

**Avaliação da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty-Cunha) através da análise das propriedades físico-químicas dos solos**

*Erosion susceptibility assessment along the RJ-165 (Estrada Paraty-Cunha) by analyzing the physical and chemical properties of soils*

Luiz Fernando Tavares Cardoso da Silva, UFRJ  
[uftavares01@yahoo.com.br](mailto:uftavares01@yahoo.com.br)

Antônio José Teixeira Guerra, UFRJ  
[antoniotguerra@gmail.com](mailto:antoniotguerra@gmail.com)

**RESUMO**

O presente artigo propõe analisar a erodibilidade dos solos da Estrada Paraty-Cunha no estado do Rio de Janeiro 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. 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 concentração 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/cm<sup>3</sup>), 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 com duração de uma hora e escoamento superficial constante de 50 ml/s. 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. Estrada Paraty-Cunha.

**ABSTRACT**

This article aims to analyze soil erodibility of Paraty-Cunha road in Rio de Janeiro State, through testing soil analysis from its bed and around, checking how these materials contribute to make it more or less susceptible to erosion. Also known as RJ-165, this road served in part as the flow of gold from Minas Gerais State 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 have high concentration 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 bulk density (2.78 g/cm<sup>3</sup>), generating high runoff. The runoff test showed that large amounts of material (17292.5 kg/ha) can be eroded in a one-hour rainfall event runoff constant 50 ml/s. 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, which aims the environmental preservation and subsequent decrease of soil erosion.

**Keywords:** Erosion. Geomorphology. Paraty-Cunha Road.

## 1. INTRODUÇÃO

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. Neste sentido, 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).

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).

A escolha do estudo na Estrada Paraty-Cunha deu-se por sua importância para a região, bem como por sua situação até 2014, o que tem favorecido à ocorrência de processos de degradação ambiental, dentre eles a erosão acelerada no leito da estrada e nos taludes e, os movimentos de massa (Fig. 1).

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar a suscetibilidade a erosão dos solos 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 e matéria orgânica.



Figura 1. Situação da estrada até 2014. (Foto: Silva, 2014)

O primeiro passo para resolver o problema da erosão consiste em identificar os mecanismos determinantes do processo erosivo. Os principais fatores controladores da erosão são: a erosividade da chuva, as características físicas dos solos (textura, porosidade, pH, estabilidade dos agregados, etc), a forma e o comprimento das encostas, a declividade e a cobertura do solo (SELBY, 1993; MORGAN, 2005; GUERRA, 2007).

Dentre essas características 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. Já a propriedade física dos solos, se refletem na erodibilidade, definida por Morgan (1985) “como a resistência do solo em ser removido e transportado”. 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, por sua vez, proporciona, 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%. 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.

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.

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. As estradas são um dos tipos de intervenção de maior impacto no meio ambiente. Segundo Thomaz (2009), as do tipo não pavimentadas podem ser também consideradas como formas erosivas que cortam o leito de rios, vertentes e canais escoadouros da chuva.

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

## **2.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. 2). As características físicas mais marcantes são a presença da Serra do Mar, os altos índices pluviométricos e a Mata Atlântica bem preservada.

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. 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.

Quanto a litologia sob a RJ-165 predomina o Complexo Plutônico Parati, que compreende uma variedade de litotipos (EIRADO *et al.*, 2006). 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.

A área atravessada pela Paraty-Cunha (46 km) 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 dissecação 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).

