

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia

LUIZ FERNANDO TAVARES CARDOSO DA SILVA

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO AO LONGO DA
RJ-165 (ESTRADA PARATY-CUNHA)

Rio de Janeiro
Junho, 2014

LUIZ FERNANDO TAVARES CARDOSO DA SILVA

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO AO LONGO DA
RJ-165 (ESTRADA PARATY-CUNHA)

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

Professor Orientador: Dr. Antônio José Teixeira Guerra

Rio de Janeiro
Junho, 2014

S586a

SILVA, Luiz Fernando Tavares Cardoso Da

Análise da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty- Cunha) / Luiz Fernando Tavares Cardoso da Silva. - 2014

109 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 2014.

Orientador: Antônio José Teixeira Guerra

1. Erosão. 2. Estrada Paraty-Cunha. 3. Geomorfologia 4. Geografia –
Dissertação. I. Guerra, Antônio José Teixeira. II. Universidade Federal do
Rio de Janeiro. III. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD:

LUIZ FERNANDO TAVARES CARDOSO DA SILVA

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO AO LONGO DA
RJ-165 (ESTRADA PARATY-CUNHA)

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

Aprovada em

Antônio José Teixeira Guerra
PhD em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Antônio Soares da Silva
Doutor em Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

André de Souza Avelar
Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro

AGRADECIMENTOS

A Deus por conceder a vida e a oportunidade de aprendizado e crescimento como ser espiritual.

Aos meus pais, Luiz Jorge Cardoso e Marlene Tavares, que sempre me incentivaram e apoiaram nos estudos, dando-me a base moral necessária para a vida.

Aos meus tios, Natalino Cunha e Sônia Maria Tavares e, ao meu primo Raphael Tavares, que permitiram meu estabelecimento em Vila Isabel durante toda a minha graduação e mestrado. Também ao meu primo Arthur Tavares pela companhia neste último ano de mestrado.

À Gabriela Pimenta pelo companheirismo, apoio moral e incentivo ao meu estudo e progresso, bem como seu auxílio na formatação deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Antônio Guerra, por toda a oportunidade, confiança e apoio para a realização desse estudo.

Às Geógrafas Maria do Carmo Jorge (Carmen), à Stella Mendes e ao professor da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) Fernando Bezerra, mentores dos projetos ao qual esta dissertação está atrelada: Diagnóstico de danos ambientais em unidades de conservação: Parque Estadual da Serra do Mar (Núcleo Picinguaba) e Parque Nacional da Serra da Bocaina, Área de Proteção Ambiental do Cairuçu e Reserva Ecológica da Juatinga; Diagnóstico de danos ambientais em unidades de conservação: Parque Nacional da Serra da Bocaina, Área de Proteção Ambiental do Cairuçu e Reserva Ecológica da Juatinga;

À co-coordenadora do Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos (LAGESOLOS) professora Mônica Marçal.

Aos membros da banca, Antônio Soares e André Avelar por toda orientação e disponibilização do Laboratório de Geografia Física da UERJ (Lagefis) e do aparelho de Inderbitzen respectivamente.

Ao LAGESOLOS e a todos que fizeram parte deste trabalho e de alguma forma conviveram comigo durante este tempo, em especial Stella Mendes, pela amizade e orientação; Luiz Dias pelas conversas sobre a dissertação e sobre caminhos a seguir; Hugo Loureiro, pela amizade e toda ajuda nos trabalhos, principalmente no carbono orgânico; Sara

Neves, Luana Rangel, William Soares, Luana Balbino, Luana Moraes, Márcia Martins, Carmem Vieira e Cláudio Lessa também pela amizade, conversas e todo auxílio no laboratório; Fábio Lima, pela base que me deu desde a graduação; Helton Santos, Juliana Pena, Nei Mascarello e Alessandro Bessoni por todos os auxílios, companheirismo e boa vontade nos trabalhos de campo e laboratório; Tatiana Guerra, Raphael Brizzi, Silvia Alexandre, Urubatan Nery, Isabel Maggesissi, Rafael Albani e Rafael Moreira.

Ao Geógrafo Mário Nacinovic, pela orientação com a utilização do aparelho de Inderbitzen. Ao professor Anderson Sato, pelas dicas quanto às pesquisas de erosão em estradas. Ao Rafael Amorim, técnico laboratorista da UERJ pela ajuda indispensável com as análises de carbono orgânico, bastante custosas. Ao Joseílson, dedicado técnico laboratorista da AOS motoristas, nos trabalhos de campo, pela disposição e compreensão, Cláudio, Paulinho, Ednaldo e Eduardo.

Aos amigos da Geografia que levarei para a vida: Felipe Vommaro, Guilherme Leite, Fábio Ventura, Nuno Graça, Renato Tórtora, Maíra Zani, Diego Lima, Luiz Antônio Chaves, Tiago Macedo, Eduardo Ramalho, Ana Carolina Tavares...

Ao chefe do Parque Nacional da Serra da Bocaina, Francisco Livino, pelas informações e atendimento as solicitações da pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ (PPGG) e à CAPES. Ao CNPq e a FAPERJ pelo financiamento dos projetos do LAGESOLOS, possibilitando toda a pesquisa e trabalhos de campo.

RESUMO

A presente dissertação propõe analisar a erodibilidade dos solos da Estrada Paraty-Cunha no estado do Rio de Janeiro, discutindo o contexto histórico de uso desta estrada, bem como, através de ensaios e análises de solo do seu leito e entorno, verificando como estes materiais contribuem para torná-la mais ou menos suscetível à erosão. Além disso, foram realizados mapeamentos por meio de técnicas de geoprocessamento no sentido de analisar melhor o ambiente onde está inserida a estrada – bacia hidrográfica do rio Perequê-Açú. Também conhecida como RJ-165, esta estrada serviu, em parte, como rota de escoamento de ouro das Minas Gerais em direção ao porto de Paraty nos séculos XVIII e XIX. Após a criação do Parque Nacional da Serra da Bocaina em 1971 a estrada passa a ter restrições em relação às melhorias, ficando em estado de degradação. No que diz respeito às análises físicas dos solos, ocorreram amostras com alta representatividade de areia fina e silte (645 g/kg) – partículas mais suscetíveis à erosão – bem como teores baixos de matéria orgânica no leito da estrada (0,1%) – elemento que contribui para a coesão do solo – e valores altos de compactação do solo (2,78 g/cm³), favorecendo o aumento do escoamento superficial. O ensaio de escoamento superficial demonstrou que grande quantidade de material (17292,5 kg/ha) pode ser erodido num evento pluviométrico de uma hora com escoamento superficial constante de 50 ml/s. No que diz respeito aos mapeamentos, a suscetibilidade à erosão dos solos, forneceu uma base para avaliar a bacia do rio Perequê-Açú, levando em consideração aspectos como a declividade, o uso e cobertura vegetal e os tipos de solos; o modelo digital de elevação também forneceu informações relevantes quanto aos valores de topografia da estrada e da bacia. As análises de solo, integradas aos mapeamentos do meio físico da área resultou na conclusão de que existe alto potencial erosivo da estrada. Em 2013 um acordo entre o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e o Governo do Estado do Rio de Janeiro viabilizou a pavimentação e a transformação desta via em estrada-parque, fato que visa a preservação ambiental e a consequente contenção da erosão dos solos.

Palavras-chave: Erosão. Geomorfologia. SIG. Estrada-parque. Estrada Paraty-Cunha. RJ-165.

ABSTRACT

This dissertation aims to analyze soil erodibility of Paraty-Cunha road in Rio de Janeiro State, discussing the historical context of use of this road as well, through testing soil analysis from its bed and around, checking how these materials contribute to make it more or less susceptible to erosion. In addition, surveys have been conducted by means of GIS techniques to better analyze the environment where the road is inserted – watershed of Perequê-Açú River. Also known as RJ-165, this road served in part as the flow of gold from Minas Gerais towards the port of Paraty route between XVIII and XIX centuries. After the creation of the Serra da Bocaina National Park in 1971, the road shall be restricted with regard to improvements, being in a state of degradation. With regard to physical soil analysis, samples occurred with high representativeness of fine sand and silt (645 g/kg) – particles more susceptible to erosion – as well as low levels of organic matter content in the road bed (0.1%) – factor which contributes to the cohesion of the soil – and high values of soil compaction (2.78 g/cm³), favoring increased runoff. The runoff test showed that large amount of material (17292.5 kg/ha) can be eroded in a one-hour rainfall event runoff constant 50 ml/s. With respect to the mappings, susceptibility to soil erosion, provided a basis to evaluate the watershed of Perequê-Açú River, taking into account aspects such as slope, land use and cover and soil types; digital elevation model also provided relevant information about the values of the road and topography of the basin. Soil analysis, the integrated mapping of the physical environment of the area resulted in a conclusion that there is high erosion potential on the road. In 2013 an agreement between the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio) and the Government of Rio de Janeiro State enabled the transformation of this pathway paving and road-park, apparel aimed at environmental preservation and subsequent containment of soil erosion.

Keywords: Erosion. Geomorphology. GIS. Road-park. Paraty-Cunha road. RJ-165.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA RJ-165.	15
FIGURA 2. MATERIAL DEPOSITADO NO LEITO DA ESTRADA E SEU PROCESSO DE REMOÇÃO.	16
FIGURA 3. ESQUEMA DE DIREÇÃO DE FLUXOS EM UMA ESTRADA. (DUFF, 2010)	32
FIGURA 4. MAPA GEOLÓGICO DA FAIXA RIBEIRA (RJ/SP). (EIRADO ET AL., 2006).....	38
FIGURA 5. MAPA GEOMORFOLÓGICO. FONTE: ADAPTADO DE SILVA, 2002.....	40
FIGURA 6. RELEVOS PRÓXIMOS A ESTRADA PARATY-CUNHA.....	41
FIGURA 7. MAPA DE SOLOS. FONTE: CARVALHO FILHO ET AL., 2003.....	41
FIGURA 8. MAPA DE SOLOS. FONTE: ADAPTADO DE CARVALHO FILHO ET AL., 2003.....	43
FIGURA 9. FOTO AÉREA MOSTRANDO A RJ-165 E O CAMINHO DO OURO. FONTE: RIBAS, 2003.....	45
FIGURA 10. ESQUEMA DOS PLANOS E PROGRAMAS AMBIENTAIS DA PARATY-CUNHA. FONTE: SEOBRAS, 2012.	47
FIGURA 11. CALÇAMENTO DA VIA COM BLOCOS INTERTRAVADOS (SUPERIOR ESQUERDA); CALÇAMENTO ORIGINAL DA ESTRADA REAL (SUPERIOR DIREITA); REGULARIZAÇÃO DO LEITO E MURO DE CONTENÇÃO (INFERIOR ESQUERDA); DETALHE DO MURO DE CONTENÇÃO (INFERIOR DIREITA). FONTE: AUTOR, 2014	48
FIGURA 12. ESCADA PARA DISSIPACÃO DE ENERGIA DE ESCOAMENTO E BUEIRO. FONTE: AUTOR, 2014.....	49
FIGURA 13. INICIO DA ESTRADA PARATY-CUNHA EM CUNHA. FONTE: SILVA ET AL. (2012).	51
FIGURA 14. CIDADE DE PARATY VISTA DA ESTRADA PARATY-CUNHA. FONTE: AUTOR, 2012	56
FIGURA 15. DEGRADAÇÃO DO LEITO DA ESTRADA. FONTE: AUTOR, 2012	57
FIGURA 16. MAPA COM OS PONTOS DE COLETA NA ESTRADA PARATY-CUNHA	61
FIGURA 17. COLETA EM ÁREA DE FLORESTA	62
FIGURA 18. COLETA NO LEITO DA ESTRADA.....	62
FIGURA 19. BURACO APÓS RETIRADA DA AMOSTRA VOLUMÉTRICA (SUPERIOR ESQUERDA); COLETA DE AMOSTRA PARA ÍNDERBITZEN (SUPERIOR DIREITA); AMOSTRADOR DE ÍNDEBITZEN FINCADO NO SOLO (INFERIOR ESQUERDA); ASPECTO DO PONTO COLETADO (INFERIOR DIREITA).....	63
FIGURA 20. PHMETRO UTILIZADO NAS ANÁLISES DE PH.....	64
FIGURA 21. À ESQUERDA AMOSTRA NA IMINÊNCIA DE MUDANÇA DE COR E À DIREITA AMOSTRA COM A COR ALTERADA.	66
FIGURA 22. RAMPA PARA O ENSAIO DE ÍNDERBITZEN	67
FIGURA 23. ENSAIO DE ÍNDERBITZEN SENDO REALIZADO	67
FIGURA 24. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	71
FIGURA 25. TRIÂNGULO TEXTURAL	80
FIGURA 26. DISTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA ANUAL	100
FIGURA 27. DISTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA MENSAL	101
FIGURA 28. DISTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA OUTONO	102
FIGURA 29. DISTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA INVERNO	103
FIGURA 30. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	105
FIGURA 31. PERFIL TOPOGRÁFICO DA ESTRADA PARATY-CUNHA.....	106
FIGURA 32. PONTOS DE SAÍDA D'ÁGUA DA ESTRADA.....	107
FIGURA 33. MAPA DE FORMA DAS ENCOSTAS.....	108
FIGURA 34. MAPA DE DECLIVIDADE.....	109
FIGURA 35. MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO. FONTE INEA, 2010	110
FIGURA 36. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO DOS SOLOS.....	111

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CONCEITOS/DEFINIÇÕES ESTRADA-PARQUE. (SORIANO, 2011).....	33
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO PROJETO INICIAL DA RJ-165	53
TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ACORDADAS PARA A RODOVIA DENTRO DO PNSB	53
TABELA 4 - NOTAS E PESOS DAS CLASSES DOS MAPAS PARA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DOS SOLOS	69
TABELA 5 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DE SOLOS DA ESTRADA PARATY-CUNHA	73
TABELA 6 - ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS DO ENSAIO DE Inderbitzen	76
TABELA 7 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE DENSIDADE APARENTE, REAL E POROSIDADE DOS SOLOS.....	79
TABELA 8 - TEXTURA DOS SOLOS DA ESTRADA PARATY-CUNHA	81
TABELA 9 - TEORES DE CARBONO ORGÂNICO E MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO DA ESTRADA PARATY-CUNHA	83
TABELA 10 - ANÁLISE DE Inderbitzen DE SOLOS DA ESTRADA PARATY-CUNHA	86
TABELA 11 - MÉDIAS E TOTAIS DE VOLUME ESCOADO, VOLUME INFILTRADO E EROSÃO DAS AMOSTRAS.....	91
TABELA 12 - PRECIPITAÇÕES MÉDIAS NAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	98
TABELA 13 - CLASSES DE SOLOS DA BACIA DO RIO PEREQUÊ-AÇÚ.....	112
TABELA 14 - CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA DO RIO PEREQUÊ-AÇÚ.....	113
TABELA 15 - CLASSES DE DECLIVIDADE DA BACIA DO RIO PEREQUÊ-AÇÚ.....	114
TABELA 16 - FATORES DE INFLUÊNCIA NA EROSÃO.....	116

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS DA ESTRADA PARATY-CUNHA.....	74
GRÁFICO 2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DO ENSAIO DE Inderbitzen.....	77
GRÁFICO 3. DENSIDADE E POROSIDADE DOS SOLOS DA ESTRADA PARATY-CUNHA	79
GRÁFICO 4. MATÉRIA ORGÂNICA	84
GRÁFICO 5. PH.....	85
GRÁFICO 6. MÉDIAS DE VOLUME ESCOADO.....	92
GRÁFICO 7. MÉDIAS DE VOLUME INFILTRADO.....	93
GRÁFICO 8. MÉDIAS DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	94
GRÁFICO 9. ESCOAMENTO X EROSÃO NO PA.....	94
GRÁFICO 10. ESCOAMENTO X EROSÃO NO PB	95
GRÁFICO 11. . ESCOAMENTO X EROSÃO NO PC	95
GRÁFICO 12. ESCOAMENTO X EROSÃO NO PD.....	96
GRÁFICO 13. ESCOAMENTO X EROSÃO NO PE	96

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 JUSTIFICATIVAS	17
3 OBJETIVOS	18
3.1 Objetivo geral	18
3.2 Objetivos específicos	18
4 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL	19
4.1 Erosão dos solos	19
4.2 Fatores controladores do processo erosivo	22
4.2.1 Erosividade das chuvas	23
4.2.2 Propriedades físicas dos solos	23
4.2.3 Cobertura vegetal	24
4.2.4 Formas das encostas	25
4.2.5 Influência do homem sobre a erosão	25
4.3 O início do processo erosivo	26
4.4 Suscetibilidade à erosão	27
4.5 Erosão em estradas	28
4.6 Estrada-parque	33
5 ÁREA DE ESTUDO	36
5.1 Caracterização climática	36
5.2 Caracterização Geológico-Geomorfológica	37
5.3 Hidrografia	41
5.4 Solos	41
5.5 Vegetação	42
5.6 Contexto histórico	44
5.7 Sobre a pavimentação e a erosão	49
6 MATERIAIS E MÉTODOS	60
6.1 Análise dos solos	63
6.2 Mapeamentos	68
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	71

7.1 Resultados das análises de solo	72
7.2 Carbono orgânico e matéria orgânica	82
7.3 pH	85
7.4 Ensaio de Inderbitzen	85
7.5 Resultados pluviométricos	97
7.5 Mapeamentos	104
7.6 Correlação entre as variáveis do processo erosivo	115
8 CONCLUSÕES	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas vêm ao longo dos anos exercendo intensas modificações sobre os ambientes naturais, sendo muitas vezes associada às causas da degradação, a perda de recursos naturais e de biodiversidade, além de causar sérios prejuízos ao próprio homem. Pensando nisso Santos (1996) ressalta que a evolução técnica da humanidade tem imposto um ritmo cada vez mais acelerado na modificação dos ambientes terrestres. Neste sentido, as estradas são consideradas intervenções na paisagem que causam grandes modificações nos ambientes naturais; associadas a elas existem problemas ligados tanto às questões ambientais quanto às questões socioeconômicas. A erosão dos solos é um dos grandes problemas ligados a implantação das estradas, gerando por vezes assoreamento de corpos hídricos, bloqueio da via, além de outros efeitos *off site*, como sedimentação de áreas a jusante (GUERRA, 2007).

No Brasil as estradas não pavimentadas assumem um papel de destaque no transporte e deslocamento de pessoas e cargas, sobretudo no interior do país. Entretanto os estudos sobre erosão/perda de sedimentos em estradas são menos comuns em países tropicais – não sendo diferente no Brasil – e pesquisas recentes têm demonstrado que as estradas e, em menor escala as trilhas não pavimentadas podem ser a maior fonte de perda de sedimentos, apesar de representarem menor porcentagem de uso da terra numa bacia hidrográfica (ELLIOT *et al.*, 1995; ZIEGLER *et al.*, 2004; RAMOS-SCHARRÓN e MACDONALD, 2007; RIJSDIJK *et al.*, 2007; CUNHA, 2011; THOMAZ, 2012).

Como ressalta Griebeler *et al.* (2009), os trabalhos de manutenção de uma via expõem as camadas inferiores do solo à erosão, quando realizam cortes e retirada de material. D'Ávila e Rigo (2013) argumentam que a deposição de cascalhos nas estradas como medida para melhorar o tráfego é comum, mas por outro lado disponibiliza mais material para ser erodido.

O foco do presente trabalho em estudar a erosão numa estrada não pavimentada, traz à luz não somente o problema ambiental, mas também um dos grandes conflitos existentes na região Sul Fluminense: a questão da pavimentação da rodovia RJ-165. Mais conhecida como estrada Paraty-Cunha, esta via atravessa a Serra do Mar, sendo por muito tempo o único acesso rodoviário a Paraty, ligando o Vale do Paraíba a esta cidade (Fig. 1). Nos anos 1970 a criação do Parque Nacional da Serra da Bocaina e suas características de uso, restringem melhorias nesta rodovia, tornando-a intrafegável.

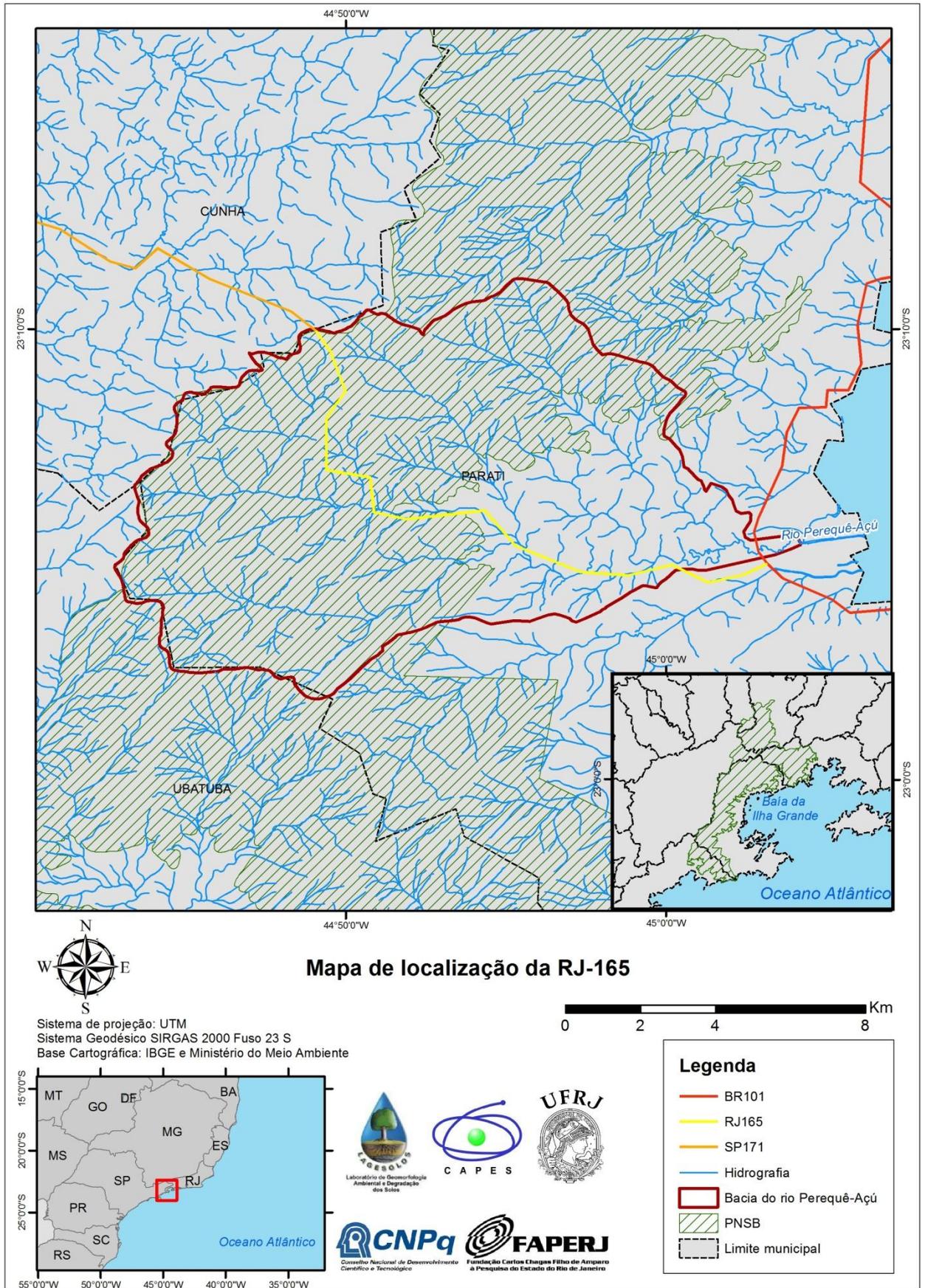


Figura 1. Mapa de localização da RJ-165.

A situação atual (2014) da estrada tem favorecido à ocorrência de processos de degradação ambiental, dentre eles a erosão acelerada no leito estradal e nos taludes e, os movimentos de massa (Fig. 2).



Figura 2. Material depositado no leito da Estrada e seu processo de remoção.

Essa dissertação propõe analisar a situação atual da estrada em relação a estes aspectos de degradação, principalmente a erosão, buscando soluções para a contenção dos mesmos, além de conciliar o uso público da via à conservação do Parque. Para isso lançou-se mão de análises de solo, mapeamentos para o diagnóstico da estrada e levantamento do histórico da estrada. Atualmente está em processo de implantação o projeto de estrada-parque que será discutido e pode vir a ser a solução.

É importante ressaltar que qualquer decisão tomada seja consciente de que ações na via terão reflexo nas áreas de influência direta e indireta, tornando necessário um planejamento conjunto entre as diversas esferas e instituições que estejam envolvidas. A comunidade precisa ser inserida na discussão, tornando legítima a decisão final.

2 JUSTIFICATIVAS

A erosão dos solos é um sério fator causador da degradação ambiental, principalmente quando ocorrida de forma acelerada dentro de áreas que deveriam estar mais preservadas (unidades de conservação, por exemplo) do que os ambientes mais intensamente alterados pelo homem. Os nove quilômetros da RJ-165 que cortam o interior do PNSB são motivo de discórdia entre sociedade civil, autoridades e, inclusive academia há mais de 30 anos.

Quando da implantação do parque já havia ocupações ao longo da via que por sua vez, apresentava tráfego constante há pelo menos 200 anos, tendo em vista que era uma das rotas para o transporte do ouro das Minas Gerais. E durante o tempo de existência do parque o tráfego permaneceu a ser constante.

O interesse em ter a Paraty-Cunha como objeto de estudo surgiu através de sua importância histórica para a região e para o país. Também por conta de sua abordagem ambiental, diante da questão da preservação do PNSB, sendo inserida a erosão de seu leito e seu entorno. Além disso, sua menção por parte de poderes políticos, argumentando importância econômica, seja pelo transporte de cargas ou turístico e, inclusive como rota de fuga em acidente nuclear das usinas de Angra dos Reis. Somado a isso tudo a discussão sobre seu uso e sua melhoria.

Visitas a campo demonstraram que o impacto causado pela via dentro do parque é significativo. Erosões aceleradas, movimentos de massa e lixo são encontrados com muita frequência. Neste sentido o impacto que a via causa, principalmente em relação aos processos erosivos, deve ser entendido de forma a auxiliar um manejo adequado para o parque.

Como mencionado anteriormente os estudos sobre erosão em estradas são pouco comuns no Brasil, principalmente em se tratando de uma estrada inserida numa unidade de conservação de relevo serrano e altos índices pluviométricos. Pensando nisso este estudo visa a ser uma contribuição para o entendimento dos processos erosivos naquele local.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar a suscetibilidade a erosão dos solos e de seus processos ao longo da estrada RJ-165, nos nove quilômetros não asfaltados dentro do PNSB (km 14 ao km 23), estudando: o escoamento superficial, o transporte de partículas da estrada, analisando a textura do solo, granulometria, densidade, porosidade, pH, carbono orgânico, matéria orgânica e os índices pluviométricos. Com exceção dos índices pluviométricos que foram levantados através de fonte específica, os outros aspectos foram analisados através de coletas pontuais em campo.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar as áreas mais suscetíveis à erosão ao longo da estrada.
- Verificar a erodibilidade dos solos.
- Levantar o índice pluviométrico da área de estudo.
- Construir o modelo 3D da bacia do rio Perequê-Açú.
- Identificação dos pontos de declividade críticos da estrada.
- Trazer para o trabalho um pouco da discussão acerca da pavimentação da via, ação em curso (2014), além da proposta da criação de uma estrada parque.

4 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

A ciência geomorfológica tem por objetivo o estudo das formas e processos atuantes sobre a superfície terrestre, dentre eles a erosão dos solos. O relevo sempre teve papel fundamental no estabelecimento das sociedades, pois constitui-se na superfície em que o homem desenvolve suas atividades (econômicas, agropecuárias, locomoção, moradia, dentre outras).

A geomorfologia vem contribuir para a compreensão da dinâmica do relevo e assim aliada às questões ambientais, muito presentes no contexto atual, fornece subsídios para os estudos concernentes a degradação dos solos, como vem a ser a erosão. O estudo desta última, por sinal, tem fornecido subsídios à conservação dos solos, ao evitar que a erosão acelerada se estabeleça e, por outro lado trazendo benefícios tais como a prevenção do assoreamento de rios e lagos – consequentemente eventos de inundação –, ajudando na conservação de nascentes e mananciais, evitando que materiais prejudiciais, entre eles pesticidas e agrotóxicos contaminem corpos hídricos, prevenindo contra a perda de solos agricultáveis – principalmente do horizonte A que é o mais importante para o estabelecimento vegetal – a destruição de construções, rodovias, habitações, dentre outros (GUERRA e MARÇAL, 2006; SANTOS *et al.*, 2013).

Como recorte espacial fundamental para os estudos geomorfológicos, podemos utilizar a bacia de drenagem, considerando tanto os processos ali decorrentes e todos os aspectos que envolvam o planejamento ambiental. A bacia de drenagem é definida por Coelho-Netto (2007) como “uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial”. Neste sentido a água é um agente de suma importância para o desencadeamento dos processos geomorfológicos, modelando a superfície terrestre.

4.1 Erosão dos solos

Um dos maiores problemas relacionados aos processos geomorfológicos, os efeitos da erosão, são sentidos em escala mundial, entretanto tal problema tem sido mais freqüente nos países tropicais, devido ao intenso regime pluviométrico que intemperiza rapidamente e transporta os materiais expostos na superfície. Morgan (1985 *in* GUERRA, 2007) e Boardman (1990, *idem*) destacam mesmo assim, que em países temperados como Inglaterra, Alemanha e

Bélgica a erosão tem preocupado diversos setores da sociedade (fazendeiros, cientistas e autoridades políticas), no sentido de que ocorrem mais frequentemente e chegam a atingir, além de áreas agrícolas, outras destinadas ao transporte e a recreação. Tal preocupação tem gerado diversos estudos na literatura internacional a respeito da erosão, como citado por Guerra (2007): Imeson e Jungerius, (1976), Wood (1976), De Ploey (1977, 1981, 1985), Morgan (1978, 1980, 1985, 2005), Kirkby (1980), Thornes (1980), Boardman (1983a, 1983b, 1984, 1990), Cousen e Farres (1984), De Ploey e Poesen (1985), Dikau (1986), Arden-Clarke e Hodges (1987), Govers e Poesen (1988), Evans (1990), Mutter e Burnham (1990), Robinson e Blackman (1990), Guerra (1991, 1994), Wild (1993). Além de outras referências mais atuais, como Lima (2008), Lima (2010), Duff (2010), Cunha (2011), Thomaz (2012) e Loureiro (2013).

A erosão dos solos é um dos problemas ambientais de mais significativa importância no Brasil. A perda de solos pela remoção de sedimentos trás inúmeros prejuízos ao estabelecimento humano, à agricultura, à paisagem e aos ecossistemas, principalmente aqueles estabelecidos nas encostas. Neste sentido diversos autores têm estudado a erosão e seus impactos nas últimas décadas (GUERRA; MENDONÇA, 2004; NETTO & SOBREIRA, 2006; LIMA, 2008) ressaltando a importância de uma integração estruturada num plano de manejo que contemple as condições socioeconômicas e as particularidades do meio físico. Para Cunha e Guerra (2006) a erosão é um fenômeno que ocorre tanto de causas naturais quanto de causas associadas à intervenção humana no ambiente. Já Oliveira (1999) lembra que *“ravinas e voçorocas podem ser consideradas como incisões que resultam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e eficiência do sistema em dissipar energia”*.

Segundo Guerra e Guerra (2005) a erosão pode ser definida como a retirada de sedimentos (produzido pelo intemperismo sobre as rochas) das partes mais altas para as mais baixas. Também pode ocorrer através da remoção de material superficial por vento ou água (KIRKBY e MORGAN, 1980). A partir do momento em que a erosão passa a ocorrer em maiores taxas do que o ambiente pode suportar, é estabelecido um processo de degradação da camada superficial do solo (LIMA, 2008). A erosão dos solos tem relação com as superfícies específicas e seus contrastes: alta, média e baixa encosta. As encostas, por sinal, ocupam a maior parte da superfície terrestre, além de serem as principais áreas de ocorrência de feições erosivas na paisagem. Segundo Abrahams (1986) nas áreas com feições erosivas a paisagem é

formada inteiramente por encostas, com exceção dos fundos de vale. A ação antrópica sobre esses ambientes naturais constitui-se num dos grandes influenciadores dos processos, das formas e da evolução das encostas.

A maioria dos autores trata de forma distinta a erosão dos solos e os movimentos de massa. Parsons (1988) destaca que as encostas evoluem sob os diversos processos, porém ressalta que a erosão dos solos assume papel mais frequente e gradativo em relação aos movimentos de massa que ocorrem de forma mais esporádica. O autor diz ainda que os movimentos de massa deslocam uma quantidade significativa de material (na ordem de toneladas), onde a declividade tem papel fundamental.

A erosão linear, por ravinas e voçorocas são as formas mais comuns encontradas na natureza e podem trazer prejuízos tais como, a destruição de estradas, dutos, pastagens, áreas agricultáveis e assoreamento de rios. Segundo Goudie e Viles (1997), a erosão quando ocorre de forma natural em matas ou gramínea tende a ser lenta e gradual, em aparente equilíbrio com a formação de solos; já quando o processo sofre interferência humana, ocorre de forma acelerada, acarretando, por vezes sérios danos irreversíveis.

Alguns usos específicos do solo são mais propensos à erosão como ocorre nas áreas destinadas à agropecuária que são frequentemente marcadas pela presença de ravinas e voçorocas, originadas quando a capacidade de infiltração de água no solo se excede, fazendo com que este passe a sofrer ação do escoamento superficial, dando origem à erosão em lençol. À medida que a velocidade do escoamento aumenta tem-se a formação das ravinas. Estas por sua vez podem aprofundar-se e alargar-se, dando origem a feições maiores que são as voçorocas, classificadas como feições de largura e profundidade maiores que 0,5 m x 0,5 m (MORGAN, 2005). Dietrich e Dunne (1993) enfatizam que muitos estudos sobre as cabeceiras de drenagem têm abordado uma questão bem aplicada, ou seja, o desenvolvimento de voçorocas, em resposta a diferentes tipos de uso da terra. Lima (2008) também chama a atenção para o fato de que a retirada da vegetação natural que protege o solo contra a ação dos fatores climáticos, bem como a implantação de determinados tipos de uso, aceleram os eventos erosivos. A questão crítica para o início do processo erosivo em áreas agropecuárias dá-se principalmente devido à retirada da cobertura vegetal original para a implementação de culturas que exigem constante revolvimento do solo, utilização de máquinas ou a pastagem de animais que compactam o solo e criam caminhos preferenciais para a água.

Selby (1993) e Guerra (2007) ressaltam que as voçorocas são, muitas vezes, feições erosivas permanentes na paisagem e torna-se difícil seu controle e recuperação, quando chegam a esse estágio. Ainda segundo Guerra (2007), as ravinas quase sempre evoluem para voçorocas, ou seja, desde o escoamento superficial difuso até a formação de voçorocas há um processo encadeado, conectando várias redes de canais em algumas paisagens.

Selby (1990 e 1993) relata que o processo de voçorocamento envolve o alargamento de uma ravina principal (*masterrill*) onde esta transporta um fluxo efêmero de água, possuindo paredes laterais íngremes, cabeceira vertical, largura maior do que 30 cm e profundidade maior do que 60 cm. As voçorocas formam-se em rupturas de encostas, onde a cobertura vegetal foi removida, em especial se o material estiver fraco ou inconsolidado. O autor enfatiza, ainda, que as voçorocas são mais comuns em solos profundos formados sobre *loess*, solos de origem vulcânica, aluviões, colúvio, cascalho, areias consolidadas e detritos de movimentos de massa. O aumento do *runoff*, conjuntamente com as queimadas, retirada da vegetação, aumento das terras cultivadas e o superpastoreio podem dar origem a erosão por voçorocas.

