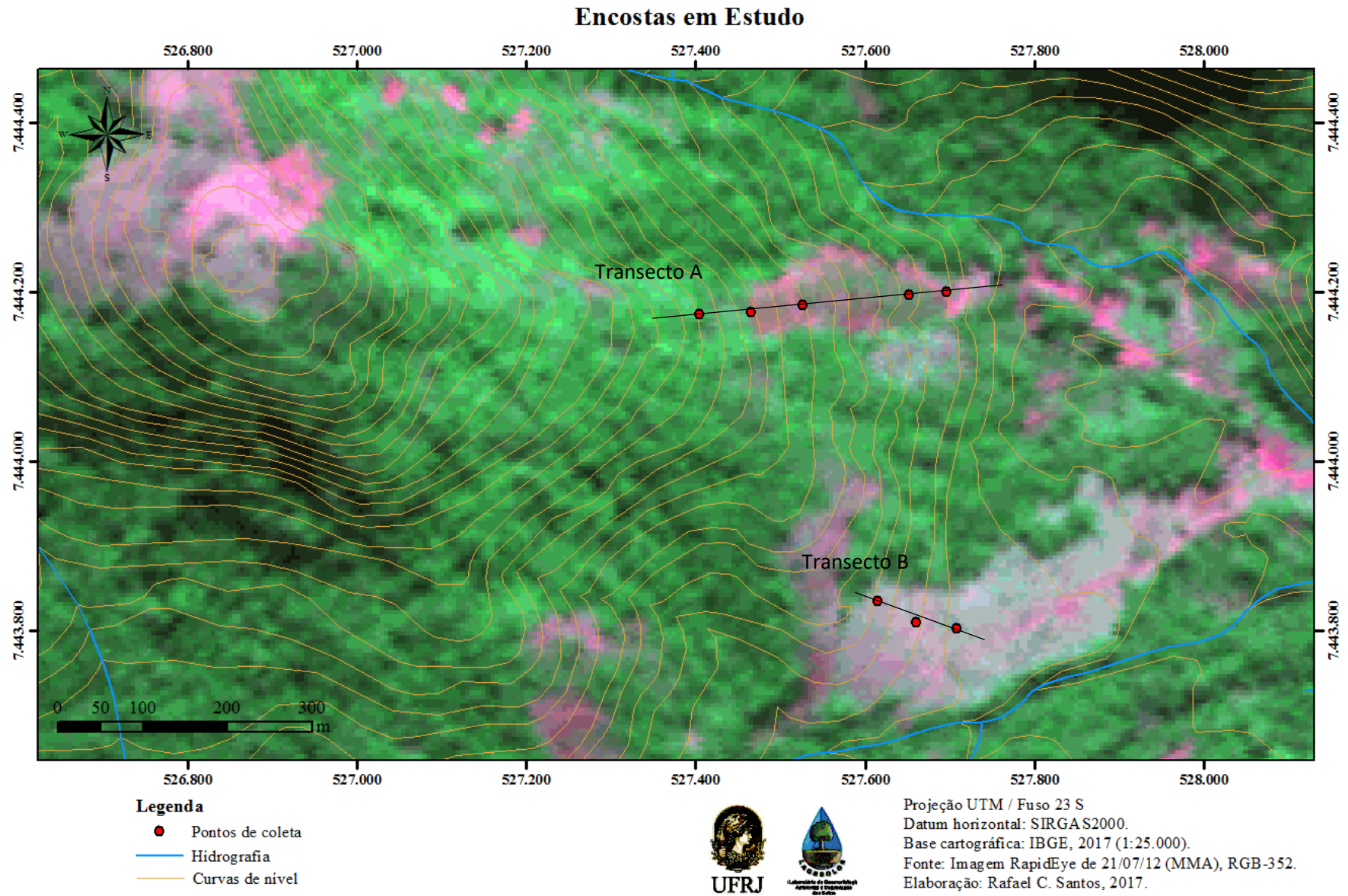


Figura 28: Localização dos transectos em estudo no baixo curso da BHRP, Paraty – RJ.

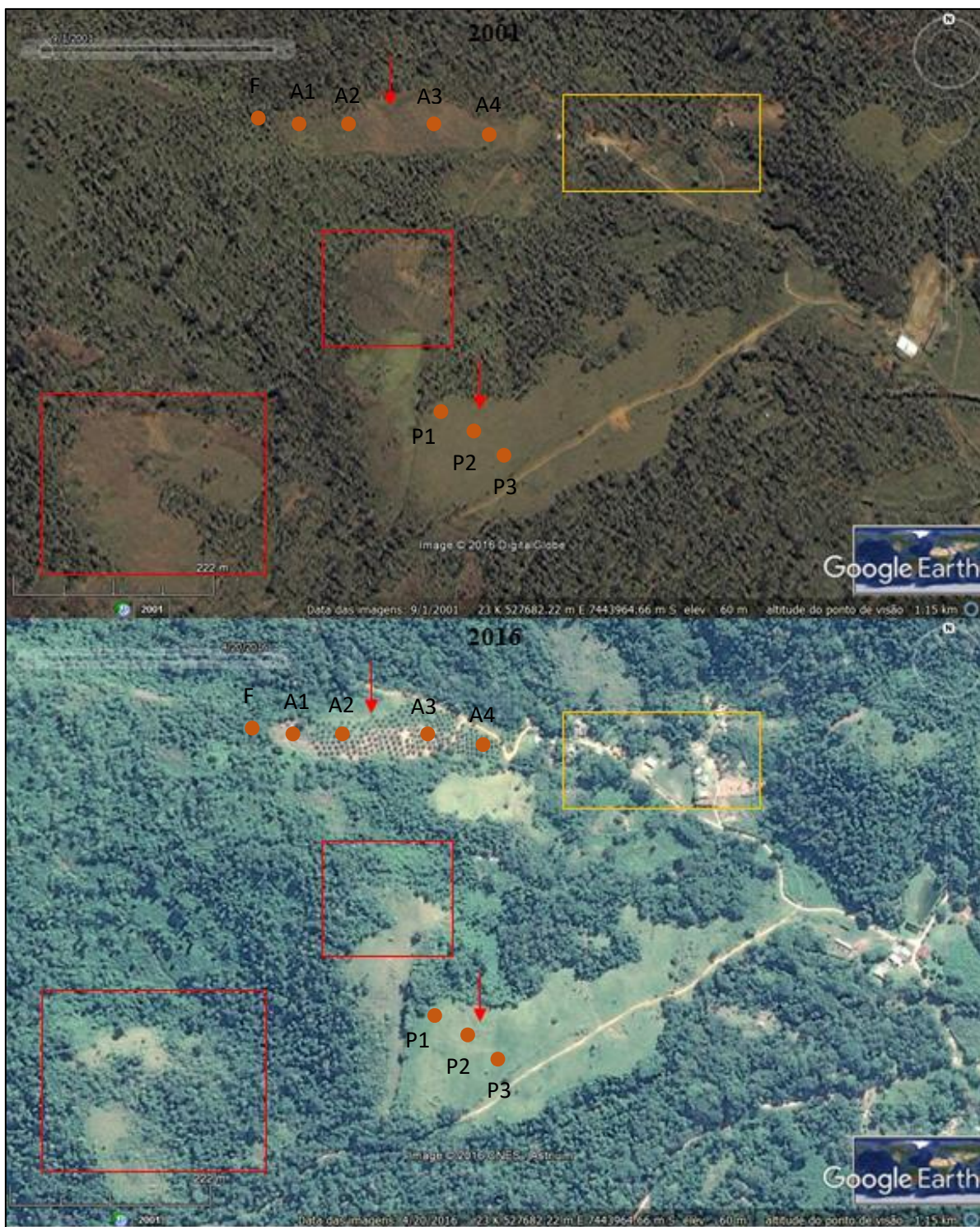


Figura 29: Uso da terra nos transecto em estudo no baixo curso da BHRP, Paraty – RJ. Destaque nos retângulos em vermelho para a regeneração da vegetação natural sobre áreas de pastagem entre 2001 e 2016; destaque em amarelo para o aumento das áreas construídas entre 2001 e 2016. F – floresta; A1 – cultivo temporário; A2, A3 e A4 – cultivo permanente; P1, P2 e P3 – pastagem. Fonte: *Google Earth*, 2017.

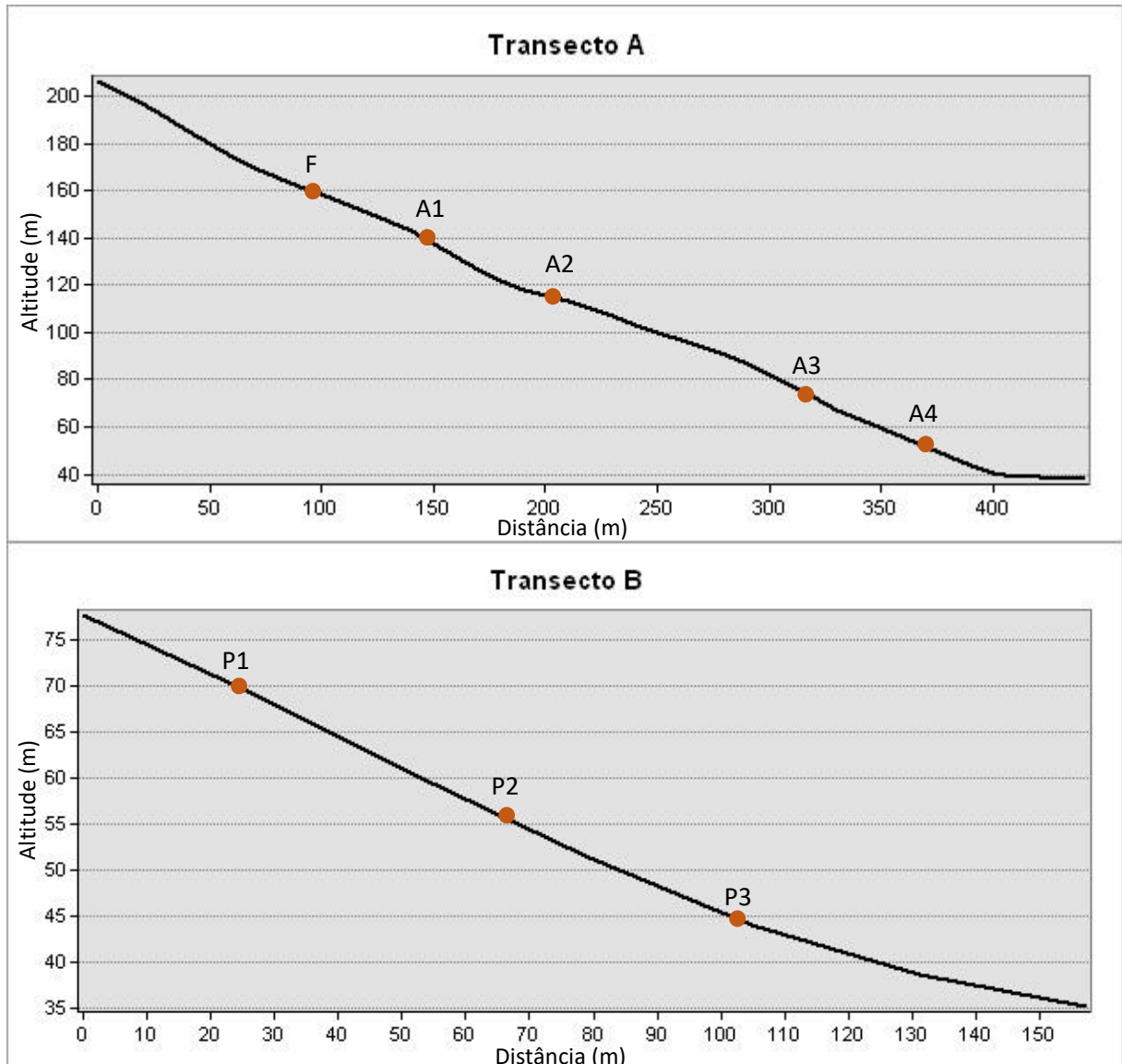


Figura 30: Perfil topográfico dos transecto em estudo no baixo curso da BHRP, Paraty – RJ. Elaborado a partir da base contínua do Rio de Janeiro, escala 1:25.000. F – floresta; A1 – cultivo temporário; A2, A3 e A4 – cultivo permanente; P1, P2 e P3 – pastagem.