Avaliação da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty-Cunha) através da análise das propriedades físico-químicas dos solos

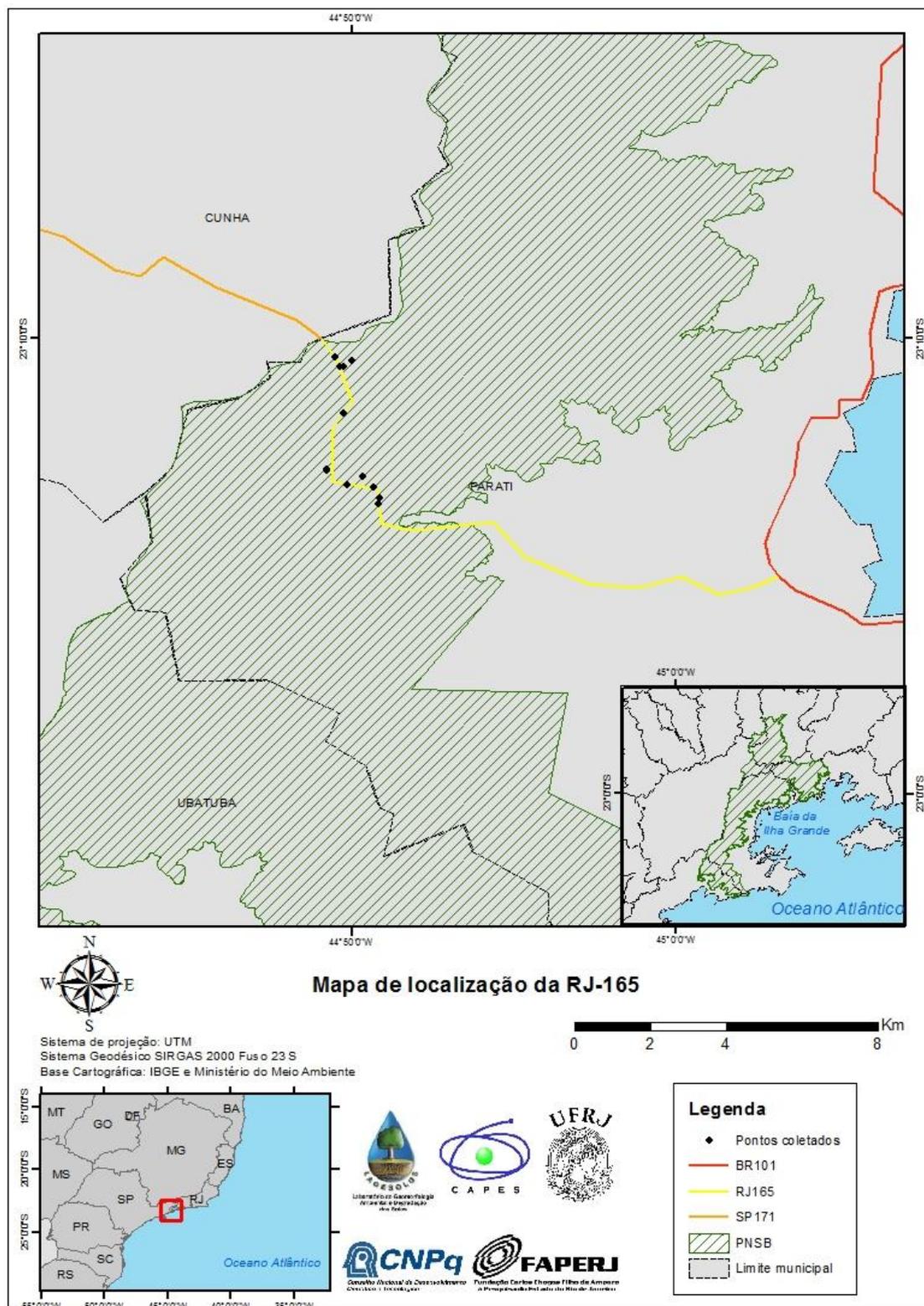


Figura 2. Mapa de localização da RJ-165.(Org.: Silva, 2014)

A RJ-165 atravessa os Neossolos Flúvicos, Latossolos Vermelho-amarelos e, já dentro do PNSB, os Cambissolos e os Neossolos Litólicos (Carvalho Filho *et al.*, 2003). 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. A floresta ombrófila densa ocupa 85% do parque, entre formações Montana, Alto Montana e Sub-Montana (MMA, 2002).