Problemas como acidificação, perda de matéria orgânica, contaminação por metais pesados e uso intensivo de defensivos agrícolas, podem levar a degradação dos solos. Neste sentido a agricultura constitui-se numa das atividades que mais degradam o solo, pois com o passar do tempo, se não forem adotadas práticas conservacionistas e adubação, o esgotamento dos recursos do solo, torna-o praticamente estéril, abrindo caminho para a degradação ambiental. As encostas são ambientes frágeis e se não forem conservadas adequadamente, podem apresentar altos índices de degradação. O cultivo nessas áreas costuma ser delicado; uma solução seria o plantio em curvas de nível, bem como evitar a utilização de máquinas, e em consequência, a compactação do solo e seu revolvimento.

4.2 Fatores controladores do processo erosivo

Identificar os mecanismos determinantes do processo erosivo é de fundamental importância para se controlar a erosão. Os principais fatores controladores da erosão são: a erosividade da chuva, as características físicas dos solos (textura, porosidade, pH, estabilidade dos agregados, etc), a formas e o comprimento das encostas, a declividade e a cobertura do solo (SELBY, 1993; MORGAN, 2005; GUERRA, 2007).

A seguir são descritos os principais fatores controladores da erosão hídrica:

4.2.1 Erosividade das chuvas

A erosividade das chuvas pode ser traduzida como a capacidade desta num evento pluviométrico causar o destacamento das partículas e sua remoção, ou seja, erodir o solo. Nos países tropicais, eventos pluviométricos de grande intensidade ocorrem com grande frequência, sendo responsáveis pela remoção de toneladas de material todos os anos.

As propriedades mais importantes para o início do processo erosivo são a intensidade da chuva e a sua duração, com especial destaque para o tamanho das gotas de chuva. Chuvas de grandes intensidades proporcionam uma quebra nos agregados do solo e o seu destacamento (*detachment*), deixando as partículas do solo expostas para o transporte. Segundo Guerra (2007), devem-se ser analisados detalhes mais aprofundados sobre a chuva, apesar de vários estudos levarem em consideração os totais pluviométricos (mensais, anuais etc.), a correlação entre a perda de solos e o total de chuva é baixa (HUDSON, 1961; MONTEBELLER *et al.*, 2004).

Uma boa forma de se medir a intensidade da chuva é através de pluviógrafos, equipamentos que registram intensidade em intervalos horários ou inferiores, permitindo assim, que detalhes mais aprofundados possam ser examinados, tendo em vista que os eventos de remoção de sedimentos ocorrem em intervalos relativamente pequenos.

4.2.2 Propriedades físicas dos solos

Outro fator controlador é a propriedade física dos solos, que se reflete na erodibilidade, definida por Morgan (1986) “como a resistência do solo em ser removido e transportado”. Nesse aspecto é importante dizer que as propriedades físicas dos solos não são estáticas durante o tempo, ao contrário sendo passíveis de mudanças naturais ou de acordo com o uso que podem torná-los mais ou menos suscetíveis a erosão. Diversos estudos (FARMER, 1973; BRYAN, 1974; LOUREIRO, 2013) apontam a fração areia fina como a mais crítica para a erosão. Outra fração crítica é o silte (WISCHMEYER e MANNERING, 1969, EVANS, 1990; GUERRA, 1991a, 1991b, 2007). Já a argila proporciona uma maior agregação das partículas, assim como o teor de matéria orgânica, dificultando, a remoção do solo. Esta proporciona ainda, maior capacidade de infiltração de água no solo, reduzindo o escoamento superficial (*runoff*).

A interação da textura com a matéria orgânica do solo é fundamental no cálculo da erodibilidade. Em seus estudos Greenland, *et al.* (1975) indicam teores inferiores a 3,5% de matéria orgânica para caracterizarem solos com baixa estabilidade de agregados, enquanto De Ploey e Poesen (1985) apontam valores inferiores a 2,0%. Essa propriedade de agregar as partículas do solo confere a matéria orgânica capacidade de conter o arraste dessas mesmas partículas, além do mais fornecendo nutrientes aos vegetais. Loureiro (2013) destaca de acordo com Jorge (1975 e 1985) que o carbono é um elemento que entra com 58% em média de húmus, por isso da multiplicação do carbono por 1,7 ou 1,724 para obtenção da matéria orgânica.

Segundo Brady (1989) pode haver influencia da textura sobre a concentração de matéria orgânica. Solos mais arenosos tendem a possuir menos matéria orgânica. Jorge (1975) argumenta que a matéria orgânica tem maior propriedade agregadora que a própria argila.

A estabilidade dos agregados e a porosidade do solo são outros fatores importantíssimos que aumentam a capacidade de infiltração do solo. Entretanto práticas agrícolas como o uso intensivo de máquinas, o pisoteio de animais e a implantação de superfícies como estradas de rodagem e trilhas tendem a compactar o solo, tornando-o mais suscetível ao selamento e conseqüentemente ao *runoff*.

4.2.3 Cobertura vegetal

A cobertura vegetal também se faz importante frente à proteção do solo ao impacto das gotas de chuva. Maiores densidades vegetacionais, proporcionam, baixa exposição do solo, facilitando o processo de infiltração e retardando o escoamento, principalmente se houver serrapilheira. As raízes exercem papel de estabilidade mecânica. Apesar disso, alguns tipos vegetacionais podem ser críticos, como as bananeiras e as palmeiras, pois concentram fluxos d'água devido à forma afunilada.

Contudo, geralmente a retirada da cobertura vegetal tende a abrir caminho para a erosão, se não houver um manejo adequado do solo. Neste sentido as estradas constituem um fator de risco por deixarem o solo desprotegido e abrir caminhos preferenciais para a água (ELLIOT, *et al.*, 1999; ZIEGLER *et al.*, 2004; RAMOS-SCHARRÓN e MACDONALD, 2007; RIJSDIJK *et al.*, 2007).

4.2.4 Formas das encostas

As encostas afetam a erosão por meio da declividade, da forma e do comprimento (GUERRA, 2007). Esses fatores influenciam na velocidade e intensidade do escoamento superficial. As encostas côncavas são mais suscetíveis por concentrarem fluxos de água das chuvas, ao passo que as convexas os dispersam. Maiores comprimentos proporcionam maiores disponibilidades de material a ser transportado ao longo da encosta, enquanto que a declividade até certo ponto pode ser muito crítica, como indicam Luk (1979), Morgan (2005), Lima (2008) e Bezerra (2011) que encostas com 30° são as mais suscetíveis. Entretanto encostas a partir de 3° já são passíveis de serem erodidas. Por outro lado, a tendência é que quanto mais íngreme, menos material esteja disponível para a erosão, devido à dificuldade na formação de solos muito profundos.

Luce e Black (1999) e Duff (2010) afirmam que para cada segmento de estrada os fatores que mais influenciam são o comprimento, a declividade, a altura do corte da encosta, a textura do solo e a manutenção. Para Ebisemiju, (1990) o comprimento e a declividade são os fatores primordiais para a produção de sedimentos, afetando a tensão de cisalhamento e a energia do fluxo superficial.

4.2.5 Influência do homem sobre a erosão

Em muitos casos o homem surge como agente principal indutor dos eventos erosivos. Algumas intervenções são cruciais para o desencadeamento das formas de erosão como os cortes de estradas, deposição de material em encostas, culturas implantadas em locais inapropriados como encostas, dentre outros. A agricultura arada, bem como culturas temporárias tendem a remexer o solo e deixá-lo por mais tempo exposto, aumentando a retirada de sedimentos. As culturas perenes e pastagens possuem menor potencial de remoção de sedimentos, entretanto ainda apresentam valores elevados em relação a uma floresta com sua cobertura natural de serrapilheira (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990, *in* BOTELHO e SILVA, 2004).

As estradas são um dos tipos de intervenção de maior impacto no meio ambiente. Segundo Thomaz (2010), as do tipo não pavimentadas podem ser também consideradas como formas erosivas que cortam o leito de rios, vertentes e canais escoadouros da chuva, enquanto

que para Reid e Dunne (1984) as estradas não pavimentadas são a maior fonte de sedimentos em uma bacia hidrográfica.

4.3 O início do processo erosivo

Apresentados os fatores controladores, Guerra (2007) descreve o início do processo erosivo que ocorre em duas fases: a primeira que constitui a remoção (*detachment*) de partículas, e posteriormente o transporte desse material; pode ocorrer ainda uma terceira fase decorrente da falta de energia no ambiente para continuar o transporte, é quando se dá a deposição. A partir de então, os processos erosivos pela água da chuva ocorrem pelo impacto direto das gotas de chuva no solo, destacando as partículas num efeito conhecido como *splash*. Parte da água se infiltra no solo e outra parte começa a acumular-se em depressões, daí então o solo atinge sua saturação, principiando o escoamento de água tanto em superfície quanto em subsuperfície (GUERRA, 2007; THOMAZ, 2012). Outro aspecto importante se refere aos diferentes tipos de texturas que darão origem a diferentes taxas de infiltração. Solos compostos por partículas maiores, como a areia (0,053 – 2,0 mm) tendem a permitir maior infiltração de água, enquanto a argila (< 0,002 mm) pode retê-la mais, entretanto dependendo de fatores como a estabilidade de agregados e a presença de micro e macro poros, a argila pode ter alta capacidade de infiltração (GUERRA, 2007). Neste sentido vale destacar também a umidade inicial dos solos como fator de aceleração da saturação das taxas de infiltração e conseqüentemente na geração de escoamento superficial (*runoff*), visto que muitos solos apresentam início do escoamento em chuvas menores do que sua capacidade de absorção (JORDÁN, *et al.*, 2013).

Dado o início do escoamento superficial, este caracteriza-se quase sempre por pequenos fluxos anastomosados, daí então podem começar a escoar por pequenas depressões no solo que com o passar do tempo vão se aprofundando, até formarem um canal que dará origem a erosões lineares. O fluxo superficial pode ocorrer também na forma laminar, gerando a erosão em lençol, enquanto o escoamento em subsuperfície causa erosão através da escavação de dutos que colapsam o topo do solo. Em geral o escoamento superficial e subsuperficial dão origem às ravinas, que por sua vez podem se alargarem, formando voçorocas. As ravinas são na maior parte dos casos desconexas da rede de drenagem, e podem ser alteradas ou extintas a cada nova tempestade, ou obliteração por máquinas, constituindo-se em feições mais efêmeras na paisagem. (PINTON e CUNHA, 2008; KALINNY, 2011)

Guerra (2007) descreve as etapas identificadas por Morgan (2005) no processo de formação de ravinas: *“1. escoamento superficial difuso; 2. escoamento superficial, com alguma concentração, em pontos preferenciais; 3. escoamento concentrado em microbacias, sem cabeceiras definidas; 4. escoamento concentrado em microcanais, com cabeceiras definidas”*.

O alargamento das ravinas gera voçorocas, que por sua vez são feições de paredes laterais íngremes e fundo achatado, possuindo ainda fluxos de água em seu interior durante as chuvas. Relacionam-se com processos erosivos acelerados e indicam instabilidade da paisagem (GUERRA, 2007). Além da origem pelo escoamento, as voçorocas podem originar-se de antigas cicatrizes de deslizamento de terra. Vale lembrar que não há consenso no que diz respeito à definição da diferença entre ravinas e voçorocas, embora seja concordado que as voçorocas podem atingir vários metros de largura e comprimento.

Selby (1993) descreve ainda o processo de voçorocamento da seguinte forma:

“Uma ravina pode assim aprofundar e alargar o canal e ser classificada como uma voçoroca - arbitrariamente definida como um canal de drenagem recentemente alargado que transmite fluxo efêmero, tem lados íngremes, uma escarpa íngreme numa cabeça inclinada ou vertical, uma largura superior a 0,3 m, e uma profundidade superior a cerca de 0,6 m. (...) As voçorocas quase sempre começam por um ou dois motivos: ou há um aumento na quantidade de escoamento superficial, ou o escoamento superficial permanece o mesmo, mas a capacidade dos cursos de água de carrear a inundação é reduzida”. (SELBY, 1993).

Há dois tipos principais de voçorocas: (1) voçorocas contínuas e (2) voçorocas descontínuas. E existem três processos principais no aparecimento de voçorocas, ocorrendo geralmente em conjunto: (a) escoamento superficial, (b) movimentos de massa e (c) erosão por dutos. (SELBY, 1993).

4.4 Suscetibilidade à erosão

Segundo Lima (2010) o conceito de suscetibilidade encontra-se ligado a probabilidade de um evento ocorrer de forma natural ou induzida numa determinada área. Neste sentido podemos entender que o termo suscetibilidade à erosão dos solos pode ser entendido como a possibilidade de tal evento ocorrer devido aos fatores ambientais locais (clima, geomorfologia, solos etc.) ou mesmo de origem antrópica.

A Autoridade Nacional de Proteção Civil de Portugal (2009) entende a suscetibilidade como a:

“incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência.” p. 21.

É importante ressaltar que existem outros termos na literatura que guardam semelhança com o conceito de suscetibilidade, como vulnerabilidade e fragilidade. Segundo Macedo (1995) a vulnerabilidade ambiental diz respeito a um conjunto de fatores ambientais de mesma natureza que podem ter sua estabilidade ecológica alterada devido às atividades ocorrentes ou de futura ocorrência. Já a fragilidade encontra-se relacionada a uma instabilidade (LIMA, 2010).

4.5 Erosão em estradas

A implantação de rodovias altera significativamente os fluxos d'água provenientes da chuva, bem como sua infiltração no solo, induzindo os processos erosivos e os assoreamentos se não for acompanhado de um plano de manejo adequado. A compactação do solo e sua selagem causam aumento do fluxo superficial, aumentando a energia disponível para a retirada de sedimentos (THOMAZ, 2012).

Quando do corte de taludes para a implantação de estradas a água passa a aflorar, gerando intemperismo e encharcando a base da estrada, daí então a ocorrência de erosão, alagamentos, redução da coesão dos solos e instabilidade dos taludes, redução da capacidade de suporte do maciço terroso, rupturas no pavimento, etc., sendo indicado como solução o rebaixamento do lençol freático de 1,5 a 2 metros de profundidade (UERJ, 2010).

Dentre os locais mais críticos a erosão estão as estradas e as trilhas que cortam o PNSB: *"Em quase todos esses caminhos é comum encontrar, principalmente em trechos onde a declividade é acentuada, cobertura vegetal ausente e grande erodibilidade, e erosão em estágio inicial formando pequenos sulcos erosivos."* (ICMBIO, 2010, pag. 5.83). Estes caminhos contribuem não só para a erosão, mas também para o assoreamento de canais.

Pensando nisso, a RJ-165, pode ser incluída como um elemento crítico dentro do PNSB. Em relação à perda de sedimentos, segundo o Plano de Manejo do parque, foi feita uma modelagem indicando a ocorrência de perda média ponderada de $105,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Entretanto para 50% da área as perdas não atingem $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, indicando que dentro do PNSB as perdas por erosão não são excessivas, existindo entretanto, áreas de elevadas taxas de erosão, indicativos de locais em processo de degradação – caso das estradas e das trilhas (MMA, 2002). De forma geral o PNSB é muito frágil em relação à erosão acelerada, entretanto suas taxas são toleráveis em função da grande cobertura de florestas responsáveis por evitar processos erosivos acelerados.

Para Reid e Dunne (1984) as estradas não pavimentadas são a maior fonte de sedimentos em uma bacia hidrográfica, tornando sua manutenção de grande importância para evitar a degradação ambiental.

Lima (1991) ressalta que traçados rodoviários situados em maciços da Serra do Mar – caso da RJ-165 – encontram-se em difíceis condições geotécnicas, geológicas e topográficas, exigindo a construção de obras de contenção de encostas e drenagem nos melhores padrões técnicos existentes. Neste sentido, as características físicas dessa estrada, propondo a menor interferência ao meio ambiente *“será uma alternativa com características técnicas mais modestas e capazes de dar fluência a um tráfego pouco intenso”* (Lima, 1991).

Outros estudos demonstram a importância do entendimento sobre os processos de transporte de sedimentos e fluxos nas estradas. Segundo MacDonald, *et al* (2001 *in* CUNHA, 2011) as estradas Virgin Islands em Porto Rico geraram escoamento em precipitação acima de 6 mm e produção de sedimentos entre 10 a $15 \text{ kg/m}^2/\text{ano}$.

Segundo Arnáez, *et al.* (2004), a presença de rodovias aumenta a produção de sedimentos em muitas bacias hidrográficas como o resultado dos movimentos de massa em taludes íngremes, em resposta as tempestades extremas (SWANSON E DYRNESS, 1975; HAIGH, *et al.*, 1988; WEMPLE *et al.*, 2001), ou como consequência do impacto direto das gotas de chuva e da turbulência do escoamento superficial (FROEHLICH, 1995; ZIEGLER, *et al.*, 2000). A alteração dos perfis das encostas, com a consequente ruptura do fluxo superficial e subsuperficial (TAGUE E BAND, 2001), a construção dos cortes de encosta com gradientes íngremes (LUCE E BLACK, 2001) a falta de cobertura vegetal para proteger o

solo e a alta compactação da superfície da estrada explicam, em grande parte, a variedade e a intensidade dos processos erosivos.

Ainda segundo Arnáez, *et al.* (2004), em estudos de processos erosivos em estradas na Espanha, a parte da estrada que apresentou maiores taxas erosivas foram os cortes de estrada (161 g/m²), onde o desgaste e o processo de congelamento-descongelamento promoveram a perda de material para transporte pelo fluxo superficial. As taxas de perdas de solo dos cortes de encostas excederam as perdas das áreas de preenchimento lateral e do leito estradal em 16 e 11 vezes respectivamente. Nestes testes, a máxima concentração de sedimentos ocorreu nos primeiros minutos. Em condições de baixa umidade do solo os tudes de estrada tiveram coeficientes de escoamento superficial de 58%, com o fluxo superficial sendo gerado em três minutos. No leito da estrada o início do escoamento superficial foi mais rápido, entretanto a perda de sedimentos foi menor em função de sua maior compactação e menor ação do *splash*. A principal explicação para as variáveis de *runoff* e erosão foram o gradiente e a presença de cascalhos saturados. Os resultados sugerem necessidade de controle da erosão dos solos nas estradas florestais não pavimentadas nas bacias hidrográficas montanhosas. Por isso, os melhores meios de reduzir a produção de sedimentos é o ajuste, se possível, do traçado das estradas adequado à topografia e aumentar a matéria orgânica, ou o replantio nas encostas intensamente perturbadas.

A conexão entre a produção de sedimentos nas estradas e o seu aporte nos corpos hídricos é de grande importância, uma vez que a qualidade da água e da vida nela contida pode ser seriamente afetada. As estradas aumentam muito o aporte de sedimentos em rios. Segundo Thomaz, *et al.* (2011), um dos principais impactos das estradas não pavimentadas é o aumento da conexão entre as vertentes e os canais fluviais.

Para Negishi, *et al.* (2008), alguns processos erosivos que ocorrem em estradas se referem ao fluxo hortoniano superficial e ao fluxo de superfície interceptado. Este último fluxo é considerado a porção do *runoff* proveniente das encostas que é interceptado pelas estradas. O fluxo hortoniano é o primeiro a ocorrer e transportar sedimentos durante um evento pluviométrico. Já o fluxo de superfície interceptado começa após o pico da intensidade da chuva e concentra-se nas laterais da estrada (NEGISHI, *et al.*, 2008). Em geral a superfície de estradas não pavimentadas é compactada, possuindo baixa capacidade de infiltração o que aumenta a suscetibilidade aos vários tipos de fluxos superficiais. Ainda

segundo Duff (2010), a cobertura vegetal em uma estrada não a protege muito, uma vez que durante chuvas intensas o *runoff* é inevitável.

Além do fluxo superficial, outro fator importante para a produção de sedimentos em estradas é a intensidade do tráfego. Segundo Sheridan e Noske (2007), a intensidade do tráfego pode aumentar de duas a doze vezes a intensidade da erosão. A manutenção dessas estradas também requer a constante adição de material ao leito natural, a fim de controlar as incisões, entretanto esse material depositado torna-se disponível para novo transporte.

Segundo Thomaz (2011), o processo de degradação das estradas rurais torna estas, por vezes, intransitáveis em função do forte ravinamento que ali se instala. A mesma autora encontrou proporções maiores de sedimentos menores do que 2 mm produzidos em estradas rurais de Guarapuava (Paraná) argumentando ainda que esta fração é a mais prejudicial aos recursos hídricos.

Segundo Cunha (2011), nas estradas não pavimentadas o tipo de revestimento mais comum utilizado é o próprio solo local, entretanto a fim de realizar melhorias em seu leito, adiciona-se uma camada de pedra ou material granular, com certa quantidade de sedimentos finos adequados para aglutinação do leito quando da compactação. O material usado para o revestimento das estradas pode ser cascalho basáltico, brita, entre outros, com espessura podendo variar de 5 a 20 cm (IDORALDO JÚNIOR, 2006).

Existem diversas técnicas de prevenção da erosão em estradas. A principal consiste em retirar o fluxo de água da superfície. Dentre estas técnicas algumas recomendam a instalação de bueiros ao longo dos cortes de encostas (NEGISHI, *et al.*, 2008), drenos espaçados que podem ser ajustados conforme o conhecimento do volume de *runoff* e a redução do comprimento e da declividade (ZIEGLER, *et al.*, 2004). Elliot, *et al.* (1999) sugerem menor pressão dos pneus, diminuindo assim a tensão destes com a estrada.

Para Duff (2010) o desenho das estradas pode direcionar o fluxo para dentro ou para fora da encosta ou, ainda para os dois lados (Fig. 3). Estradas com o fluxo para dentro da encosta são construídas com valas ao longo da parte de dentro a fim de controlar o fluxo de água, costumando ser mais caras e menos comuns. Já as estradas com fluxo para fora da encosta não são recomendadas para áreas onde existem fontes naturais ou estão muito sujeitas a deslizamentos.

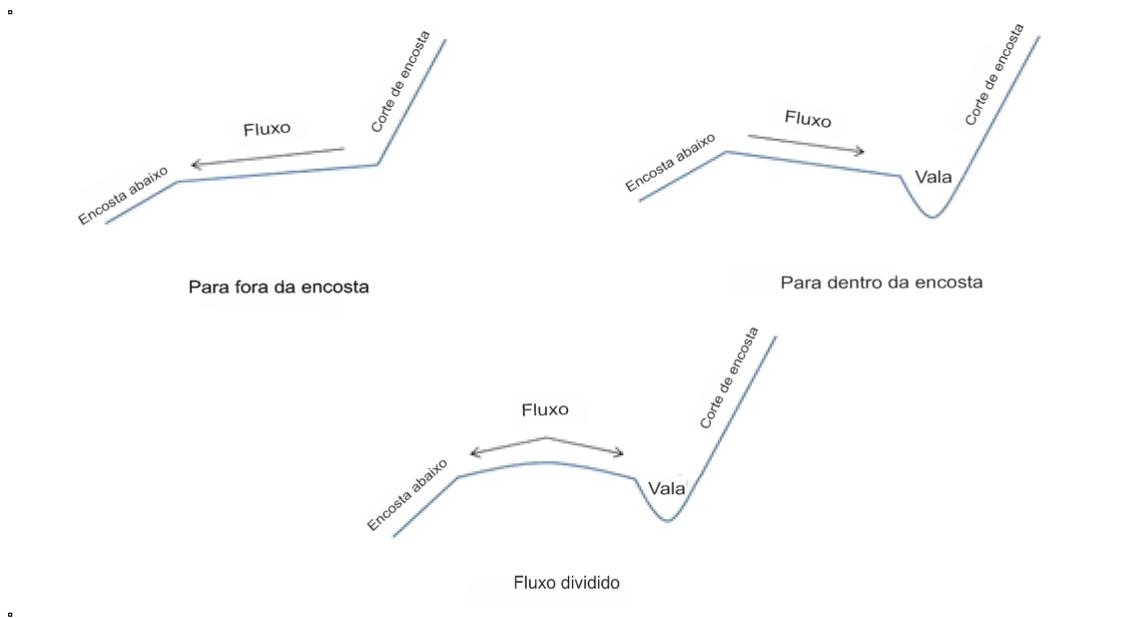


Figura 3. Esquema de direção de fluxos em uma estrada. (DUFF, 2010)

Segundo Caseti (1995 *in* CUNHA, 2011), o controle do escoamento superficial e de sedimentos nas estradas não pavimentadas tem relação com a diminuição do impacto das gotas de chuva, diminuição da desagregação mecânica das partículas do solo, aumento da infiltração da água e a redução da velocidade do escoamento da água excedente.

Quanto à previsão de erosão em estradas Duff (2010) cita modelos que podem ser de base física ou empírica. Os modelos de base física calculam a erosão através da hidrologia da superfície das estradas, necessitando de muitas calibrações e dados de entrada precisos. Os modelos de base empírica utilizam a relação entre os fatores que produzem a perda de sedimentos, possuindo muitas vezes, dificuldades em serem aplicados fora dos locais em que foram desenvolvidos. Existem diversos modelos de simulação de perda de sedimentos para variadas escalas temporais e espaciais. Alguns desses modelos são estruturados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), conseguindo fazer a integração entre diversas variáveis influenciadoras do processo erosivo.

4.6 Estrada-parque

Uma possível solução para a estrada seria a transformação desta em Estrada-parque. O objetivo do governo do Estado do Rio de Janeiro é a implantação de uma via neste molde, atendendo aos imperativos turísticos e preservando de alguma forma o parque.

O conceito de Estrada-parque ainda não é bem definido e os trabalhos relativos ao tema em unidades de conservação são escassos (SORIANO, 2006). Segundo este autor a primeira referência de âmbito federal sobre as Estradas-parque no Brasil está no Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil (1982), onde são descritos os objetivos básicos deste tipo de estrada, mas sem nenhuma menção conceitual.

Soriano (2011), ao fazer um levantamento das Estradas-Parque no Brasil, constatou a existência de 24 estradas dessa modalidade. O autor apresenta algumas definições na literatura conforme a Tabela 1:

Tabela 1. Conceitos/definições Estrada-Parque. (SORIANO, 2011)

Publicação		Conceito - Definição
1	Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil: II Etapa. Brasília, 1982.	É um Parque linear que compreende a totalidade ou parte de rodovias de alto valor panorâmico, cultural ou recreativo. Os limites são estabelecidos de tal modo que incluam as terras adjacentes a ambos os lados da rodovia, com o fim de atender a proteção da integridade panorâmica, dos recursos conexos e das atividades de recreação e educação.
2	SILVA, L. L. Ecologia: manejo de áreas silvestres. Santa Maria, RS, 1996.	É um Parque linear de alto valor educativo, cultural, recreativo e panorâmico que protege faixas de terra ao longo de trechos ou a totalidade de caminhos, estradas ou vias de acesso, e cujos limites são estabelecidos com vistas à proteção de suas características e mantidos em estado natural ou seminatural, evitando-se obras que desfigurem o meio ambiente.
3	BARROS, L. A. Vocabulário enciclopédico das Unidades de Conservação do Brasil. São Paulo, SP., 2000.	Categoria de manejo cujo objetivo principal é proteger, em parte ou no todo, rodovias com margens de grande beleza paisagística natural, seminatural ou cultural. [...] As áreas adjacentes a esses parques lineares podem ser de domínio público ou privadas.
4	FUNDAÇÃO S.O.S. MATA-ATLÂNTICA. Estrada-parque: conceito, experiências e contribuições. São Paulo, 2004.	Estrada Parque é um Museu Permanente de Percurso que atravessa Unidades de Conservação ou áreas de relevante interesse ambiental e paisagístico, implantado com o objetivo de aliar a preservação ambiental ao desenvolvimento sustentável da região, através do fomento ao ecoturismo e às atividades de educação ambiental, de lazer e culturais.

A legislação define que cada Unidade da Federação tem autonomia para definir o que seja a Estrada-parque, daí o tema ainda ser um pouco confuso.

Soriano (2011) chega a seguinte definição sobre estrada-parque:

“Se constitui numa unidade de conservação de grande beleza cênica, cujo formato e dimensões são definidos pela percepção das paisagens naturais e culturais a serem protegidas, a partir de uma rota principal, a estrada, e que se destina a recreação e lazer ao longo desta, e também como forma de promover a integração homem-natureza e o desenvolvimento sustentável da região de sua influência.” P. 162

Apresenta ainda uma proposta de classificação tipológica:

“Estrada-parque (paisagem protegida, estrada como unidade de conservação). É uma unidade de conservação em si mesma. Tem área definida em função das paisagens naturais e culturais avistadas a partir da estrada. Administrada por órgãos ambientais. Deve ter funcionários e plano de manejo. Estabelecida mediante inclusão nos Sistemas Estaduais de Unidades de Conservação e eventualmente no Sistema nacional de Unidades de Conservação. Principais objetivos de manejo: proteção da paisagem, biodiversidade e locais histórico-culturais; manutenção dos serviços ambientais; promoção do Desenvolvimento Sustentável, recreação, turismo e lazer. Principais estratégias: plano de manejo; definição de áreas núcleos ao longo da estrada (de domínio público, ainda que possam existir áreas núcleos privadas), conselho gestor comunitário e deliberativo. Obs. obrigatoriamente implantada e manejada de acordo com mecanismos de mínimo impacto ambiental.” P. 159

Soriano (2011) conclui que as estradas-parque no Brasil vêm sendo divulgadas com viés ecológico, mas não oferecem proteção aos recursos naturais, culturais e paisagísticos. A maioria das propostas propõem apenas o asfaltamento e o incentivo ao turismo, sendo que as definições legais tem possibilitado o uso de recursos dos “fundos ambientais” para a implantação de rodovias em UCs.

O Decreto nº 40.979, de 15 de outubro de 2007, define os parâmetros para o estabelecimento de Estradas-parque no Estado do Rio de Janeiro, como fica evidenciado no Artigo 2º:

“Considera-se estrada-parque a via automotiva que, inserida no todo ou em parte em unidade de conservação da natureza, possua características que compatibilizem sua utilização com a preservação dos ecossistemas locais, a valorização da paisagem e dos valores culturais e, ainda, que fomentem a educação ambiental, o turismo consciente, o lazer e o desenvolvimento socioeconômico da região onde está inserida.”

O Artigo 5º define alguns parâmetros estruturais, dentre eles:

“II – Contenções de encosta e cortes de taludes – devem respeitar ao máximo a geologia e geomorfologia locais e provocar o menor impacto paisagístico possível.” “III – Pavimentação – deve compatibilizar as necessidades de tráfego às especificidades físicas locais, tais como relevo, clima, geologia, geomorfologia, hidrologia e outras, e priorizar a utilização de materiais menos poluentes.”

Segundo a Indicação Legislativa Nº 484/1998, que pede a criação da Estrada-parque Estadual Paraty-Cunha, ficam definidos alguns critérios de implementação da mesma. O parágrafo único do Artigo 1º:

“... define como categoria de unidade de conservação denominada Estrada-parque aquela que tem por objetivo de manejo manter parte ou toda uma estrada ou rodovia e sua paisagem em estado natural ou seminatural, proporcionando usos recreativos e educativos. (...)”

O Artigo 2º afirma que a Estrada-parque se inicia na cota altimétrica de 500 m e encerra-se em 1650 m, correspondendo aos limites do PNSB. Sua extensão é de 12 km, iniciando-se no km 10 e terminando no km 22. E dentre os objetivos da estrada estão o de “*deter a degradação dos recursos naturais locais e incentivar a recuperação ambiental*” (Art. 3º).

Em entrevista concedida em setembro de 2013 à Hugo Loureiro e Márcia Martins, o chefe do PNSB Francisco Livino disse que a diretriz para a Paraty-Cunha é o Plano de Monitoria. Essa área foi privilegiada em função do apelo turístico, como explica Livino a expectativa é de passar a ser o terceiro parque mais visitado do Brasil. Neste sentido as obras, além de resolver o passivo político ajudarão na gestão do parque, pois a sede migrará para sua margem. Livino reitera que a estrada não pode servir como rota de fuga para caso de acidente nuclear nas usinas de Angra dos Reis. Há sim dependência de serviços hospitalares do Vale do Paraíba por parte da população de Paraty, mas isso o parque não pode resolver, é de competência da prefeitura deste município. Há a necessidade de diálogo com o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) para evitar embargos na obra. Entende-se que os impactos negativos das obras na estrada serão poucos frente aos pontos positivos. Para finalizar, Francisco diz que o problema maior será a incursão de pessoas para lá, entretanto haverá guaritas para controle, bem como restrição e cobrança de tráfego.

5 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se na região Sul Fluminense ou da Baía da Ilha Grande, no estado do Rio de Janeiro (Fig. 1). As características físicas mais marcantes são a presença da Serra do Mar, os altos índices pluviométricos e a Mata Atlântica bem preservada.

O Parque Nacional da Serra da Bocaina (PNSB) é uma Unidade de Conservação de preservação integral, criado pelo Decreto Federal nº 68.172 de 4 de fevereiro de 1971, abrangendo 134 mil ha, sendo posteriormente diminuído para 104 mil ha através do Decreto Federal nº 70.694 de 8 de junho de 1972. Localizado entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo a área do Parque encontra-se distribuída entre estes em 60% e 40% respectivamente (Fig. 1). O Parque abriga um importante remanescente de floresta atlântica com espécies raras de fauna e flora, entretanto sofre grande pressão dentro de seus limites e em seu entorno. Problemas como o desmatamento, a extração ilegal de palmito e madeira, mineração, queimadas, erosões e caça são comuns. Além disso, o crescimento do turismo na região tem sido um desafio para a gestão do Parque (MMA, 2002).

5.1 Caracterização climática

As condições climáticas na área em questão são características do clima tropical úmido. As chuvas são distribuídas em duas estações sendo uma seca (abril a setembro) e outra chuvosa (outubro a março), sendo marcante a ocorrência de chuvas orográficas. Os índices pluviométricos médios ficam por volta de 2000 mm, enquanto as máximas podem chegar a 3000 mm. A temperatura do ar também é marcada por uma grande amplitude, com médias variando entre 17° no alto da serra e 23° nas áreas litorâneas. É comum as temperaturas chegarem próximo de 0° nas áreas mais elevadas durante o inverno (MMA, 2002).

Segundo o Relatório de Controle Ambiental da Paraty-Cunha (UERJ, 2010) os sistemas meteorológicos associados às Zonas de Convergência do Atlântico Sul podem gerar episódios excepcionais, com precipitações superiores a 300 mm em 24h, ocorrendo na Serra da Bocaina enxurradas com carreamento de sedimentos para os corpos hídricos, saturação do solo, com consequências como movimentos de massa, mesmo em áreas vegetadas.

5.2 Caracterização Geológico-Geomorfológica

As elevadas altitudes da região estão associadas aos processos de soerguimento e abatimentos tectônicos que ali ocorrem desde o fim do Cretácio. O terreno da Bocaina encontra-se inserido na Faixa Ribeira, com empilhamento tectônico formado durante a etapa colisional há cerca de 580 milhões de anos durante a Orogênese Brasileira (EIRADO, *et al.*, 2006). Para Asmus e Ferrari (1978) os maciços costeiros e os escarpamentos montanhosos da Serra do Mar e da Mantiqueira “*são resultantes do soerguimento e basculamento de blocos escalonados de direção WSW-ENE*” (DANTAS, 2000). Segundo Almeida e Carneiro (1998) a escarpa da Serra do Mar resulta de um recuo erosivo de uma escarpa de falha junto a Falha de Santos no Paleoceno.