Os teores de argila mantiveram-se abaixo de 24%, com exceção do ponto A3 (10-20 cm) que possui mais de 35% de argila e sua textura foi definida como franco argilosa, podendo ser explicada por ser uma camada de transição entre os horizontes A e B (figura 31c). No que se refere aos teores de areia fina + silte, partículas que são mais facilmente removidas pela água, a maioria dos pontos apresentaram valores entre 40% e 47%, cabendo observar os teores de argila e matéria orgânica – MO, que vão contribuir para a agregação do solo, assim como a cobertura vegetal que oferece proteção ao solo contra a chuva e o escoamento superficial (FULLEN e CATT, 2004; GUERRA, 2013). Ao analisar as variações texturais ao longo da encosta se nota que existe um ligeiro aumento das frações mais finas do ponto F ao A3, enquanto que no ponto A4 há um incremento de areia grossa.

Os resultados do transecto B indicam ocorrência principalmente das classes texturais franco e franco-arenosa, com predomínio da fração areia (> 45%), sobretudo, na camada de 10-20 cm (tabela 9 e gráfico 9). A areia grossa corresponde a mais de 80% do total de areia, sendo que ao contrário do transecto A, a maior concentração está na camada de 10-20 cm. Além disso, as frações mais finas (silte e argila) diminuem com a profundidade, com exceção do ponto P3, que apresenta um ligeiro aumento no teor de argila. Porém, o teor de argila é baixo, encontrando valores menores do que 21%. O teor de silte foi maior nas profundidades de 0-10 cm, atingindo 38% no P2. Assim como, o teor de areia fina + silte variou de 43% a 47% em todos os pontos na camada de 0-10 cm e menor do que 35% nas profundidades de 10-20 cm.

Os resultados da análise de densidade aparente – Da do transecto A indicaram média compactação dos solos e porosidade total – Pt em torno de 50% (gráfico 10), em decorrência da textura, teor de MO e da presença de fragmentos minerais, favorecendo a infiltração de água no solo (BRADY e WEIL, 2008; PEREIRA *et al.*, 2016). Notou-se que os pontos F, A1 e A2 apresentaram Da inferior a 1,2 g/cm³ e Pt superior a 50%, enquanto que os pontos A3 e A4 estão um pouco mais compactados com Da entre 1,3 e 1,4 g/cm³ e Pt entre 48% e 46%. Apesar do menor tempo de uso das áreas com cultivos permanentes em relação a pastagem, os altos índices pluviométricos, a declividade acentuada, a forma da encosta, o manejo tradicional do solo (solo exposto, queimadas) e os usos anteriores, contribuem para a redução da infiltração e o aumento do escoamento superficial, carreando os nutrientes e acelerando a perda de solo, principalmente, quando se trata de solos rasos com baixo teor de argila e elevado teor de areia fina + silte.

No transecto B o solo está mais compactado e, conseqüentemente, apresenta menor porosidade (gráfico 11). Na camada de 0-10 cm, a Da aumentou na ordem de P2, P3 e P4 com valores de 1,2, 1,3 e 1,4 g/cm³. Na profundidade de 10-20 cm o grau de compactação foi maior, com valores de 1,4 g/cm³ em P1 e 1,5 g/cm³ em P2 e P3. A porosidade foi afetada por esse adensamento do solo, sendo os piores resultados encontrados na profundidade de 10-20 cm, com valores entre 42% e 41%. O período superior a 30 anos de uso desta área para criação de gado corrobora para esses resultados, demonstrando o impacto causado pelo pisoteio do gado sobre a superfície do solo ao longo do tempo.

Tabela 8: Granulometria e classe textural das amostras do transecto A na BHRP, Paraty – RJ.

Ponto de coleta	Profundidade cm	Granulometria									Classe textural
		Areia Grossa		Areia Fina		Silte		Argila		Areia fina + Silte	
		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	%	
F	0-10	578,0	58,38	76,8	7,76	249,2	24,17	96,0	9,70	31,93	Franco arenoso
	10-20	376,2	37,99	113,3	11,45	340,5	33,39	170,0	17,17	44,84	Franco
A1	0-10	416,5	42,07	95,7	9,66	348,8	34,23	139,0	14,04	43,89	Franco
	10-20	404,2	40,82	100,8	10,18	308,7	30,18	186,3	18,82	40,36	Franco
A2	0-10	324,8	32,81	107,8	10,89	338,0	33,14	229,3	23,16	44,03	Franco
	10-20	331,5	33,48	116,8	11,80	355,3	34,89	196,3	19,83	46,69	Franco
A3	0-10	351,7	35,52	106,7	10,78	325,9	31,91	215,7	21,78	42,69	Franco
	10-20	317,1	32,03	94,5	9,55	236,0	22,84	352,3	35,59	32,39	Franco argiloso
A4	0-10	439,5	44,39	103,5	10,45	265,0	25,77	192,0	19,39	36,22	Franco arenoso
	10-20	392,0	39,59	113,5	11,46	294,8	28,78	199,7	20,17	40,24	Franco
Média		393,1	39,71	102,9	10,40	306,2	29,93	197,6	19,97	40,33	
Desvio padrão		76,9	7,77	11,8	1,20	43,2	4,36	66,6	6,73	5,20	
CV (%)		19,6	19,57	11,5	11,50	14,1	14,58	33,7	33,71	12,89	

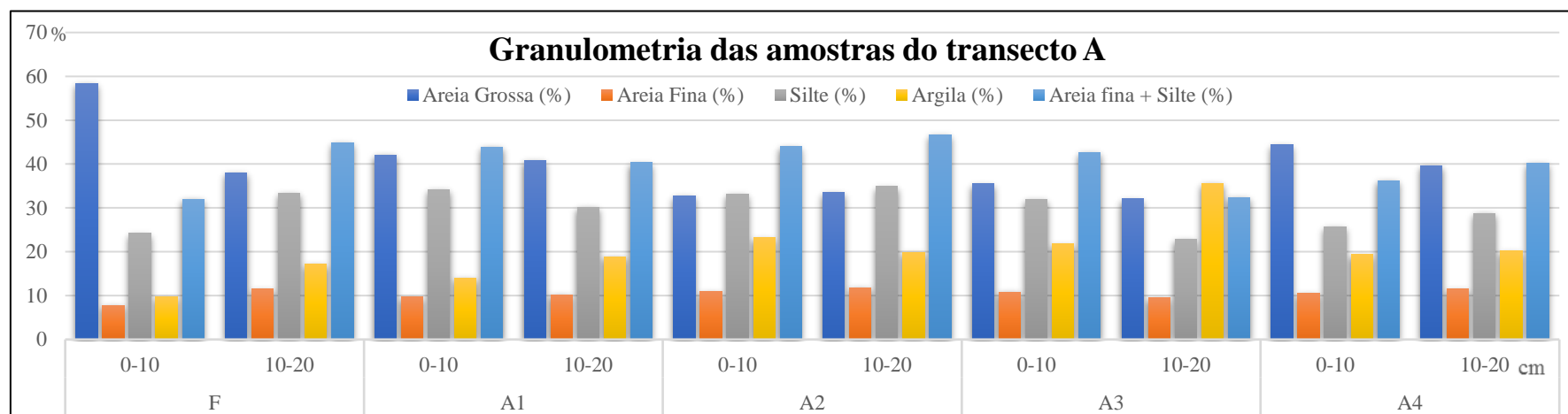
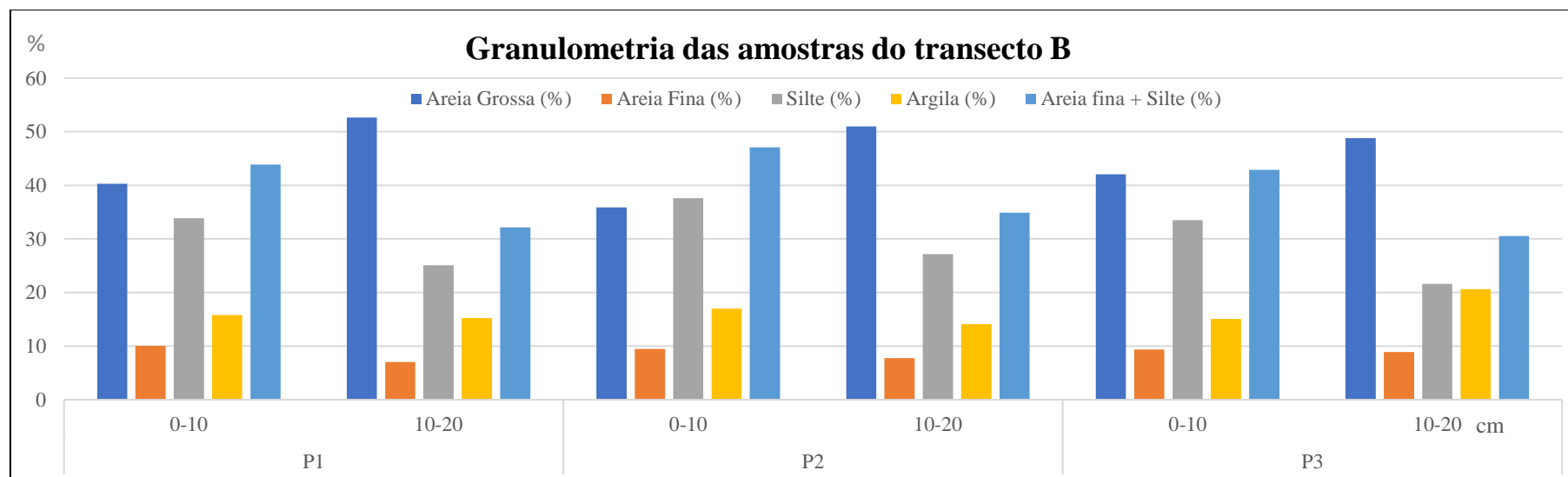
**Gráfico 8:** Granulometria das amostras do transecto A na BHRP, Paraty – RJ.