### **3.MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia utilizada para a análise físico-química do solo teve por base o Manual de Métodos de Análises de Solo da EMBRAPA (1997). Enquanto o ensaio de escoamento superficial e perda de solos seguiram os procedimentos de Inderbitzen (1961). As coletas de solos foram realizadas na Estrada Paraty-Cunha e consistiram de:

- Amostras deformadas 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.
- Amostras volumétricas coletadas na profundidade de 0-10 cm nos mesmos sete pontos das coletas de amostras deformadas.
- Amostras volumétricas na profundidade de 0-10 cm para o ensaio de Inderbitzen em cinco pontos da estrada.

Vale ressaltar que para a coleta de ambas as amostras buscou-se priorizar as áreas (encostas) com maior declividade da estrada e, portanto mais propensas à erosão. As amostras foram analisadas no Laboratório de Geomorfologia da UFRJ com a avaliação dos seguintes parâmetros: textura, densidade real e aparente, porosidade, pH, teor de carbono orgânico, matéria orgânica, determinação da taxa de escoamento superficial e perda de solo.

- Análise granulométrica de 20 g de solos, a partir das amostras deformadas, com utilização de peneiras ABNT nº 70 para separação da areia grossa e da areia fina e ABNT nº 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 cm<sup>3</sup>, 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 foi 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 “phmêtro”.

- 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 à 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, 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 F 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.

•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 ( $3 \times 5 = 15$  amostras). Em laboratório convencionou-se utilizar a declividade de  $10^\circ$  afim de comparação entre as amostras. Na parte inferior do equipamento (Fig. 3) 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 3. Rampa para o ensaio de Inderbitzen(Foto: Silva, 2014)*

#### **4.RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Características granulométricas do solo de leito da estrada

Na próxima página a Quadro 1 apresenta 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.

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 em três amostras de floresta (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. Ressalta-se que 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.

**Quadro 1:** Análises granulométricas das amostras deformadas (g/kg)

Amostras	Resultados em g/kg			
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
P1 Estrada 0-20 cm	523	195	205	75
P1 Estrada 20-40 cm	484	195	238	83
P1 Floresta 0-20 cm	423	146	309	122
P1 Floresta 20-40 cm	445	132	283	139
P2 Estrada 0-20 cm	505	268	165	62
P2 Estrada 20-40 cm	743	118	112	27
P2 Floresta 0-20 cm	549	202	206	43
P2 Floresta 20-40 cm	516	273	167	44
P3 Estrada 0-20 cm	386	212	281	121
P3 Estrada 20-40 cm	439	183	268	109
P3 Floresta 0-20 cm	449	191	222	176
P3 Floresta 20-40 cm	471	134	268	127
P4 Estrada 0-20 cm	418	163	294	125
P4 Estrada 20-40 cm	412	155	293	140
P4 Floresta 0-20 cm	414	191	301	92
P4 Floresta 20-40 cm	466	213	246	75
P5 Estrada 0-20 cm	346	364	260	126
P5 Estrada 20-40 cm	304	364	240	93
P5 Floresta 0-20 cm	470	346	161	24
P5 Floresta 20-40 cm	336	442	165	57
P6 Estrada 0-20 cm	616	240	127	22
P6 Estrada 20-40 cm	582	231	164	27
P6 Floresta 0-20 cm	324	346	299	37
P6 Floresta 20-40 cm	368	329	246	59
P7 Estrada 0-20 cm	415	189	194	201
P7 Estrada 20-40 cm	378	226	232	162

Também foram analisadas granulometricamente as amostras utilizadas no ensaio de Inderbizen, cuja profundidade de coleta foi de 0 a 10 cm. A seguir é apresentado a Quadro 2 com os respectivos resultados:

**Quadro 2.** Análises granulométricas das amostras utilizadas no ensaio de Inderbitzen (g/kg)

Amostras	Resultados em g/kg			
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
PA-1 (0-10 cm)	392	186	334	88
PA-2 (0-10 cm)	390	185	330	96
PA-3 (0-10 cm)	402	191	324	83
PA-Média (0-10 cm)	395	187	329	89
PB-1 (0-10 cm)	359	271	318	52
PB-2 (0-10 cm)	386	292	286	36
PB-3 (0-10 cm)	334	252	389	24
PB-Média (0-10 cm)	360	272	331	37
PC-1 (0-10 cm)	645	179	148	28
PC-2 (0-10 cm)	654	182	155	9
PC-3 (0-10 cm)	677	188	116	19
PC-Média (0-10 cm)	659	183	140	19
PD-1 (0-10 cm)	724	142	122	12
PD-2 (0-10 cm)	726	142	120	12
PD-3 (0-10 cm)	638	125	220	17
PD-Média (0-10 cm)	696	136	154	14
PE-1 (0-10 cm)	418	127	285	170
PE-2 (0-10 cm)	547	167	210	76
PE-3 (0-10 cm)	421	128	342	109
PE-Média (0-10 cm)	462	141	279	118

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) e no Ponto B (PB). 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.

### Densidade e porosidade dos solos da estrada Paraty-Cunha

A seguir são apresentados os valores de densidade aparente, densidade real e porosidade (Fig. 4):

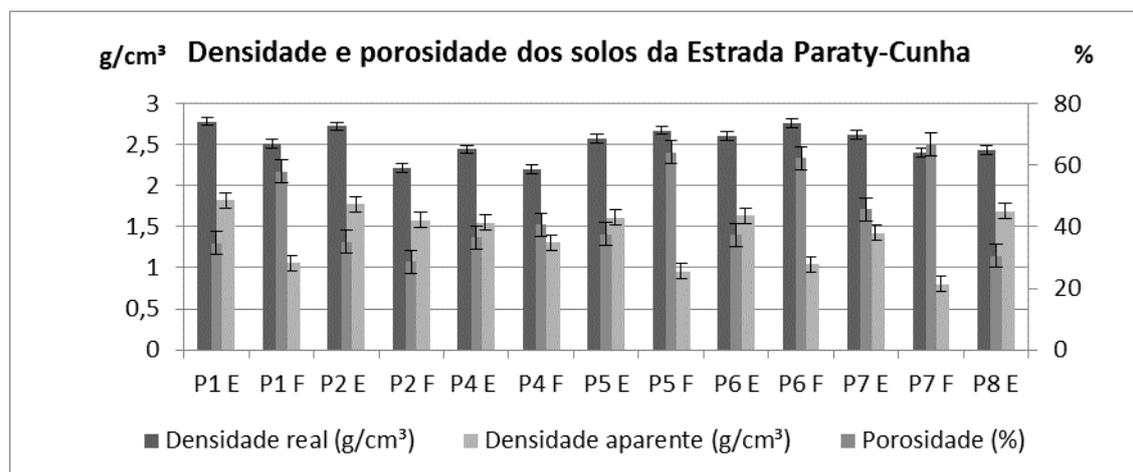


Figura 4. Densidade e porosidade.

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.

#### Carbono 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 (Fig. 5). 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.