Guerra *et al.* (2013), ressalta que a constituição litológica de Paraty é composta por aproximadamente 50% de rochas granitoides, 30% de gnaisses e menores proporções de migmatitos, granitos e sedimentos holocênicos. Este encontram-se principalmente nos sedimentos de praias e nas planícies fluviais provindos dos sopés das encostas da serra.

Quanto a litologia sob a RJ-165 predomina o Complexo Plutônico Parati, que compreende uma variedade de litotipos (EIRADO, *et al.*, 2006) (Fig. 4). Dessa forma o substrato rochoso da estrada é constituído por um granito não deformado (Granito Paraty), tornando mais homogênea as condições geológicas da área, sendo ainda, relativamente mais resistente a erosão do que outros litotipos da região (UERJ, 2010). O ponto fraco do Granito Paraty consiste em seu alto grau de fraturamento.

De forma geral a área do PNSB encontra-se sobre uma estrutura geológica de xistos da Seqüência Metavulcânica-Sedimentar, granitos e gnaisses do Complexo Gnáissico Granitóide e charnoquitos do Complexo de Alto Grau, de idade proterozóica. Há também a presença de zonas de cisalhamento e falhas (MMA, 2002). Na área da RJ-165 ocorrem os gnaisses e granitos além dos sedimentos colúvio-aluvionares, formando os depósitos de tálus e cones de dejeção. Ocorrem altitudes entre 0 e 2088 m (Morro do Tira Chapéu), sendo predominantes declividades acima de 24° (40% da área) (MMA, 2002).

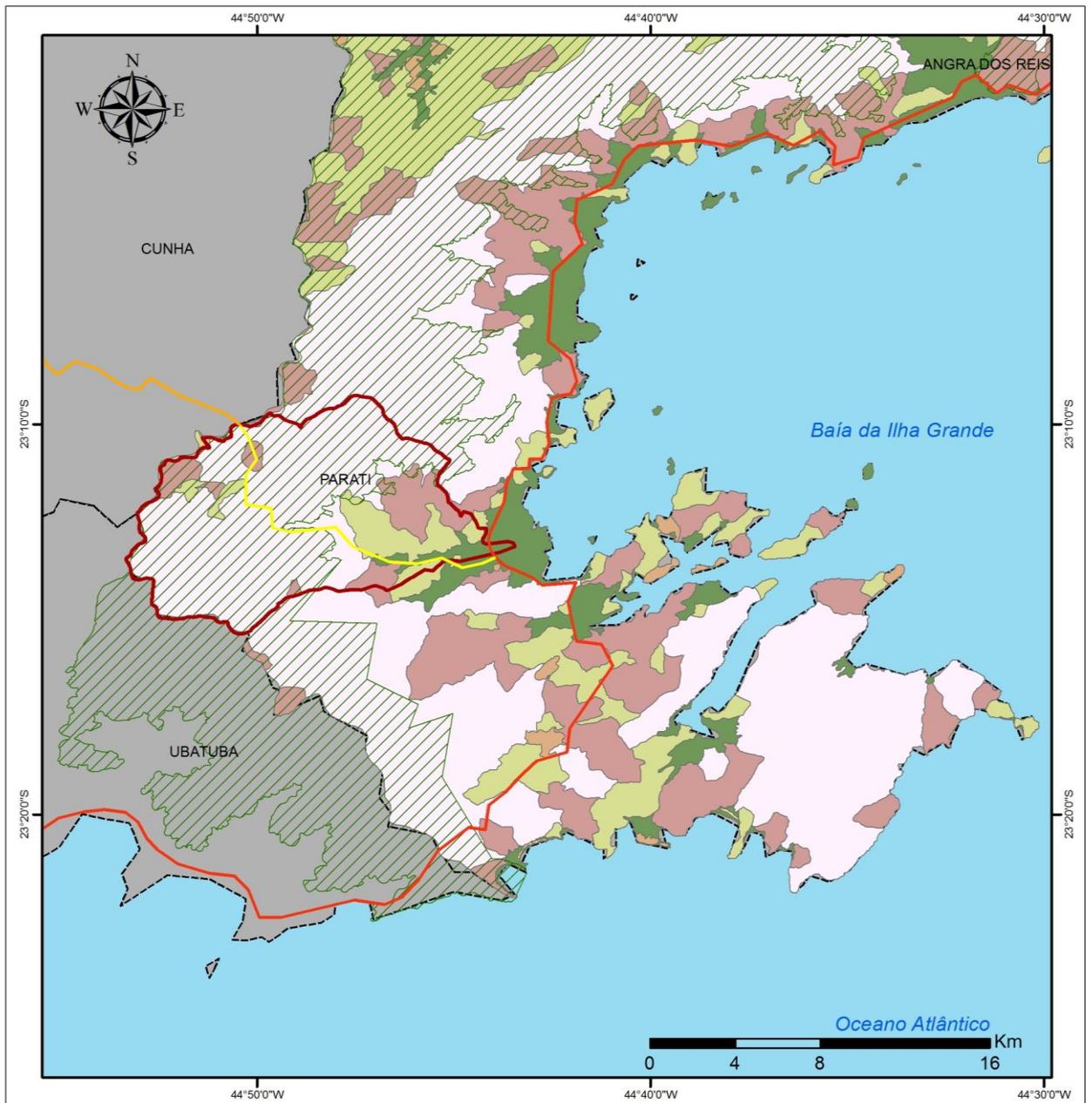
Dissecados (Md), Escarpas (E), Escarpas em Anfiteatros (Ea), Escarpas em Espigões (Ee), Montanhas e Morros (MHM).

Para Dantas (2000) a área em questão se insere na estrutura geomorfológica das Escarpas da Serra da Bocaina, Mangaratiba e Mazomba, dentro da unidade morfoescultural das Escarpas Serranas, que por sua vez se insere na unidade morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico (escala 1:250.000). O autor descreve a unidade geomorfológica das Escarpas da Serra da Bocaina, Mangaratiba e Mazomba como um imponente alinhamento serrano destacando-se como uma muralha montanhosa, a mais de 1000 metros de altitude, mergulhando diretamente na Baía da Ilha Grande, originando costões rochosos e entrecortados. É um relevo de transição entre os terrenos planos das baixadas fluviomarinhas e as zonas colinosas e montanhosas do planalto da Bocaina. (Fig. 6).

Para Silva (2002) a área da estrada compreende as seguintes feições geomorfológicas: serras escarpadas, serras isoladas e locais, colinas, morros e planícies fluviais e fluvio-marinhas (escala 1:100.000). Dentro do PNSB a estrada corta as feições das serras escarpadas e serras isoladas e locais. (Fig. 5)

A área atravessada pela Paraty-Cunha compreende, quase totalmente um segmento da escarpa da Serra do Mar, conhecida como escarpa da Serra da Bocaina (UERJ, 2010). O trecho próximo ao PNSB já na subida da serra, apresenta depósitos alúvio-coluvionares, típicos de rios de pé de serra, ocorrendo as planícies aluviais entulhadas por depósitos de encosta, indicativo de alto grau de dissecção da Serra da Bocaina. Após esse trecho a estrada sobe através de taludes em vertentes muito íngremes (escarpa festonada dissecada em espigões), recobertos por depósitos de encosta e cruzando tributários de alta declividade da margem esquerda do rio Perequê-Açú (UERJ, 2010).

“Apresenta vertentes muito íngremes e dissecadas, com geometria retilíneo-côncava e gradientes muito elevados (30 a 60°) e topos aguçados e em cristas alinhadas ou levemente arredondadas. Apresenta expressiva sedimentação de depósitos de tálus e colúvios. (...) Diferencia-se da escarpa frontal por apresentar vertentes mais extensas e dissecadas, fato este evidenciado pelos longos espigões (...) que denunciam um efetivo recuo a remontante de toda escarpa da Serra da Bocaina. (UERJ, 2010, pag. 42).



Mapa geomorfológico

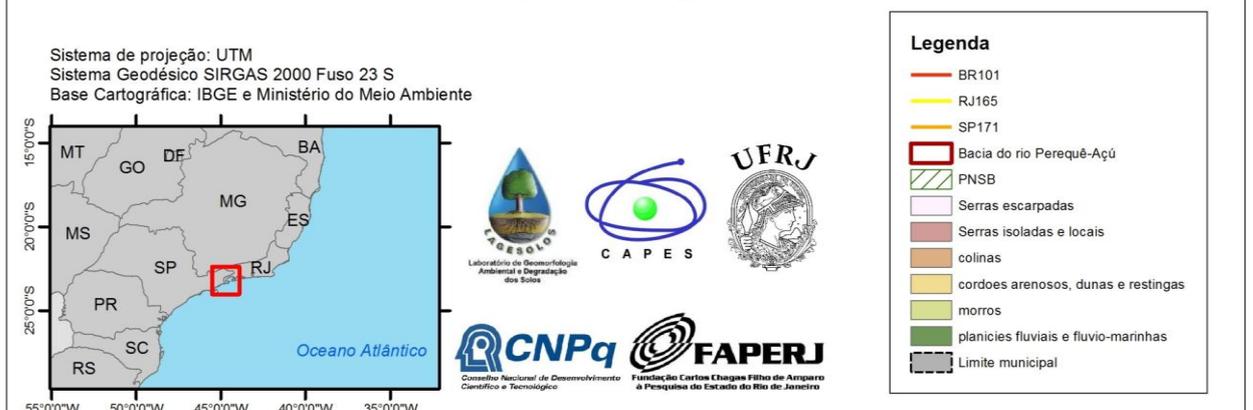


Figura 5. Mapa geomorfológico. Fonte: Adaptado de Silva, 2002



Figura 6. Relevos próximos a Estrada Paraty-Cunha

5.3 Hidrografia

A hidrografia apresenta forte controle estrutural, sendo constituída em sua maior parte por rios encaixados em vales que drenam para o mar. Os principais rios da região são Funil, Mambucaba, Bracuí-Paca Grande, Ariró, Parati-Mirim, Perequê-Açú, da Barra Grande e do Frade. A densidade de drenagem é bastante alta com padrões predominantes de treliça a retangular (UERJ, 2010). A estrada RJ-165 encontra-se dentro da bacia hidrográfica do rio Perequê-Açú, que possui sua nascente dentro do PNSB e deságua na cidade de Paraty, cuja principal fonte de abastecimento é este rio. O tamanho desta bacia é de aproximadamente 110 km². Os rios que são cortados pela estrada são o córrego do Carrasquinho, rio do Sertão, córrego da Estiva e rio Perequê-Açú.

5.4 Solos

Os solos da região são constituídos em Cambissolos e suas associações com Cambissolos Húmicos, Latossolos e Argissolos, além de Espodossolos e Neossolos Flúvicos e Quartzârenicos (MMA, 2002). Já Carvalho Filho, *et al.* (2003) mapearam as seguintes classes para a região: Cambissolos Háplicos Tb Distróficos, Neossolos Litólicos Distróficos, Latossolos Vermelho-amarelos Distróficos, Neossolos Flúvicos Tb Distróficos e Solos Indiscriminados de Mangue (escala 1: 250.000) (Fig. 8). A RJ-165 atravessa os Neossolos Flúvicos, Latossolos Vermelho-amarelos e, já dentro do PNSB, os Cambissolos e os Neossolos Litólicos.

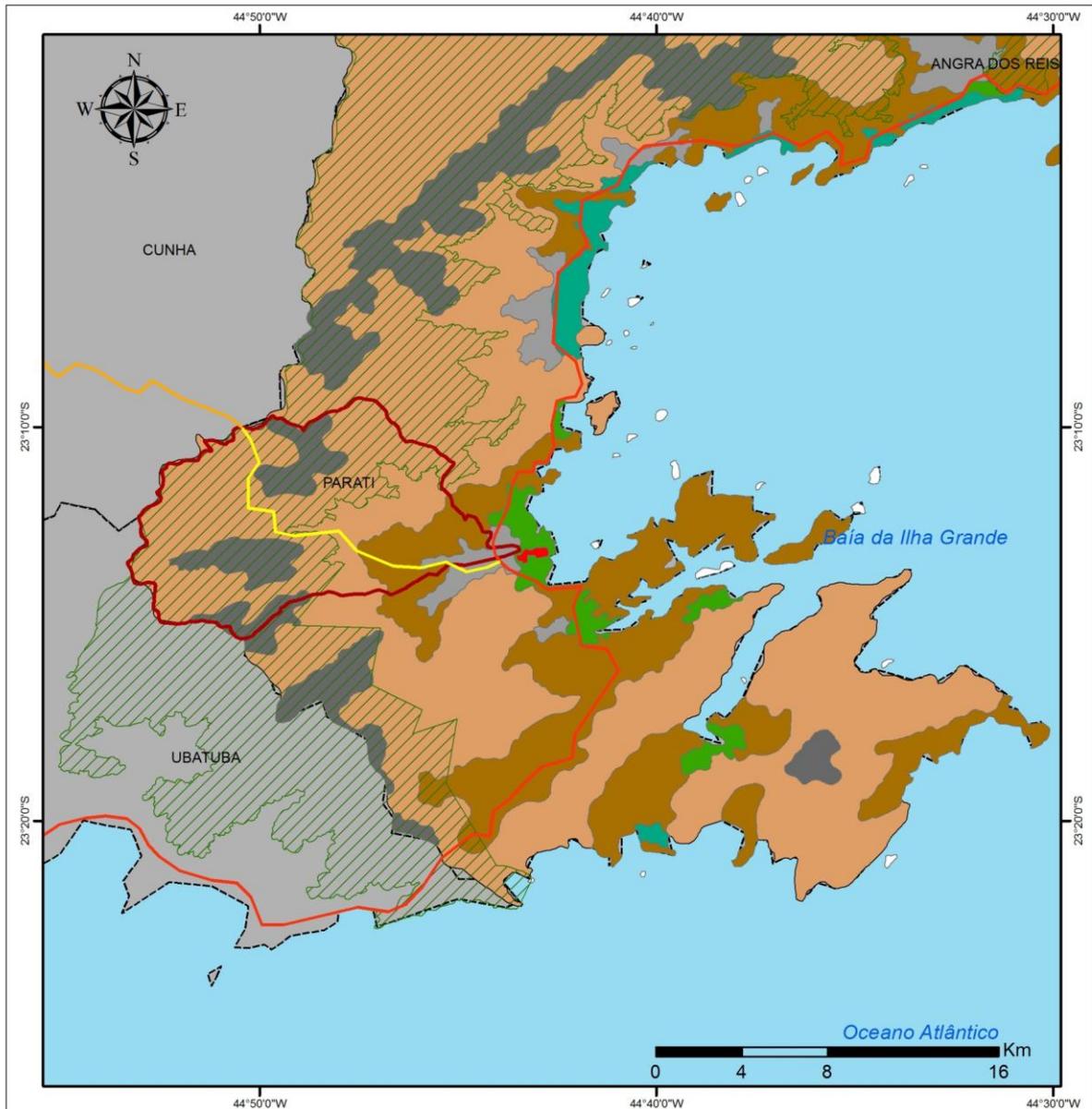
Para Guerra *et al.* (2013), os principais solos da região são constituídos por Cambissolos, ocupando 70% do total da área de Paraty e Angra dos Reis, seguido pelos Latossolos (10%), solos fortemente lixiviados, ricos em óxidos de ferro e alumínio, alguma argila e quartzo. Este dois tipos de solos são encontrados, sobretudo, nas áreas mais elevadas. Os Neossolos, solos de pouca profundidade, também são significantes.

O Relatório de Controle Ambiental da Paraty-Cunha (UERJ) aponta para um alto grau de suscetibilidade a erosão dos solos na área da via, principalmente nos Cambissolos: “*Neste domínio estão inseridas áreas com declividade acentuadas, perfis de solos rasos, teores de silte elevados, bem como blocos embutidos na matriz do solo, o que denota a presença de processos erosivos intensos.*” (UERJ, 2010, p. 45). Dentre os Cambissolos os do tipo Haplicos são muito suscetíveis a erosão por serem muito friáveis. Além dos Cambissolos os Neossolos Litólicos aparecem como pouco resistentes ao intemperismo. Ainda segundo o relatório os pontos identificados de erosão coincidem com os eixos de drenagem que cruzam a estrada. As bacias de maior ordem (3ª) são as de maior escoamento superficial e erosão, neste sentido as sub-bacias do rio do Sertão e do córrego da Estiva são as de maior criticidade.

5.5 Vegetação

Em relação aos aspectos bióticos, pode-se dizer que o PNSB é constituído basicamente por formações florestais secundárias bastante diversificadas, apresentando alto número de espécies endêmicas. Constitui ainda um importante corredor ecológico junto com Picinguaba, já no estado de São Paulo. A floresta ombrófila densa ocupa 85% do parque, entre formações Montana, Alto Montana e Sub-Montana (MMA, 2002).

Num contexto maior a área de estudo faz parte da Mata Atlântica, considerado um dos *hotspots* de maior diversidade do mundo. As formações ali presentes correspondem as características climáticas, pedológicas e geomorfológicas. Nos planaltos da bocaina ocorrem os campos de altitude, as araucárias e as Florestas Ombrófilas Mistas Alto Montanas, enquanto nas áreas situadas nas escarpas serranas voltadas para o mar ocorrem as florestas pluviais (MMA, 2002).



Mapa de solos - Embrapa

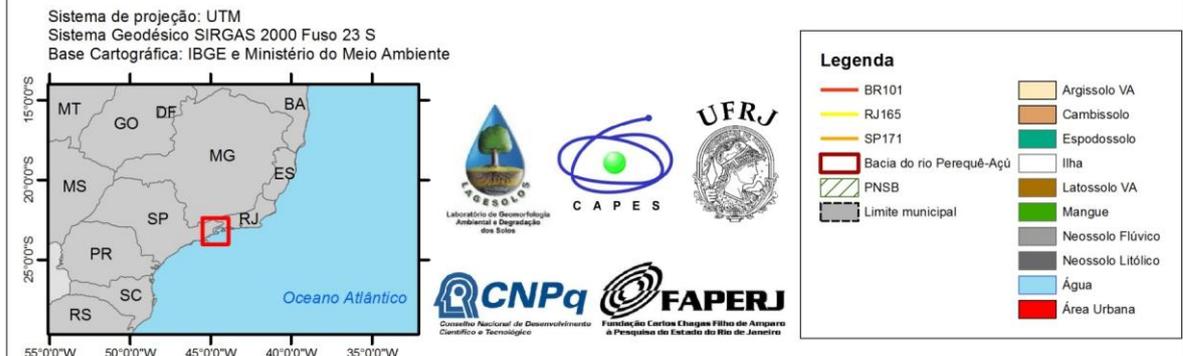


Figura 8. Mapa de solos. Fonte: Adaptado de Carvalho Filho et al., 2003

5.6 Contexto histórico

A estrada tem sua origem no chamado “Caminho Velho do Ouro” ou trilha dos índios Goianases que ligava o litoral de Paraty até as zonas mineradoras das Minas Gerais, principalmente Ouro Preto. Este foi o primeiro caminho a ser utilizado para o escoamento do ouro no final do século XVII sendo utilizado pelos viajantes e tropeiros mesmo depois da escassez do metal e da decadência desse caminho em função do caminho novo que ligava diretamente o Rio de Janeiro às minas (TORRENTES, 2007). Entretanto o caminho velho ainda possuía sua importância devido à conexão com o Vale do Paraíba, cujo abastecimento dependia dessa estrada. Em 1925 com a abertura da estrada de rodagem Paraty-Cunha o caminho velho é abandonado, contudo alguns trechos da atual rodovia continuaram coincidindo com o caminho do ouro (Fig. 9). Este foi durante quase 50 anos o único acesso rodoviário a Paraty, cujas atividades econômicas e número de habitantes haviam declinado consideravelmente. O relativo isolamento só foi quebrado na década de 1970 com a abertura da rodovia Rio-Santos (BR-101) que reavivou as atividades da região. A cidade passa a ter seus patrimônios culturais e naturais como principais pontos de apoio, sendo possível acessar mais de 65 ilhas e cerca de 300 praias (UERJ, 2010). Confirmando isso o Ministério do Turismo exalta Paraty como um dos cinco destinos mais importantes do Estado do Rio de Janeiro (UERJ, 2010), corroborando para tanto a ampliação e manutenção de um calendário de eventos, com destaque para a Feira Literária Internacional de Paraty (FLIP).

Entretanto, tudo isso veio acompanhado de uma grande especulação imobiliária e da chegada de grupos distintos que começaram a ocupar esse ambiente, antes habitado por comunidades tradicionais, como a caiçara, a quilombola e a indígena.

Na tentativa de conter a crescente degradação ambiental, foram instituídas diversas unidades de conservação, dentre elas o Parque Nacional da Serra da Bocaina. Estas UCs acabaram por restringir o uso do solo, não só pelos recém chegados, mas também pelas comunidades tradicionais, gerando relações conflituosas, uma vez que as atividades destas envolvem o uso de recursos naturais, como a pesca, a extração da madeira e o cultivo na roça.

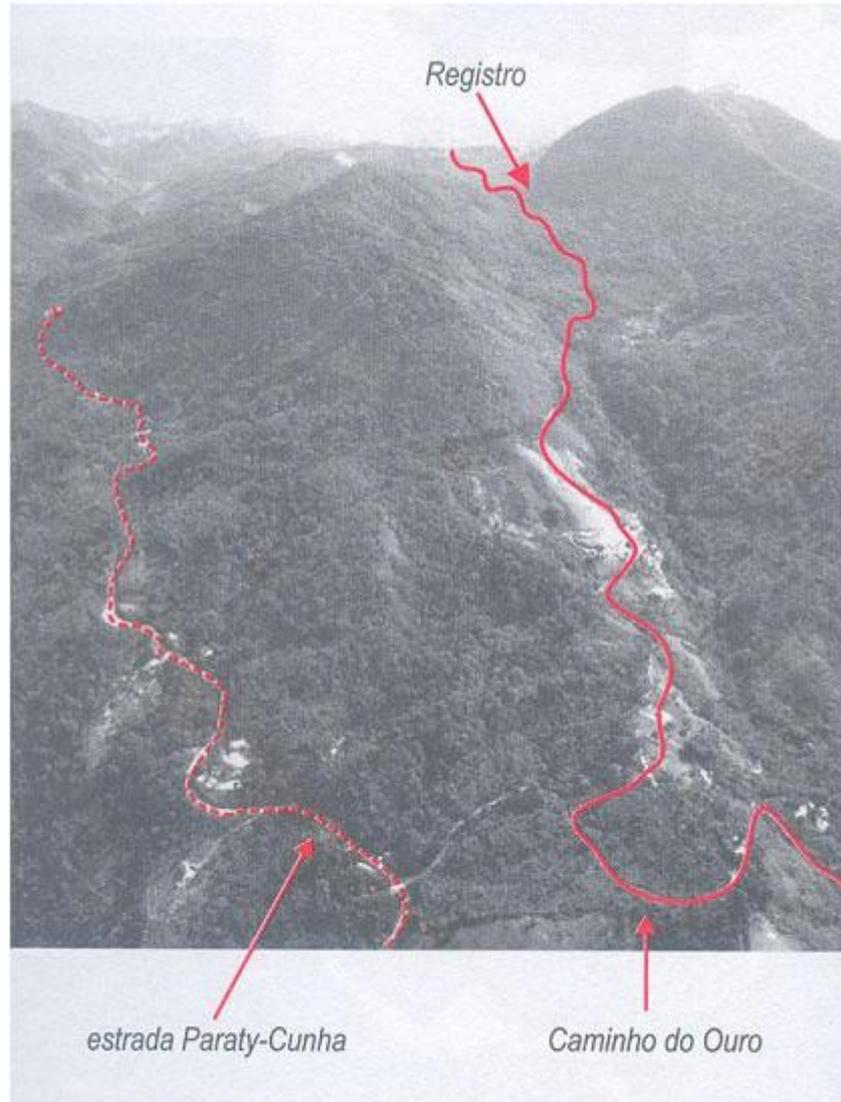


Figura 9. Foto aérea mostrando a RJ-165 e o Caminho do Ouro. Fonte: Ribas, 2003.

Atualmente o "Caminho Velho do Ouro" é alvo de interesse turístico e de estudiosos, fazendo parte do complexo conhecido como Estrada Real. Em 1999 foi criado pelo Sistema Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (Fiemg) o Instituto Estrada Real (IER), com o objetivo de divulgar e "*promover o turismo sustentável ao longo dos municípios por que passa*". Para a demarcação da Estrada Real, o Instituto adota alguns critérios tais como:

- Confirmar se estes Caminhos estão sem pavimentação asfáltica, pois a ER está sendo trabalhada prioritariamente para a prática da caminhada, cicloturismo e cavalgada, caso contrário, buscar alternativas de Caminhos mais recentes e com comprovação histórica, literária ou oral;

- Confirmar, em caso de alguns destes Caminhos atravessarem alguma área de proteção ambiental, ou de vulnerabilidade, se existem relatórios de impacto e normas de uso para essas áreas. Caso não haja, deve-se buscar alternativa a este Caminho;

Segundo Torrentes (2007) havia a expectativa da estrada receber, a partir de 2007, cerca de 2,5 milhões de turistas por ano movimentando anualmente US\$ 1,250 bilhão e gerar cerca de 180 mil empregos em vários setores.

Em 2009 a bacia do rio Perequê-Açú, a mesma onde se insere a estrada, sofreu uma intensa tromba d'água que ocasionou significativos desmoronamentos, provocando a interrupção de vários trechos da estrada. Ainda por conta desse evento foi realizado em 16 de janeiro de 2009 uma reunião com autoridades do Rio de Janeiro e diretores do ICMBio e do IBAMA com a finalidade de estabelecer condições para uma solução definitiva da estrada, sendo criado um grupo de trabalho, composto pelas esferas governamentais, responsável por conduzir as obras emergenciais e os estudos de viabilidade do asfaltamento.

Foi elaborado pela Secretaria Estadual de Obras um Plano Básico Ambiental (PBA), com apoio da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) em fevereiro de 2012, com o objetivo de adequar as obras às condições ambientais pertinentes. Os Plano e Programas contemplados seguem a seguinte estruturação (Fig. 10):

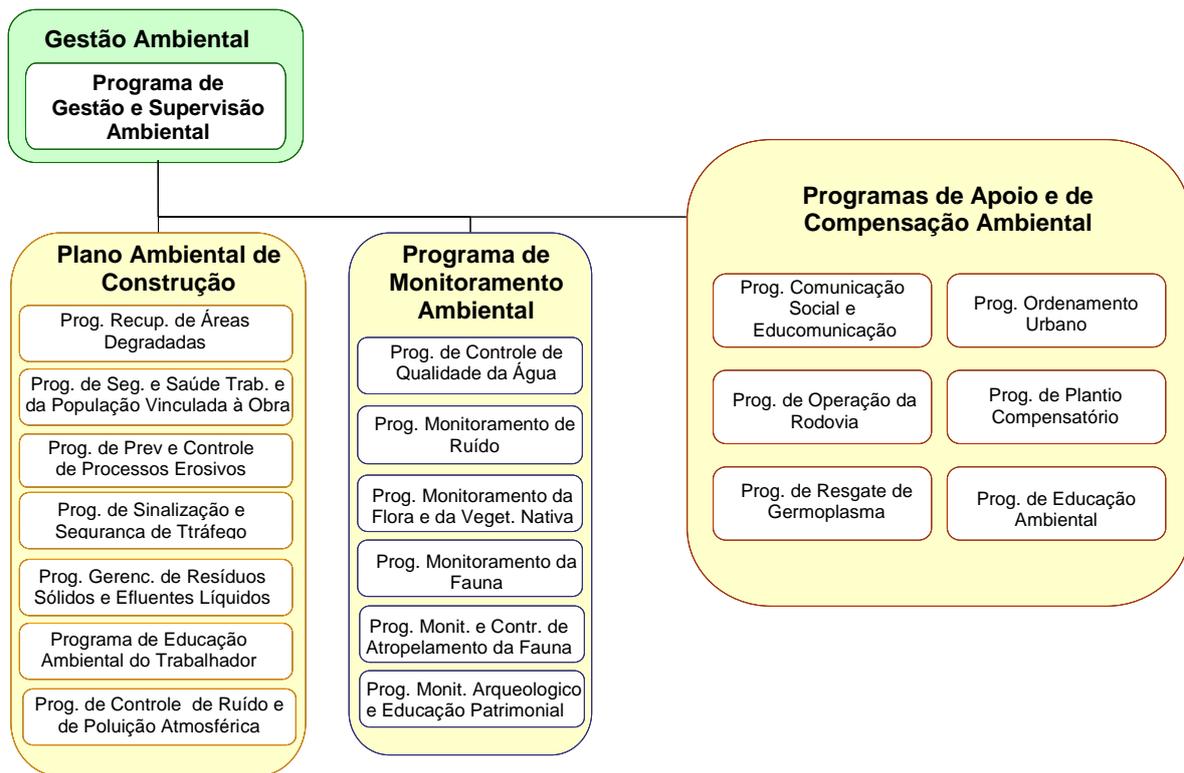


Figura 10. Esquema dos Planos e Programas Ambientais da Paraty-Cunha. Fonte: SEOBRAS, 2012.

Segundo o plano os custos totais de obras da via estão orçados em R\$ 74.663.122,51 (setenta e quatro milhões, seiscentos e sessenta e três mil, cento e vinte e dois reais e cinquenta e um centavos). Desse montante R\$ 5.244.250,00 serão destinados as obras de adequação ambiental, dentre eles serviços preliminares e infraestrutura de água e esgoto, zoopassagens aéreas, sede do parque, centro de visitantes restaurante, alojamento de chefia, alojamento de funcionários, garagem, guaritas e um mirante.

Quanto ao projeto geométrico as rampas máximas adotadas serão de 12% (7°) no subtrecho 1 (mais próximo a São Paulo) e de 21% (12°) no subtrecho 2. Para as obras de terraplanagem serão escavados 23.000 m³, enquanto o volume de aterro será de 9.200 m³. Os materiais utilizados para a pavimentação serão os blocos intertravados.

No dia 4 de outubro de 2012 o IBAMA concedeu a Licença de Instalação para o asfaltamento da estrada, havendo a possibilidade de ao termino das obras ser cobrada uma taxa pelo tráfego que seria revertida para a conservação do parque. No início de 2013 o Ministério Público Federal (MPF) questionou a validade da licença, solicitando alguns

esclarecimentos. Para o MPF o que impedia a pavimentação era a falta de elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental mais completo. Segundo o site “A Voz da Cidade” a Secretaria de Obras de Paraty informou que devido ao fator ambiental, a *“Paraty-Cunha segue o conceito de estrada-parque, com o uso de asfalto menos poluente, a preservação do curso de rios e córregos e a criação de travessias aéreas e subterrâneas para animais.”*

Finalmente em maio de 2013 tem-se início as obras de melhorias e pavimentação da estrada. O projeto contratado pelo Estado do Rio de Janeiro tem como principal objetivo incrementar o turismo (Fig. 11 e 12). O objetivo maior seria ampliar o acesso, hoje restrito a BR-101. Como objetivos específicos apresentam-se:

- Ampliar os meios de acessibilidade ao lugar turístico.
- Integrar o lugar turístico, ao Vale do Paraíba Paulista, área estratégica de desenvolvimento urbano industrial do país.
- Promover o negócio do turismo, a agenda de negócios, os eventos regionais, os roteiros culturais de lazer, os circuitos de hospedagem e gastronômicos e a difusão da cultura regional.



Figura 11. Calçamento da via com blocos intertravados (superior esquerda); Calçamento original da Estrada Real (superior direita); regularização do leito e muro de contenção (inferior esquerda); detalhe do muro de contenção (inferior direita). Fonte: Autor, 2014



Figura 12. Escada para dissipação de energia de escoamento e bueiro. Fonte: Autor, 2014

5.7 Sobre a pavimentação e a erosão

Um importante vetor turístico e econômico que atravessa o parque, a estrada Paraty-Cunha (RJ-165/SP-171) é constantemente alvo de conflitos entre os órgãos ambientais e as instituições locais, principalmente as prefeituras. A estrada percorre cerca de 46 Km com desnível de 1500 m, sendo que nove quilômetros cortam o interior do parque, encontrando-se em leito não pavimentado. A estrada é a principal ligação entre as duas cidades além de ser o caminho mais curto entre Paraty e São José do Barreiro, onde se encontram as duas bases administrativas do PNSB. Neste sentido a estrada atende não só à população, integrando a economia regional, fomentando o turismo e promovendo a qualidade de vida urbana, como também ao próprio parque. Esta rodovia é denominada também de Rodovia Estadual

Transitória (BR-459/165), estando referenciada no Plano Nacional de Viação Lei N° 5917 de 10 de setembro de 1973, possuindo ainda uma ligação com a Rodovia Presidente Dutra (BR-116) na altura de Guaratinguetá. Segundo o Relatório de Controle Ambiental da Paraty-Cunha (UERJ, 2010) a melhoria da estrada pode abrir alternativas de acesso para Minas Gerais, através da MG-158 e da BR-354 (Caxambú, Baependi e Belo Horizonte). Sua abertura oficial se deu em 1953, apesar de já ser trafegável desde a década de 1920, ou seja, a estrada é anterior a criação do parque e portanto, precisa de uma adequação de uso em relação às características do local que atravessa.

As péssimas condições de trafegabilidade da estrada, principalmente no trecho não asfaltado dificultam a locomoção por esta via (Fig. 13). As reivindicações do asfaltamento e da melhoria das condições de trafegabilidade da estrada são antigas. Segundo Suzano Avena (2003), o início do conflito se deu ainda na década de 1970 quando a FUNDERJ (Fundação Estradas de Rodagem do Rio de Janeiro) assumiu a rodovia no trecho fluminense, resolvendo implementar melhorias, porém pouco foi feito. Em 1985 o péssimo estado em que se encontrava a estrada motivou as prefeituras locais a acionarem o Poder Público Estadual e através da FUNDERJ foi elaborado um plano de asfaltamento convencional. Entretanto a obra foi embargada, quando já estavam asfaltados cerca de 9,5 km fora dos limites do parque. Em 1986 a FUNDERJ elaborou um novo plano de asfaltamento, sugerindo a implantação da classe turística, entretanto o embargo foi mantido. Neste momento a discussão sai das esferas institucionais para tornar-se pública.



Figura 13. Início da Estrada Paraty-Cunha em Cunha. Fonte: Silva et al. (2012).