Tabela 9: Análise granulométrica das amostras do transecto B na BHRP, Paraty – RJ.

Ponto de coleta	Profundidade cm	Granulometria									Classe textural
		Areia Grossa		Areia Fina		Silte		Argila		Areia fina + Silte	
		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	%	
P1	0-10	399,2	40,32	99,2	10,02	345,0	33,84	156,7	15,82	43,86	Franco
	10-20	521,3	52,65	69,7	7,04	258,3	25,09	150,7	15,22	32,13	Franco arenoso
P2	0-10	355,5	35,9	93,8	9,48	382,3	37,62	168,3	17,00	47,10	Franco
	10-20	504,8	50,99	76,7	7,74	278,8	27,16	139,7	14,11	34,90	Franco arenoso
P3	0-10	416,5	42,07	92,7	9,36	341,8	33,52	149,0	15,05	42,88	Franco
	10-20	483,5	48,83	88,3	8,92	223,8	21,61	204,3	20,64	30,53	Franco argilo-arenoso
Média		446,8	45,1	86,7	8,8	305,0	29,8	161,5	16,3	38,6	
Desvio padrão		66,0	6,7	11,3	1,1	60,6	6,1	23,0	2,3	6,9	
CV (%)		14,8	14,8	13,0	13,0	19,9	20,5	14,3	14,3	17,9	

**Gráfico 9:** Granulometria das amostras do transecto B na BHRP, Paraty – RJ.

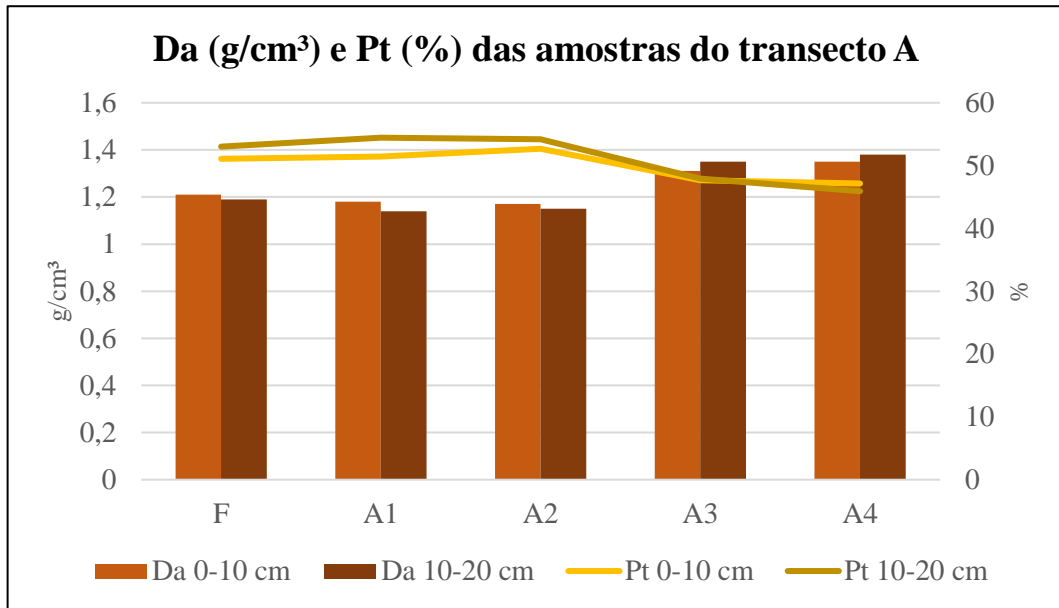


Gráfico 10: Densidade aparente – Da e Porosidade total – Pt das amostras do transecto A na BHRP, Paraty – RJ.

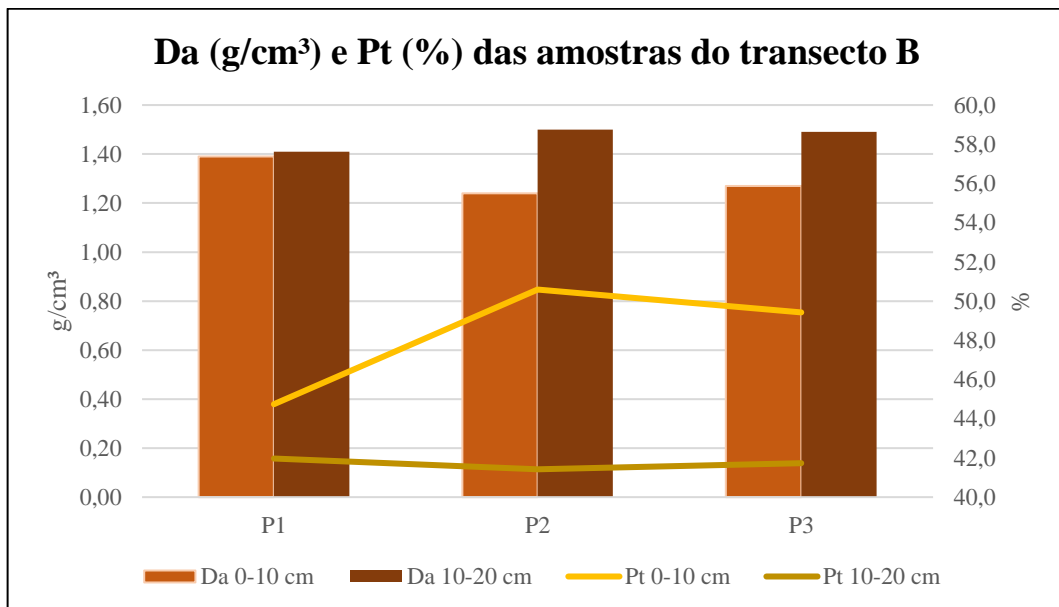


Gráfico 11: Densidade aparente – Da e Porosidade total – Pt das amostras do transecto B na BHRP, Paraty – RJ.

A compactação gerada pelo pisoteio do gado pode promover falhas e/ou diminuição da densidade da cobertura vegetal nos pastos, haja vista a resistência do solo ao crescimento das raízes, diminuindo a proteção do topo do solo (COSTA *et al.*, 2014). Thomaz e Dias (2009) debatem a influência do rebanho bovino sobre os processos geomorfológicos e a evolução da paisagem, demonstrando que o principal efeito é a compactação superficial do solo, tendo as áreas de pastagem Da superficial com valores 21% superiores e Pt 18% inferiores em relação a áreas sem influência da pecuária. Evans (1998 *apud* THOMAZ e DIAS, 2009), apresenta uma

síntese de estudos feitos em áreas de pecuária e áreas sem pecuária nos EUA, onde as áreas de pastagem apresentaram maior Da em 88% dos casos, menor taxa de infiltração em 90% dos casos, mais escoamento superficial em 95% dos casos e maior erosão em 81% dos casos.

O carbono orgânico – CO e, conseqüentemente, a matéria orgânica – MO diminuíram com a profundidade em todos os pontos do transecto A e do transecto B (gráfico 12 e 13, tabela 10). Contudo, a maioria das amostras apresentaram teores de CO e MO, respectivamente, superiores a 2,0% e 3,5%, indicando menor suscetibilidade à erosão (MORGAN, 2005; GUERRA, 2016). Apenas os pontos A3 e A4 do transecto A e P3 do transecto B, na profundidade de 10-20 cm, têm valores críticos que podem conferir maior erodibilidade ao solo, tendo em vista a importância desta propriedade para aumentar a estabilidade dos agregados e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração e resistência do solo aos processos erosivos superficiais (MAFRA, 2012; XU *et al.*, 2016).

A alta concentração de MO, na maioria das amostras analisadas, está associado a oferta de serrapilheira, ela é encontrada em abundância no ponto F na área de floresta. No ponto A1 foram encontrados os maiores valores de MO nas duas profundidades estudadas, isto se deve ao fato da área ter sido desflorestada recentemente, a serrapilheira foi então decomposta com mais rapidez e incorporada ao solo, entre outros fatores, devido a maior exposição aos agentes climáticos. Outra explicação, foi uso da técnica da coivara, ou seja, a vegetação cortada durante a limpeza do terreno foi queimada, o que contribui para a concentração de MO na camada superficial do solo (PEREIRA e THOMAZ, 2015).

Nos outros pontos do transecto A, a profundidade de 0-10 cm possui uma maior concentração de MO proveniente da vegetação morta que é capinada rotineiramente, a fim de manter o coqueiral “limpo”. O transecto B corresponde a uma área de pastagem, a oferta de MO é decorrente da própria gramínea e, também, dos excrementos do gado. Nas pastagens, as plantas absorvem os nutrientes e ao final do seu ciclo de vida, elas morrem e se decompõem no próprio local, mantendo a oferta de MO. Além disso, o sistema radicular das gramíneas é outro fator que contribui para a agregação do solo e proteção da MO, sobretudo, inter e intra-agregados (CESÁRIO *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2014; PEREIRA e THOMAZ, 2014).

A análise do pH em água indica que as amostras dos dois transectos são fortemente ácidas (tabela 10), com resultados que vão de 4,9 a 3,6, característica comum em regiões úmidas, devido ao acelerado intemperismo químico sobre os minerais primários, formando minerais secundários e perdendo as bases trocáveis através da lixiviação (BRADY e WEIL, 2008; LEPSCH, 2011; OSMAN, 2014). Gomes e Filizola (2006) destacam o papel do pH na solubilidade de nutrientes para o solo que, indiretamente, favorece na sua absorção pela

vegetação. Solos com pH entorno de 5,5 a 6,8 indicam condições favoráveis para o cultivo, salvo algumas exceções (GOMES e FILIZOLA, 2006; LOUREIRO, 2013).

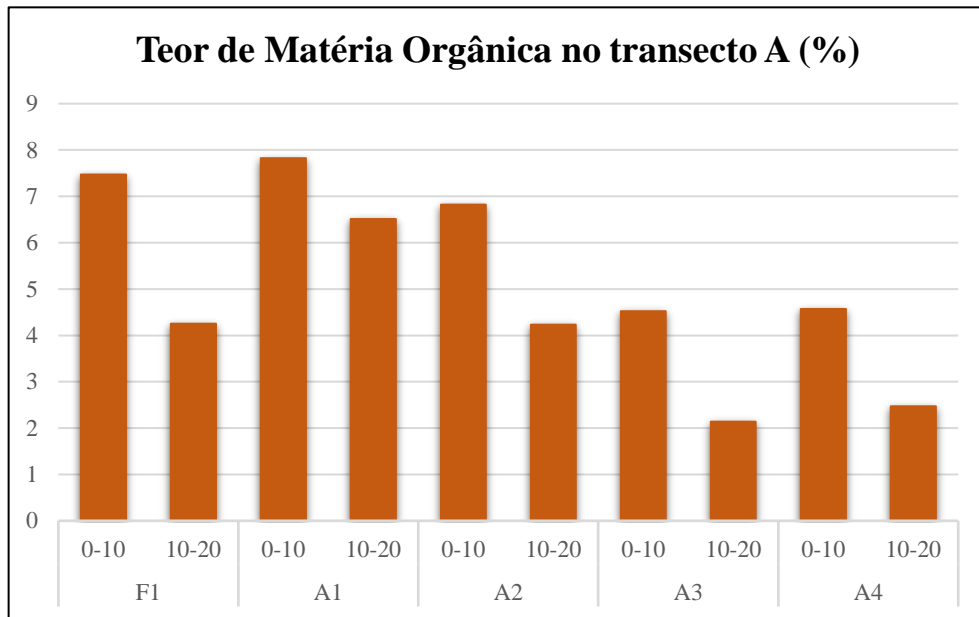


Gráfico 12: Teor de matéria orgânica nas amostras do transecto A, BHRP, Paraty – RJ.

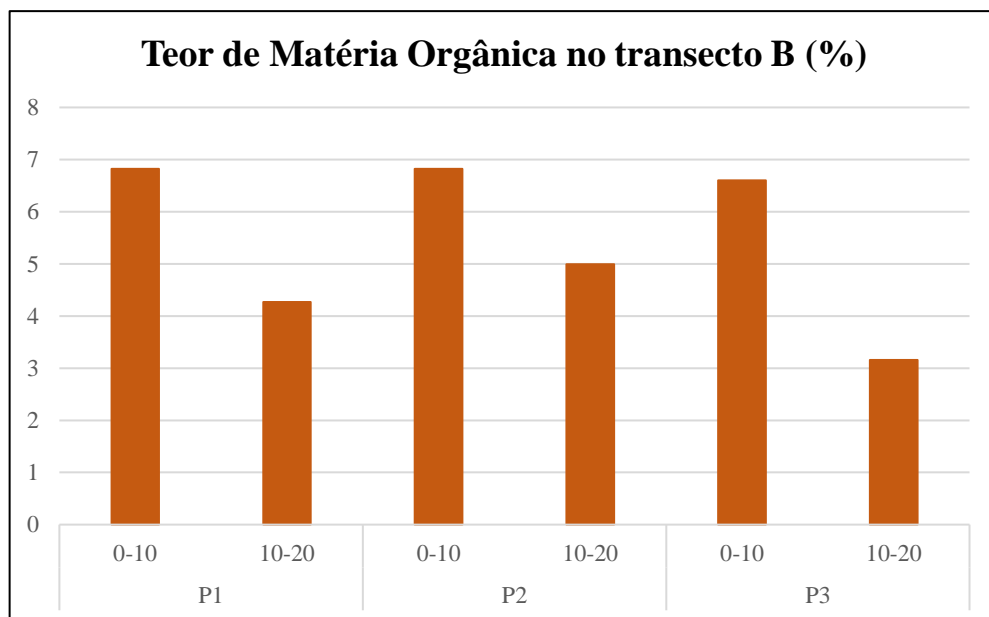


Gráfico 13: Teor de matéria orgânica nas amostras do transecto B, BHRP, Paraty – RJ.

Santos (2011) encontrou valores de pH em água, na profundidade de 0-20 cm, entre 3,1 e 4,2 em fragmentos florestais na APA Macaé de Cima, Nova Friburgo – RJ. Lima (2008), em áreas de pastagem, agricultura e floresta no médio e alto curso do rio Macaé – RJ, encontrou valores de pH entre 3,7 e 5,6, sendo que em 30 dos 54 pontos analisados, na profundidade de 0-20 cm, o pH possuía acidez elevada (< 5,0). Neves (2015), em estudo realizado na bacia do

rio Mateus Nunes em Paraty – RJ, encontrou valores de pH, na profundidade de 0-20 cm, para áreas de floresta, pastagem e agricultura em torno de 5,0 e 5,5, com exceção de duas áreas de pastagem que apresentaram valores de 4,5 e 4,0.

Os solos em estudo necessitam de correção do pH para melhor desenvolvimento dos cultivos. Porém, as limitações relacionadas à fertilidade são agravadas por outras características ambientais que contribuem para o rápido esgotamento e perda de solo. Ao comparar os atributos químicos (relacionados a fertilidade) do solo (tabela 11) na camada superficial de 0-10 cm, sob cobertura vegetal de floresta (F), cultivo permanente (A2) e pastagem (P2), observa-se que ambos possuem baixa fertilidade, entretanto, o ponto F apresentou maior soma de bases – S, Capacidade de Troca de Cátions efetiva a pH 7,0 – T e saturação por bases – V% do que o ponto A2 e P2. Além disso, a concentração de Al aumentou no sentido F, P2 e A2, contribuindo para aumentar a acidez do solo.

O cálcio é considerado um elemento importante para a formação de agregados do solo mais estáveis, contribuindo para a retenção do carbono (EVANS, 1980 *apud* LIMA, 2008; GUERRA, 2013). A maior concentração de cálcio ocorreu na amostra F, a amostra A2 apresentou um decréscimo de 75% em relação a F e a amostra P2 decréscimo de 100%. O sódio, por outro lado, atua na deterioração dos agregados que, conseqüentemente, libera partículas mais finas que podem reduzir a porosidade do solo (MORGAN, 2005; LIMA, 2008). A concentração de sódio foi igual para as amostras F e A2, porém P2 teve um aumento de 200% em relação as outras amostras.

Logo, as mudanças na cobertura vegetal têm influenciado no aporte de MO e nutrientes do solo, importante para o aumento das ligações e reações químicas que ocorrem no solo, o que associado aos altos índices pluviométricos e à declividade, favorecem o processo de lixiviação e erosão, que podem dificultar o crescimento da vegetação (OSMAN, 2014).

A estabilidade dos agregados em água é uma das propriedades mais importantes para se avaliar a erodibilidade de um solo, pois favorece o comportamento hidrológico do topo do solo e dificulta a ruptura dos agregados e a, conseqüente, formação de crosta na superfície do mesmo (DE PLOEY e POESEN, 1985; GUERRA, 2013; WANG *et al.*, 2013). As amostras analisadas do transecto A, demonstram que o solo possui boa estabilidade de agregados em água, com médias de diâmetro médio ponderado – DMP, diâmetro médio geométrico – DMG e índice de estabilidade de agregados – IEA, respectivamente, de 2,72 mm, 2,53 mm e 96,90% (tabela 12 e gráfico 14).

Tabela 10: Valores médios de Carbono Orgânico – CO, Matéria Orgânica – MO e pH dos transectos em estudo, BHRP, Paraty – RJ.

Transecto A							Transecto B						
Ponto de coleta	Profundida cm	Carbono Orgânico		Matéria Orgânica		pH (água)	Ponto de coleta	Profundida cm	Carbono Orgânico		Matéria Orgânica		pH (água)
		g/kg	%	g/kg	%				g/kg	%	g/kg	%	
F1	0-10	43,3	4,33	74,7	7,47	4,4	P1	0-10	39,5	3,95	68,2	6,82	4,6
	10-20	24,6	2,47	42,5	4,25	4,0		10-20	24,8	2,48	42,7	4,27	4,9
A1	0-10	45,3	4,53	78,1	7,82	4,7	P2	0-10	39,6	3,96	68,2	6,82	4,6
	10-20	37,8	3,78	65,1	6,51	4,6		10-20	28,9	2,89	49,9	4,99	4,8
A2	0-10	39,6	3,96	68,2	6,82	4	P3	0-10	38,3	3,83	66	6,6	4,6
	10-20	24,5	2,46	42,3	4,23	3,6		10-20	18,3	1,83	31,6	3,16	4,6
A3	0-10	26,2	2,62	45,2	4,52	4,9	-	-	-	-	-	-	-
	10-20	12,4	1,24	21,4	2,14	4,6	-	-	-	-	-	-	-
A4	0-10	26,5	2,65	45,7	4,57	4,7	-	-	-	-	-	-	-
	10-20	14,3	1,43	24,7	2,47	3,8	-	-	-	-	-	-	-
Média		29,5	2,9	50,8	5,1	4,3	-	-	31,6	3,2	54,4	5,4	4,7
Desvio padrão		11,6	1,2	19,9	2,0	0,5	-	-	9,0	0,9	15,4	1,5	0,1
CV (%)		39,3	39,2	39,2	39,2	10,4	-	-	28,4	28,4	28,4	28,4	2,8

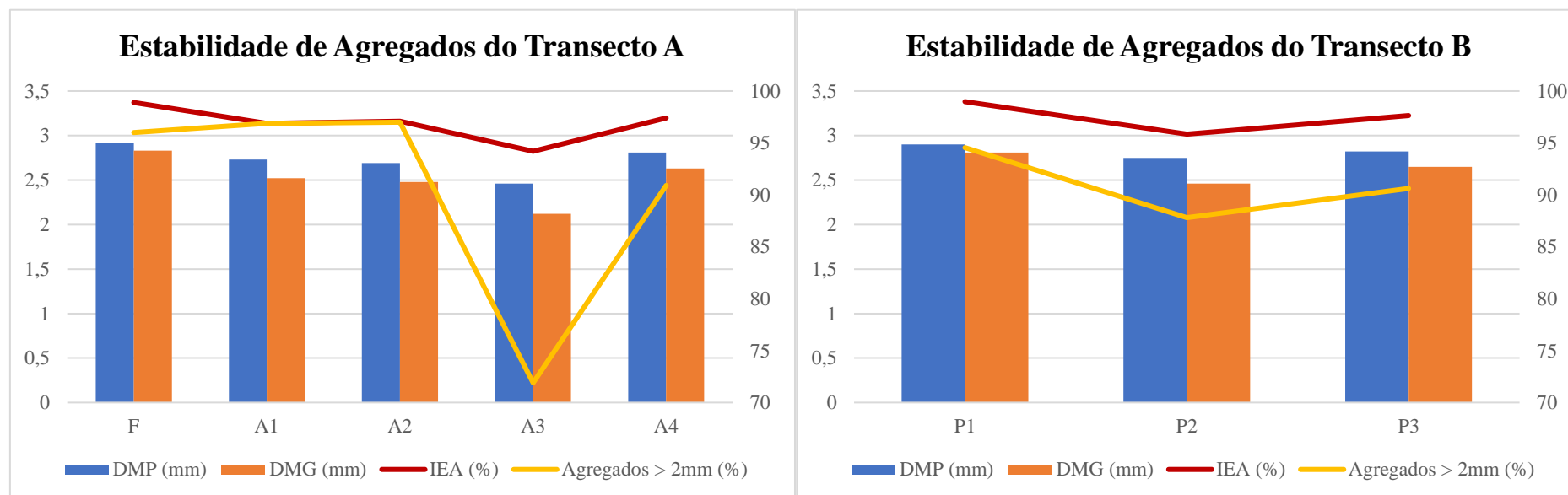
Tabela 11: Atributos químicos do solo sob diferentes usos na BHRP, Paraty – RJ.