Em 1990 foi feito um Estudo de Impacto Ambiental e um Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) no âmbito de atender às exigências do IBAMA, em relação à obtenção da licença ambiental para o asfaltamento da via. Entretanto, o início da pavimentação se deu antes desse estudo, pois ainda não fazia parte das exigências da Resolução Conama 001/86, na qual os estudos de impactos ambientais eram necessários apenas para rodovias com duas ou mais faixas de rolamento (SUZANO AVENA, 2003). Conforme esta mesma autora, são destacados os impactos do respectivo EIA/RIMA para fase de operação, cujas conclusões ressaltam apenas os aspectos positivos da pavimentação:

"a) Alteração da drenagem após a pavimentação tais como a coleta, disciplinamento, dissipação de energia e encaminhamento das águas das chuvas, reduzindo as possibilidades de erosão e deslizamento de encostas – impacto positivo e permanente; b) facilidade de fiscalização pela melhoria do acesso em especial em épocas de chuva e, ou, à noite. Impacto permanente e positivo; c) afluxo de turistas, viabilizando a vocação turística, apontada como principal em Paraty: centro histórico e Parque Nacional da Serra da Bocaina. Impacto permanente e positivo; d) diversificação do perfil do turista, atraindo os turistas de permanência maior, sendo identificados como turista de temporada que se instala, construindo

ou comprando casa de veraneio. Os turistas de permanência menor são os turistas de caravana, vindos de São Paulo, permanecendo entre 12 e 24 horas/praias. Ambos trarão demandas e oportunidades mais amplas de ofertas de serviços aos moradores locais. Impacto positivo e permanente; e) Redução do tempo de percurso entre Paraty e Cunha (influência direta) e Vale do Paraíba Paulista e sul de Minas (influência indireta), trazendo implicações na melhoria da qualidade de vida – facilidades e garantia de acesso permanente viabilizando relações regulares entre a população de Paraty e a do Vale do Paraíba; f) aumento da oferta de emprego, decorrente do afluxo turístico a Paraty e da possibilidade de trabalho em outros centros ligados pela estrada, em Cunha e Guaratinguetá (SP); g) redução de custo de vida, oferta de mercados no vale do Paraíba, diminuindo os custos de transportes dos bens e refletindo no comércio local; h) redução dos riscos de emergências médicas, com atendimento feito a 180 km, em Barra Mansa - RJ, via BR 101, que sofre interrupções constantes devido a quedas de barreiras, consequente das condições geológicas do terreno e das chuvas intensas da região." Suzano Avena, 2003, pags. 206 e 207.

Fica claro, de acordo com o que foi destacado acima, que somente são levados em consideração os aspectos positivos do empreendimento, enquanto que em um estudo de avaliação de impactos deve ser trazido a discussão todos os possíveis impactos, sejam eles positivos ou negativos. A fim de adequar os impactos gerados pela via com as necessidades conservacionistas do PNSB, em 1997 foi elaborado o Programa de Sustentabilidade Ambiental da Paraty-Cunha pela Universidade de Taubaté (BOUERI *et al.*, 1997), propondo a correção e a prevenção de processos de degradação causados pelas vias.

Sobre os tipos de pavimento possíveis para a estrada, Lima (1991) discorre acerca de cinco alternativas, demonstrando as vantagens e desvantagens de cada uma: 1) pavimento de terra sem conserva; 2) pavimento de terra com conserva; 3) pavimento classe turística proposta pela FUNDERJ; 4) pavimento em paralelepípedo; 5) implantação em classe I. A autora conclui, concordando com a pavimentação em classe turística, maximizando o custo-benefício entre a trafegabilidade e a conservação ambiental.

Em outro trabalho [Conflitos: Rodovia e Meio Ambiente o caso da RJ-165, Paraty (RJ) - Cunha (SP)] Motta, *et al.* (1992) avaliam vários critérios positivos e negativos sistematizados em relação ao asfaltamento ou não da rodovia, concluindo que o mais adequado seria o asfaltamento em Classe Turística, como sugerido também pela FUNDERJ, mantendo o traçado atual, pavimentado em macadame betuminoso os trechos em declive de 0 a 10% (0 a 6°) e em concreto magro os trechos em declive de 10 a 23% (0 a 14°).

A seguir são apresentadas as características dos projetos antes e depois do embargo (Tabela 2) e as características técnicas acordadas para dentro do PNSB (Tabela 3):

Tabela 2. Características técnicas do projeto inicial da RJ-165

Características	Antes do embargo	Após embargo
Classificação funcional	Arterial secundária	Coletora local
V.M.D	> 1400 veículos	< 300 veículos
Visibilidade de ultrapassagem	350 metros	--
Faixa de domínio	80 metros	50 metros (dec. Mun. 18/80 de 05/12.1980)
Largura da Pista	7.50 metros	4.00 a 6.00 metros
Acostamento	2.50 metros	0,00 a 1.50 metros
Rampa máxima	6%	23%
Velocidade máxima	60.00 km/h	30.00 km/h
Projeto	Classe I-B	Classe IV

Fonte: FUNDERJ, 1990 *in* Suzano Avena, 2003.

Tabela 3. Características técnicas acordadas para a rodovia dentro do PNSB

Características	Segmento homogêneo I Montanhoso	Segmento homogêneo II Terreno escarpado
Classificação funcional	IV	IV
Visibilidade mínima	20m	20m
Visibilidade de ultrapassagem	proibida	proibida
Faixa de domínio	50	50 metros
Largura da Pista	> 6.00 metros - variável	3.80 a 6.00 metros
Acostamento	0,00 a 1.50 metros	0,00 a 1.50 metros
Rampa máxima	12%	19,7%
Rampa média	7,9%	10,5%
Velocidade máxima	40 km/h	20 km/h

Fonte: FUNDERJ, 2002 *in* Suzano Avena, 2003.

Vale ressaltar que o trecho fluminense foi dividido em três segmentos homogêneos pela FUNDERJ para efeito de Inventário Viário Ambiental, estando contido no Programa de sustentabilidade Ambiental da Estrada Paraty-Cunha (1997). O Segmento I é montanhoso indo da divisa SP/RJ até Estiva Preta, com extensão de 5080 metros. O Segmento II é em terreno escarpado, indo de Estiva Preta até o limite no PNSB com extensão de 4265 metros, enquanto o Segmento III situa-se fora do parque, também em terreno montanhoso.

O Plano de Manejo do PNSB foi concluído em 2002 (MMA, 2002), entretanto dificuldades na real aplicação do mesmo tendo em vista as complexidades do parque motivaram a elaboração de vários relatórios pontuais focando algumas áreas a serem trabalhadas num primeiro momento. Uma dessas áreas foi a chamada trilha do ouro em Paraty, área esta que teve seu Relatório de Monitoria elaborado em 2010 encontrando-se disponível no site do PNSB: http://www4.icmbio.gov.br/parna_bocaina/ (Relatório de Monitoria do Plano de Manejo do PNSB – Etapa I Área Estratégica Interna Caminhos do Ouro).

Neste relatório são expostos e discutidos alguns argumentos em defesa da pavimentação da rodovia: atendimento médico hospitalar no eixo da Rodovia Presidente Dutra; Turismo; Educação no ensino básico e 3º grau; Comércio; Redução de tempo de percurso para os centros do Vale do Paraíba; Manutenção das relações familiares; Aumento da oferta de emprego e redução do custo de vida; rota alternativa para Paraty em caso de interdição da rodovia Rio-Santos (comum por deslizamentos). De todos os argumentos expostos anteriormente os mais fortes são os ligados ao turismo, a manutenção das relações familiares e da oferta de empregos. Até mesmo em relação à estrada como rota de fuga em caso de acidente da usina nuclear de Angra dos Reis, tal justificativa é rebatida em função da estrada não ter as características de uma rota de fuga e não estar prevista no programa de prevenção de riscos de acidente da Eletronuclear.

O mesmo Relatório de Monitoria da Paraty-Cunha (ICMBIO, 2010) expõe alguns resultados de um importante estudo realizado pela professora Nancy de Oliveira dentro do Relatório de Controle Ambiental da RJ-165 (UERJ, 2010) referente à polêmica sobre a pavimentação da rodovia. O "Projeto de Diagnóstico e Prospecções Arqueológicas para as Obras de Pavimentação e Melhorias na Rodovia RJ-165, Estrada-Parque Paraty-Cunha, Estado do Rio de Janeiro" trás os seguintes resultados:

- a) “O local onde se pode visualizar a cidade de Paraty, corresponde ao ponto indicado nos mapas do século XVIII como Marco da Boa Vista (Fig. 14). Nestes mesmos mapas aparece nas proximidades deste marco, sinalização de edificações, que correspondem ao mesmo local onde identificamos as ruínas de um muro de pedra na entrada do Sítio Estiva Preta;”
- b) “Os únicos trechos coincidentes do Caminho do Ouro e da RJ 165 correspondem aos trechos da altura da Penha até o trevo de Paraty e das proximidades do Sítio Estiva Preta até o limite dos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo;”¹
- c) O local onde há pavimentação visível na estrada corresponde ao século XX, pois as características dos blocos utilizados são totalmente distintos dos evidenciados no Caminho do Ouro. Há referências a abertura deste trajeto da RJ 165 na década de 1930, como há referências a década de 1950;”
- d) “...torna-se importante a preservação dos testemunhos ainda existentes do Caminho do Ouro, devendo haver continuidade através de um projeto de resgate e acompanhamento das obras de engenharia com o objetivo de evidenciação destes vestígios e musealização dentro de uma proposta de Arqueologia Pública;”
- e) “a pavimentação original da RJ 165, cujos vestígios se restringem a um pequeno trecho, poderia ser incorporada a nova pavimentação, sendo devidamente sinalizada.”

¹ Os trechos inseridos entre o Sítio Estiva Preta e o limite dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo são os únicos inseridos dentro do PNSB.



Figura 14. Cidade de Paraty vista da Estrada Paraty-Cunha. Fonte: Autor, 2012

De volta ao Relatório de Monitoria da Estrada Paraty-Cunha (ICMBIO, 2010), este aponta que, estudos feitos como base ao Plano de Manejo, tal como "Sustentabilidade Ambiental da Paraty-Cunha da Universidade de Taubaté" e projetos da Fundação DER-RJ, indicam a viabilidade de sua pavimentação sob o ponto de vista da engenharia. Entretanto somente a regularização do leito demandaria constantes obras de manutenção em virtude da topografia e das condições climáticas. O Relatório de Controle Ambiental da Paraty-Cunha elaborado pela UERJ (2010) aponta que a pavimentação não deverá causar modificações marcantes no traçado. Segundo o mesmo um elemento estrutural importante em relação a erosão/deslizamento diz respeito as fraturas subparalelas. Quando estas são interceptadas pela estrada, ocasionando contato de um solo raso com a rocha fresca, configuram-se em superfícies de escoamento preferencial de água e infiltração.

Neste cenário uma das soluções poderia ser a transformação da via em Rodovia Parque, uma classe especial de rodovia onde ações de planejamento e gestão se dão de forma

diferenciada. Neste sentido diversos estudos apontam a solução ecoturística: Boueri (1991), Rondon (1995), Martins (1998) e Ferreira (1998 e 2002).

Sem duvida o vetor da estrada constitui um sério problema em relação aos processos erosivos e ao carreamento de sedimentos, potencializando a degradação ambiental do PNSB (Fig. 15). No Relatório de Monitoria o caso exposto acima fica bem evidente:

"Devido às suas péssimas condições de trafegabilidade a estrada não se configura hoje numa via oficial de circulação nem mesmo para os veículos funcionais do Parque que encontram em seu traçado mal conservado um forte vetor de depreciação. Ademais, a circulação de uma diversidade de veículos que a cruzam sem nenhum controle, potencializa o uso não autorizado dos recursos naturais do Parque, assim como o seu leito configura-se num forte canal de drenagem potencializando os cursos erosivos e o conseqüente assoreamento dos cursos d'água de sua zona de influência. Para a manutenção das mínimas condições de tráfego, tem-se hoje um conflito instaurado com as prefeituras locais que, em virtude de manutenções periódicas sem a devida técnica ou autorização, acaba por ampliar a quantidade de materiais a serem carreados para os rios da região."²



Figura 15. Degradação do leito da estrada. Fonte: Autor, 2012

Autora de importante trabalho sobre a via Suzano Avena (2003) destaca que a rodovia Paraty-Cunha pode vir a tornar-se um passivo ambiental dada a sua situação de precariedade. Segundo a autora, a época de construção desta rodovia as questões ambientais eram relegadas a segundo plano, daí conclui-se que os problemas ambientais dela decorridos tem sido encarados de forma corretiva. Um dos aspectos levantados pela autora diz respeito a situação

² Trecho extraído do Relatório de Monitoria, p. 6

do leito estradal deteriorado, trazendo "riscos aos corpos d'água próximos com o desagregamento do solo" (SUZANO AVENA, 2003, p. 55). Ainda segundo Suzano Avena a estrada apresenta largura variável de 3,85 a 8,00m, com leito estradal **fortemente erodido**, "um solo de baixa capacidade de suporte físico, devido a sua composição pouco coesiva, possuindo um grau de erodibilidade potencial alta e expansibilidade acentuada" ³ (propriedade de um solo expandir seu volume quando em contato com a água). O problema é maior no segmento II, devido ao relevo e a intensa pluviosidade entre 1500 e 3000 mm/ano. Em observações de campo ela destaca que: "Em 2003, após inspeção na rodovia, constatamos que a drenagem continua precária, agredindo o leito natural e correndo inversamente ao fluxo normal."⁴

Suzano Avena (2003) destaca a constatação de alguns passivos ambientais identificados pelo EIA-RIMA (1990) e pelo Programa de Sustentabilidade Ambiental da Estrada Paraty-Cunha (1997):

"No corredor viário observou-se como passivo ambiental: a) as erosões, localizadas no trecho do segmento I, ocorrendo normalmente onde a plataforma da estrada encaminha um volume de água excessivo para um só ponto da encosta, sobrecarregando o talvegue natural, devido às chuvas constantes na região e a alta erosibilidade do solo, b) devastação progressiva da floresta em suas espécies comerciais. Ação mais intensa no segmento I pelo difícil acesso ao trecho do segmento II; c) devastação progressiva da floresta por ocupação antrópica, próxima ao divisor da serra (segmento I), com atividades de cultura de subsistência e pastos. Pouco ocupada no segmento II pela dificuldade topográfica. Ação prejudicada de fiscais pelo difícil acesso a essas regiões não possibilita um estudo confiável do percentual desta ocupação; d) espécies ameaçadas de extinção pelo seu alto valor comercial como madeira de lei e palmito, este condicionante de numerosas espécies de fauna; e) descaracterização antrópica do Bioma ao longo do corredor viário, com extração de vegetais nativos de valor comercial e pequenas criações de animais. Vegetação nativa descaracterizada em alguns trechos; f) leito estradal da rodovia fortemente erodido, carreando partículas sólidas para as áreas lindeira, assoreando rios e talvegues." (SUZANO AVENA, 2003, p.200)

No Bioma Mata Atlântica foram observados os seguintes impactos em relação à erosão e instabilidade de encostas:

"...grandes taludes com substrato exposto, causando impactos paisagísticos e ambientais como o assoreamento de rios e o desmoronamento de encostas instáveis, devido à extração de terra

³ Id, 2003, p.161

⁴ Id, 2003, p.213

e aterros – as áreas de empréstimo servem tanto para a retirada da camada fértil do solo para a criação de jardins em grandes condomínios e casas de luxo, como para o aterro de baixadas para construções de casas e de estradas." Suzano Avena (2003) pag. 201.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise dos processos erosivos e da suscetibilidade à erosão fizeram-se necessários os seguintes procedimentos, tendo em vista o alcance dos objetivos propostos: levantamentos bibliográficos; regime pluviométrico dos últimos 40 anos, levantamentos cartográficos (geomorfologia, clima, geologia, solo, avaliação do uso e cobertura do solo); mapeamento das áreas suscetíveis à erosão; trabalhos de campo com identificação das feições erosivas e coleta de amostras superficiais de solo, estrategicamente distribuídas a fim de obter-se uma boa representatividade dos solos do leito da estrada e do seu entorno.

As atividades de campo foram realizadas na Estrada Paraty-Cunha e no seu entorno, no Parque Nacional da Serra da Bocaina, a fim de reconhecimento e localização das feições erosivas (erosão laminar, ravinas e voçorocas) com GPS, bem como a verificação da morfologia do relevo, uso e cobertura da terra e coleta de amostras de solo com trado holandês (amostras deformadas) e amostrador volumétrico (amostras volumétricas) (Fig. 17 e 18). As amostras deformadas foram coletadas em sete pontos no leito da própria estrada e na mata ao lado, nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm, exceto no ponto 7 por dificuldade de coleta. Neste último ponto apenas foram coletadas amostras da estrada. As amostras volumétricas foram coletadas na profundidade de 0-10 cm, tendo em vista que é neste intervalo que ocorrem a maior parte dos processos erosivos.

Foram realizados dois trabalhos de campo para as atividades de coleta. O primeiro foi realizado no dia 6 de novembro de 2012, quando foram coletadas amostras de solos deformadas e volumétricas para análise granulométrica, densidade e porosidade. O segundo trabalho de campo foi realizado nos dias 22 e 23 de abril de 2013, coletando-se as amostras para o ensaio de Inderbitzen (Fig. 19).

Vale ressaltar que para a coleta de ambas as amostras buscou-se priorizar as áreas com maior declividade da estrada e, portanto mais propensas à erosão, entretanto, as dificuldades em achar locais adequados para retirada de solo em função da pedregosidade e compactação fizeram com que as coletas se realizassem nos locais conforme demonstrado no Mapa com os pontos de coleta (Fig. 16).

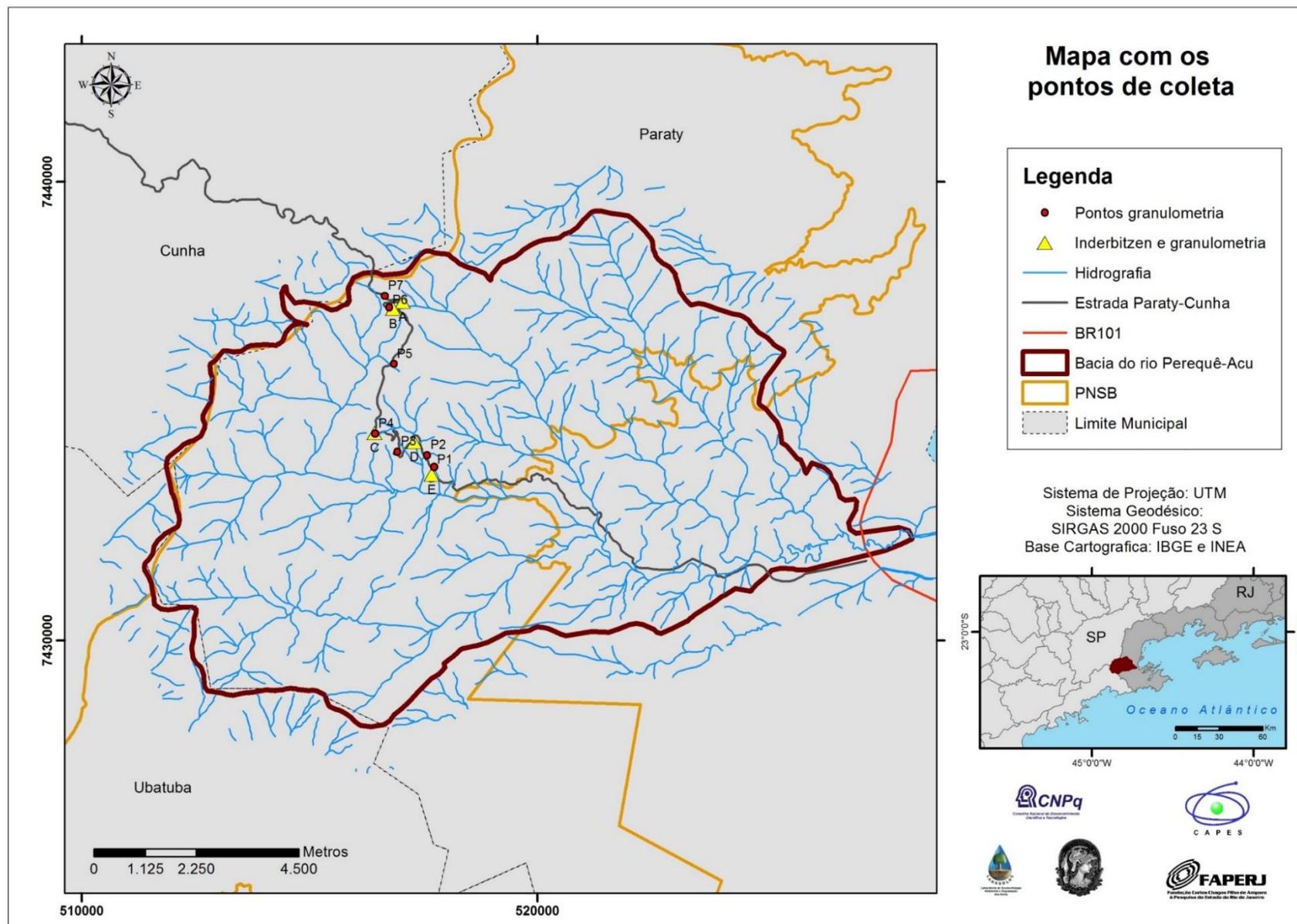


Figura 16. Mapa com os pontos de coleta na Estrada Paraty-Cunha



Figura 17. Coleta em área de floresta



Figura 18. Coleta no leito da estrada



Figura 19. Buraco após retirada da amostra volumétrica (superior esquerda); coleta de amostra para Inderbitzen (superior direita); amostrador de Inderbitzen fincado no solo (inferior esquerda); aspecto do ponto coletado (inferior direita)

6.1 Análise dos solos

As amostras foram analisadas no Laboratório de Geografia Física da UFRJ, utilizando a metodologia da EMBRAPA (1997) e Inderbitzen (1961), com a avaliação dos seguintes parâmetros: granulometria, densidade real e aparente, pH, teor de carbono orgânico, matéria orgânica, determinação da taxa de escoamento superficial e perda de solo.

As análises físicas foram as seguintes:

- Análise granulométrica de 20 g de solos, a partir das amostras deformadas, com utilização de peneiras ABNT n° 70 para separação da areia grossa e da areia fina e ABNT n° 273 para separação da areia e do silte/argila. As frações silte e argila foram “lavadas” para uma proveta de 1000 ml, agitadas e pipetadas após período de

decantação. Após a análise foram caracterizados teores de areia, silte e argila, baseando-se no método da pipetagem (EMBRAPA, 1997);

- A densidade aparente foi determinada com as amostras volumétricas no anel volumétrico de 100 cm³, com procedimentos de aferição da massa úmida, secagem por 24 h na estufa a 105° C e aferição da massa seca (EMBRAPA, 1997).
- A densidade real foi determinada através de pesagem de 20 g de solo seco em estufa a 105° C por 6 horas, que foram posteriormente transferidas para um balão de 50 ml adicionando-se álcool até completar o volume do mesmo. Seu valor final será igual ao peso da amostra seca, dividida por 50, menos o volume de álcool gasto (EMBRAPA, 1997).
- A porosidade total foi obtida indiretamente a partir da subtração da densidade real pela densidade aparente multiplicado por 100, sendo o resultado obtido dividido pela densidade real (EMBRAPA, 1997);

$$P = (DR-DA)100/DR$$

- Para o pH foram pesadas 10 g de solo e adicionadas 25 ml de água, agitando-se as amostras e deixando repousar por 1 hora. A leitura do pH foi feita com o aparelho “peagamêtro” (Fig. 20).



Figura 20. Phmetro utilizado nas análises de pH

- A matéria orgânica foi determinada através de sua oxidação em via úmida, com dicromato de potássio em meio sulfúrico, utilizando como fonte de energia o calor despendido do ácido sulfúrico. A metodologia seguida é descrita em Embrapa (1997): a amostra de solo (terra fina seca ao ar) é passada em peneira de ABNT nº 80 (abertura de 0,180 mm), sendo posteriormente aferida 0,5 g em Erlenmeyer de 250 ml. Após esta etapa é adicionado 10 ml da solução de dicromato de potássio e uma pitada de sulfato de prata. As amostras são levadas a fervura branda por cinco minutos e após esfriarem são adicionados 80 ml de água destilada, 2,0 ml de ácido ortofosfórico e três gotas do indicador difenilamina. Após isso faz-se a titulação, adicionando-se com o auxílio de uma bureta o sulfato ferroso amoniacal. Nesta etapa as amostras vão adquirindo uma coloração azul até passarem a verde (Fig. 21), então neste momento da mudança de cor anota-se o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto, procedendo-se os cálculos em seguida. Para cada amostra é feita uma repetição para obter-se a média. Também é feita uma prova em branco.

Os cálculos são os seguintes:

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

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

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

As amostras utilizadas para esta análise foram P1 E a P6 E e P1 E a P6 F de 0-20 cm. O objetivo foi comparar como a matéria orgânica encontra-se originalmente nos solos da região e numa condição completamente modificada.



Figura 21. À esquerda amostra na iminência de mudança de cor e à direita amostra com a cor alterada.

- Ensaio de Inderbitzen (1961) consistiu na coleta de amostras volumétricas com um anel de PVC de 150 mm de diâmetro por 100 mm de altura. Este foi completamente cravado no solo e retirado sendo, embrulhado em papel filme, a fim de conservar a umidade. Foram coletadas amostras em cinco diferentes pontos da estrada, sendo que para cada ponto foram retiradas três amostras. Em laboratório convencionou-se utilizar a declividade de 10° afim de comparação entre as amostras. Na parte inferior do equipamento (Fig. 22 e 23) foi utilizada peneira ABNT nº 100 para a retenção de sedimentos e, logo abaixo desta peneira recipientes para coleta e mensuração do escoamento superficial. Abaixo da amostra foi colocado um funil que coletou o volume de água infiltrada. Os volumes escoados e infiltrados foram coletados em intervalos de 5, 10, 15, 30, 45 e 60 minutos. O fluxo de água utilizado foi de 50 ml/s. A principal limitação desse método consistiu na negligência do efeito do impacto das gotas de chuva ou efeito *splash*.



Figura 22. Rampa para o ensaio de Inderbitzen



Figura 23. Ensaio de Inderbitzen sendo realizado

6.2 Mapeamentos

Os mapas temáticos foram elaborados a partir de fontes de dados como CPRM (Centro de Pesquisa e Recursos Minerais), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), buscando como escala de trabalho 1:50.000. Foi utilizado o *software* ArcGIS 10 para as análises e elaboração dos mapas. Os mapas elaborados foram sobre os seguintes temas para a bacia hidrográfica do rio Perequê-Açú, onde está inserida a RJ-165:

- Modelo digital de elevação com a hipsometria das cartas topográficas do IBGE de 1:50.000 a fim de caracterizar a morfologia das encostas. Elaborado a partir da ferramenta TIN (*Triangular Irregular Network*) do *3D Analyst* do ArcGIS 10.
- Mapa de declividade das encostas (com base nas cartas topográficas do IBGE 1:50.000). Este mapa foi gerado a partir das curvas de nível cotadas das cartas topográficas do IBGE através da ferramenta *slope* do ArcGIS 10.
- Mapa de formas das encostas (com base nas cartas topográficas do IBGE 1:50.000). Gerado através da ferramenta *Curvature* do ArcGIS 10.
- Suscetibilidade à erosão dos solos, através da avaliação dos mapas de solos da EMBRAPA (CARVALHO FILHO *et al.*, 2003) (adaptado Fig. 8), uso e cobertura do solo (INEA, 2010) e declividade do terreno, extraída da hipsometria das cartas topográficas do IBGE, escala 1:50.000. A metodologia escolhida para a representação da modelagem da suscetibilidade à erosão foi adaptada de Ross (1994), através da sobreposição de mapas e atribuição de valores específicos a cada um deles segundo a importância dos fatores em relação à erosão. Os valores de importância de cada mapa foram considerados da seguinte forma: uso e cobertura do solo 45%, tendo em vista ser a principal forma de proteção frente à erosão; solo 30%, por se tratar diretamente do material a ser afetado e; declividade 25% (Tab. 4). O mapa de solos foi baixado através do site da EMBRAPA, disponível em <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/sigweb.html>, enquanto o mapa de uso e cobertura do solo foi baixado através do site do INEA: http://www.inea.rj.gov.br/basetematica_estadoambiente/.

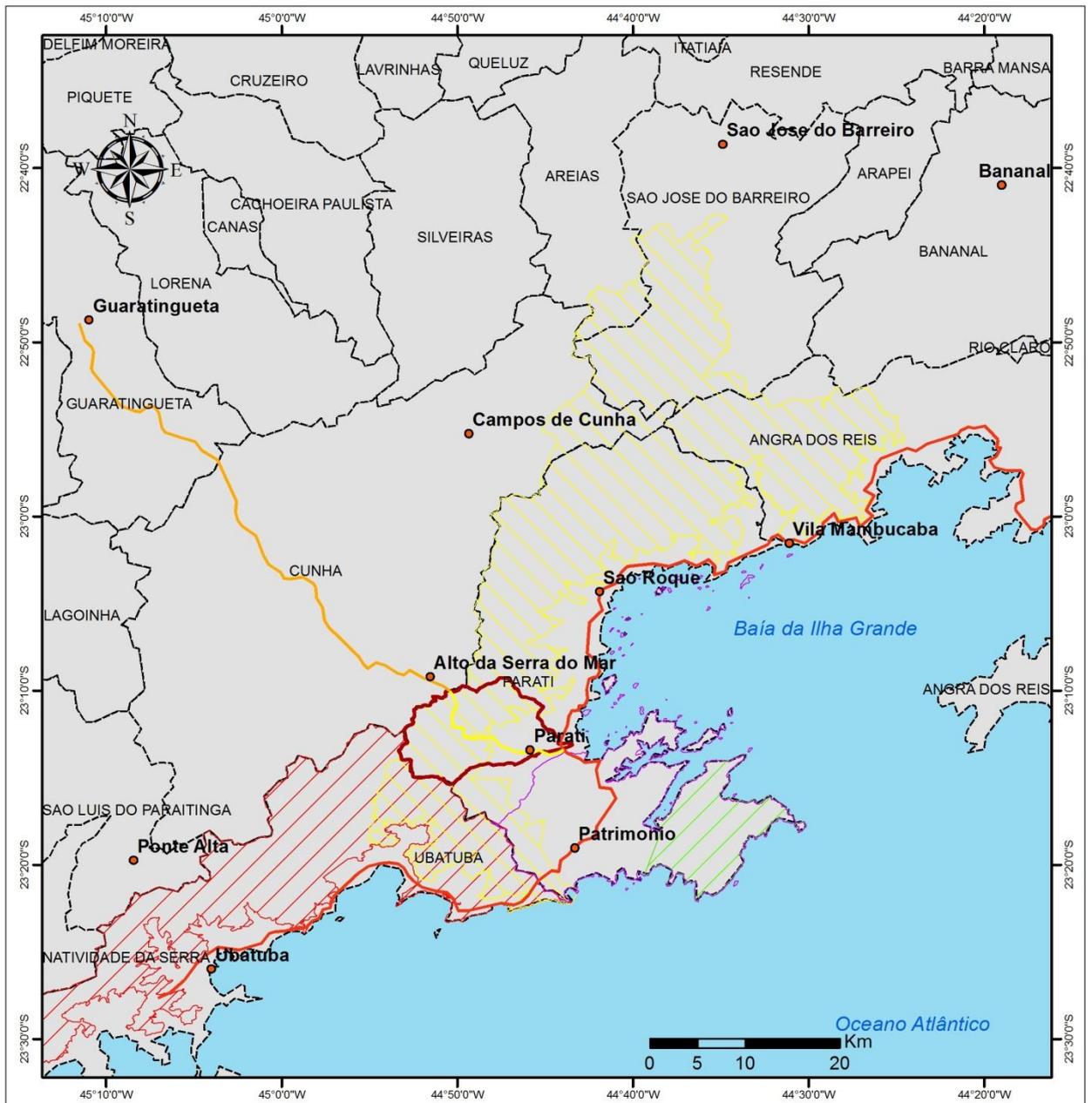
Tabela 4. Notas e pesos das classes dos mapas para suscetibilidade à erosão dos solos

Declividade	Nota	Peso
0 - 3°	Muito baixa	25%
3 - 8°	Baixa	
8 - 20°	Média	
20 - 45°	Alta	
> 45°	Muito Alta	
Uso e cobertura do solo	Nota	Peso
Afloramento Rochoso	Nula	45%
Floresta	Baixa	
Ocupação urbana de média densidade	Média	
Pastagem	Alta	
Solos	Nota	Peso
Latossolo vermelho-amarelo	Baixa	30%
Neossolo litólico	Média	
Cambissolo	Alta	

- Mapa de precipitação pluviométrica da região, elaborado a partir dos dados levantados da Agência Nacional de Águas (ANA), com as médias anuais, sazonais e mensais dos anos de 1970 a 2010. O método interpolador escolhido para este mapeamento foi a Krigagem Ordinária Linear. A interpolação foi gerada a partir de 11 estações pluviométricas selecionadas no site da ANA (Fig. 24), cujos dados forneceram as médias anuais, mensais e sazonais. É importante ressaltar que as estações Ubatuba e Ponte Alta só possuem dados até 1999 enquanto a estação Vila Mambucaba possui dados somente a partir de 1982. De forma geral a *krigagem* compreende um conjunto de técnicas de estimação e predição de superfícies baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial, sendo, em especial a *krigagem* ordinária detentora de uma

variância que fornece informações importantes sobre a confiabilidade dos valores interpolados (CAMARGO *et al.*, 2004).

- Mapeamento com os pontos de erosão e saídas d'água na estrada, com aparelho GPS, catalogando os pontos críticos de perda de sedimentos e prováveis locais de contribuição *off site*.



Mapa de localização das estações pluviométricas



Figura 24. Mapa de localização das estações pluviométricas

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Resultados das análises de solo

As análises granulométricas, de densidade aparente, densidade real e porosidade foram feitas segundo o método da Embrapa (1997) a partir de amostras coletadas em sete pontos da RJ-165. A Tabela 5 e o Gráfico 1 apresentam os resultados das análises granulométricas. Os pontos representados pela letra E foram coletados na estrada, enquanto os pontos F foram coletados nas áreas de florestas, ou vegetadas adjacentes à estrada. As profundidades coletadas foram de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm.