Ponto	Profundidade (cm)	pH H ₂ O	P	K	Na	Ca	Mg	Al	Acidez Total	S	T	V
F	0-10	4,6	2,49	132,60	6,90	2,8	1,6	0,5	10,23	4,77	15,00	31,80
A2	0-10	4,3	2,63	50,70	6,90	0,7	0,5	1,7	11,39	1,36	12,75	10,67
P2	0-10	4,8	2,56	54,60	13,80	0	0,9	1,2	10,56	1,10	11,66	9,43

Ponto: F – floresta; A2 – agricultura (coqueiral); P2 – pastagem. Fertilidade: P – fósforo; K – potássio; Na – sódio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; S – soma de bases; T – capacidade de troca de cátions; V – saturação por bases.

Tabela 12: Estabilidade de agregados dos transectos em estudo na BHRP, Paraty – RJ.

Transecto A					Transecto B				
Pontos de Coleta	DMP	DMG	IEA	Agregados > 2mm	Pontos de Coleta	DMP	DMG	IEA	Agregados > 2mm
	mm	mm	%	%		mm	mm	%	%
F	2,92	2,83	98,9	96	P1	2,9	2,81	98,98	94,55
A1	2,73	2,52	96,9	96,9	P2	2,75	2,46	95,85	87,81
A2	2,69	2,48	97,1	97	P3	2,82	2,65	97,65	90,63
A3	2,46	2,12	94,2	71,9	-	-	-	-	-
A4	2,81	2,63	97,4	90,9	-	-	-	-	-
Média	2,7	2,5	96,9	90,5	-	2,8	2,6	97,5	91,0
Desv. Padrão	0,2	0,2	1,5	9,6	-	0,1	0,2	1,6	3,4
CV (%)	5,6	9,2	1,6	10,6	-	2,7	6,6	1,6	3,7

**Gráfico 14:** Estabilidade de agregados dos transectos em estudo na BHRP, Paraty – RJ: Diâmetro Médio Ponderado – DMP, Diâmetro Médio Geométrico – DMG, Índice de Estabilidade dos Agregados – IEA e Agregados maiores do que 2 mm.

Os parâmetros da estabilidade dos agregados diminuíram ao longo do transecto A do ponto F ao A3 e aumentou no ponto A4. Acredita-se que a classe textural franco arenoso do A4 tenha influenciado nesse resultado. Em quase todos os pontos o percentual de agregados maiores do que 2 mm foi superior a 90%, com exceção do ponto A3 onde o resultado caiu para 72%. No entanto, em A3 o percentual de macroagregados ($> 0,25$) foi de 94%, ou seja, ocorreu uma desagregação um pouco maior na fração de 2 mm durante o ensaio no Yoder, retendo os macroagregados nas peneiras de 1 mm e 0,5 mm.

A estabilidade dos agregados no transecto B também apresentou bons resultados, com valores médios 2,82 mm de DMP, 2,64 mm de DMG, IEA de 97,5% e 91% dos agregados maiores do que 2 mm (tabela 12 e gráfico 14). Os melhores resultados seguiram a ordem P1, P3 e P2, demonstrando que a média encosta apresentou resultados inferiores aos outros dois pontos. As explicações para essa pequena variação podem estar relacionadas ao maior teor de silte do P2 em relação aos outros pontos, a baixa concentração de nutrientes que favorecem a agregação, como o cálcio, por outro lado, a alta concentração de sódio que favorece a desagregação, entre outros (MORGAN, 2005).

Ao relacionar as amostras dos dois transectos, se observou a estabilidade dos agregados decresceu no sentido floresta-pastagem-agricultura, corroborando com os resultados encontrados por Rangel e Guerra (2017), em um Cambissolo Háplico na bacia do Córrego dos Micos em Paraty – RJ, onde os parâmetros de estabilidade dos agregados decresceram no sentido floresta – pastagem – cultivo temporário (aipim), respectivamente, com DMP de 2,71, 2,48 e 1,99 mm, DMG de 2,4, 1,98 e 1,3 mm e IEA de 96,89, 93,07 e 88,4%. Cesário *et al.* (2014), em estudo no município de São Francisco de Itabapoana – RJ, através de amostras sob diferentes usos na profundidade de 0-20 cm, chegou a seguinte ordem de estabilidade dos agregados: floresta – pastoreio rotacionado – abacaxi/aipim, com valores de DMP e IEA, respectivamente, de 2,94 – 2,92 – 2,22 mm e 92,28 – 91,11 – 58,75%.

A cobertura vegetal e o uso do solo ao longo dos transectos em estudo, como citado anteriormente, interferem na resposta dos solos à ação das chuvas. As terras nessa área (figura 31) apresentam forte restrição ao uso relacionada à declividade acentuada, baixa fertilidade natural e acidez do solo, sendo os cultivos viabilizados, principalmente, pela presença de horizonte superficial rico em MO. Nesse sentido, as plantações se expandem em direção à mata, com utilização de técnicas rudimentares (queimadas e coivara), deixando o solo exposto para o cultivo e suscetível à erosão pelo escoamento superficial, mesmo apresentando atributos físicos e químicos que lhe confere baixa erodibilidade.

No coqueiral o solo é periodicamente limpo através da capinagem e roçagem, ou mesmo com a utilização de herbicidas. Cultivos temporários também são feitos em consórcio com o cultivo permanente. Contudo, o produtor rural não faz uso de um manejo adequado para o ambiente com essas características, aumentando a suscetibilidade à erosão e, conseqüentemente, a redução da produtividade da terra. No caso da pastagem, as gramíneas quando bem desenvolvidas podem diminuir a ação das chuvas e fornecer MO para o solo, mas o superpastoreio e a realização de queimadas pode prejudicar os atributos do solo e contribuir para sua degradação (figura 32).

Assim, o principal tipo de erosão identificado na encosta foi a laminar (figura 31d). Segundo Lepsch (2011), a erosão laminar é responsável pela maior taxa de perda de solos no Brasil, com atuação lenta e insidiosa. Müller-Nedebock e Chaplot (2015) apontam a erosão laminar como a principal responsável pela perda de solos férteis nas encostas em todo o mundo.



Figura 31: Áreas com cultivo no transecto A: solo cultivado recentemente – ponto A1 (a), coqueiral – ponto A4 (b), perfil de 0-20 cm no ponto A4 (c) e erosão laminar no cultivo permanente (d).



Figura 32: Área de pastagem do transecto B na BHRP, Paraty – RJ. Destaque para a camada superficial utilizada na coleta. Fotos: Rafael C. Santos, 2016.

6. CONCLUSÕES

A avaliação do estado ambiental da bacia hidrográfica do rio Pequeno – BHRP revela que os atributos geomorfológicos associados às atividades agropecuárias, desenvolvidas através de um manejo tradicional, são os principais fatores responsáveis pelas lentas e preocupantes transformações na paisagem. Os solos, apesar de apresentarem limitações ao uso relacionadas principalmente a declividade e fertilidade, se mostraram com baixa erodibilidade, decorrente sobretudo da alta concentração de matéria orgânica na camada de solo estudada. Logo, é necessário incentivar usos conservacionistas que garantam a qualidade dos solos e da biodiversidade, além de proporcionar renda para a população local.

Aproximadamente 76% da bacia está inserida no Parque Nacional da Serra da Bocaina – PNSB, Unidade de Conservação – UC de proteção integral, onde é permitido apenas o desenvolvimento de atividades ligadas ao turismo sustentável e a pesquisas científicas, mediante a autorização da gestão do Parque. Contudo, o PNSB ainda não foi implementado completamente na área de estudo, com a desapropriação de famílias, que vivem dentro dos seus limites, e praticam atividades ligadas ao solo sem um manejo adequado. Com isso, as pressões antrópicas dentro desta UC e em sua zona de amortecimento acabam afetando os remanescentes florestais e a biodiversidade.

No presente estudo, a erosão dos solos foi objeto de atenção e seus fatores controlados foram abordados, buscando compreender a suscetibilidade do solo à erosão e as implicações sobre o ambiente. A metodologia aplicada baseou-se na literatura nacional e internacional sobre erosão de solos, foram feitos trabalhos de campo para observações *in situ*; foram analisados os atributos geomorfológicos e sua influência nos processos hidrológicos, biológicos e pedológicos; a qualidade dos solos e sua erodibilidade foi avaliada na camada superficial de 0-20 cm, através da coleta e análise de propriedades físicas e químicas dos solos em diferentes pontos da bacia; e a evolução do uso e cobertura da terra foi analisada através da classificação semiautomática de imagens de satélite.

As características geomorfológicas da bacia conferem condições ambientais propícias a aceleração de processos geomorfológicos. O elevado desnível topográfico de aproximadamente 1.840 m, em uma área relativamente pequena, favorece a predominância de declividades acentuadas (61% da bacia possui declividade entre 20-45°), exerce influência sobre as massas de ar, causando a ocorrência de chuvas orográficas com alto potencial erosivo, e no processo de formação dos solos, resultando no predomínio de solos rasos e pedregosos, com baixa fertilidade e acidez elevada.

Com isso, a energia potencial para ocorrência do escoamento superficial é aumentada, sobretudo, quando a cobertura vegetal de floresta é retirada. A orientação e forma das encostas influenciam na direção, dispersão e concentração do fluxo superficial, contudo, na área de estudo é a interação desses atributos geomorfológicos com, principalmente, o uso da terra que vai desequilibrar o sistema provocando a ocorrência de feições erosivas.

Os solos analisados apresentaram resultados que demonstram baixa erodibilidade. Todas as amostras de solo possuem alto teor de areia, principalmente, a areia grossa, predominando a classe textural franco arenosa. Os valores médios das frações areia fina + silte foi de 40%, o que associado aos baixos teores de argila de quase todas as amostras pode contribuir para a ocorrência da erosão. Os solos, predominantemente, apresentaram médio grau de compactação e porosidade total em torno de 50%, o que não oferece de imediato dificuldade ao desenvolvimento das plantas e a infiltração de água no solo. Observou-se que todas as amostras possuem pH ácido e que o teor de matéria orgânica diminui com a profundidade em todos os pontos, mas são valores de matéria orgânica relativamente altos tendo em vista que se trata da camada superficial do solo.

No entanto, as mudanças na cobertura vegetal e o manejo inadequado têm influência direta no aporte de matéria orgânica do solo, podendo afetar suas propriedades e aumentar sua erodibilidade ao longo do tempo. Haja vista que o teor de matéria orgânica, responsável por fornecer nutrientes ao solo e aumentar a estabilidade dos agregados e sua resistência à erosão, está concentrado no horizonte superficial do solo e depende diretamente da retroalimentação proporcionada pela cobertura vegetal.

A análise da erodibilidade do solo, ao longo de transectos, apresentou pequenas variações em seus atributos físicos e químicos ao longo da encosta, que também demonstraram baixa erodibilidade. Porém, quando associado à erodibilidade dos solos, com as mudanças na cobertura vegetal, desencadeadas pelas atividades humanas, ao longo de encosta íngremes com solos com alto teor de areia e baixo teor de argila, as respostas erosivas do solo podem ser aumentadas, resultando em taxas elevadas de perda do mesmo.

As análises químicas de fertilidade feitas para os diferentes usos da terra nos transectos demonstram que ambos possuem baixa fertilidade, mas a amostra de floresta apresentou resultados melhores em relação a agricultura e a pastagem. Indicando que o uso da terra sobre essas condições ambientais e sem um manejo adequado pode ser prejudicial a qualidade do solo de acordo com o tempo de uso, podendo influenciar em outras propriedades do solo e o tornar mais suscetível à erosão.

Com relação a evolução do uso e cobertura da terra entre 1986, 2000 e 2012, poucas mudanças quantitativas foram observadas. Por outro lado, a espacialização das classes definidas mostrou que ocorreram mudanças espaciais significativas, especialmente, relacionada às atividades agropecuárias. A expansão das áreas de pastagem sobre a floresta, mesmo dentro do PNSB, constitui um problema. Sinais de superpastoreio foram identificados em diferentes áreas de pastagens na bacia, provocando a compactação do solo e a formação de terracetes, diminuindo a porosidade, o que dificulta o crescimento das espécies vegetais e favorece o escoamento superficial.

Erosão laminar e em ravinas foram verificadas em pastagens sobre encostas íngremes e com sinais de superpastoreio na BHRP. A agricultura se estende por pequenas áreas, principalmente, no baixo curso do rio Pequeno e também provoca a diminuição da qualidade dos solos. As técnicas utilizadas nas atividades agropecuárias envolvem capinagem, roçagem, coivara e queimadas que buscam manter o solo “limpo” e/ou o pasto livre de ervas daninhas, conseqüentemente, acaba destruindo a matéria orgânica e deixando o solo desprotegido.

Logo, a população local, através de suas práticas agropecuárias, não compactua com os mesmos interesses da equipe gestora do PNSB, acarretando em pressões negativas sobre o mesmo. O Plano de Manejo, neste sentido, se mostra como um caminho a ser implementado visando um convívio mais harmonioso entre a população local e a UC.

Portanto, os conflitos entre a conservação e o uso da terra são evidentes, ainda existe ausência de diálogo entre as esferas de poder e suas ações. Para buscar soluções que minimizem o problema, faz-se necessário uma gestão integrada que envolva as diferentes esferas do governo, as ONGs e a população local, visando a conservação ambiental e o desenvolvimento, em bases sustentáveis, do município de Paraty.

A adoção de medidas conservacionistas que busquem proteger, especialmente, a camada superficial do solo rica em MO, são imprescindíveis para a continuidade, em bases sustentáveis, das atividades agrícolas desenvolvidas por produtores rurais na área de amortecimento do Parque, a exemplo de sistemas agroflorestais. Para isto, todavia, a intervenção de políticas públicas que visem fornecer assistência técnica aos agricultores é de fundamental importância, devendo considerar a combinação de questões científicas, socioeconômicas e políticas, além de criar e fortalecer canais de diálogo entre os produtores e a gestão da UC para o sucesso das medidas conservacionistas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e Evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

ALMEIDA, J. R.; TERTULIANO, M. F. Diagnose dos Sistemas Ambientais: métodos e indicadores. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 115-171.

ALMEIDA, M. C. Concepções de natureza e conflitos pelo uso do solo em Paraty/RJ: uma abordagem através da noção de redes sócio-técnicas. In: II Encontro Nacional de Economia Ecológica, 1997, São Paulo. **Anais do II Encontro Nacional de Economia Ecológica**, 1997.

AMORIM, R. R. Um novo olhar na geografia para os conceitos e aplicações de geossistema, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 80-101, 2012.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Informações Hidrológicas: hidro web**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: março de 2016.

ANDRADE, A. G.; FREITAS, P. L.; LANDERS, J. Aspectos gerais do manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. (Orgs.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2010. p. 25-40.

ANH, P. T. Q.; GOMI, T.; MACDONALD, L. H.; MIZUGAKI, S.; KHOA, P. V.; FURUICHI, T. Linkages among land use, macronutrient levels, and soil erosion in northern Vietnam: a plot-scale study. **Geoderma**. v. 232-234, p. 352-362, 2014.

ANTONELI, V.; BEDNARZ, J. A.; THOMAZ, E. L. Produção de sedimento em caminhos de animais em sistema de faxinal na região centro-sul do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 13, n. 3, p. 311- 322, 2012.

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2007.

ASIO, V. B.; JAHN, R.; PEREZ, F. O.; NAVARRETE, I. A.; ABIT JÚNIOR, S. M. A review of soil degradation in the Philippines. **Annals of Tropical Research**, v. 31, n. 2, p. 69-94, 2009.

BACCARO, C. A. D. Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 195-227.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. Tradução: Olga Cruz. **RA'E GA**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.

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, Instituto de Geociências/UFRJ. Rio de Janeiro, 2011.

BIRHANU, A. Environmental degradation and management in Ethiopian highlands: Review of lessons learned. **International Journal of Environmental Protection and Policy**. v. 2, n. 1, p. 24-34, 2014.

BLUM, W. E. H. The Role of Soils in Sustaining Society and the Environment: Realities and Challenges for the 21st Century. Keynote Lectures. **XVII World Congress of Soil Science**, Bangkok, Tailândia, 2002. p. 67-86.

BOARDMAN, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. **Catena**. v. 68, p. 73-86, 2006.

_____. Soil erosion in Britain: updating the record. **Agriculture**. v. 3, p. 418-442, 2013.

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 dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 269-300.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 153-192.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed., Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Nova York: Prentice-Hall, 2008.

BRASIL. **Decreto nº 58.077, de 24 de março de 1966**. Converte em Monumento Nacional o município fluminense de Paraty e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-58077-24-marco-1966-398697-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: fevereiro de 2017.

_____. **Decreto nº 68.172, de 4 de fevereiro de 1971**. Cria o Parque Nacional da Serra da Bocaina e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-68172-4-fevereiro-1971-410080-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: Abril de 2015.

_____. **Decreto nº 70.694, de 8 de junho de 1972**. Altera artigo 1º, do Decreto nº 68.172, de 4 de fevereiro de 1971, que cria o Parque Nacional da Serra da Bocaina, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-70694-8-junho-1972-419519-retificacao-26348-pe.html>>. Acesso em: Abril de 2015.

_____. CONAMA. **Resolução 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: Abril de 2015.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/IBAMA/DIREC. **Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina**: Brasília: FEC/UNICAMP, 2002.

CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; WITTERN, K. P.; LEMOS, A. L.; SANTOS, R. D.; CALDERANO FILHO, B.; CALDERANO, S. B.; OLIVEIRA, R. P.; AGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S.; CHAFFIN, C. E. **Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003. Escala 1:250.000. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/sigweb.html>>.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

_____. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: Setembro de 2011.

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, p. 527-538, 1998.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; 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, p.45-51, 2002.

CESÁRIO, F. V.; DONAGREMMA, G. K.; MACEDO, J. R.; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E. BALIEIRO, F. C. **Índices de agregação e teor de carbono intra-agregados como indicadores de qualidade do solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2014.

CHICAS, S. D.; OMINE, K.; FORD, J. B. Identifying erosion hotspots and assessing communities' perspectives on the drivers, underlying causes and impacts of soil erosion in Toledo's Rio Grande Watershed: Belize. **Applied Geography**. v. 68, p. 57-67, 2016.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and General Systems Theory. **US Geological Survey Professional**. Paper 500-B, p. 1-10, 1962.

_____. A Geomorfologia e a Teoria dos Sistemas Gerais. **Notícia Geomorfológica**. v. 11, n. 21, p. 3-22, 1971.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a systems approach**. London: Prentice-Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

_____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas**: uma introdução à geografia física. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

COELHO NETO, 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. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 93-148.

COMINO, J. R.; SINOVA, J. D. R.; GONZÁLEZ, J. M. S.; MERCHÁN, A. G.; SEEGER, M.; RIES, J. B. High variability of soil erosion and hydrological processes in Mediterranean hillslope vineyards (Montes de Málaga, Spain). **Catena**. v. 145, p. 274-284, 2016.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in Environmental Management**: a new introduction. 2. ed. Oxford: Clarendon, 1990.

CORRÊA, A. C. B.; SOUZA, J. O. P.; CAVALCANTI, L. C. S. Solos do Ambiente Semiárido Brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 127-169.

COSTA, A. C. M.; ALMEIDA, F. P.; RIBEIRO, F. A. B. S. Indicadores da qualidade ambiental sob diferentes profundidades e práticas de manejo em uma mesma topossequência. In: V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2014, Belo Horizonte/MG. **Anais...**, 2014. p. 1-10.

COSTA, G. C. P.; SILVA, A. S. Aumento da erosão pela compactação do horizonte superficial causada pelo pisoteio bovino em Santo Antônio de Pádua – RJ. In: 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015, Bento Gonçalves. **Anais...**, 2015. p. 1-10.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 10. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2011. p. 337-379.

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

DE PLOEY, J.; POESEN, J. Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. In: RICHARDS, K. S.; ARNETT, R. R.; ELLIS, S. (Eds.). **Geomorphology and Soils**. London: George Allen, 1985.

DOWNS, P. W.; BOOTH, D. B. Geomorphology in Environmental Management. In: GREGORY, K. J.; GOUDIE, A. S. (Eds.). **The Sage Handbook of Geomorphology**. London: SAGE, 2011. p. 78-104.

DREW, D. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

DUMANSKI, J. Soil Conservation in a Changing World. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. (Orgs.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2010. p. 53-74.