Tabela 5. Análise granulométrica das amostras de solos da Estrada Paraty-Cunha

Análise granulométrica dos solos Estrada Paraty-Cunha						
Coordenadas WGS84 23 S		Amostras	Resultados em g/kg			
E	N		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
517723,00	7433786,00	P1 E 0-20	523	195	205	75
		P1 E 20-40	484	195	238	83
		P1 F 0-20	423	146	309	122
		P1 F 20-40	445	132	283	139
517577,00	7434045,00	P2 E 0-20	505	268	165	62
		P2 E 20-40	743	118	112	27
		P2 F 0-20	549	202	206	43
		P2 F 20-40	516	273	167	44
516922,00	7434123,00	P3 E 0-20	386	212	281	121
		P3 E 20-40	439	183	268	109
		P3 F 0-20	449	191	222	176
		P3 F 20-40	471	134	268	127
516431,00	7434516,00	P4 E 0-20	418	163	294	125
		P4 E 20-40	412	155	293	140
		P4 F 0-20	414	191	301	92
		P4 F 20-40	466	213	246	75
516843,00	7436031,00	P5 E 0-20	346	364	260	126
		P5 E 20-40	304	364	240	93
		P5 F 0-20	470	346	161	24
		P5 F 20-40	336	442	165	57
516741,00	7437269,00	P6 E 0-20	616	240	127	22
		P6 E 20-40	582	231	164	27
		P6 F 0-20	324	346	299	37
		P6 F 20-40	368	329	246	59
516642,00	7437519,00	P7 E 0-20	415	189	194	201
		P7 E 20-40	378	226	232	162

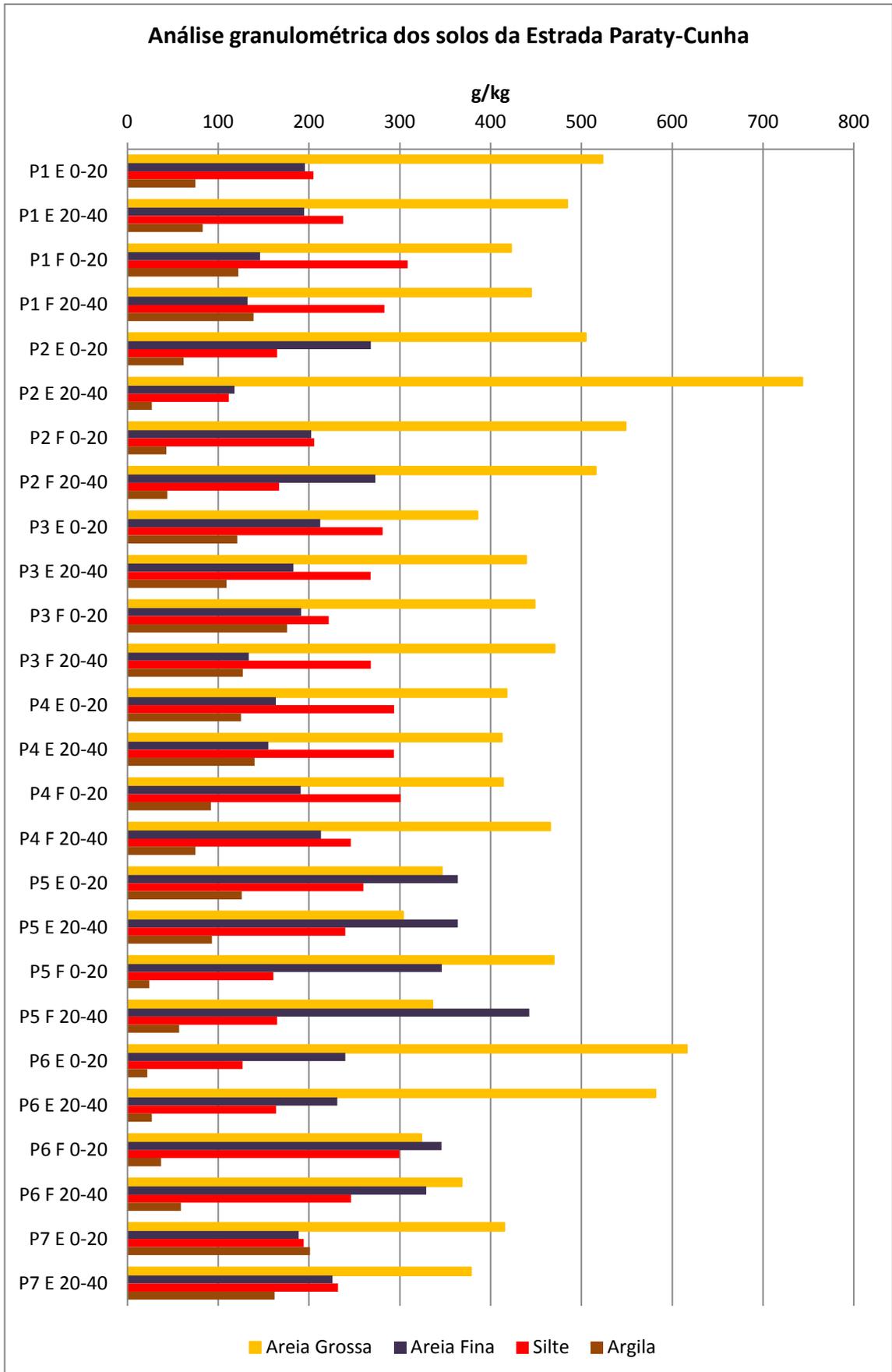


Gráfico 1. Análise granulométrica dos solos da Estrada Paraty-Cunha

Em 21 das amostras predominaram a fração areia grossa, cujas propriedades, juntamente com a argila, são de mais difícil remoção. A areia fina (uma das frações críticas) destacou-se em quatro amostras: P6 E 20-40; P6 F 20-40; P7 F 0-20 e P7 F 20-40. Os valores de silte foram muito significantes variando entre 112 e 309 g/kg (11% e 30%) do total granulométrico, sendo os três valores mais altos registrados em área de floresta em amostras superficiais (P1 F 0-20; P5 F 0-20; P7 F 0-20), mais uma vez demonstrando a importância da preservação das áreas florestais, já que o silte é extremamente suscetível à erosão (GUERRA, 2007; LIMA 2008). Por fim têm-se os valores de argila que variaram muito com destaque para a amostra P8 E 0-20 com 201 g/kg (quase 20%) desse material e para amostra P7 E 0-20 com 22 g/kg (2%). Valores maiores de argila são importantes para a manutenção da coesão dos solos (LIMA, 2008) e, no caso das presentes análises em 15 das 26 amostras apresentaram menos de 10% de argila.

Também foram analisadas granulometricamente as amostras utilizadas no ensaio de Inderbizen, cuja profundidade de coleta foi de 0 a 10 cm. A seguir é apresentada a Tabela 6 e o Gráfico 2 com os respectivos resultados:

Tabela 6. Análises granulométricas das amostras do ensaio de Inderbitzen

Análise granulométrica dos solos coletados para ensaio de Inderbitzen				
Amostras	Resultados em g/kg			
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
PA-1	392	186	334	88
PA-2	390	185	330	96
PA-3	402	191	324	83
PA-Média	395	187	329	89
PB-1	359	271	318	52
PB-2	386	292	286	36
PB-3	334	252	389	24
PB-Média	360	272	331	37
PC-1	645	179	148	28
PC-2	654	182	155	9
PC-3	677	188	116	19
PC-Média	659	183	140	19
PD-1	724	142	122	12
PD-2	726	142	120	12
PD-3	638	125	220	17
PD-Média	696	136	154	14
PE-1	418	127	285	170
PE-2	547	167	210	76
PE-3	421	128	342	109
PE-Média	462	141	279	118

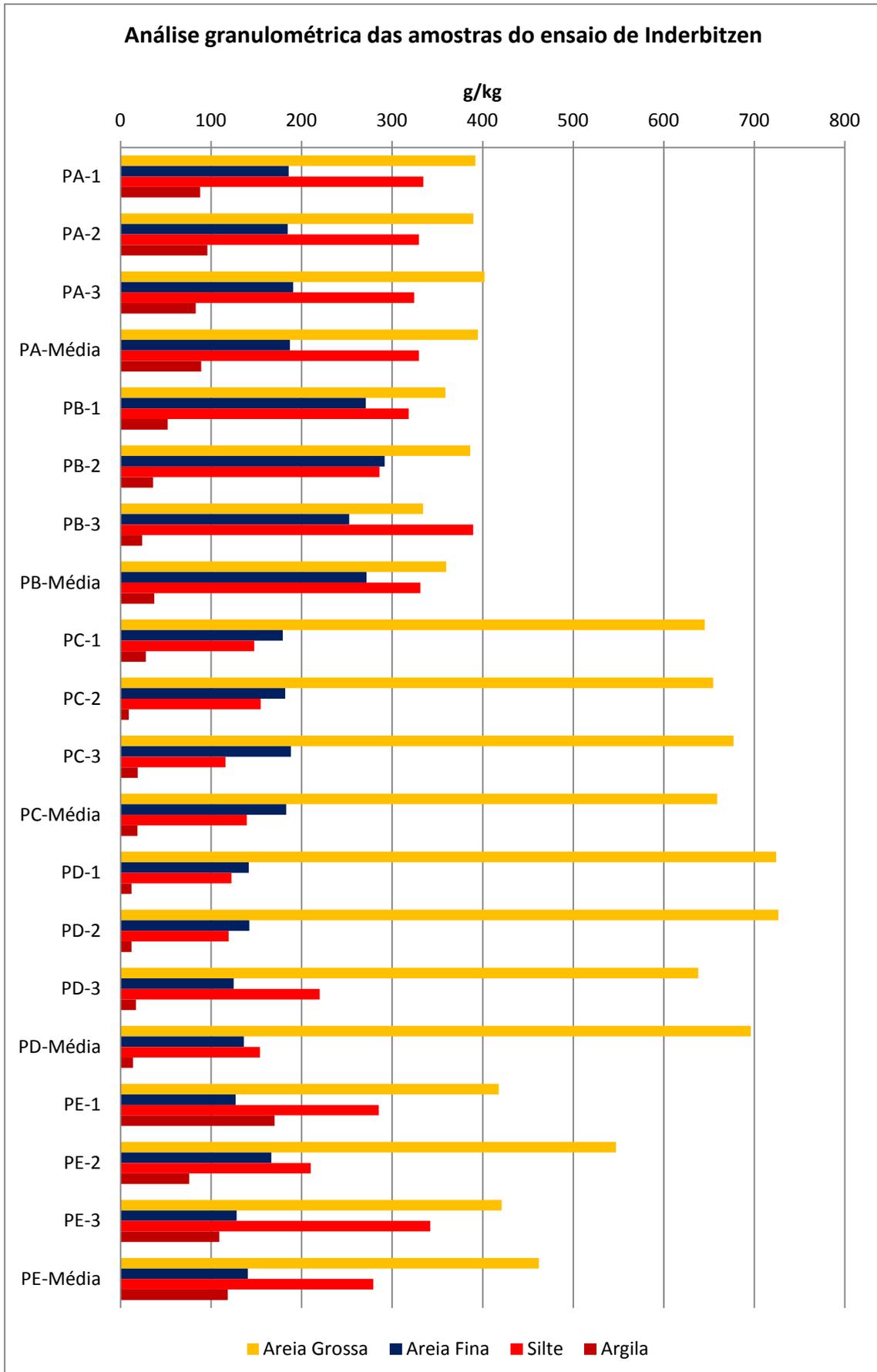


Gráfico 2. Análise granulométrica das amostras do ensaio de Inderbitzen

Assim como a análise granulométrica realizada nas primeiras amostras, as frações referentes ao silte e a areia fina foram muito significantes principalmente no Ponto A (PA) com 187 g/kg de areia fina, 329 g/kg de silte e no Ponto B (PB) com 272 g/kg de areia fina e 331 g/kg de silte. Estes dois pontos encontram-se logo no início da descida em direção a Paraty, no topo da escarpa da serra. Os pontos C e D apresentaram baixíssimos teores de argila 19 e 14 g/kg respectivamente, enquanto obtiveram altos teores de areia grossa, 659 e 696 g/kg respectivamente. Estes dois pontos encontram-se na parte intermediária da escarpa da serra e provavelmente vem recebendo deposição de material grosseiro, a exemplo da areia, como medida de manutenção da via para evitar a formação de atoleiros, tornando cada vez mais escasso o teor de argila. Novamente, estas características tornam a estrada muito suscetível à erosão, como verificado no intenso ravinamento do leito.

Segundo Silva *et al.* (2010), em estradas geralmente se trabalha com frações granulométricas acima de 0,074 mm, ou seja, basicamente areia e cascalho. Estes autores analisaram cinco amostras de uma estrada não pavimentada no município de Bom Jesus no Piauí. Seus resultados demonstraram que a classe textural é praticamente a mesma para os diferentes pontos coletados. Estes autores encontram teores de argila bem mais elevados (270 a 340 g/kg) em relação aos aqui apresentados (9 a 201 g/kg) e, sua textura foi predominantemente franco-argilo-arenoso.

D'Ávila *et al.* (2004) argumentam que os solos saprolíticos siltosos às vezes atendem às especificações, mas geralmente não apresentam resistência à abrasão em condição úmida e também na seca na maioria das vezes. Os solos da Estrada Paraty-Cunha encaixam-se neste caso e, portanto, apresentam-se como um problema. Estes mesmos autores destacam que o revestimento das estradas não pavimentadas deve ser composto por agregados de dimensões não excedentes a 35 mm, não romper-se com a ação do tráfego, manter o atrito adequado com os pneus sem sofrer abrasão destes e não serem suscetíveis à erosão. Ainda segundo d'Ávila *et al.* (2004), a granulometria a ser usada no revestimento dessas estradas deve estar com concentrações maiores do que 25% nas frações entre 0,42 mm e 35 mm. Neste caso o material pode ser adequado variando de acordo com a contração diametral em condições seca/úmida.

A seguir são apresentados os valores de densidade aparente, densidade real e porosidade (Tab. 7 e Gráf. 3):

Tabela 7. Resultados das análises de densidade aparente, real e porosidade dos solos (EMBRAPA, 1997).

Densidade e porosidade dos solos da Estrada Paraty-Cunha			
Amostra	Densidade real (g/cm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)	Porosidade
P1 E	2,78	1,82	34,56
P1 F	2,51	1,06	57,81
P2 E	2,72	1,77	34,96
P2 F	2,21	1,58	28,59
P4 E	2,44	1,55	36,44
P4 F	2,20	1,31	40,55
P5 E	2,57	1,61	37,47
P5 F	2,67	0,96	64,01
P6 E	2,60	1,63	37,31
P6 F	2,76	1,04	62,26
P7 E	2,62	1,42	45,71
P7 F	2,40	0,8	66,63
P8 E	2,43	1,69	30,42

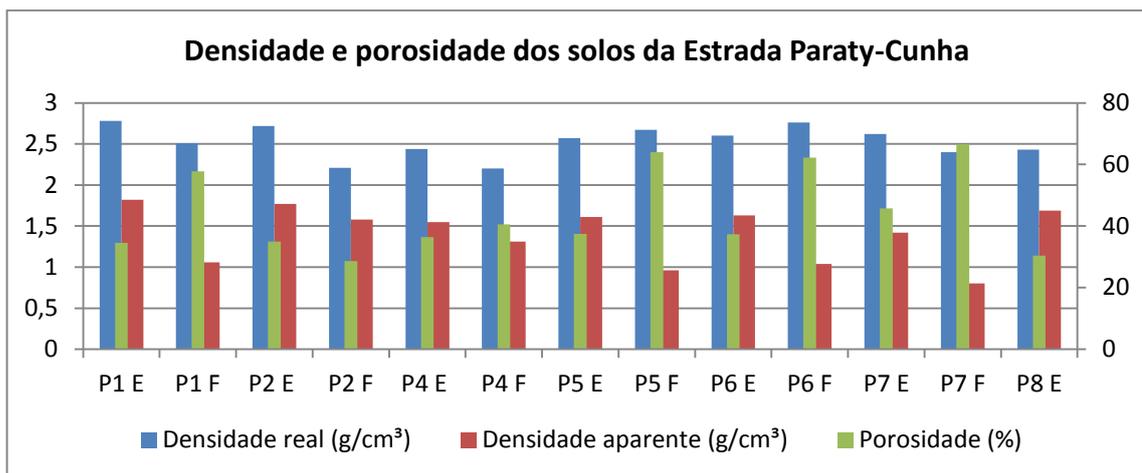


Gráfico 3. Densidade e porosidade dos solos da Estrada Paraty-Cunha

Os resultados demonstram alta compactação dos solos, o que é natural em se tratando de solos próprios de estrada, entretanto chama a atenção os altos valores de densidade real também nas áreas vegetadas, sempre igual ou maior do que 2,2 g/cm³. Quanto à densidade aparente os valores das amostras retiradas da estrada, com exceção da P7-E, estiveram sempre acima de 1,5 g/cm³, valor estabelecido por Morgan (2005) como limitante entre a baixa e a alta densidade aparente. Rangel (2014), ao analisar trilhas em Paraty, nas profundidade de 0-10 cm, achou valores de porosidade de 1,4 a 1,5 g/cm³ no leito da própria trilha e valores entre 1,2 e 1,4 para as suas bordas. Nos dois casos, valores de compactação inferiores aos achados no presente trabalho.

Quanto à porosidade pode-se fazer uma extensão da análise que foi feita para a densidade: a estrada possui grande compactação e baixos valores de porosidade enquanto as áreas, imediatamente em volta (florestas) apresentam valores mais altos de porosidade. Rangel achou para as trilhas porosidade em torno de 50% para o leito da trilha e valores entre 40% e 50% para as bordas.

Em condições naturais, Grohmann (1975) destaca que os valores de porosidade variam de 40% a 60%, podendo atingir casos extremos entre 30% e 80%. Na estrada os valores de porosidade variaram de 30,4% a 45,7%, sendo considerados muito baixos, enquanto que, na floresta estes valores tiveram variação de 28,6% a 66,6%, sendo que este valor de 28,6% no P2-F, extremamente incomum, não descartando a hipótese de algum erro analítico, ou mesmo algum ponto localizado mais para a baixa encosta com Neossolo ou solo saprolítico.

Os valores de floresta, mesmo apresentando números de densidade e porosidade mais altos do que os da estrada, sofrem influência na proximidade desta, ou seja, não se pode negligenciar os efeitos das alterações na estrada nas bordas da floresta.

A seguir são apresentados o triângulo textural (Fig.26) e a classificação textural de cada amostra (Tab. 8):

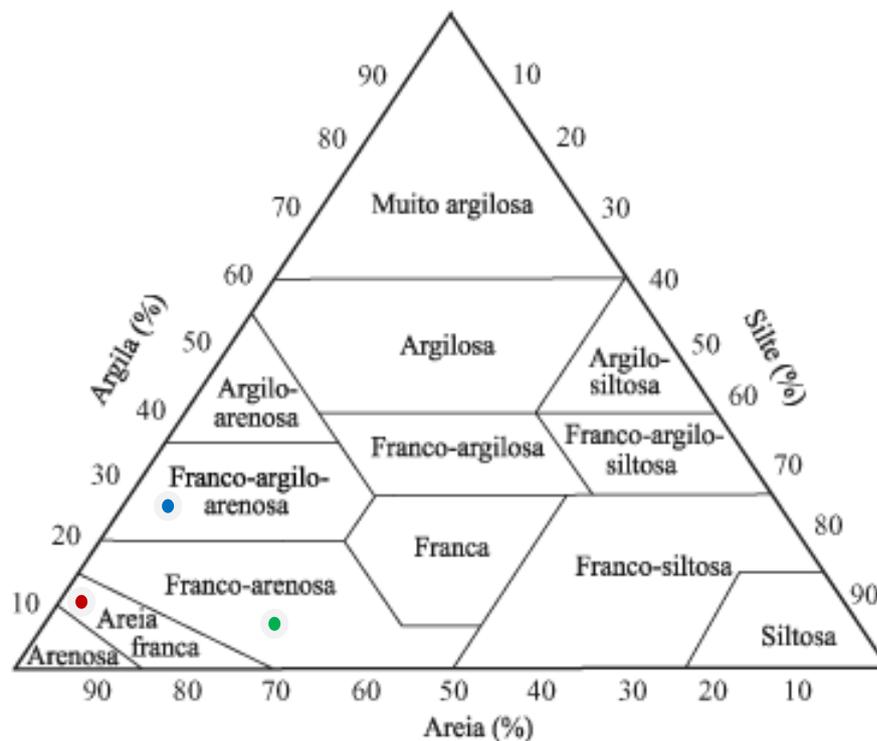


Figura 25. Triângulo textural

A classificação textural das amostras revelou que a maior parte delas, 20 das 31, ocorre a classe franco-arenosa, reconhecidamente uma das mais suscetíveis à erosão (FULLEN e CATT, 2004; LIMA, 2008; SMETS *et al.*, 2011, LOUREIRO, 2011 e 2013). Lima (2008) classifica as texturas franco-arenosa e areia franca como altamente suscetíveis à erosão, enquanto a classe franco-argilo-arenosa é classificada como de média suscetibilidade.

Tabela 8. Textura dos solos da Estrada Paraty-Cunha

Amostras	Textura
P1 E 0-20	Franco-arenosa
P1 E 20-40	Franco-arenosa
P1 F 0-20	Franco-arenosa
P1 F 20-40	Franco-arenosa
P2 E 0-20	Areia franca
P2 E 20-40	Areia franca
P2 F 0-20	Areia franca
P2 F 20-40	Areia franca
P3 E 0-20	Franco-arenosa
P3 E 20-40	Franco-arenosa
P3 F 0-20	Franco-arenosa
P3 F 20-40	Franco-arenosa
P4 E 0-20	Franco-arenosa
P4 E 20-40	Franco-arenosa
P4 F 0-20	Franco-arenosa
P4 F 20-40	Franco-arenosa
P5 E 0-20	Franco-arenosa
P5 E 20-40	Franco-arenosa
P5 F 0-20	Areia franca
P5 F 20-40	Areia franca
P6 E 0-20	Areia franca
P6 E 20-40	Areia franca
P6 F 0-20	Franco-arenosa
P6 F 20-40	Franco-arenosa
P7 E 0-20	Franco-argilo-arenosa
P7 E 20-40	Franco-arenosa
PA	Franco-arenosa
PB	Franco-arenosa
PC	Areia franca
PD	Areia franca
PE	Franco-arenosa

7.2 Carbono orgânico e matéria orgânica

As análises de carbono orgânico e matéria orgânica demonstraram, como esperado, baixos teores de concentração para solos sem vegetação, entretanto nas áreas de floresta, onde foram coletadas amostras até, sob serrapilheira, alguns resultados chamaram a atenção (Tab.9, Gráf. 4). São estes: P2-F, P5-F e principalmente P6-F, os quais encontraram-se com baixas concentrações assim como seus correspondentes na estrada, demonstrando que alterações relacionadas a supressão de vegetação nestes ambientes causam instabilidades, já que o carbono orgânico é importante no que tange a agregação das partículas do solo.

De acordo com Fullen e Catt (2004), valores acima de 3,5% de matéria orgânica no solo conferem a este maior estabilidade frente aos processos erosivos. Em nenhuma das amostras analisadas este valor esteve acima disso. A variação nas amostras esteve entre 0,1% a 2,4%, sendo que o valor mais baixo na estrada foi de 0,1% (P6 E 0-20), localizada no alto da escarpa, e o mais alto 0,8% (P1 E 0-20), no meio da escarpa, na borda do parque. Já para floresta o mais baixo foi de 0,2% (P6 F 0-20) e o mais alto 2,4 (P1 F 0-20) repetindo os locais anteriormente citados na estrada.

A altitude é outro fator de influência, estabelecendo uma relação inversamente proporcional à concentração/produção de matéria orgânica. Este fator pareceu exercer alguma interferência, principalmente nas amostras coletadas para granulometria, com baixos teores de matéria orgânica nas partes mais elevadas (Tab. 9).

Tabela 9. Teores de carbono orgânico e matéria orgânica no solo da Estrada Paraty-Cunha

Amostras	C.O. (g/Kg)	C.O. (%)	M.O. (g/kg)	M.O. (%)	Altitude (m)
P1 E 0-20	4,60	0,5	7,930	0,8	860
P1 F 0-20	13,78	1,4	23,759	2,4	860
P2 E 0-20	2,42	0,2	4,165	0,4	900
P2 F 0-20	2,49	0,2	4,294	0,4	900
P3 E 0-20	0,99	0,1	1,706	0,2	1010
P3 F 0-20	7,89	0,8	13,599	1,4	1010
P4 E 0-20	2,47	0,2	4,253	0,4	1170
P4 F 0-20	9,35	0,9	16,118	1,6	1170
P5 E 0-20	4,34	0,4	7,489	0,7	1350
P5 F 0-20	3,36	0,3	5,800	0,6	1350
P6 E 0-20	0,58	0,1	0,998	0,1	1415
P6 F 0-20	1,02	0,1	1,766	0,2	1415
PA	9,64	1,0	16,627	1,7	1440
PB	2,46	0,2	4,234	0,4	1400
PC	2,90	0,3	4,995	0,5	1170
PD	2,61	0,3	4,492	0,4	890
PE	4,39	0,4	7,577	0,8	860

Em recente estudo Rangel (2014) analisou a matéria orgânica das trilhas da Reserva Ecológica da Juatinga, sob Mata Atlântica, também em Paraty. Esta autora concluiu que a incorporação de matéria orgânica na trilha se dá de forma lenta, o que tem afetado tanto a estabilidade dos agregados, quanto a compactação do solo. A autora achou valores de 1,05% e 0,33% de matéria orgânica em macroagregados da trilha e de 0,36 e 0,89 nos microagregados, em profundidade de 0-10 cm. Já para a borda esses valores foram um pouco mais altos: 1,57 e 0,47 para os microagregados e 0,43 e 1,22 para os macroagregados, também em profundidade de 0-10 cm.

Aguiar (2008) e Xavier (2009) acharam o valor de 11,72 g/kg de carbono orgânico total em área de Mata Atlântica em Minas Gerais, valores próximos somente a P1-F, P4-F e PA. Segundo modelos de Scholes *et al.* (1997) adaptados de Jenkinson (1990) o aporte histórico de carbono num ambiente de floresta tropical tem em média 11 ton/ha/ano.

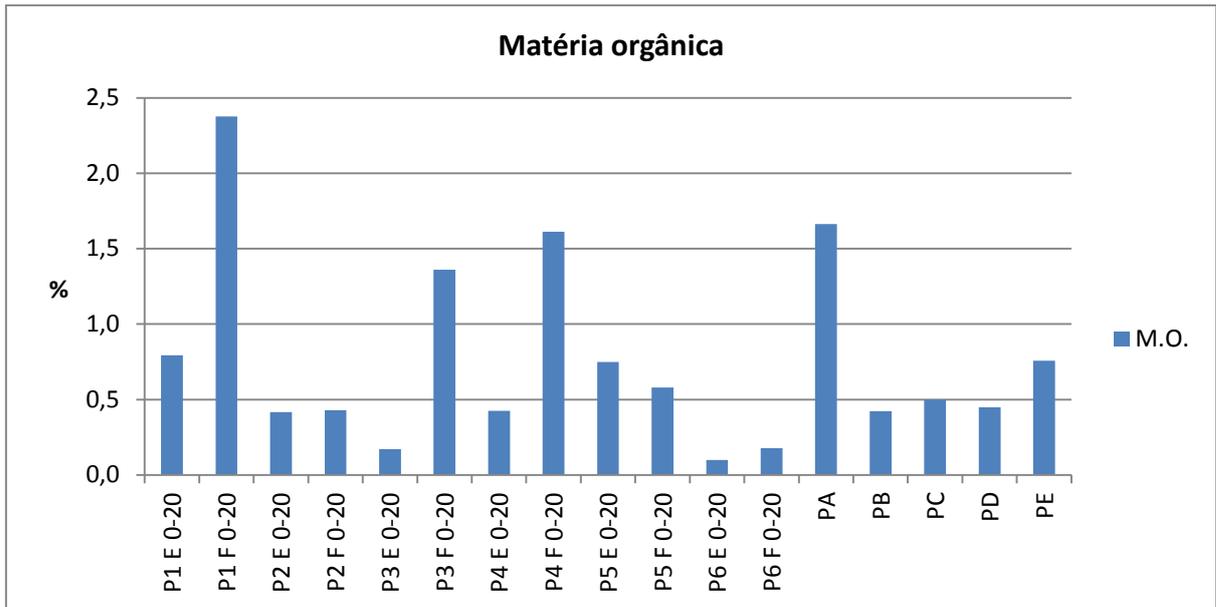


Gráfico 4. Matéria orgânica

7.3 pH

No Gráfico 5 a seguir são apresentados os valores de pH dos solos da Estrada-Paraty-Cunha medidos em meio aquoso:

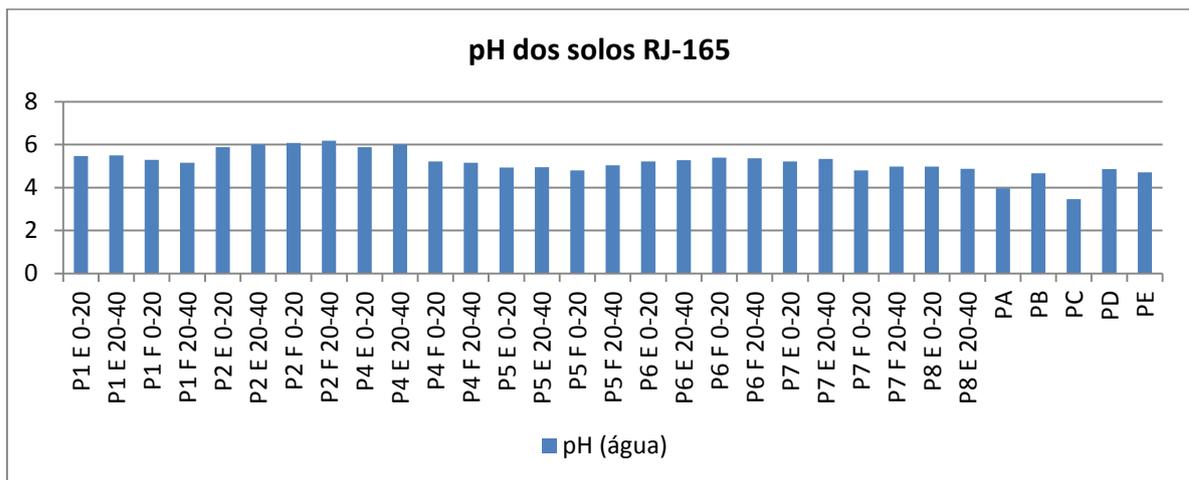


Gráfico 5. pH

Os valores medidos variaram de 3,46 a 6,2, ou seja, solos ácidos. Segundo Lima (2008), o pH, embora seja um fator de pouca expressão nos estudos sobre a erosão, é um bom indicador da qualidade ambiental, pois valores entre 5,5 e 7,0 são considerados equilibrados para o desenvolvimento da maioria das plantas. Entretanto, ocorre que, nos resultados encontrados, com exceção das amostras P2-F, todas as outras amostras de floresta tiveram pH abaixo de 5,5. Ainda de acordo com Lima (2008), a faixa de pH entre 5,0 e 6,5 em água, pode ser considerada de baixa suscetibilidade à erosão, enquanto valores abaixo de 5,0 são considerados de alta suscetibilidade.

7.4 Ensaio de Inderbitzen

No ensaio de Inderbitzen uma das dificuldades encontradas foi em relação à preservação da umidade de campo, pela inexistência de câmara úmida no Laboratório de Geomorfologia da UFRJ. Neste sentido antes de cada ensaio foi verificada novamente a umidade de cada amostra no aparelho *Moisture Meter type HH2*. A umidade foi menor na maior parte das amostras, exceto nas amostras PC-2, e PD-2 e PD-3.

A seguir são apresentados os resultados (Tab. 10 e 11):

Tabela 10. Análise de Inderbitzen de solos da estrada Paraty-Cunha

Amostras de solos para ensaio de Inderbitzen da Estrada Paraty-Cunha											
Amostra		Coordenadas WGS 84		Dados de campo			Tempo (min.)	Volume escoado (L)	Volume infiltrado (ml)	Areia Grossa/Média (g)	Erosão (kg/ha)
		E	N	Umidade campo %	Umidade Laboratório %	Declividade °					
PA	1	517038	7437397	51,6	40,5	12	0 a 5	11,1	87	0,134	75,7
							5 a 10	12	133	0,015	8,5
							10 a 15	11,5	125	0,017	9,6
							15 a 30	34,1	342	0,03	16,9
							30 a 45	31,4	333	0,017	9,6
							45 a 60	29,4	320	0,013	7,3
	2				39,7		0 a 5	14	430	0,1	56,5
							5 a 10	14	730	0,001	0,6
							10 a 15	14	550	0,001	0,6
							15 a 30	41	1150	0	0,0
							30 a 45	41	820	0,013	7,3
							45 a 60	35,2	810	0,003	1,7
	3				26,7		0 a 5	9,98	1530	0,101	57,1
							5 a 10	10,25	795	0,04	22,6
							10 a 15	10,48	1660	0,013	7,3
							15 a 30	29,45	4900	0,011	6,2
							30 a 45	28,3	4110	0,009	5,1
							45 a 60	28,78	3965	0,011	6,2

Continuação

Amostras de solos para ensaio de Inderbitzen da Estrada Paraty-Cunha											
Amostra		Coordenadas WGS 84		Dados de campo			Tempo (min.)	Volume escoado (L)	Volume infiltrado (ml)	Areia Grossa/ Média (g)	Erosão (kg/ha)
		E	N	Umidade campo %	Umidade Laboratório %	Declividade °					
PB	1	516828	7437240	26,3	20,8	5	0 a 5	12,5	0	5,366	3031,6
							5 a 10	12	0	0,566	319,8
							10 a 15	12	74	0,253	142,9
							15 a 30	35	287	0,238	142,9
							30 a 45	34,3	282	0,075	423,7
							45 a 60	34,6	297	0,206	116,4
	2				17,2		0 a 5	14,3	0	1,744	985,3
							5 a 10	14,3	0	0,7	395,5
							10 a 15	13,1	0	0,421	237,9
							15 a 30	48,1	0	0,746	421,5
							30 a 45	48,7	19	0,459	259,3
							45 a 60	49,4	35	0,469	265,0
	3				20,7		0 a 5	12	0	1,994	1126,6
							5 a 10	12	0	0,13	73,4
							10 a 15	12,22	27	0,122	68,9
							15 a 30	35,85	140	0,808	456,5
							30 a 45	35,98	142	0,106	59,9
							45 a 60	37,75	145	1,219	688,7

Continuação

Amostras de solos para ensaio de Inderbitzen da Estrada Paraty-Cunha											
Amostra	Coordenadas WGS 84		Dados de campo			Tempo (min.)	Volume escoado (L)	Volume infiltrado (ml)	Areia Grossa/ Média (g)	Erosão (kg/ha)	
	E	N	Umidade campo %	Umidade Laboratório %	Declividade °						
PC	1	516418	7434536	19,6	10,5	3	0 a 5	14	0	3,896	2201,1
							5 a 10	14,2	0	0,547	309,0
							10 a 15	14,9	0	0,297	167,8
							15 a 30	43,4	0	1,374	776,3
							30 a 45	44,7	0	2,201	1243,5
							45 a 60	45,13	0	2,985	1686,4
	2				20,5		0 a 5	13,75	0	24,672	13939,0
							5 a 10	13,06	0	0,561	316,9
							10 a 15	13,97	0	0,984	555,9
							15 a 30	39	76	3,161	1785,9
							30 a 45	39,7	110	6,52	3683,6
							45 a 60	40,1	124	4,323	2442,4
	3				10,3		0 a 5	12	0	8,033	4538,4
							5 a 10	11,3	0	6,475	3658,2
							10 a 15	10,85	0	12,371	6989,3
							15 a 30	30,24	0	5,87	3316,4
							30 a 45	30,36	0	2,689	1519,2
							45 a 60	28,25	0	5,144	2906,2

Continuação

Amostras de solos para ensaio de Inderbitzen da Estrada Paraty-Cunha											
Amostra	Coordenadas WGS 84		Dados de campo			Tempo (min.)	Volume escoado (L)	Volume infiltrado (ml)	Areia Grossa/ Média (g)	Erosão (kg/ha)	
	E	N	Umidade campo %	Umidade Laboratório %	Declividade °						
PD	1	517291	7434340	9,6	10,8	9	0 a 5	12	210	0,162	91,5
							5 a 10	12	420	0,367	207,3
							10 a 15	12	421	0,262	148,0
							15 a 30	36	1160	0,508	287,0
							30 a 45	36	1120	0,679	383,6
							45 a 60	36,22	1100	0,758	428,2
	2			0 a 5			12	226	0,638	360,5	
				5 a 10			12	485	0,041	23,2	
				10 a 15			12	460	0,007	4,0	
				15 a 30			34	1020	1,649	931,6	
				30 a 45			33	1260	0,258	145,8	
				45 a 60			34	1300	1,368	772,9	
	3			0 a 5			10,8	108	0,741	418,6	
				5 a 10			10,8	332	0,054	30,5	
				10 a 15			10,4	315	0,039	22,0	
				15 a 30			31,45	810	0,739	417,5	
				30 a 45			31	605	0,265	149,7	
				45 a 60			30,2	515	0,607	342,9	

Continuação

Amostras de solos para ensaio de Inderbitzen da Estrada Paraty-Cunha											
Amostra		Coordenadas WGS 84		Dados de campo			Tempo (min.)	Volume escoado (L)	Volume infiltrado (ml)	Areia Grossa/ Média (g)	Erosão (kg/ha)
		E	N	Umidade campo	Umidade Laboratório	Declividade					
PE	1	517678	7433626	31,8	21,5	9	0 a 5	10,4	870	0,047	26,6
							5 a 10	10,4	820	0,003	1,7
							10 a 15	10,4	785	0,003	1,7
							15 a 30	30,25	1950	0,015	8,5
							30 a 45	30,85	1735	0,007	4,0
							45 a 60	30,8	1500	0,034	19,2
	2				0 a 5		11	0	0,186	105,1	
					5 a 10		10,8	10	0,015	8,5	
					10 a 15		10,4	34	0,01	5,6	
					15 a 30		38,45	94	0,074	41,8	
					30 a 45		39,1	74	0,018	10,2	
					45 a 60		37,8	75	0,47	265,5	
	3				0 a 5		14,35	260	0,699	394,9	
					5 a 10		13,2	275	0,018	10,2	
					10 a 15		12	212	0,054	30,5	
					15 a 30		34,8	390	0,141	79,7	
					30 a 45		35	280	0,136	76,8	
					45 a 60		36,5	215	0,2	113,0	

Tabela 11. Médias e totais de volume escoado, volume infiltrado e erosão das amostras

Intervalo de tempo	Amostras				
	PA	PB	PC	PD	PE
Vol. escoado (L)					
0-5	11,1	12,9	13,3	11,6	11,9
5-10	12,1	12,8	13,1	11,6	11,5
10-15	12	12,4	13,2	11,5	10,9
15-30	34,9	39,7	37,5	33,8	34,5
30-45	33,6	39,7	38,3	33,3	35
45-60	31,1	40,6	37,8	33,5	35
Total escoado (L)	134,8	158,1	153,2	135,3	138,8
Vol. Infiltrado (ml)					
0-5	682,3	0	0	181,3	376,7
5-10	552,7	0	0	412,3	368,3
10-15	778,3	33,7	0	398,7	343,7
15-30	2130,7	104,7	25,3	996,7	811,3
30-45	1754,3	147,7	36,7	995	696,3
45-60	1698,3	159	41,3	971,7	596,7
Total infiltrado(ml)	7596,6	445,1	103,3	3955,7	3193,0
Erosão (kg/ha)					
0-5	62,8	1714,5	6892,8	290,2	175,5
5-10	10,6	262,6	1378,4	87	6,8
10-15	5,8	149,9	2571	58	12,6
15-30	7,7	340,3	1959,5	545,4	43,3
30-45	7,3	247,6	2145,8	226,4	30,3
45-60	5,1	356,7	2345	514,7	132,6
Total erodido (kg/ha)	99,3	3071,6	17292,5	1721,7	401,1

Os volumes de escoamento superficial mantiveram uma tendência constante ao longo do tempo, apesar do fluxo da torneira sofrer algumas alterações não intencionais (Gráf. 6). A PB obteve o maior volume de escoamento registrando 158,1 L, enquanto a PA registrou 134,8 L uma variação de 15% (Tab. 11). Como o esperado a relação escoamento x infiltração foi inversamente proporcional, com a PA registrando o maior valor de infiltração, 7596,6 ml e em seguida PB com 445,1 ml (variação de 94%).