EIRADO, L. G.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J. C. H. Os Terrenos Tectônicos da Faixa Ribeira na Serra da Bocaina e na Baía da Ilha Grande, Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 36, n. 3, p. 426-436, 2006.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

FAVIS-MORTLOCK, D. T. Erosion by Water: Accelerated. In: JORGENSEN, S. E. (Ed.) **Encyclopedia of Environmental Management**. CRC Press, 2012.

FERNANDES, M. C.; MENEZES, P. M. L. Comparação entre métodos para geração de MDE para a obtenção de observações em superfície real no Maciço da Tijuca – RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 57/02, p. 154-161, 2005.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimento de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 123-194.

FERREIRA, A. J. D.; ALEGRE, S. P.; COELHO, C. O. A.; SHAKESBY, F. M. P.; FERREIRA, C. S. S.; KEIZER, J. J.; RITSEMA, C. Strategies to prevent forest fires and techniques to reverse degradation processes in burned areas. **Catena**. v. 128, p. 224-237, 2015.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem Complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 11-30.

FONSECA, A. C. Geoquímica dos Solos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 165-194.

FONTES, C. F. L.; GUERRA, A. J. T. Conflitos socioambientais na APA de Cairuçu (Paraty-RJ) à luz da sobreposição com unidades de conservação de diferentes categorias. **Geosp – Espaço e Tempo**. v. 20, n. 1, p. 178-193, 2016.

FULLEN, M. A.; CATT, J. A. **Soil Management: problems and solutions**. Londres: Arnold Publisher, 2004.

GARCÍA-RUIZ, J. M. Why Geomorphology is a Global Science. **Cuadernos de Investigación Geográfica**. n. 41, p. 87-105, 2015.

GOMES, L. J.; CARMO, M. S.; SANTOS, R. F. Conflitos de interesses em Unidades de Conservação do município de Parati, Estado do Rio de Janeiro. **Informações Econômicas**. v. 34, n. 6, p. 17-27, 2004.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006.

GOUDIE, A. **The Changing Earth: rates of geomorphological processes**. Oxford: Blackwell, 1995.

GOUDIE, A.; VILES, H. **The Earth Transformed**: na introduction to human impacts on the environment. Oxford: Blackwell, 1997.

GOVERS, G.; MERCKX, R.; WESEMAEL, B. V.; OOST, K. V. Soil conservation in the 21st century: why we need smart agricultural intensification. **Soil**. v. 3, p. 45-59, 2017.

GREGORY, K.J. **A Natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GRIEVE, S. W. D.; MUDD, S. M.; HURST, M. How long is a hillslope? **Earth Surface Processes and Landforms**. 2016.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos Solos. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 181-227.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 225-256.

GUERRA, A. J. T. A Erosão do Solos no Contexto Social. **Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 17, p. 14-23, 1994.

_____. O Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 17-55.

_____. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 149-209.

_____. Degradação dos solos: conceitos e temas. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 15-50.

_____. Encostas e a Questão Ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **A Questão Ambiental**: diferentes abordagens. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 191-218.

_____. **Erosão dos Solos e Movimentos de Massa**: Abordagens Geográficas. Curitiba: CRV Editora, 2016.

GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. 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, p. 1-21, 2013.

GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; FULLEN, M. A.; MENDONÇA, J. K. S. The effects of biological geotextiles on gully stabilization in São Luís, Brazil. **Natural Hazards**, Dordrecht, v. 75, p. 2625-2636, 2015.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; ALEXANDRE, S. T. Soil Erosion and Conservation in Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ**. Rio de Janeiro, v. 37, p. 81-91, 2014.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R. Slope Processes, Mass Movements and Soil Erosion: a review. **Pedosphere**. v. 27, p. 27-41, 2017.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

HOLZ, D. J.; WILLIARD, K. W. J.; EDWARDS, P. J.; SCHOONOVER, J. E. Soil Erosion in Humid Regions: A Review. **Journal of Contemporary Water Research & Education**. n.154, p. 48-59, 2015.

HUGGETT, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. 2. ed. London: Taylor & Francis, 2007.

_____. Process and Form. In: GREGORY, K. J.; GOUDIE, A. S. (Eds.). **The Sage Handbook of Geomorphology**. London: SAGE, 2011. p. 174-191.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

_____. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

_____. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

_____. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=330380&search=rio-de-janeiro|paraty>>. Acesso em: Abril de 2016.

_____. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agropecuária municipal 2015**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=330380&search=rio-de-janeiro|paraty>>. Acesso em: Abril de 2016.

ILEK, A.; KUCZA, J.; SZOSTEK, M. The effect of the bulk density and the decomposition index of organic matter on the water storage capacity of the surface layers of forest soils. **Geoderma**. v. 285, p. 27-34, 2017.

IONITA, I.; FULLEN, M. A.; ZGLOBICKI, W.; POESEN, J. Gully erosion as a natural and human-induced hazard. **Natural Hazards**. v. 79, S1, p. 01-05, 2015.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e movimentos de massa: recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 7-30.

KASSA, H.; DONDEYNE, S.; POESEN, J.; FRANKL, A.; NYSSSEN, J. Transition from forest-based to cereal-based agricultural systems: a review of the drivers of land-use change and degradation in southwest Ethiopia. **Land Degradation and Development**. p. 1-19, 2016.

KESSTRA, S.; PEREIRA, P.; NOVARA, A.; BREVIK, E. C.; MOLINA, C. A.; ALCÁNTARA, L. P.; JORDÁN, A.; CERDÀ, A. Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. **Science of The Total Environment**. v. 551-552, p. 357-366, 2016.

KONDOLF, M.; PIÉGAY, H. Geomorphology and Society. In: GREGORY, K. J.; GOUDIE, A. S. (Eds.). **The Sage Handbook of Geomorphology**. London: SAGE, 2011. p. 105-117.

LEFF, E. **Epistemologia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

_____. **Aventuras da Epistemologia Ambiental: da articulação das ciências ao diálogo de saberes**. São Paulo: Cortez, 2012.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

LIMA-E-SILVA, P. P.; GUERRA, A. J. T.; DUTRA, L. E. D. Subsídios para Avaliação Econômica de Impactos Ambientais. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 217-261.

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

LIMA, L. D. M. **Suscetibilidade à Erosão dos Solos nas Sub-Bacias do Médio e Alto Cursos da Bacia do Rio Macaé-RJ**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências/UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.

LIU, F.; ZHANG, G.; SUN, L.; WANG, H. Effects of biological soil crusts on soil detachment process by overland flow in the Loess Plateau of China. **Earth Surface Processes and Landforms**. 2015.

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 (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências/UFRJ. Rio de Janeiro, 2013.

MACHADO, A. S. V. **Geomorfometria da região de Fartura (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2014.

MADU, C. N. **Environmental Planning and Management**. London: Imperial College, 2007.

MAFRA, N. M. C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 301-322.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 23-50.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia**, Londrina, v. 17, n. 2, p. 67-87, 2008.

MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 14, p. 39-46, 2001.

MELLO, T. F. **Estrutura da vegetação, cobertura florestal e preferências de uso da paisagem associadas a vertentes: as quase-florestas de São Luiz de Paraitinga (SP)**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

MENDONÇA, J. F. B. **Solo: substrato da vida**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2010.

MENDONÇA, F. **Geografia Física: ciência humana?** 3. ed. São Paulo: Contexto, 1992.

MMA. **Mata Atlântica: patrimônio nacional dos brasileiros**. Brasília: MMA, 2010.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. 3. ed. England: Blackwell, 2005.

MÜLLER-NEDEBOCK, D.; CHAPLOT, V. Soil carbon losses by sheet erosion: a potentially critical contribution to the global carbon cycle. **Earth Surface Processes and Landforms**. v. 40, p. 1803–1813, 2015.

NASCIMENTO, M. Nascimento, Morte e Renascimento de Paraty-RJ: a importância da posição geográfica na sua evolução urbana. In: X Encontro de Geógrafos de América Latina. 2005, São Paulo. **Anais - Por uma Geografia Latino-Americana: do labirinto da solidão ao espaço da solidariedade**, 2005. p. 9986-10004.

NEVES, S. R. A. **Análise prognóstica de processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

NOGUEIRA, P. M. **Influência de variáveis ambientais no processo de regeneração natural da mata atlântica no Vale do Paraíba do Sul**. Monografia (Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2012.

NOUWAKPO, S. K.; WILLIAMS, C. J.; AL-HAMDAN, O. Z.; WELTZ, M. A.; PIERSON, F.; NEARING, M. A review of concentrated flow erosion processes on rangelands:

fundamental understanding and knowledge gaps. **International Soil and Water Conservation Research**. v. 4, p. 75-86, 2016.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Área de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 57-99.

OLIVEIRA, R. R.; FRAGA, J. S.; SALES, G. P. S.; COELHO NETTO, A. L. Perda de Funções Ecológicas em Florestas de Encosta de Angra dos Reis, RJ. **Pesquisas Botânica**. n. 63, p. 41-53, São Leopoldo: Instituto Anchietano de Pesquisas, 2012.

OSMAN, K. T. **Soil Degradation, Conservation and Remediation**. Dordrecht: Springer, 2014.

PALMIERI F.; LARACH, J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 10. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2011. p. 59-122.

PELOSO, B. D. A.; SHIMABUKURO, Y. E. Caracterização de unidades geobotânicas do Parque Nacional Da Serra Do Cipó (Mg) através da integração de imagens ópticas e Modelo Digital de Elevação. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 62/01, p. 103-118, 2010.

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Estabilidade de agregados em diferentes sistemas de uso e manejo no município de Reserva – PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 7, n. 2, p. 378-387, 2014.

_____. Parâmetros físicos do solo em diferentes sistemas de manejo convencional, município de Reserva – PR. **Revista do Departamento de Geografia - USP**. v. 30, p. 65-76, 2015.

_____. Atributos químicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo no município de Reserva – PR. **Caminhos de Geografia**. v. 16, n. 55, p. 186-194, 2015b.

PEREIRA, L. 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 (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências/UFRJ. Rio de Janeiro, 2015.

PEREIRA, L. S.; JORGE, M. C. O.; RODRIGUES, A. M.; GUERRA, A. J. T. Contribuição das chuvas de baixa intensidade nos processos erosivos superficiais em ambiente degradado. **Revista Equador**. Teresina, v. 4, p. 343-350, 2015.

PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. M.; JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A. Processos hidro-erosivos em solos degradados em relevo de baixa declividade. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 17, n. 2, p. 299-316, 2016.

PEREZ FILHO, A. Sistemas Ambientais e Geografia. In: SILVA, J. B.; LIMA, L. C.; ELIAS, D. (Orgs.). **Panorama da Geografia Brasileira I**. São Paulo: Annablume, 2006. p. 333-335.

PEREZ FILHO, A.; QUARESMA, C. C. Ação Antrópica sobre as Escalas Temporais dos Fenômenos Geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 12, n. 3, p. 83-90, 2011.