Apesar do maior volume de escoamento superficial, não foi a PB a obter maior erosão. Esta amostra registrou 3071,6 kg/ha, enquanto a PC registrou 17292,5 kg/ha. A PA registrou apenas 99,3 kg/ha, entretanto esta amostra tinha muita matéria orgânica (1,7 %) em relação às outras, o que certamente contribuiu para reter a erosão e melhorar a infiltração.

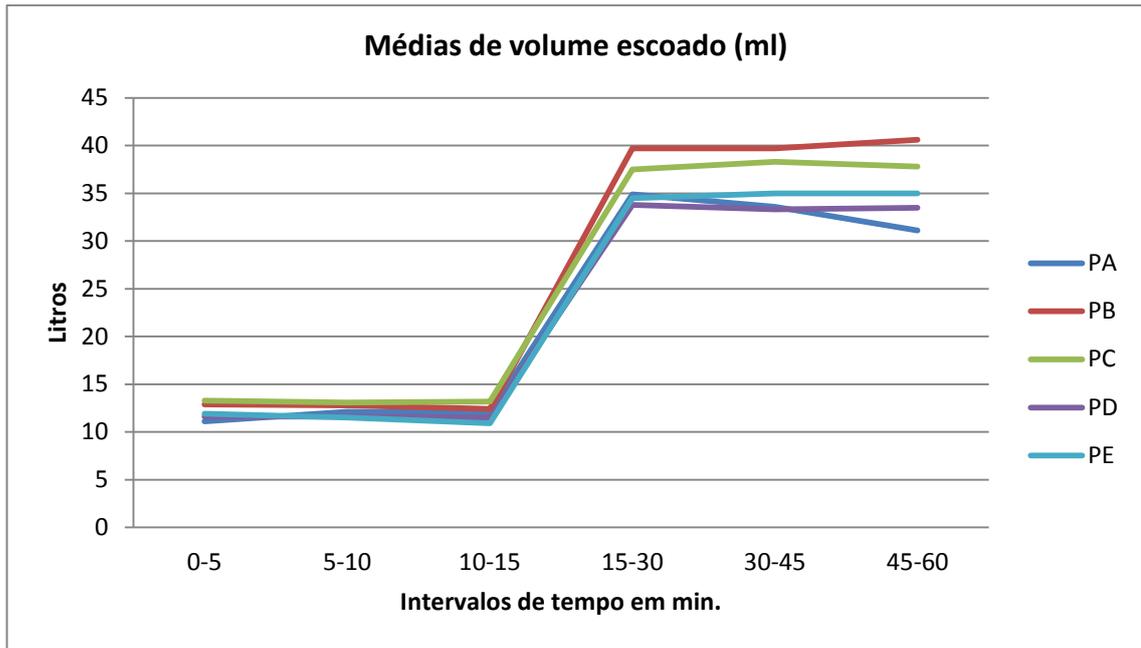


Gráfico 6. Médias de volume escoado

O gráfico da infiltração (Gráf. 7) de água no solo mostra uma média de volume infiltrado com picos no intervalo de 15-30 minutos nas amostras PA e PE. Este fato pode ser explicado pelo aumento do tempo de intervalo do ensaio (de 5 para 15 min.), o que num primeiro momento aumenta o volume infiltrado e, após isso também acaba por selar o topo do solo e os poros da amostra, diminuindo a água infiltrada. A amostra PA foi a que demonstrou comportamento mais irregular no gráfico em relação às outras, começando em 682,3 ml (0-5 min.), declinando em 5-10 minutos, voltando a subir em 10-15 minutos até atingir um pico de 2130,7 ml, quando então novamente declina. Vale ressaltar mais uma vez, que nesta amostra existe alto valor de matéria orgânica, o que contribui para a agregação do solo e infiltração da água. Ela também apresentou altos teores de areia fina (187 g/gk) e silte (329 g/kg).

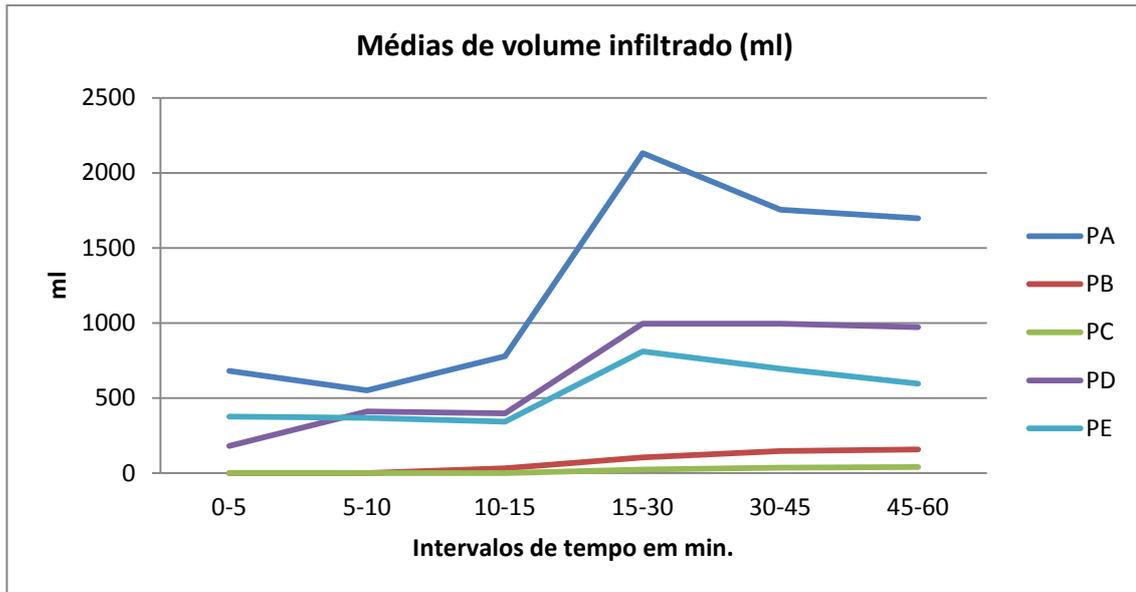


Gráfico 7. Médias de volume infiltrado

As médias da erosão (Gráf. 8) foram muito superiores em PC, iniciando 6892,8 kg/ha (0-5 min.) para rapidamente baixar 1378,4 kg/ha, após isso se tem uma estabilização em torno de 2000 kg/ha. Outra amostra que apresentou intensa erosão nos cinco primeiros minutos foi PB (1714,5 kg/ha), estabilizando após isso abaixo de 400 kg/ha. PD apresenta um pequeno pico inicial, estabiliza até 15 minutos, para apresentar novo pico em 15-30 minutos. PA inicia com um pico de erosão em 62,8 kg/ha para após isso entrar em leve declínio em valores abaixo de 10 kg/ha. E finalmente PE apresentou grande irregularidade, iniciando em 175,5 kg/ha, depois declinando para apenas 6,8 kg/ha em 50-10 minutos de experimento, após isso subindo até 43,3 kg/ha em 30-45 minutos para então registrar ao final do experimento 132,6 kg/ha.

Em todas as amostras os cinco primeiros minutos foram os mais críticos, – exceto na PD – pois o solo encontrando-se seco possui menor coesão de suas partículas superficiais, gerando mais perdas. Após isso, com o fluxo constante, tem-se uma estabilização do transporte.

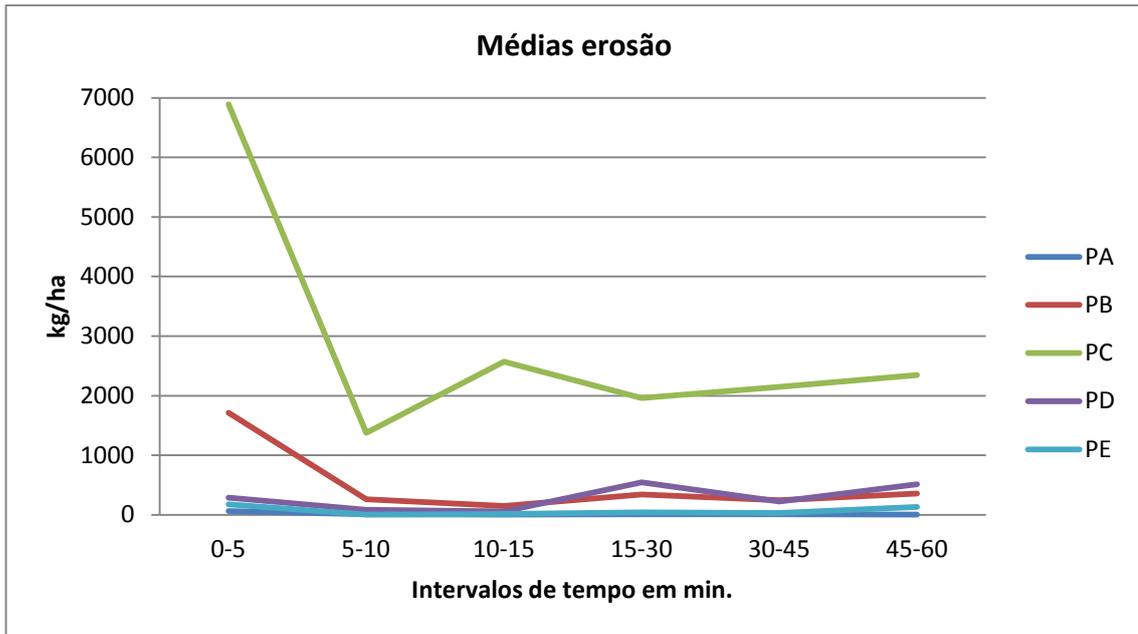


Gráfico 8. Médias da produção de sedimentos

PA foi uma das amostras que mais se mantiveram regulares, quanto ao escoamento e a erosão (Gráf. 9). A erosão teve seu pico no intervalo de 5-10 minutos e após começou a declinar de forma lenta e gradual. Esta amostra foi um caso a parte, pois sua concentração de matéria orgânica lhe conferiu muito mais estabilidade, apesar da alta concentração de areia fina + silte (187 e 329 g/kg respectivamente).

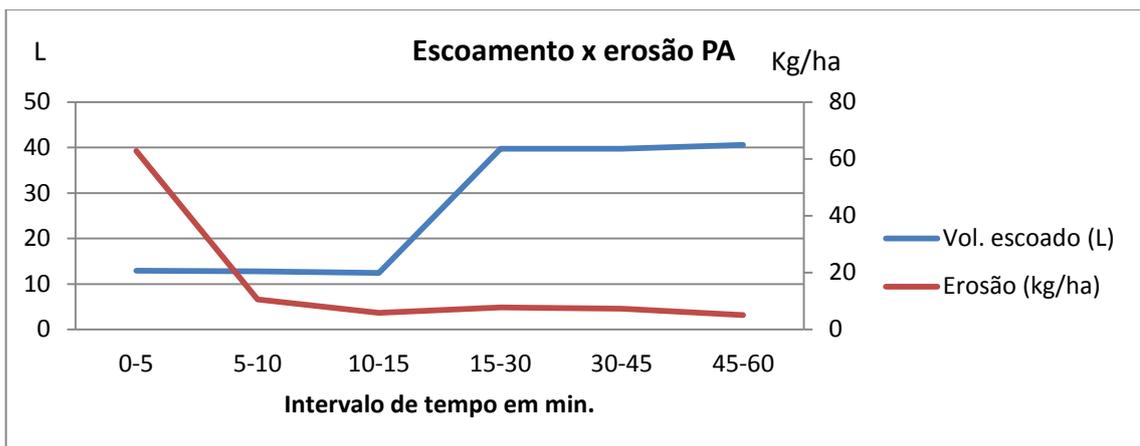


Gráfico 9. Escoamento x erosão no PA

Os gráficos seguintes de PB e PC (Gráf. 10 e 11) apresentaram escoamentos regulares e erosão acentuada nos cinco primeiros minutos de experimentos. PB e PE também se mantiveram de certa forma regular, mas PC e PD estiveram com maiores variações. Apesar de

não ser a amostra que possuía maiores teores de areia fina (183 g/kg) e silte (140g/kg) e, nem menor porcentagem de matéria orgânica (0,5%) PC teve um resultado bem mais elevado em relação às perdas médias. Esta amostra também registrou o menor resultado de pH (3,46) e sua textura foi classificada como areia franca. Talvez o maior problema tenha sido em relação à agregação de suas partículas, o que requer mais estudos no que tange a estabilidade dos agregados.

PD esteve em condições semelhantes em relação a PC quanto aos valores de areia fina + silte e matéria orgânica, mas apesar do início de grande perda declinou e manteve-se relativamente com perdas baixas. Uma hipótese para explicar as diferenças de perdas entre PC e PD, pode estar na umidade inicial do segundo ensaio de PC, onde esta se encontrava em 20,5% (Tab. 10, p. 87), elevando a média final de erosão.

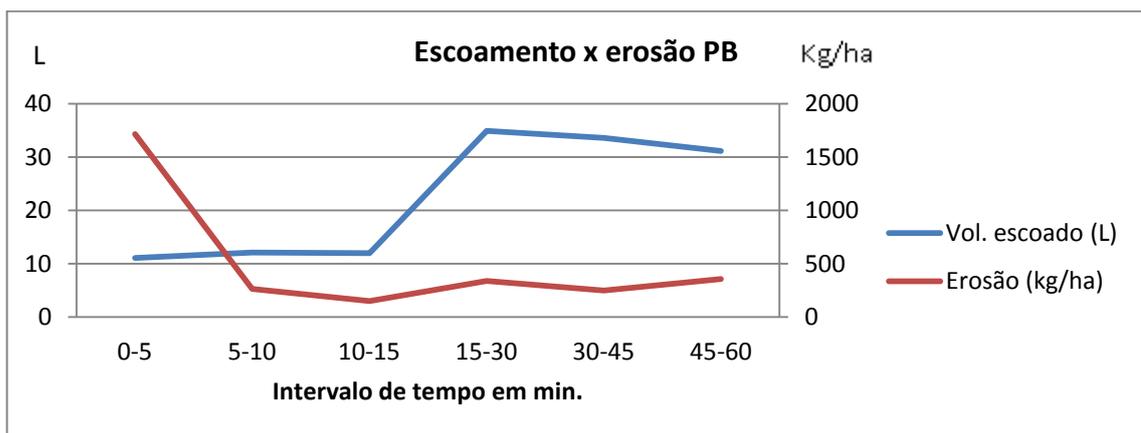


Gráfico 10. Escoamento x erosão no PB

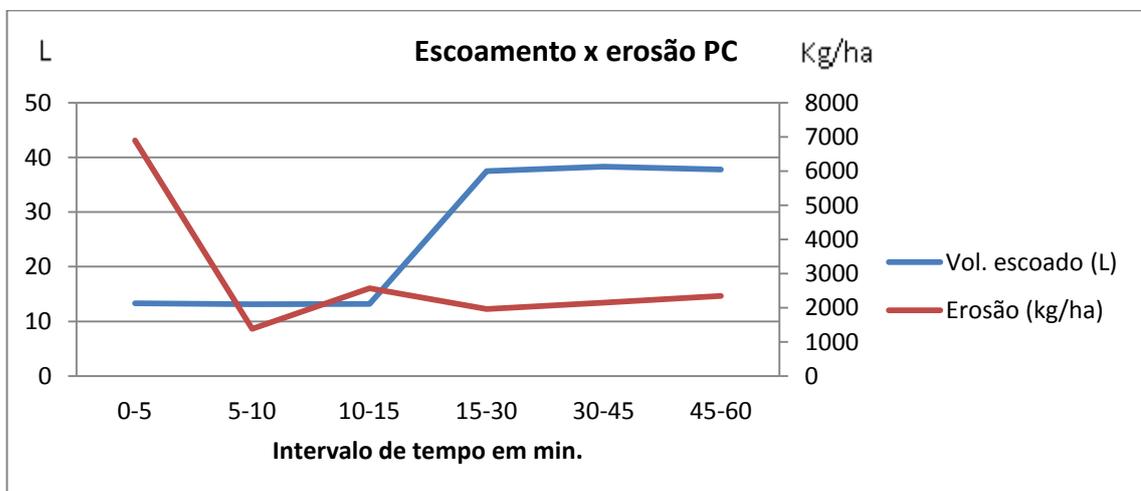


Gráfico 11. Escoamento x erosão no PC

Assim como nos demais experimentos o gráfico em PD (Gráf. 12) demonstrou uma intensa perda de sedimentos nos cinco minutos iniciais, entretanto após quinze minutos houve um novo pico reduzindo em seguida para novamente retomar o aumento. Variações decorrentes, provavelmente de uma pequena diminuição no escoamento superficial de 33,8 L para 33,3 L e, em seguida um pequeno aumento de 33,5 L.

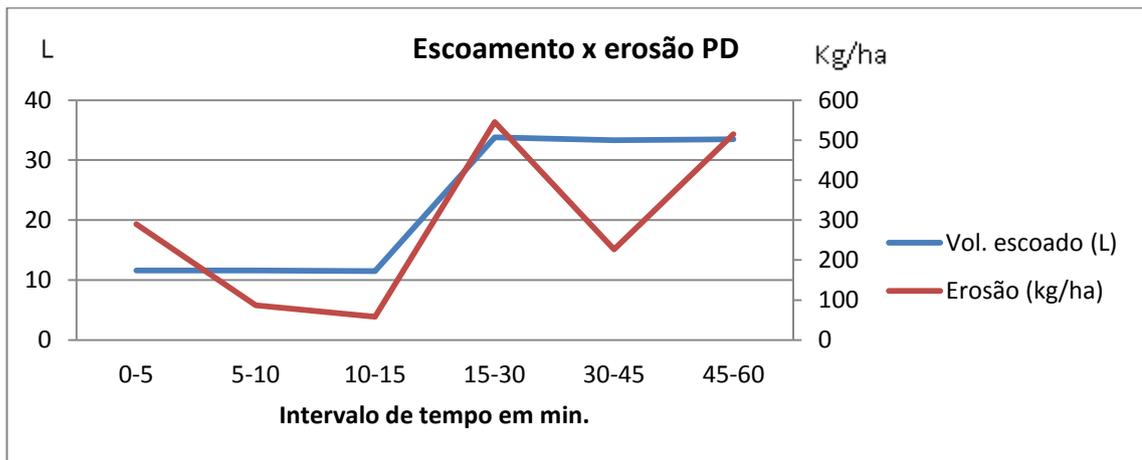


Gráfico 12. Escoamento x erosão no PD

PE tem um pico nos cinco primeiros minutos, para após isso reduzir e por fim dos 45 minutos em diante houve novo aumento (Gráf. 13).

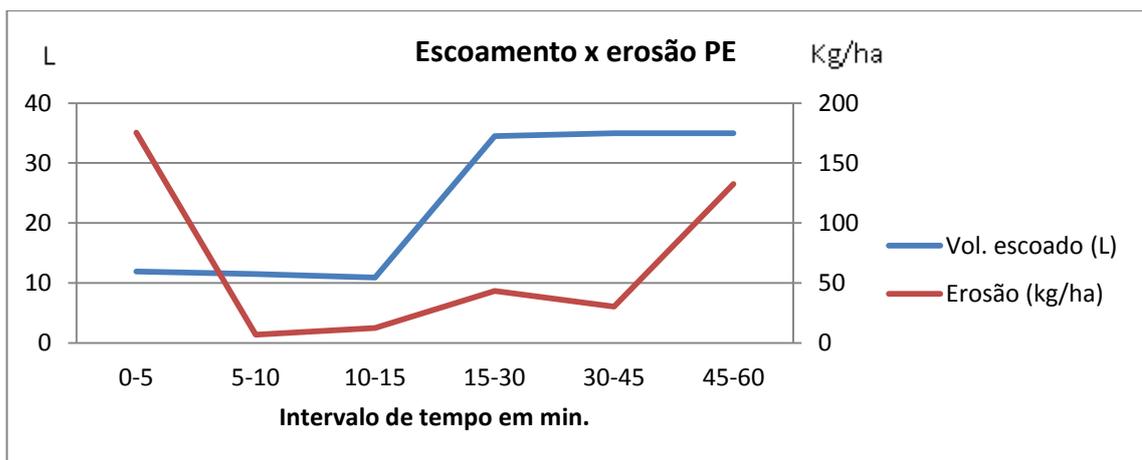


Gráfico 13. Escoamento x erosão no PE

Em seus ensaios de Inderbitzen, Nacinovic (2009) encontrou valores acentuados de produção de sedimentos para as amostras de olericultura em área da região serrana do Rio de Janeiro. Os primeiros cinco minutos de ensaio foram os mais críticos, conforme constatado também por Fácio (1991) e Mendes (2006). Ainda segundo Nacinovic (2009) as amostras com 10° de declividade apresentaram até 403 kg/ha de erosão e um mínimo de 4,1 kg/ha. Com esta mesma declividade foram encontrados na presente dissertação valores de até 17292,5 kg/ha, ou seja, o solo com maior potencial erosivo do que o encontrado em área de olericultura. Aumentando a declividade para 22°, Nacinovic (2009) encontrou 705 kg/ha de erosão. Quanto aos valores de escoamento superficial foram encontrado valores de até 174,7 L, valores um pouco acima da máxima encontrada de 158,1 L para a PB, amostra que obteve o maior volume escoado, no presente estudo. A infiltração em Nacinovic (2009) ficou em 752 ml, enquanto aqui foi encontrado 7596,6 ml na PA.

Em um estudo com a utilização do ensaio de Inderbitzen em áreas revegetadas de cicatrizes de movimentos de massa na Floresta da Tijuca, Vilela (2003) utilizou para as amostras uma vazão de 65 ml/s e declividade de 29°. As amostras utilizadas pela autora tiveram vegetação e serrapilheira presentes. Os resultados mostram que apesar de as frações predominantes serem de areia, houve maior erosão nas partículas finas. Dessa forma a baixa taxa de erosão dessas amostras pode estar relacionada aos baixos teores de partículas finas no solo (areia fina e silte). Os primeiros cinco minutos também demonstraram ser os mais críticos em relação a perda de sedimentos.

7.5 Resultados pluviométricos

O levantamento do índice pluviométrico apresentou como esperado maior precipitação na escarpa serrana, principalmente entre o sul de Paraty e o norte de Ubatuba. Os valores mais intensos de precipitação ocorreram na estação São Roque com 2328 mm e média mensal de 194 mm. A seguir seguem os valores das médias anuais, mensais e sazonais de precipitação na região (Tab. 12) e a localização das estações (Fig. 26):

Tabela 12. Precipitações médias nas estações pluviométricas

Precipitações médias (mm)							
Estação	Anos	Anual	Mensal	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Alto da Serra do Mar	1970 - 2010	2151	179	845	310	304	703
Bananal	1970 - 2010	1334	111	587	168	128	507
Campos de Cunha	1970 - 2010	1407	117	594	179	153	490
Parati	1970 - 2010	1584	132	612	243	211	518
Vila Mambucaba	1982 - 2010	2196	183	813	412	323	654
Patrimônio	1970 - 2010	2238	187	770	429	333	235
São José do Barreiro	1970 - 2010	1766	147	746	206	182	625
São Roque	1970 - 2010	2328	194	846	358	331	793
Guaratinguetá	1970 - 2010	1406	117	597	170	149	490
Ubatuba	1970 - 1999	2118	176	759	411	318	625
Ponte Alta	1970 - 1999	1976	165	769	324	265	618

Fonte: adaptado da ANA (1970-2010).

Quanto ao método utilizado, a *krigagem* se mostrou um procedimento que precisa ser utilizado com melhores ajustes, pois apresentou tendência de “achatar” os valores mínimos e máximos de precipitação que foram trabalhados. Outro ponto negativo se mostrou em relação à aplicação da *krigagem* em amostras que não possuem distribuição normal, uma vez que os resultados não se apresentaram de forma adequada ao que se espera de uma distribuição pluviométrica. Tal fato se deve muito também a pequena quantidade de amostras disponíveis para este mapeamento (11) bem como a grande distância existente entre elas. Dessa forma não foi possível a geração de mapas para as estações do verão e da primavera.

Quanto à distribuição pluviométrica dos mapas gerados, ficou evidente que as áreas mais próximas ao litoral e nas bordas das escarpas serranas apresentam maiores índices de precipitação com médias anuais próximas a 2000 mm. Como ressalta Guerra *et al.* (2013), a proximidade do Oceano Atlântico com a Serra do Mar, constitui uma barreira para a penetração das frentes polares, ocasionando tempestades intensas.

A seguir apresentam-se os resultados dos mapeamentos através da interpolação por *krigagem*:

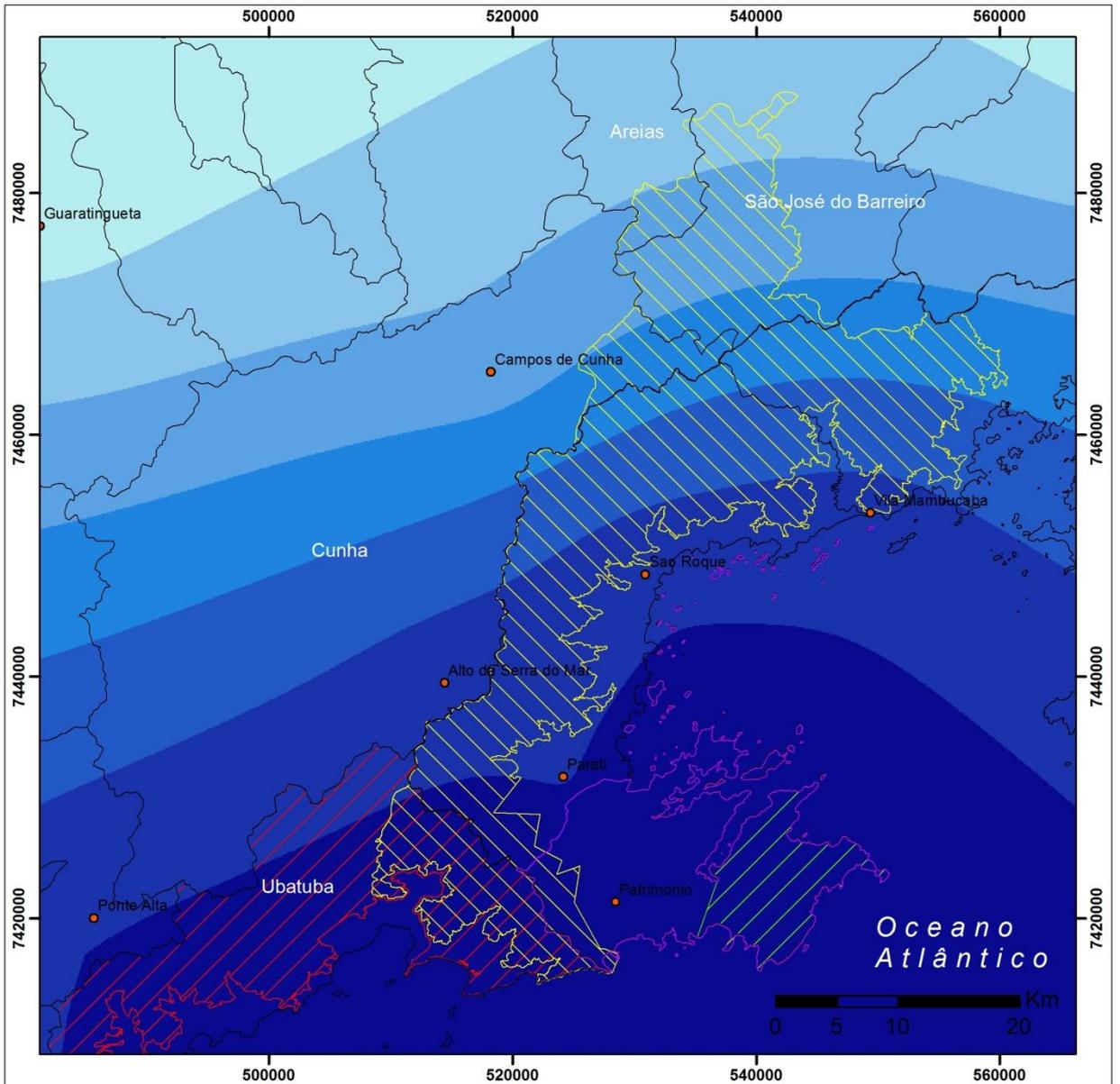
Os valores de precipitação média anual (Fig. 26) variaram de 1334 mm na estação Bananal a 2328 mm na estação São Roque, enquanto na *krigagem* os valores variaram de 1658 mm a 2011 mm, portanto uma diferença de mais de 300 mm para mais e para menos.

A precipitação média mensal (Fig. 27) variou de 111 mm na estação Bananal a 194 mm na estação São Roque, enquanto a variação da *krigagem* ficou entre 138 mm a 167 mm.

Os valores do outono (Fig. 28) ficaram bem próximos em relação ao mínimo (170 mm média e 177 mm *krigagem*) enquanto que os valores máximos ficaram muito distantes (429 mm média e 392 mm *krigagem*).

A variação da precipitação média do inverno (Fig. 29) variou de 128 mm a 333 mm e para a *krigagem* de 152 mm a 317 mm.

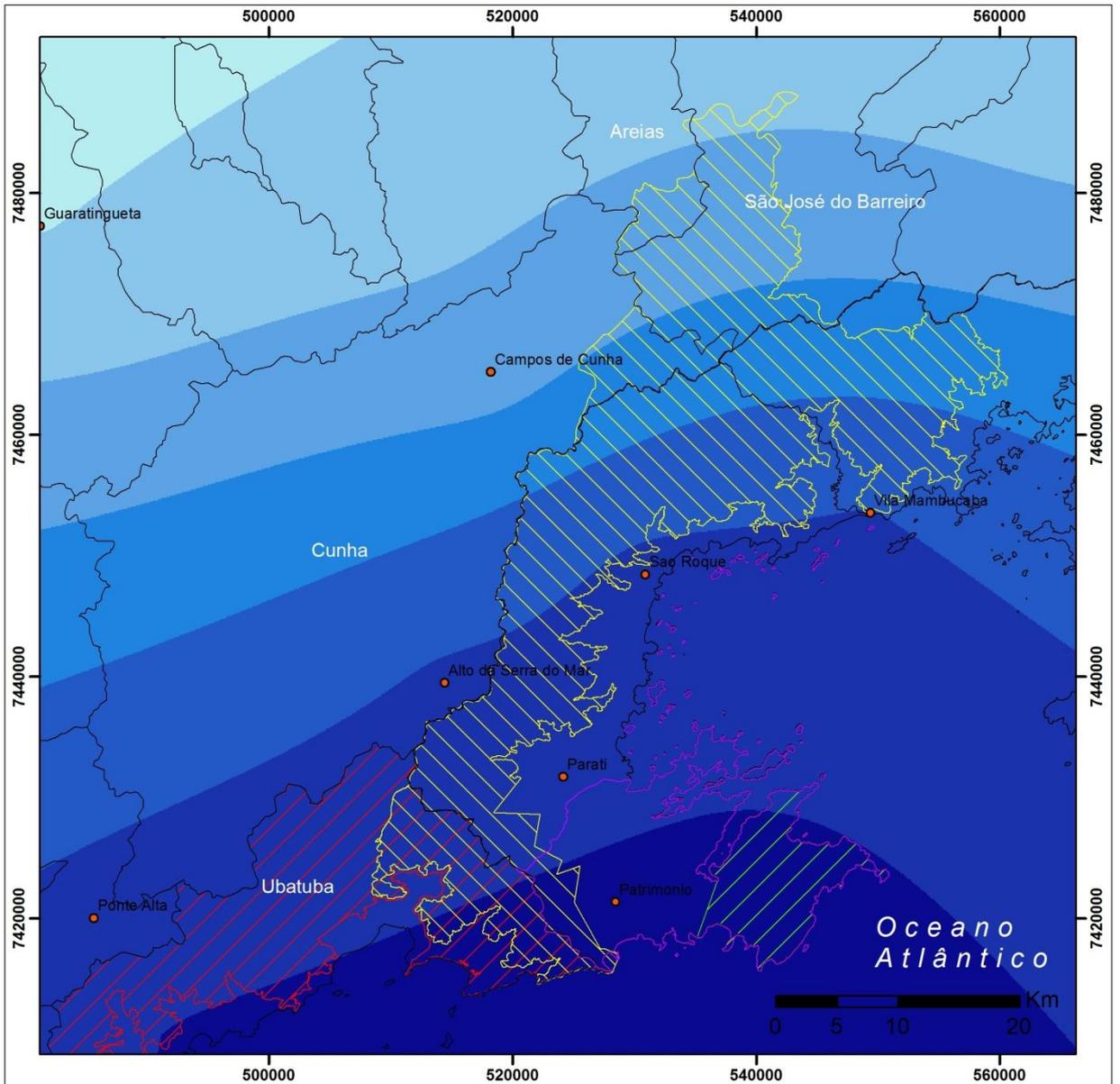
Essa variação pode ser explicada, em grande parte pela tendência que a *krigagem* apresenta, “achatando” os valores máximos e mínimos, características próprias do interpolador que fogem do escopo desta dissertação.



Distribuição Pluviométrica - Anual



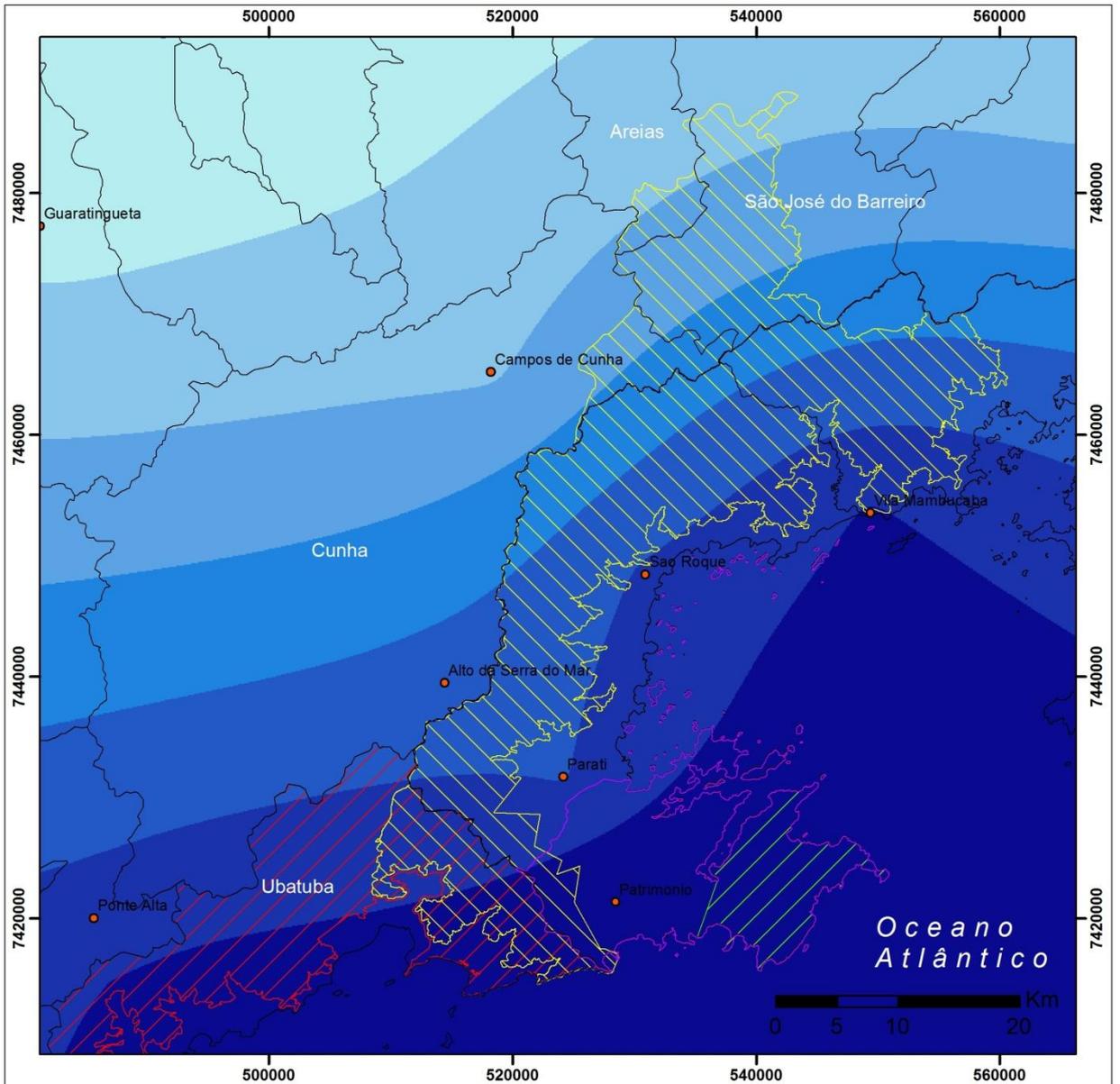
Figura 26. Distribuição pluviométrica anual



Distribuição Pluviométrica - Mensal



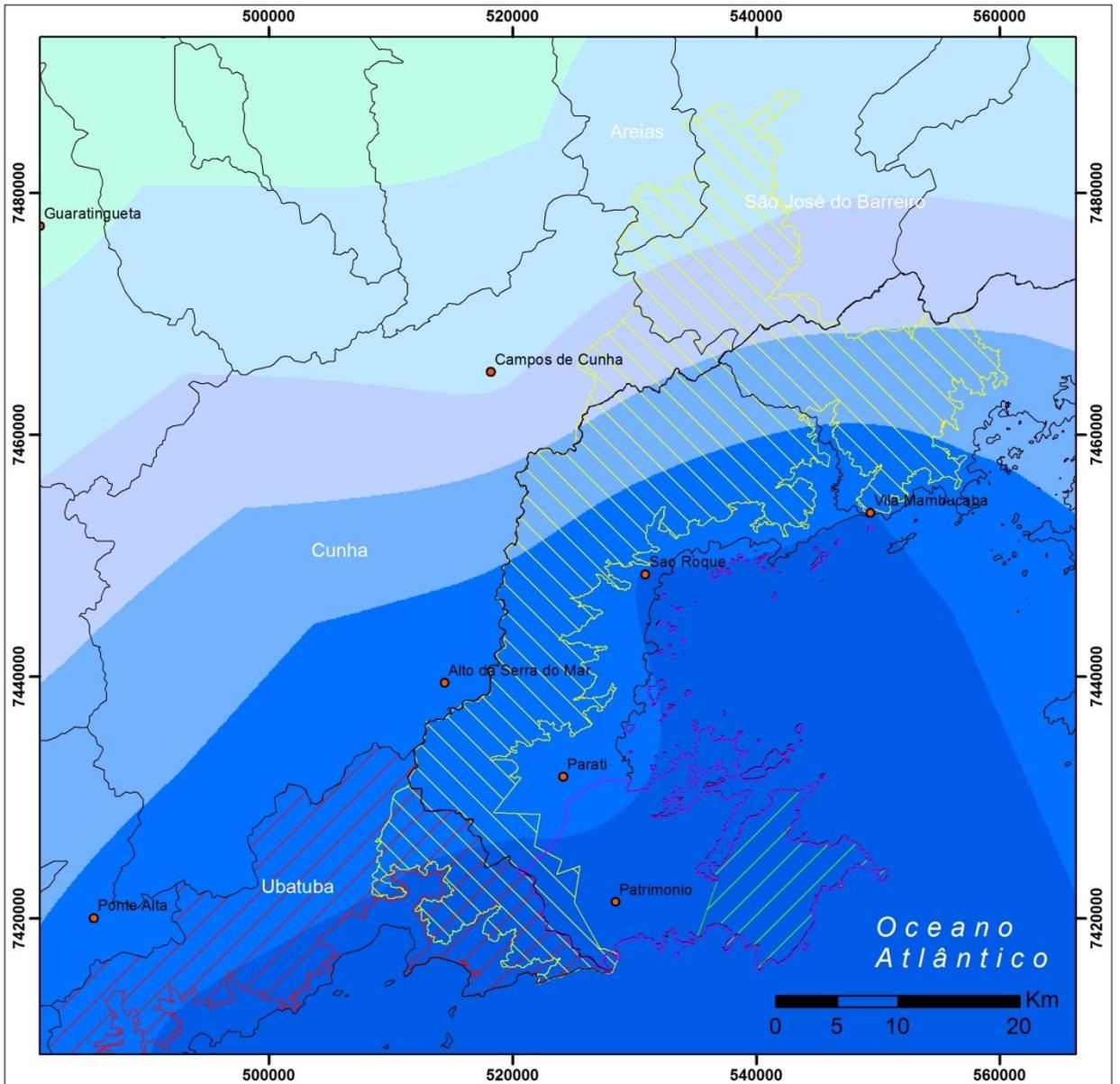
Figura 27. Distribuição pluviométrica mensal



Distribuição Pluviométrica - Outono



Figura 28. Distribuição pluviométrica outono



Distribuição Pluviométrica - Inverno



Figura 29. Distribuição pluviométrica inverno

7.5 Mapeamentos

A seguir são apresentados os mapas de Modelo Digital de Elevação, declividade das encostas, forma das encostas, pontos de saída d'água, uso e cobertura do solo e suscetibilidade à erosão dos solos na Bacia do rio Perequê-Açú.

Através do Modelo Digital de Elevação foi possível visualizar a morfologia do relevo da Bacia do rio Perequê-Açú, calcular com maior precisão a superfície da bacia, analisar a hipsometria e principalmente a declividade da estrada, como segue na Figura 30, além de realizar um perfil topográfico (Fig. 31). A área da bacia corresponde a 119,833 km².

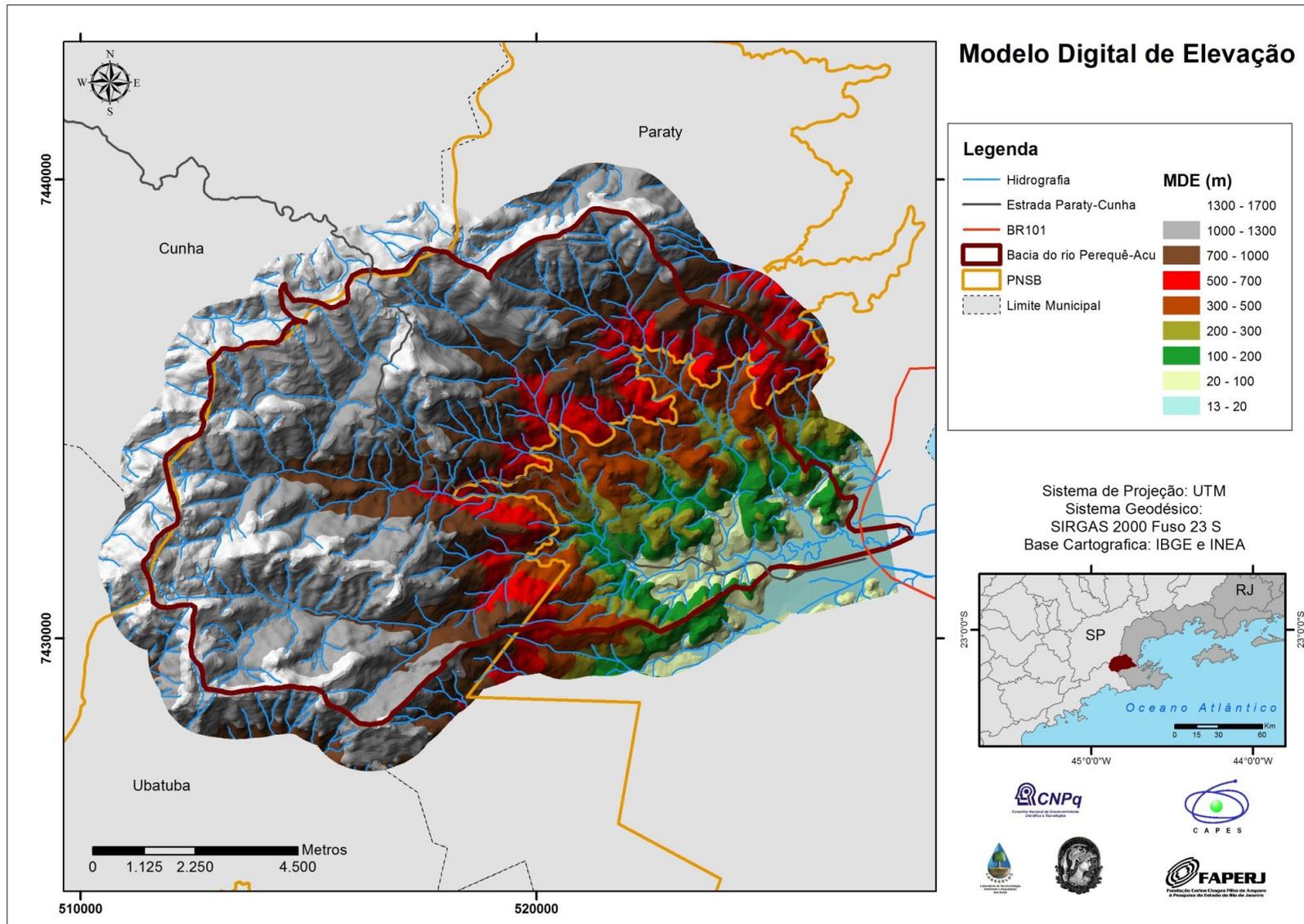


Figura 30. Modelo Digital de Elevação

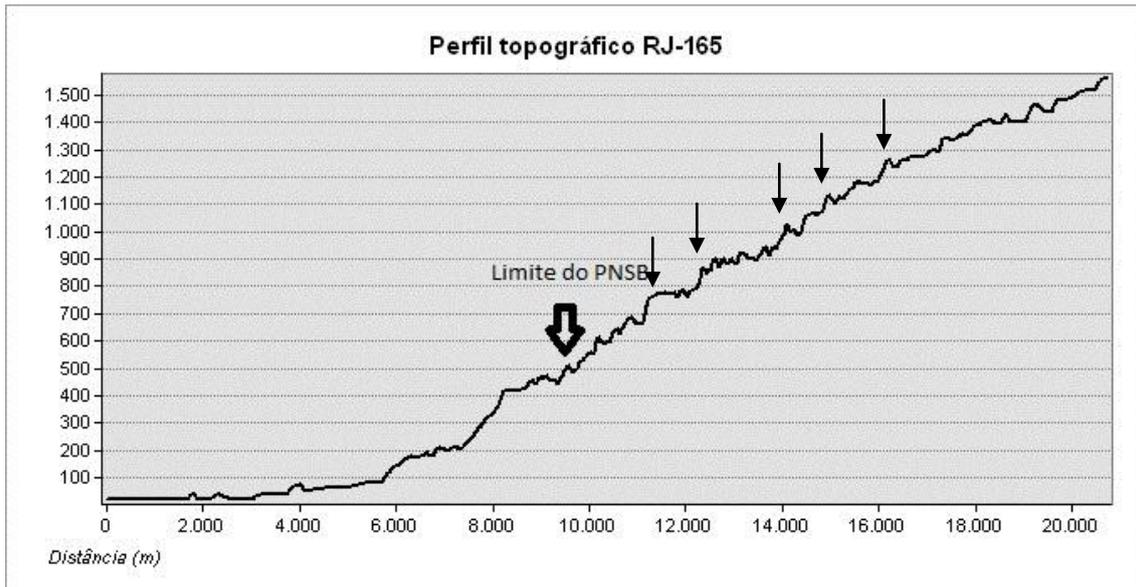


Figura 31. Perfil topográfico da Estrada Paraty-Cunha

Os pontos indicados pelas setas simples são os mais críticos em relação à declividade: próximo aos km 11, 12, 14, 15 e 16.

A seguir é apresentado o mapa com os pontos de saída d'água da estrada (Fig. 32). No total foram contabilizados 121 pontos, que contribuem de forma muito significativa para o aporte de sedimento da estrada em direção aos corpos hídricos da bacia do rio Perequê-Açú.

Mais adiante seguem os mapas de formas das encostas (Fig. 33), declividade (Fig. 34), uso e cobertura do solo (Fig. 35) e suscetibilidade à erosão (Fig. 36) com seus respectivos comentários descritos de forma a explicar os resultados obtidos.

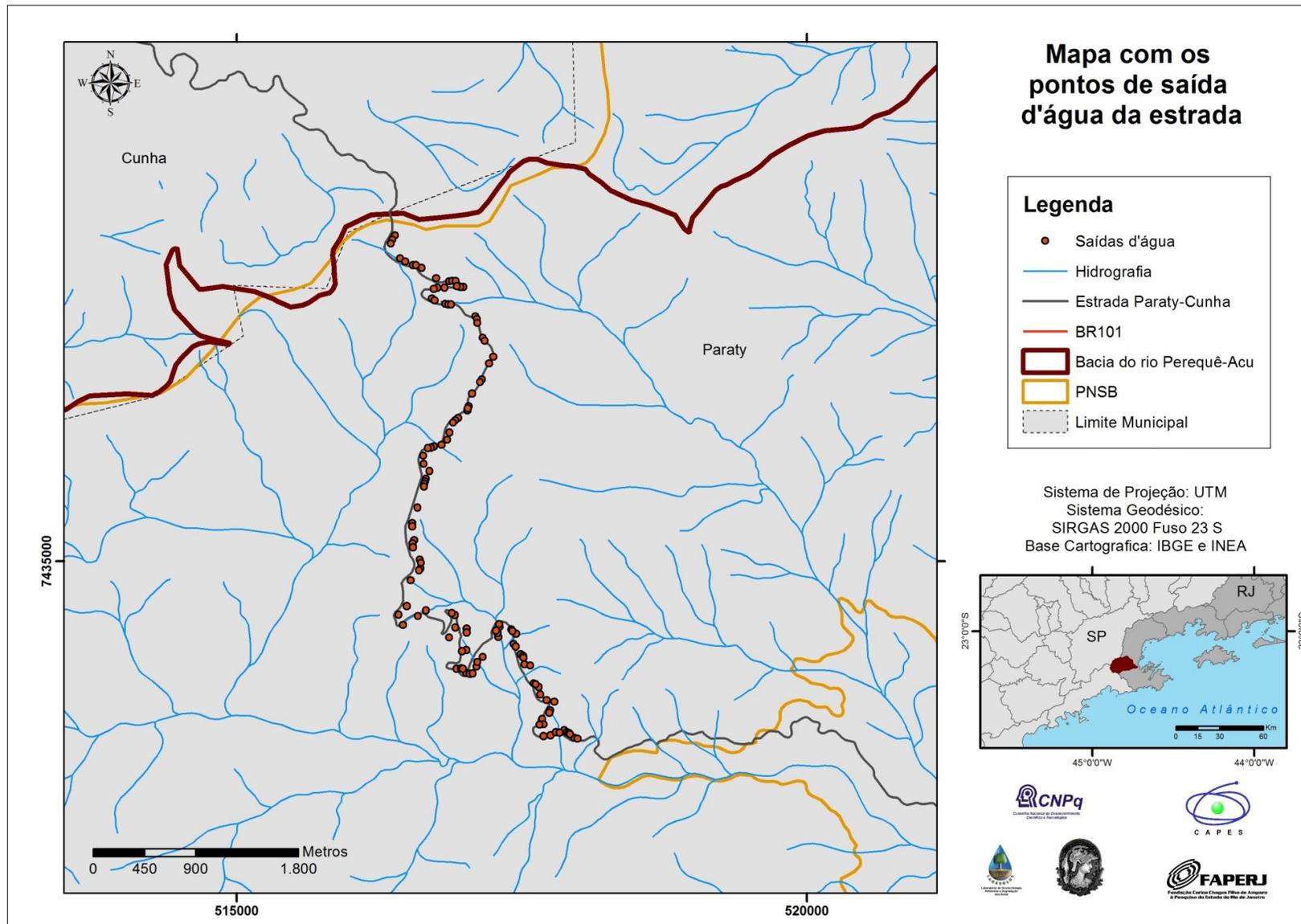


Figura 32. Pontos de saída d'água da estrada

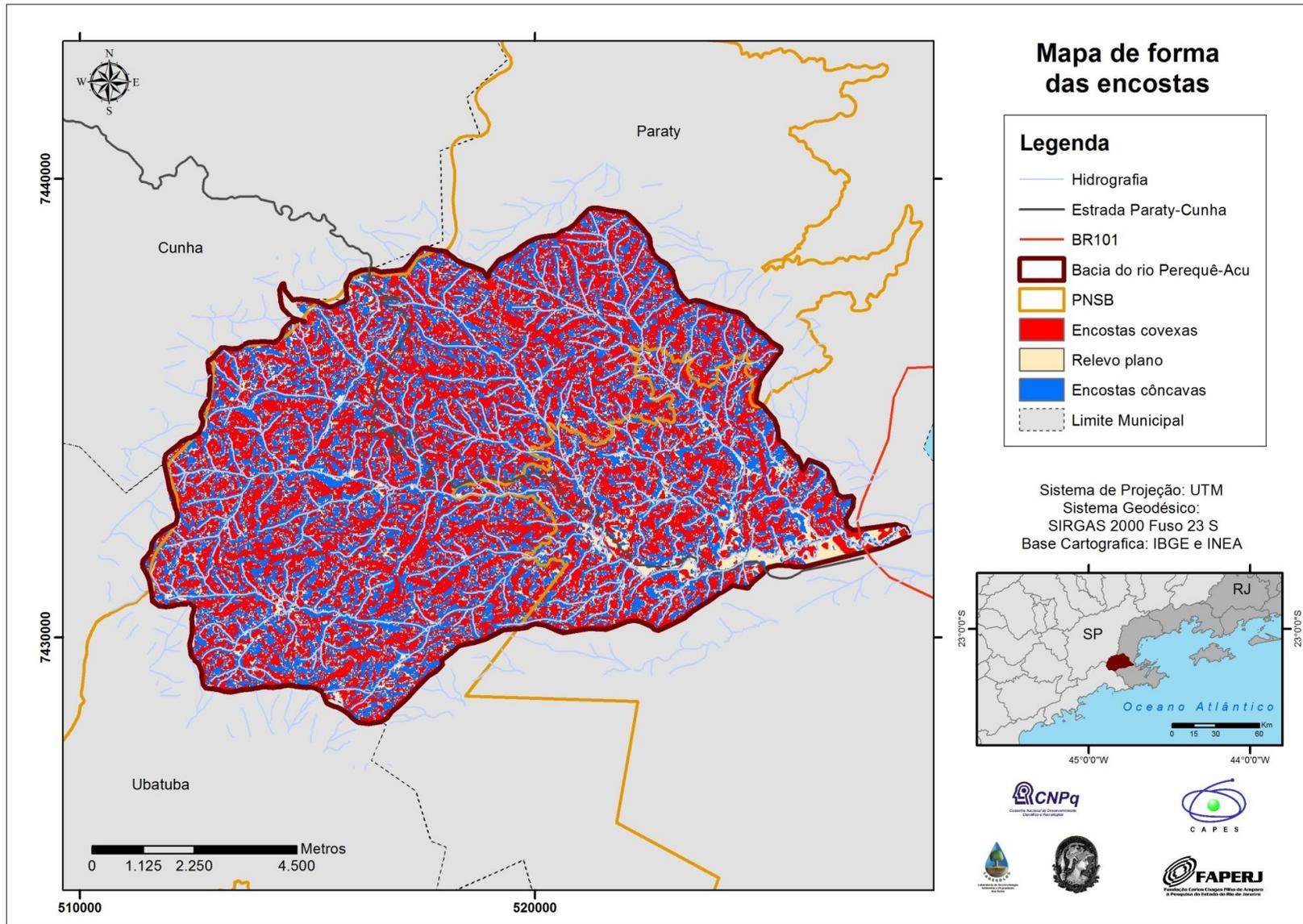


Figura 33. Mapa de forma das encostas

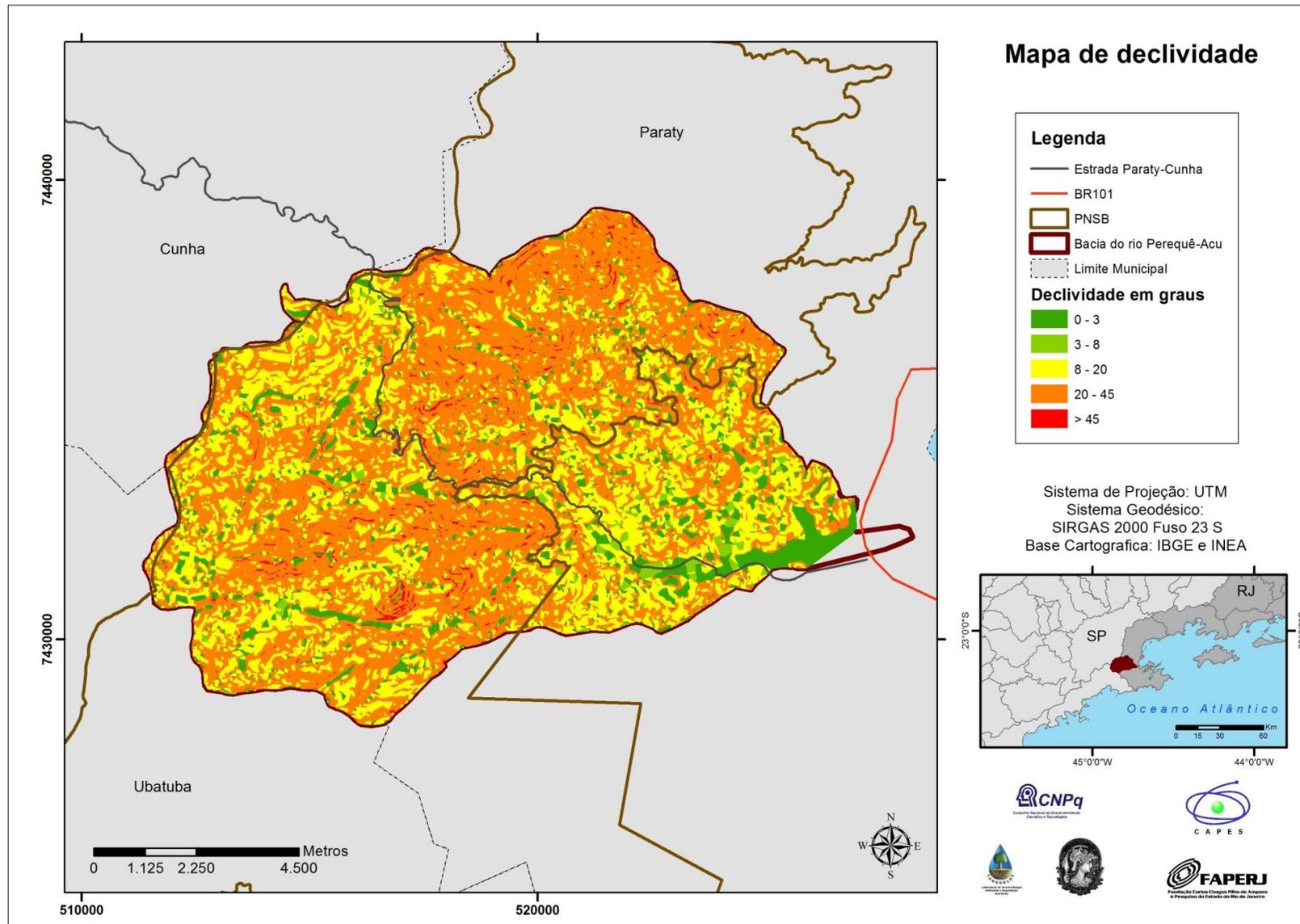


Figura 34. Mapa de declividade

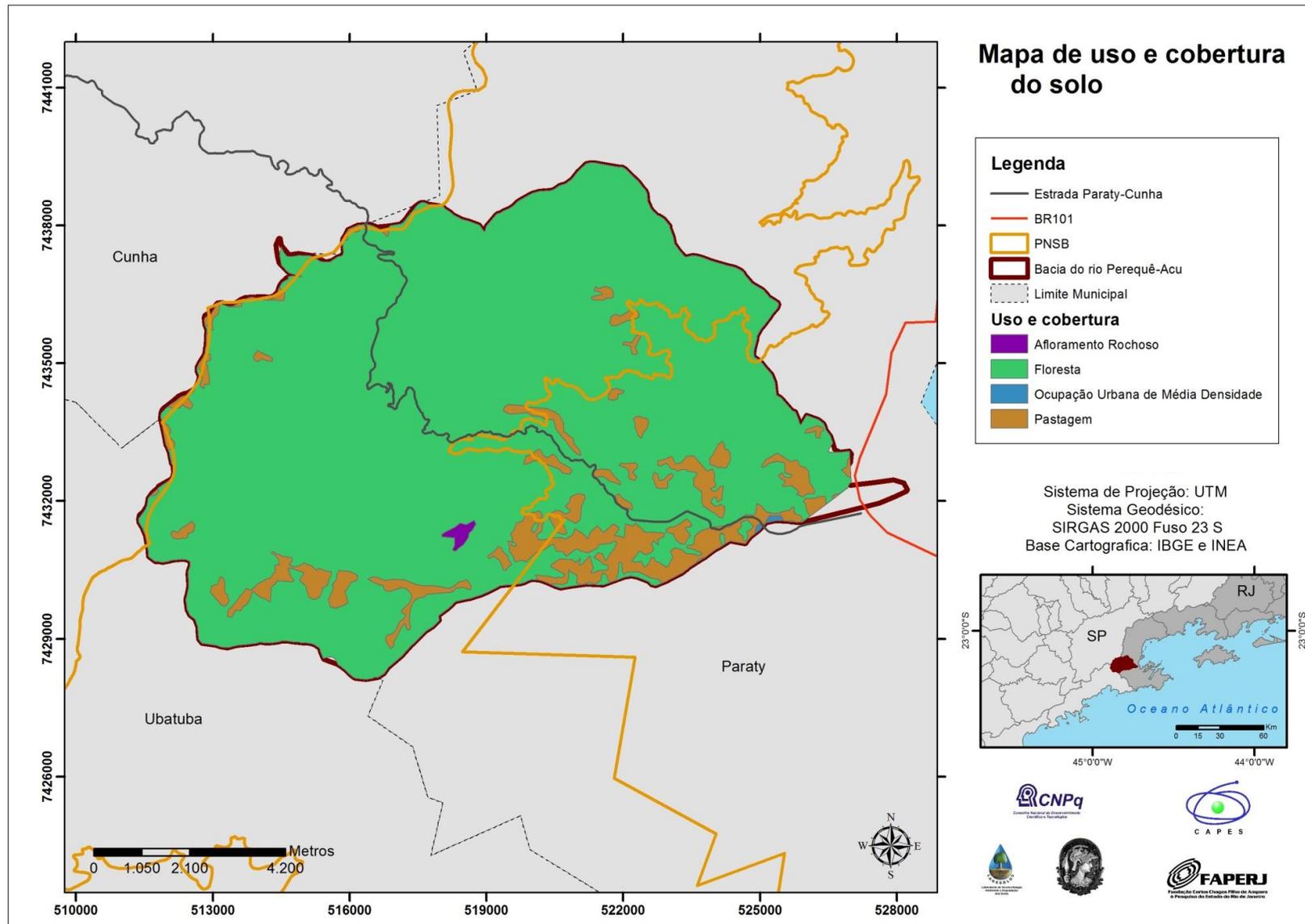


Figura 35. Mapa de uso e cobertura do solo. Fonte INEA, 2010

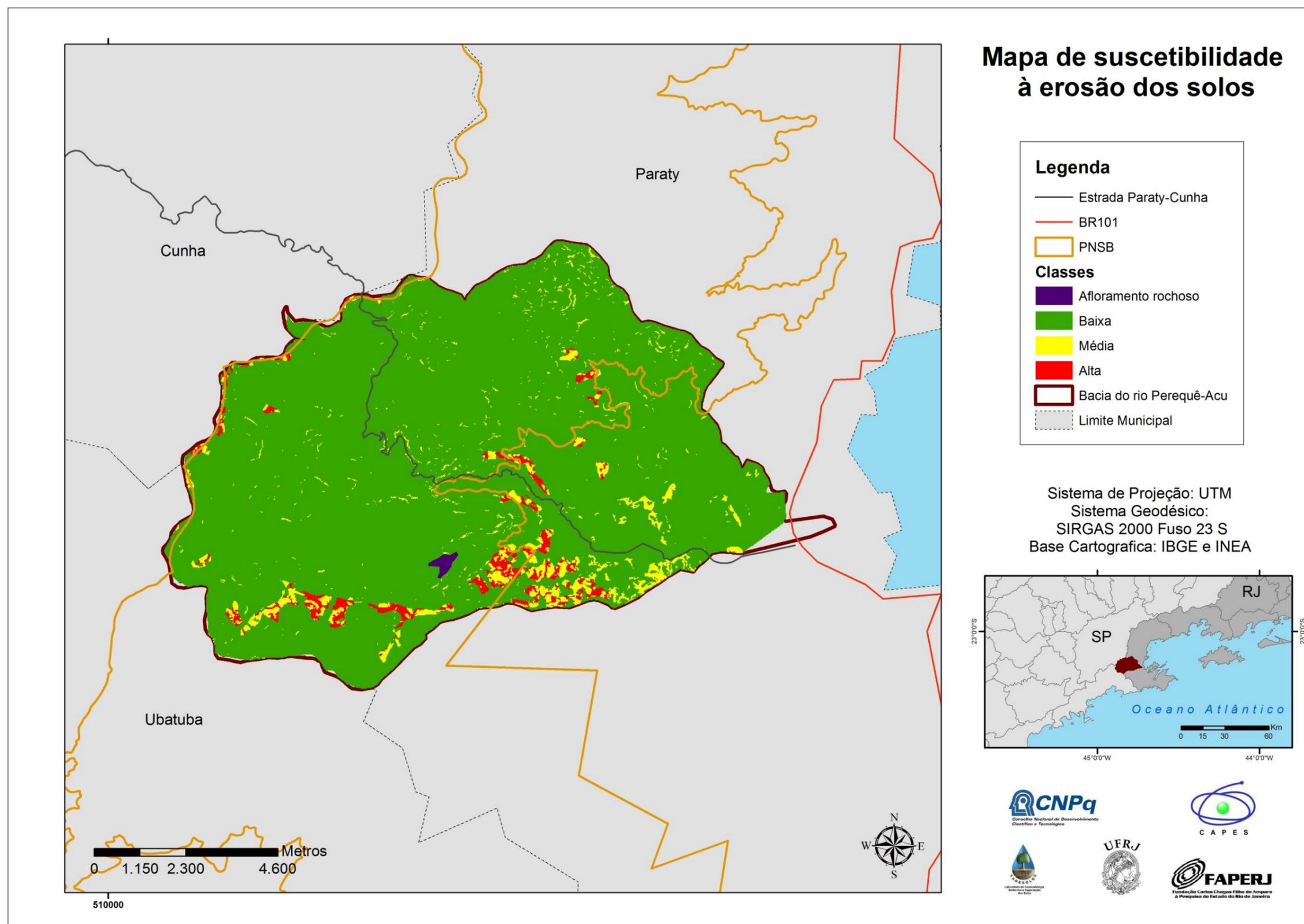


Figura 36. Mapa de suscetibilidade à erosão dos solos

Os fatores levados em consideração para a avaliação do mapa de suscetibilidade à erosão do solo foram baseados de forma subjetiva, porém dentro de um conhecimento técnico sobre o comportamento do solo frente aos processos erosivos (Tab. 13, 14 e 15).

Tabela 13. Classes de solos da Bacia do rio Perequê-Açú

Solos		
Classes	Área (km²)	%
Cambissolo	76,5	70,6
Latossolo vermelho-amarelo	11,5	10,6
Neossolo litólico	20,4	18,8

Em relação às associações de classes mapeadas podem ser descritas as seguintes considerações:

- Cambissolo Háptico Tb Distrófico: solos pouco desenvolvidos, com horizonte B incipiente, possuem argila de atividade baixa e baixa saturação por bases; são constituídos por diversos tipos de materiais, podendo ser mais rasos ou profundos, geralmente são solos em estágio de transição apresentando material instável (EMBRAPA, 2009), possuem de média a forte suscetibilidade a erosão (ROSS, 1997).
- Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico: solos mais profundos, bem intemperizados (EMBRAPA, 2009), apresentam maior capacidade de infiltração de água, ocorrem em áreas de menores declividades, logo são menos propensos a erosão.
- Neossolo Litólico Distrófico: solos pouco evoluídos, com material mineral ou orgânico inferior a 20 cm de espessura, assentados diretamente sobre a rocha ou horizonte C (EMBRAPA, 2009). São críticos em relação aos processos erosivos, tendo em vista que estão muitas vezes em altas declividades.