PETERSEN, J. F.; SACK, D.; GABLER, R. E. **Fundamentals of Physical Geography**. 2. ed. Australia: CENGAGE, 2013.

PIDWIRNY, M. **Understanding Physical Geography**. Kelowna: Our Planet Earth, 2014.

POCIDONIO, E. A. L.; SILVA, T. M. A Natureza Enquanto Atração e Repulsão no Município de Angra dos Reis – RJ. **Geo UERJ**. v. 2, n. 22, p. 422-446, 2011.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002.

PROSDOCIMI, M.; CERDÀ, A.; TAROLLI, P. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. **Catena**. v. 141, p. 1–21, 2016.

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

RANGEL, L. A.; GUERRA, A. J. T. Qualidade física de um Cambissolo Háplico sob diferentes usos na bacia do Córrego dos Micos, Paraty-RJ. **Boletim Goiano de Geografia**. v. 37, n. 1, p. 91-105, 2017.

RANGEL, L. A.; GUERRA, A. J. T.; BRIZZI, R. R.; SOUZA, H. S. O uso de trilhas em unidades de conservação: o caso da APA de Cairuçu, Paraty – RJ. **Geografia (Londrina)**. v. 22, n. 1, p. 79-93, 2013.

ROBINSON, B. E.; HOLLAND, M. B.; NAUGHTON-TREVES, L. Does secure land tenure save forests? A meta-analysis of the relationship between land tenure and tropical deforestation. **Global Environmental Change**. v. 29., p. 281-293, 2014.

RODRIGUES, S. C. Geomorfologia e recuperação de áreas degradadas: proposta para o domínio dos cerrados. In: NUNES, J. O. R.; ROCHA, P. C. (Orgs.) **Geomorfologia: aplicação e metodologias**. São Paulo: Expressão Popular, 2008.

_____. Degradação dos Solos no Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 51-85.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Ed. UFC, 2004.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; LEAL, A. C. Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas. In: RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; MEIRELES, A. J. A. (Orgs.). **Planejamento Ambiental e Bacias Hidrográficas**. Tomo 1. Fortaleza: Ed. UFC, 2011. p. 29-47.

RODRIGUEZ, J. M. M. Geopolítica y Medio Ambiente: ilaves para el análisis de la crisis ambiental, el cambio climático y la concepción de desarrollo sostenible. In: SEABRA, Giovanni (Org.). **Terra: cidades, natureza e bem estar**. João Pessoa: Ed. Universitária da UFPB, 2012. p. 87-108.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994.

_____. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica do Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, v. 9, p. 65-75, 1995.

_____. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 4. ed. São Paulo: Contexto, 1997.

_____. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

_____. Geografia e as Transformações na Natureza: relação sociedade-natureza. In: LEMOS, A. I. G.; GALVANI, E. (Orgs.). **Geografia, tradições e perspectivas: interdisciplinaridade, meio ambiente e representações**. São Paulo: Expressão Popular, 2009. p. 119-138.

_____. Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 10. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2011. p. 291-336.

ROSS, J. L. S.; JUNQUEIRA, L. S.; SANTOS, R. P. Morfodinâmica: Serra do Mar – Brasil. In: VI Congresso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales, São Paulo, 2014. **Anais...** 2014. p. 2998-3009.

ROSSI, M.; QUEIROZ NETO, J. P. Relações solo/paisagem em regiões tropicais úmidas: o exemplo da Serra do Mar em São Paulo, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 14, p. 11-23, 2001.

RIO DE JANEIRO. SECRETÁRIA ESTADUAL DO AMBIENTE. **O Estado do Ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: SEA/INEA, 2011.

ROVANI, F. F. M.; CASSOL, R. Cartografia Temática: uma contribuição na análise geográfica do município de Barão de Cotegipe/RS. **Ateliê Geográfico**. v. 6, n. 2, p. 33-54, 2012.

SALGADO, M. P. G.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Comparação entre métodos para geração de modelos digitais de elevação a partir de dados cartográficos. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba-PR. **Anais...**, 2011.

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**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 229-268.

SALVATI, L.; MAVRAKIS, A.; COLANTONI, A.; MANCINO, G.; FERRARA, A. Complex Adaptive Systems, soil degradation and land sensitivity to desertification: A multivariate

assessment of Italian agro-forest landscape. **Science of the Total Environment**. v. 521-522, p. 235–245, 2015.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. **SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas**. Alegre, ES: CAUFES, 2010.

SANTOS, J. M. Na esteirada abordagem sistêmica. In: SANTOS, J.M.; FARIA, M. (Orgs.). **Reflexões e construções geográficas contemporâneas**. Salvador: UNEB, 2004a. p. 35-57

SANTOS, L. B. **Influência da estrutura da floresta nas características físico-químicas do solo e no estoque de serrapilheira em remanescentes florestais da área de proteção ambiental de Macaé de Cima – Nova Friburgo – RJ**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências/UFRJ. Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, L. J. C.; WESTPHALEN, L. A. Erosão dos Solos no Noroeste do Paraná. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 293-317.

SANTOS, R. C. **Vulnerabilidade Ambiental na Sub-Bacia do Rio Gaviãozinho, Bacia do Rio Pardo – BA: um estudo da relação sociedade-natureza**. Monografia (Graduação em Licenciatura Plena em Geografia) – Departamento de Geografia, UESB. Vitória da Conquista, 2014.

_____. **Análise do Uso e Ocupação do Solo na Sub-Bacia do Rio Gaviãozinho – BA, com utilização de Sensoriamento Remoto e SIG**. Monografia (Especialização em Análise do Espaço Geográfico) – Departamento de Geografia, UESB. Vitória da Conquista, 2015.

SANTOS, R. C.; GUERRA, A. J. T; NUNES, G. F. R. Avaliação da Erodibilidade dos Solos em Encostas na Zona de Amortecimento do Parque Nacional da Serra da Bocaina: estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Pequeno, Paraty-RJ. In: II Simpósio Mineiro de Geografia e IV Seminário de Pós-Graduação em Geografia, 2016, Juiz de Fora. **Anais...**, 2016. p. 1110-1124.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004b.

SATHLER, R. **Influência da orientação, declividade e morfologia de encostas nos conteúdos de matéria orgânica de solos da bacia do rio Bonito (Posse, Petrópolis, RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – IGEO, UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials and Processes**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1993.

SIETZ, D.; DIJK, H. V. Land-based adaptation to global change: What drives soil and water conservation in western Africa? **Global Environmental Change**. v. 33, p. 131–141, 2015.

SILVA, E. V.; RODRIGUEZ, J. M. M. Considerações Iniciais. In: RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; MEIRELES, A. J. A. (Orgs.). **Planejamento Ambiental e Bacias Hidrográficas**. Tomo 1. Fortaleza: Ed. UFC, 2011. p. 29-47.

_____. Planejamento e Zoneamento de Bacias Hidrográficas: a geoecologia das paisagens como subsídio para uma gestão integrada. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 36, Volume Especial, p. 4-17, 2014.

SILVA, A. S. Análise Morfológica dos Solos e Erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 101-126.

SILVA, L. C.; CUNHA, H. C. S. (Orgs.). **Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro**. 2. ed. Brasília: CPRM, 2001.

SILVA, L. F. T. C. **Análise da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty-Cunha)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências/UFRJ. Rio de Janeiro, 2014.

SILVA, L. F. T. C.; MARTINS, M. B.; GUERRA, A. T. J. Caracterização Pluviométrica do Litoral Sul Fluminense e Norte Paulista (Brasil). In: XIV Encontro de Geógrafos da América Latina. **Anais...** Lima, Peru. 8 a 12 de abril de 2013.

SILVA, M. S. **Planejamento de uso do solo da microbacia do córrego Nilo Peçanha em Pinheiral, RJ**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2013.

SILVA NETO, J. C. A. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. **Geografia (Londrina)**. v. 22, n. 1, p. 5-25, 2013.

SILVA, O. C. A. **Análise da Suscetibilidade a Escorregamentos e as Implicações da Evolução do Uso e Cobertura do Solo no Município de Paraty, RJ, entre 1973 e 2008**. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Análise digital do relevo aplicada à cartografia geomorfológica da porção central da Serra do Mar paranaense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 17, n. 4, p. 615-629, 2016.

SOUSA, M. C. S. **As propostas metodológicas para a cartografia ambiental: uma revisão**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP. São Paulo, 2009.

SOUZA, E. C. A. M.; SILVA, C. A. O estudo do regime pluvial na bacia do rio Ivinhema e a construção de pluviogramas. **Espaço & Geografia**. v. 16, n. 1. P. 187-225, 2013.

SUERTEGARAY, D. M. A. Desertificação: recuperação e desenvolvimento sustentável. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 10. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2011. p. 249-289.

SUERTEGARAY, D. M. A.; OLIVEIRA, M. G. Uma análise comparativa do processo de arenização no Brasil: sudoeste do Rio Grande do Sul e sudoeste de Goiás. **Investigaciones Geográficas**. n. 47, p. 19-34, 2014.

SUGUIO, K. **Mudanças Ambientais da Terra**. São Paulo: Instituto Geológico, 2008.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology: na introduction to the study of landforms**. Harlow: Pearson, 1991.

TABASSUM, I.; RAHMAN, F.; HAQ, F. Dynamics of Communal Land Degradation and Its Implications in the Arid Mountains of Pakistan: A Study of District Karak, Khyber Pakhtunkhwa. **Journal of Mountain Science**. v. 11, n. 2, p. 485-495, 2014.

THOMAZ, E. L.; DIAS, W. A. Bioerosão – evolução do rebanho bovino brasileiro e implicações nos processos geomorfológico. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 10, n. 2, p. 3-11, 2009.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

VALE, C. C. Teoria Geral do Sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem. **Entre-Lugar**, Dourados, v. 3, n. 6, p 85-108, 2012.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata: processamento dos dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010.

VÁSQUEZ-MÉNDEZ, R.; VENTURA-RAMOS, E.; OLESCHKO, K.; HERNÁNDEZ-SANDOVAL, L.; DOMINGUEZ-CORTÁZAR, M. A. Soil Erosion Processes in Semiarid Areas: the importance of native vegetation. In: GODONE, D.; STANCHI, S. (Eds.). **Soil Erosion Studies**. Rijeka: Intech, 2011. p. 25-40.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **Geografia**. Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

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

WANG, X.; ZHAO, X.; ZHANG, Z.; YI, L.; ZUO, L.; WEN, Q.; LIU, F.; XU, J.; HU, S.; LIU, B. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**. v. 137, p. 256-268, 2016.

XU, M.; LI, Q.; WILSON, G. Degradation of soil physicochemical quality by ephemeral gully erosion on sloping cropland of the hilly Loess Plateau, China. **Soil & Tillage Research**. v. 155, p. 9–18, 2016.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society Agronomy**, v. 28, p. 337-351. 1936.