Os Cambissolos e Neossolos encontram-se sobre as maiores declividades, representam 70% e 19% da área da bacia, respectivamente. Os Latossolos predominam nas áreas de baixadas ocupando apenas 11% da área. Esta distribuição representa grau elevado de suscetibilidade, sobretudo quando combinado com os outros fatores controladores da erosão.

Tabela 14. Classes de uso e cobertura do solo da bacia do rio Perequê-Açú

Uso e cobertura do solo		
Classes	Área (km²)	%
Afloramento Rochoso	0,2	0,2
Ocupação urbana de média densidade	0,06	0,1
Floresta	98,9	91,2
Pastagem	9,3	8,6

No mapa de uso e cobertura são encontradas as seguintes classes com suas respectivas características:

- **Florestas:** constituem o tipo de cobertura que mais protege o solo frente aos processos erosivos, permitindo maior capacidade de infiltração de água no solo, proteção da superfície frente ao impacto da chuva e fixação mecânica do solo com raízes profundas. Sua cobertura diminui muito o efeito dos outros fatores controladores da suscetibilidade, como a declividade, podendo até mesmo anular esta. Cobre praticamente toda a bacia do rio Perequê-Açú (91%), entretanto sua retirada pode ser crítica para o desencadeamento do processo erosivo, tendo em vista as grandes declividades e a erodibilidade dos solos.
- **Pastagens:** deixam o solo mais desprotegido, pois sua capacidade de contenção da erosão é reduzida, principalmente se houver gado, cujas atividades compactam o solo. Cobrem 9% da bacia.
- **Ocupação urbana de média densidade:** apresenta proteção intermediária do solo, tendo em vista que a área de fato ocupada encontra-se impermeabilizada por telhados e concreto, entretanto seu entorno pode apresentar solo exposto. Apresenta apenas 0,1% de cobertura.
- **Afloramento rochoso:** cobrem 0,2% da bacia e não fornecem materiais significativos para a erosão.

Tabela 15. Classes de declividade da bacia do rio Perequê-Açú

Declividade		
Classes	Área (km ²)	%
0 - 3°	10,1	9,3
3 - 8°	1,5	1,4
8 - 20°	35,6	32,8
20 - 45°	59,6	54,9
> 45°	1,8	1,7

Quanto à declividade predominam as altas classes de 20-45° (55%) e de 8-20° (33%). A classe superior a 45° (1,5%) ocorre nas escarpas dos paredões da Serra do Mar, enquanto as menores declividades estão nas planícies a leste, próximas a entrada de Paraty. Mais uma vez, representatividade crítica em relação à suscetibilidade a erosão.

O mapa de suscetibilidade à erosão apresentou três classes de suscetibilidade, além da classe afloramento rochoso (0,2% de cobertura):

- Baixa: representam 93% da área, ocorrem em declividades variadas, nas baixadas e fundos de vales, com predominância do Latossolo ou cobertura de florestas.
- Média: ocupa 4,5% da bacia, ocorrendo principalmente nas pastagens e Cambissolos e também nas declividades acentuadas.
- Alta: ocorrem em declividades acentuadas principalmente nos Cambissolos sob as áreas de pastagem. Cobrem 2,3% da área.

A partir dos dados gerados do mapa de suscetibilidade à erosão, podemos inferir que a estrada Paraty-Cunha constitui um dilema em relação à preservação ambiental do PNSB. As margens da estrada são classificadas de média a baixa suscetibilidade à erosão, muito em função da boa preservação, mas alguns trechos próximos à entrada do parque cobertos por pastagens representam de média a alta suscetibilidade, requerendo atenção, visto que esta é a área de amortecimento. Neste sentido a retirada da cobertura vegetal pode ser crítica para o início do processo erosivo. O leito da estrada em si é extremamente suscetível à erosão, principalmente sob tráfego intenso, cuja ação compacta o solo, desencadeando o escoamento superficial.

7.6 Correlação entre as variáveis do processo erosivo

A seguir é apresentada uma tabela com os fatores controladores do processo erosivo levantados neste trabalho. O objetivo na montagem desta tabela foi sintetizar as características estudadas neste trabalho, de modo que cada ponto possa ser comparado quanto à sua maior ou menor suscetibilidade de acordo com seus fatores controladores.

Tabela 16. Fatores de influência na erosão

Amostra	Fatores de influência na erosão												
	Produção de sedimento (kg/ha)	Runoff (L)	Suscetibilidade (mapa)	Pluviometria anual (mm)	Classe de solo	Geomorfologia	Declividade (°)	Textura	Areia fina + silte (g/kg)	Densidade real (g/cm³)	pH	Forma da encosta	Matéria Orgânica (%)
PA	99,3	134,8	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	20-45	Franco-arenosa	516	sd	3,96	Côncava	1,7
PB	3071,6	158,1	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras isoladas e locais	0-3	Franco-arenosa	603	sd	4,67	Côncava	0,4
PC	17292,5	153,2	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	8-20	Areia franca	323	sd	3,46	Côncava	0,5
PD	1721,7	135,3	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	20-45	Areia franca	290	sd	4,86	Côncava	0,4
PE	401,1	138,8	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	8-20	Franco-arenosa	420	sd	4,71	Côncava	0,8
P1 E 0-20	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Franco-arenosa	383	1,8	5,47	Côncava	0,8
P1 E 20-40	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Franco-arenosa	413	sd	5,50	Côncava	sd
P1 F 0-20	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Franco-arenosa	458	1,1	5,29	Côncava	2,4
P1 F 20-40	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Franco-arenosa	449	sd	5,16	Côncava	sd
P2 E 0-20	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Areia franca	415	1,8	5,88	Côncava	0,4
P2 E 20-40	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Areia franca	402	sd	6,00	Côncava	sd
P2 F 0-20	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Areia franca	624	1,6	6,07	Côncava	0,4
P2 F 20-40	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Areia franca	457	sd	6,18	Côncava	sd
P3 E 0-20	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Franco-arenosa	455	1,6	5,88	Convexa	0,2
P3 E 20-40	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Franco-arenosa	493	sd	6,00	Convexa	sd
P3 F 0-20	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Franco-arenosa	451	1,3	5,21	Convexa	1,4
P3 F 20-40	sd	sd	Média	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	>45	Franco-arenosa	604	sd	5,16	Convexa	sd
P4 E 0-20	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	0-20	Franco-arenosa	492	1,6	4,93	Convexa	0,4
P4 E 20-40	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	0-20	Franco-arenosa	433	sd	4,95	Convexa	sd
P4 F 0-20	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	0-20	Franco-arenosa	459	1,0	4,80	Convexa	1,6
P4 F 20-40	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	0-20	Franco-arenosa	400	sd	5,04	Convexa	sd
P5 E 0-20	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	20-45	Franco-arenosa	433	1,6	5,21	Convexa	0,7
P5 E 20-40	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	20-45	Franco-arenosa	576	sd	5,28	Convexa	sd
P5 F 0-20	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	20-45	Areia franca	607	1,0	5,40	Convexa	0,6

P5 F 20-40	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	20-45	Areia franca	440	sd	5,36	Convexa	sd
P6 E 0-20	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras isoladas e locais	20-45	Areia franca	408	1,4	5,22	Côncava	0,1
P6 E 20-40	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras isoladas e locais	20-45	Areia franca	645	sd	5,33	Côncava	sd
P6 F 0-20	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras isoladas e locais	20-45	Franco-arenosa	395	0,8	4,80	Côncava	0,2
P6 F 20-40	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras isoladas e locais	20-45	Franco-arenosa	230	sd	4,97	Côncava	sd
P7 E 0-20	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	8-20	Franco-argilo-arenosa	507	1,7	4,98	Côncava	sd
P7 E 20-40	sd	sd	Baixa	1900-1950	Cambissolo	Serras escarpadas	8-20	Franco-arenosa	367	sd	4,88	Côncava	sd

Continuação

8 CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que a erodibilidade da Estrada Paraty-Cunha se apresenta alta em alguns pontos, principalmente no setor intermediário da estrada dentro do PNSB. Como um todo, a área é altamente suscetível a erosão em condições não vegetadas. Em quase todos os aspectos estudados no presente trabalho, foram encontrados valores críticos no solo, como alta compactação, grande concentração de areia fina+silte, baixas taxas de carbono e matéria orgânica e pH ácido que, aliados as altas precipitações pluviométricas da região, geram altas taxas de escoamento superficial e remoção/transporte de sedimentos, dando origem aos processos erosivos.

Em relação aos pontos analisados, o trecho onde se insere o PC, localizado na parte intermediária da estrada, precisa de atenção especial, visto que os ensaios de erosão (Inderbitzen) demonstraram alta suscetibilidade deste ponto. No PA, apesar de apresentar aspectos críticos, como declividade acentuada (20-45°), altas concentrações de areia fina e silte (516 g/kg) e estar situada numa encosta côncava, obteve a menor perda de sedimentos no ensaio de Inderbitzen, comprovando a importância da matéria orgânica na composição do solo (1,7%), a maior concentração entre as amostras analisadas neste tipo de ensaio.

Dados gerados através de geoprocessamento como, por exemplo, o mapa de suscetibilidade a erosão precisam ser alimentados com dados mais precisos e confiáveis para se chegar a um resultado próximo a realidade e, se possível com dados de campo, – pluviometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, maior escala para o relevo e a hidrografia – sempre muito úteis à pesquisa.

Houve discrepância entre o volume removido de solo nos ensaios de Inderbitzen e a classificação de suscetibilidade através de geoprocessamento, o que de certa forma já era esperado, pois no mapa o foco foi a bacia, enquanto que nas análises dos pontos foi visada a estrada. Os resultados do mapa de suscetibilidade à erosão apontaram para todos os pontos do ensaio de Inderbitzen “baixa suscetibilidade à erosão”, exceto no PE que obteve “média suscetibilidade”, entretanto as perdas de sedimentos demonstraram-se muito altas. Neste sentido o presente mapa de suscetibilidade foi uma ferramenta que precisa ser aperfeiçoada com dados mais detalhados – maior escala dos mapas e inserção de elementos importantes como a estrada, por exemplo – tornando-o mais confiável.

Esta diferença entre o grau de suscetibilidade à erosão vista no mapa e nos ensaios de Inderbitezen, na verdade demonstra a importância do impacto causado pela inserção da estrada naquele ambiente. A conservação deste espaço ocupado pela estrada deve ter a máxima atenção.

A visão de Francisco Livino, chefe do PNSB que defende a conscientização da população através de visitas e do conhecimento da natureza do parque, assume uma posição de desenvolvimento sustentável ao permitir a conservação da Paraty-Cunha, pois resguarda a memória histórica da cidade de Paraty, beneficia a população e busca recursos para a preservação do parque.

As obras de melhorias na Estrada Paraty-Cunha levam em consideração vários aspectos ambientais, dentre eles o controle da erosão. O futuro da estrada caminha junto com o futuro do parque e neste sentido sua conservação se faz indispensável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A VOZ DA CIDADE. [Notícia]. Disponível em: <http://www.avozdacidade.com/site/page/noticias_interna.asp?categoria=3&cod=23482>. Acesso em: 04 jun. 2014.

ABRAHAMS, A. D. **Hillslope processes**. Londres, Inglaterra: Allenand Unwin, 1986.

AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ALERJ. **Decreto nº 40.979**. Define os parâmetros para o estabelecimento de Estradas-parque no Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/legislacao/docs/40979.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2014.

ALERJ. **Indicação Legislativa Nº 484/98**. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/scpro.nsf/b11e5bdf88a84f3c03256502005353e8/9f401bb0d1f85a16032566800079c0aa?OpenDocument>>. Acesso em: 04 jun. 2014.

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

ARDEN-CLARKE, C.; HODGES, D. Soil erosion: the answer lies in organic farming. **New scientist**, v.113, n.1547, p.42-43, 1987.

ARNÁEZ, J.; LARREA, V.; ORTIGOSA, L. Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeast Spain. **Catena**, Amsterdam, v.57, n.1, p.1-14, 2004.

ASMUS, H. E.; FERRARI, A.L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. In: PETROBRÁS. CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO. DIVISÃO DE INFORMAÇÃO TÉCNICA E PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1978, p. 75-88. (Série Projeto Remac, 4)

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Icone, 2005, 356p. (Coleção Brasil Agrícola).

BEZERRA, José Fernando Rodrigues. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga, São Luís – MA**. 2011. 249 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Departamento de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BOARDMAN, J. Erosion on the South Downs. **Soil and Water**, Wellington, v.12, n.1, p. 19-21, 1984.

BOARDMAN, J. Soil erosion at Albourne. **Applied Geography**, Oxford: Butterworth Heinemann, v.3, p.317-329.

BOARDMAN, J. Soil erosion on the Lower Greensand near Hascombe. **Journal Farnham Geology Society**, Surrey, v.1, n.3, p.2-8, 1982.

BOARDMAN, J. Soil erosion on the South Downs: a review. In: BOARDMAN J.;FOSTER, I.D.L; DEARING, J. (Ed.) **Soil Erosion On Agricultural Land**. Michigan: Wiley, 1990, p.87-105.

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**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.153-157, 2004.

BOUERI, J. Estrada Parque Paraty - Cunha. [**Trabalhos técnicos**] 1991.

BOUERI, J.; MARTINS, N. F.; FERREIRA, J. B. Programa de Sustentabilidade Ambiental da Estrada Paraty-Cunha. [**Trabalhos técnicos**]. Ibama: Universidade de Taubaté. 1997.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. Tradução de: Antônio B. Neiva Figueiredo. Título original: The nature and properties of soil.

BRASIL. Autoridade Nacional de Proteção Civil. **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal**. Disponível em <http://www.rcc.gov.pt/SiteCollectionDocuments/guia_metodologico_SIG-09.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2014.

BRASIL. **Decreto nº 68.172/1971**. 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: 05 jun. 2014.](#)

BRASIL. **Decreto nº 70.694/1972**. 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: 05 jun. 2014.](#)

BRASIL. Lei 9985, de 18 de julho de 2000. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Sistema Nacional de Unidades de Conservação–SNUC. **Cadernos da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**, 2. Ed. São Paulo: [s.n], 2000. (Série conservação e áreas protegidas, 18)

BRASIL. Lei nº 5917/1973. Plano Nacional de Viação. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5917.htm>. Acesso em 17 jul. 2014.

BRYAN, R. B. Water erosion by splash and the erodibility of Albertan soils. **Geografiska Annaler: Series A- Physical Geography**, [S.l]: v.56, p.159-181, 1974.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CAMARA, G. Análise Espacial de Superfícies. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (Eds.) **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: Embrapa, 2004. p.79-108.

CARVALHO FILHO, A. et al. **Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 1 mapa, color. Escala 1:250.000. Disponível em:< <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/sigweb.html>. > Acesso em: 05 jun. 2014.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1995.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B.(Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. cap. 3, p. 93-148.

COUSEN, S. M.; FARRER, P. J. The role of soil moisture content in the stability of soil aggregates from a temperature silty soil to raindrop impact. **Catena**, Amsterdam, v.11, p.313-320, 1984.

CUNHA, M. C. **Avaliação da eficácia das caixas de contenção de sedimento em estradas rurais não pavimentadas na bacia do rio das Pedras, Guarapuava-PR**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2011.

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

D'ÁVILA, A. L. M.; TERRA, F. S.; CORRAL, P. Materiais para uso em vias não-pavimentadas. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Grande, v.4, n.4, p.97-101, abr. 2004.

D'ÁVILA, W. P. S.; RIGO, D. Produção de sedimentos e escoamento superficial em estradas não pavimentadas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos: Água, desenvolvimento econômico e socioambiental, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

DANTAS, M. E. Mapa geomorfológico. Projeto Rio de Janeiro. Folha SF 23-Z-A/C Volta Redonda/Ilha Grande. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro, 2000. 1 mapa. Escala 1:

DE PLOEY, J. Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. In: RICHARDS, K. S.; ARNETT, R. R; ELLIS, S. (Ed.). **Geomorphology and Soils**. Londres: George Allen & Unwin, 1985. p. 99-120.

DE PLOEY, J. Crusting and time-dependent rainwash mechanisms on loamy soil. In: MORGAN, R. P. C. (Ed.). **Soil Conservation: Problems and Prospects**. Michigan: J. Wiley, 1981. p. 139-152.

DE PLOEY, J. Experimental data on runoff generation. In: SWAIF, S. A; MOLDENHAUER W. C.; Lo, A. (Ed.). **Soil erosion and conservation**. Madison: Soil Conservation Society of America, 1985. p. 528-539.

DE PLOEY, J. Some experimental data on slopewash and wind action with reference to Quaternary morphogenesis in Belgium. **Earth Surface Process**, n. 2, p.101-115, 1977.

DIETRICH, W. E.; DUNNE T. The channel head. In: BEVEN, K.; KIRKBY, M. J. (Eds.). **Channel Network Hydrology**. Chichester: Wiley, 1993. p.175-219.

DIKAU, R. **Experimentelle Untersuchungen zu Oberflächenabfluss und Bodenabtrag von Messparzellen und landwirtschaftlichen Nutzflächen**. Geographischen. Heidelberg: Intitutes der Universität Heidelberg, 1986. 195 p.

DUFF, M. J. **Evaluation of road erosion prediction models applied to unpaved roads in small tropical watershed in Eastern Brazil**. 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado) – Master of Science in Biological Systems Engineering, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2010.

EBISEMIJU, F. S. Sediment delivery ratio prediction equations for short catchment slopes in a humid tropical environment. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 114, p.191-208, 1990.

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**, São Paulo, v. 36, n.3, p. 426-436, 2006.

ELLIOT, W. J.; FOLTZ, R. B.; C. H. LUCE. Modeling low-volume road erosion. **Transportation Research Record**, Washington, n. 1652, p. 244-249, 1999.

ELLIOT, W. J.; FOLTZ, R. B.; LUCE, C. H. (1995). Validation of Water Erosion Prediction Project (WEPP) model for low- volume forest roads. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOW-VOLUME ROADS, 6., 1995, Washington. **Anais...** Washington, D. C.: National Academy Press, 1995, p. 178-186.

ELLIOT, W. J.; HALL, D. E.; SCHEELE, D. L. WEPP Interface for Predicting Forest Road Runoff, Erosion, and Sediment Delivery Technical Documentation. **Rocky Mountain Research Station (RMRS)**, Estados Unidos, 1999

ELLIOT, W. J.; HALL, D. E.; GRAVES, S. R. Predicting sedimentation from forest roads. **Journal of Forestry**, Washington, v. 97, n. 8, p. 23-29, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2. ed., 2009. 306p.

ESTRADA REAL. Disponível em .<<http://site.er.org.br//index.php/apresentacao/index/4> .> . Acesso em : 02 ma. 2014.

EVANS, R. Water erosion in British farmers' field: some causes, impacts, predictions. **Progress in Physical Geography**, Londres, v. 14, n. 2, p.199-219, 1990.

FÁCIO, J. A., (1991), **Proposição de uma Metodologia de Estudo da Erodibilidade dos Solos do Distrito Federal**, Dissertação de M.Sc., Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

FARMER, E. E. Relative detachability of soil particles by simulated rainfall. **Soil Science Society American Proceedings**, v.37, p. 629-633, 1973.

FERREIRA, J. B. **Estudo de Interação entre Rodovias do Vale do Paraíba e Meio Ambiente**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

FERREIRA, J. B. **O Desenho Ambiental Aplicado a Sistemas Viários: A Utilização de Zonas Ambientais de Uso compartilhado (ZAUCS) para a solução de conflitos viários - ambientais**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002 .

FROEHLICH, W. Sediment dynamics in the Polish Flysch Carpathians. In: I. D. L. FOSTER; A. M. GURNELL; B. W. Webb. (Eds.). **Sediment and Water Quality in River Catchments**. Nova York: John Wiley and Sons, 1995, p. 453–461.

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

FUNDAÇÃO DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO RIO DE JANEIRO. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA/RIMA: Pavimentação da Estrada Paraty-Cunha (RJ-165)**. Rio de Janeiro, 1990.

GOUDIE, A. S.; VILES, H. **The Earth Transformed: An introduction to human impacts on the environment**. Oxford: Oxford University Press. 1997. 276 p.

GOVERS, G.; POESEN, J. (1988). Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an upland field plot. **Geomorphology**, Amsterdam, v.1, p.343-354, 1988

GREENLAND, D. J.; RIMMER, D.; PAYNE, D. Determination of the structural stability class of English and Welsh soils using a water coherence test. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 26, p.294-303, 1975.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A . Controle da erosão em estradas não pavimentadas. In: PRUSKI, F. F. (Org.). **Conservação de Solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 166-215.

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

GUERRA, A. J. T. Avaliação da influência das propriedades do solo na erosão com base em experimentos utilizando um simulador de chuvas. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 4., 1991, Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre, 1991. p. 260-266.

GUERRA, A. J. T. et al. 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. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. Cap. 3, p. 149-209.

GUERRA, A. J. T. **Soil characteristics and erosion, with particular reference to organic matter content**. 1991. 441 p. Tese (Doutorado) - Universidade de Londres, Londres.1991.

GUERRA, A. J. T. The effect of organic matter content on soil erosion in simulated rainfall experiments in W. Sussex, U. K. **Soil Use and Management**, Inglaterra, v.10, p.60-64, 1994.

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

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. S. K. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 225-256, 2004.

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

HAIGH, M. J., RAWAT, J. S., BARTARYA, S. Environmental correlations of landslides frequency along new highways in the Himalaya: preliminary results. **Catena**, v. 15, p. 539-553, 1988.

HUDSON, N. W. An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of sub-tropical rainfall. **Proc. Trans. Rhod. Sci. Ass.**, v. 49, p. 15-25, 1961.

IDORALDO JÚNIOR, D. G. Estradas rurais: componente mobilizador do PEMH. In: FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 2., 2006, São Paulo. **Anais...** Tupã: São Paulo, 2006.

IMESON, A. C.; JUNGRIUS, P. D. Aggregate stability and colluviation in the Luxembourg Ardennes: an experimental and micromorphological study. **Earth Surface Process**, v.1, p.259-271, 1976.

INDERBITZEN, A. L. An Erosion Test for Soil. **Materials Research and Standards**, v.1, n.7, 1961. Technical Note.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL; FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA A CONSERVAÇÃO DA NATUREZA. **Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil: II Etapa**. 1982

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Diretoria de Unidades de Conservação de Proteção Integral. **Relatório de Monitoria: Etapa I. Área Estratégica Interna Caminhos do Ouro (Estrada Paraty-Cunha)**. Parque Nacional da Serra da Bocaina. 2010.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Uso e cobertura do solo do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2010. 1 mapa. INEA/DIMAM/GEOPEA. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/basetematica_estadoambiente/>. Acesso em: 17 abr. 2014.

JENKINSON, D. S. The Rothamsted long-term experiments: are they still of use? **Agron**, v. 83, p. 2-10, 1991.

JORDÁN, A.; ZAVALA, L. M.; MATAIX-SOLERA, J.; DOERR, S. T. Soil water repellency: Origin, assessment and geomorphological consequences. **Catena**, v. 108, p. 1-5, 2013

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985.

JORGE, J. A. Matéria orgânica. In: MONIZ, A. C. (Org.). **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 169-177.

KALINNY P. V. L.; CANTALICE, J. R. B.; COUTINHO, R. Q. Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, 2011.

KIRKBY, M. J. **Modelling water erosion process**. Leeds: School of Geography, 1980. p. 183-216.

KIRKBY, M. J. The problem. In: KIRKBY, M. J. e MORGAN, R. P. C. (Org.). **Erosion de suelos**. México: Limusa, 1980. p.15-30.

LIMA, F. S. **Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Boa Esperança-Nova Friburgo (RJ)**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 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**. 2008. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

LIMA, M. P. **Auxílio Multicritério à Decisão na Avaliação Econômica, Social e Ambiental da RJ-165, Paraty-Cunha**. 1991. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. 1991

LOUREIRO, H. A. S. et al. Soil Erodibility and Monitoring at a Gully in São Pedro River's Drainage Basin, Macaé Municipality, Rio de Janeiro State – Brazil. In: REGIONAL GEOGRAPHIC CONFERENCE, 2011, Santiago. **Anais...** Santiago, 2011.

LOUREIRO, H. A. S. **Monitoramento e diagnostico de áreas degradadas na bacia hidrográfica do rio São Pedro (RJ): estudos experimentais em voçoroca e utilização de geotexteis de fibra de bananeira**. 2013. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LUCE, C. H.; BLACK T. A. Sediment production from forest roads in western Oregon. **Water Resources Research**, v.35, n. 8, p. 2561-2570, 1999.

LUCE, C. H.; BLACK, T. A. Spatial and temporal patterns in erosion from forest roads. **Water Science and Application**, Washington, v. 2, p. 165-178, 2001.

LUK, S. H. Effect of soil properties on erosion by wash and splash. **Earth surface processes**, Sussex, v.4, p.241-255, 1979.

MACDONALD, L. H.; SAMPSON, R. W.; ANDERSON, D. M. Runoff and road erosion at the plot and road segment scales. **Earth Surface Processes and Landforms**, St. John, v. 26, p.251-272, 2001.

MACEDO, R. K. A importância da avaliação ambiental. In: TAUKE-TORNISIELO, S. M.; GOBBI, N.; FOWLER, H. G (Orgs.). **Análise Ambiental: Uma visão Multidisciplinar**. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: UNESP, 1995.

MARTINS, N. F. **A Interação Rodovia Ambiente na interface Urbano-Rodoviária**. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

MENDES, C. A. R. **Erosão Superficial em Encosta Íngreme sob Cultivo Perene e com Pousio no Município de Bom Jardim**. Tese (Doutorado), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006

MMA. **Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina**. Ministério do Meio Ambiente, 2002

MONTEBELLER, C. A. et al. Estimativa de índices de erosividade obtidos a partir de dados pluviométricos para o estado do Rio de Janeiro - 2ª aproximação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria: UFSM, 2004.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3.ed. Inglaterra: Blackwell Publishing, 2005, p.304.

MORGAN. R. P. C. Establishment of plant cover parameters for modeling splash and detachment. In: EL-SWAIF, S. A.; MOLDENHAUER, W. C. (Orgs.). **Soil erosion and conservation**. Wisconsin: Soil Conservation Society of America, 1985, p.377-383.

MORGAN. R. P. C. Field studies of rainsplash erosion. **Earth Surface Process**, Sussex, v.3, p. 295-299, 1978.

MORGAN. R. P. C. Field studies of sediment transport by overland flow. **Earth Surface Process**, Sussex, v.5, p.307-316, 1980.

MOTTA, J. P. L.; LIMA, M. P.; MACHADO, N. M. **Conflitos: Rodovia e Meio Ambiente - O caso da RJ 165, Paraty (RJ) - Cunha (SP)**. Serviço de Estudos de Impactos Ambientais - Fundação DER-RJ,1992.

MUTTER, G. M.; BURNHAM, C. P. Plot studies comparing water erosion on chalky and non-calcareous soils. In: BOARDMAN, J.; FOSTER, I. D. L.; DEARING, J. A. (Eds.). **Soil erosion on agricultural land**. Michigan: Wiley, 1990, p.15-23.

NACINOVIC, M. G. G. **Estudo de erosão pela análise de sucção e escoamento superficial na bacia do córrego Sujo (Teresópolis, RJ)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

NEGISHI, J. N. et al. Contribution of intercepted subsurface flow to road runoff and sediment transport in a logging-disturbed tropical catchment. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.33, p.1174-1191, 2008.

NETTO, M. M.; SOBREIRA, F. G. Os Processos Erosivos Lineares da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Carioca, Itabirito/MG e seus Condicionantes Principais: Observações Preliminares. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, p. 13-21, 2006.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 57-100, cap. 2.

PARSONS, A. J. **Hillslope form**. Nova York: Routledge, 1988.

PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. Avaliação da dinâmica dos processos erosivos lineares e sua relação com a evolução do uso da terra. **Geociências**, São Paulo, v.27, n.3, p.329-343, 2008.

PONÇANO, W. L. et al. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. 1 mapa. p. 94 .

PORTAL DO SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS – SNIRH. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://portalsnirh.ana.gov.br/>> . Acesso em: 07 abr. 2014

RADAMBRASIL. **Projeto Radam Brasil**, Rio de Janeiro/Vitória, v. 32, p.23-24,1983.

RAMOS-SCHARRÓN, C. E.; L. H. MACDONALD. Development and application of a GIS-based sediment budget model. **Journal of Environmental Management**, Londres, v. 84, p.157-172, 2007.

RAMOS-SCHARRÓN, C. E.; MACDONALD, L. H. Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources. **Catena**, St. John, v.71, p.250-266, 2007.

RANGEL, L. A. **O Impacto da Utilização de Trilhas na Área de Proteção Ambiental de Cairucu - Paraty – Rio de Janeiro**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

REID, L. M.; DUNNE, T. Sediment production from forest roads surfaces. **Water Resources Research**, Washington, v. 20, n.11, p. 1753-1761, 1984.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001/1986. Disponível em:
 <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 12 maio 2014

RIBAS, M. C. **A História do Caminho do Ouro em Paraty**. Rio de Janeiro: Contest Produções Culturais, 2003.

RIJSDIJK, A.; BRUIJNZEEL, L. A.; SUTOTO, C. K. Runoff and sediment yield from rural roads, trails, and settlements in the upper Konto catchment, East Java, Indonesia. **Geomorphology**, Amsterdam, v.87, p.28-37, 2007

ROBISON, D. A.; BLACKMAN, J. D. Some costs and consequences of erosion and flooding around Brighton and Hove. In: BOARDMAN, J., FOSTER, I. D. L.; DEARING, J. A. (Eds.). **Soil erosion on agricultural land**. Michigan: Wiley, p. 339-350, 1990.

RONDON, M. A. B. **Barreiras e Facilitadores às Medidas de Proteção Ambiental : O Caso da Estrada “Paraty-Cunha”, RJ-165**. 1995. Tese (Mestrado). Pontífca Universidade Católica, Rio de Janeiro. 1995.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 4. ed. São Paulo: Contexto, 1997.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

SANTOS, M. S.; SANTOS, E. R.; SANTOS, K .R. Ocupação na bacia do córrego Cesários em Anápolis (GO) e os processos erosivos decorrentes. **Revista Equador**, Teresina, v.2, n. 2, p. 189, 2013.

SCHOLES, M. C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.25-47, 1997.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials and Process**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 264 p.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials and Processes**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1993. 451 p.

SHERIDAN, G. J.; NOSKE, P. J. A quantitative study of sediment delivery and stream pollution from different forest road types. **Hydrological Processes**, Chichester, n. 21, p.387-398, 2007.

SILVA, J. V.; ARAÚJO, J. M. R.; PAULINO, E. J.; OLIVEIRA, J. O. Análise granulométrica de estrada não pavimentada do município de Bom Jesus – PI. ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 10., ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA, 14., ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA JUNIOR, 4., 2010, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos, 2010.

SILVA, L. F. T. C, MARTINS, M. B., GUERRA, A. T. J. Caracterização Pluviométrica do litoral Sul Fluminense e Norte Paulista (Brasil). In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 14., 2013, Lima. **Anais...** Lima, 2013.

SILVA, L. F. T. C, MARTINS, M. B., GUERRA, A. T. J. Suscetibilidade à erosão dos solos ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty-Cunha) e na sua área de influência. SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2012.

SILVA, T. M. A **Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. 2002. 265p. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SMETS, T. et al. Evaluation of biological geotextiles for reducing runoff and soil loss under various environmental conditions using laboratory and field plot data. **Land Degradation & Development**, Chichester, v.22, p.480-494, 2011.

SORIANO, A. J. S. **Estrada-Parque: proposta para uma definição**. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Área de concentração em Organização do Espaço. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

SORIANO, A. J. S. **Estradas parque: Unidades de Conservação ou apenas estradas em áreas protegidas ou de beleza cênica**. Brasília: GEMAP/UEMS - Grupo Estudos em Manejo de Áreas Protegidas da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2011. Color.

SUZANO AVENA, R. C. **Construções Rodoviárias, Bacias Hidrográficas, Geração de Passivos Ambientais e Riscos Associados: O Caso da Rodovia RJ-165 - Paraty-Cunha**. 2003. 256 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - Área de Concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2003.

SWANSON, F. J., DYRNESS, C. T. Impact of clear-cutting and road construction on soil erosion by landslides in the western Cascade Range. **Geology**, Oregon, v. 3, p.393-396, 1975.

TAGUE, C., BAND, L. Simulating the impact of road construction and forest harvesting on hydrological response. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sussex, v.26, p.131-151, 2001.

THOMAZ, E. L. **Avaliação de processos hidro-erosivos em estradas rurais por meio de chuva simulada e análise da eficácia de medidas de controle de sedimento na bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Guarapuava-PR**. Projeto fundação araucária-apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico do Paraná. Chamada de Projetos 14/2009. Programa de Apoio à Pesquisa Básica e Aplicada. 2009.

THOMAZ, E. L. Escoamento e transporte de sedimento em uma área degradada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.36, n. 1, 2012.

THOMAZ, E. L.; ANTONELI, V.; DIAS, W. A. Estimativa de proveniência de sedimentos em cabeceira de drenagem com alta densidade de estradas rurais não pavimentadas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.16, n.2, p.25-37, 2011.

THORNES, J. B. Erosional processes of running water and their spatial temporal controls: a theoretical viewpoint. In: KIRKBY, M. J.; MORGAN, P. C. (Eds.). **Soil Erosion**. S. l. 1980. p.129-182.

TORRENTES, P. A. **A atividade turística e a preservação do patrimônio histórico e cultural na Estrada Real Paraty-Cunha**. Rio de Janeiro: UFRJ/FAU/PROARQ. 2007.

UERJ. UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Relatório de Controle Ambiental: Estrada Parque Paraty-Cunha**. Rio de Janeiro: UERJ, 2010.

VILELA, C. L. **Comportamento erosivo de solos sob revegetação em cicatriz de movimento de massa**. 2003. 104 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2003.

WEMPLE, B. C.; SWANSON, F. J.; JONES, J. A. Forest road and geomorphic process interactions, Cascade Range. **Earth Surface Processes and Landforms**, Oregon, v.26, n.2, p.191-204, 2001.

WILD, A. **Soils and the environment: an introduction**. Grã-Bretanha: Cambridge University Press, 1993. 287p.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Proceedings of Soil Science Society of America**, v.33, p.133-137, 1969.

WOOD, P. A. **The sediment budget and source in the catchment of the River Rother, West Sussex**. 1976. 325f. Tese (Doutorado) Universidade de Londres, Londres, 1976.

XAVIER, F. A. S. **Soil organic matter stock and quality in agroforestry and full sun coffee systems**. 2009. 168 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

ZIEGLER, A. D. et al. Toward understanding the cumulative impacts of roads in upland agricultural watersheds of northern Thailand. **Agriculture, Ecosystems, and Environment**, v. 104, p.145-158, 2004.

ZIEGLER, A. D., SUTHERLAND, R. A., GIAMBELLUCA, T. W. Runoff generation and sediment production on unpaved roads, footpaths and agricultural land surfaces in Northern Thailand. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sussex, v.25, p.519-534, 2000.