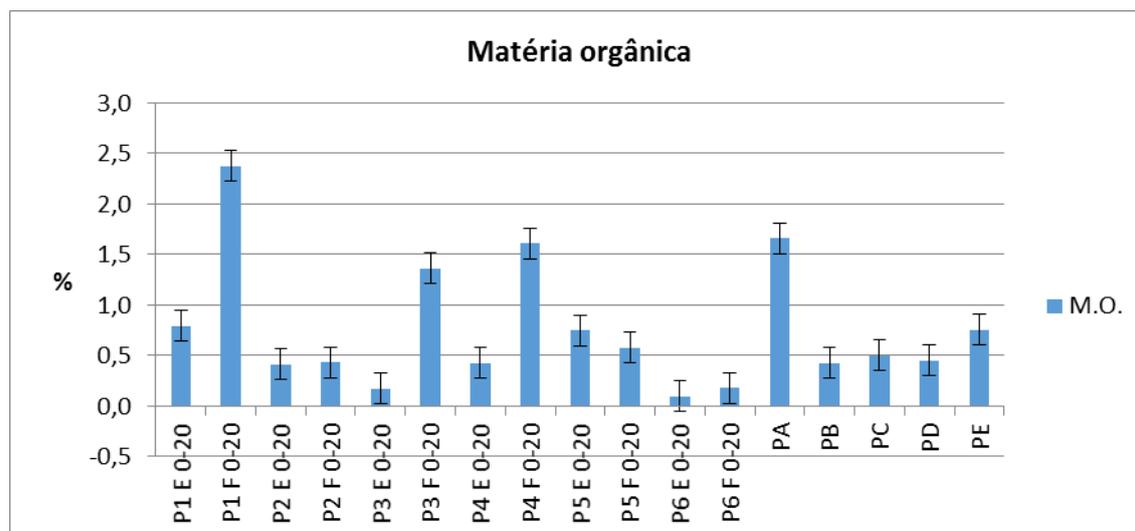


Figura 5. Matéria orgânica.

#### Inderbitzen

Para o ensaio de Inderbitzen, os volumes de escoamento superficial mantiveram uma tendência constante ao longo do tempo, apesar do fluxo da torneira sofrer algumas alterações não intencionais (Figura 6). A PB obteve o maior volume de escoamento registrando 158,1 L, enquanto a PA registrou 134,8 L uma variação de 15%. 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.

Em um artigo onde estuda a perda de sedimentos sob condições simuladas em estradas rurais, Thomaz e Pereira (2013) encontraram valores de 2053 kg/há, concluído que as características físicas da estrada, tais como declividade, pavimento, dentre outros influencia na disponibilidade da produção de sedimentos.

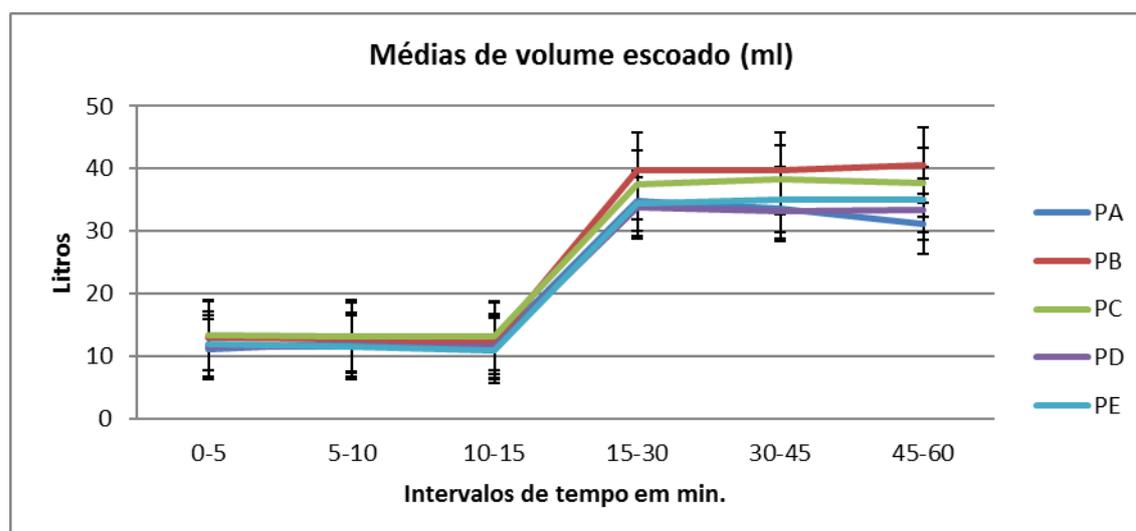


Figura 6. Médias de volume escoado.

O gráfico da infiltração (Fig. 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).

As médias da erosão (Fig. 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.

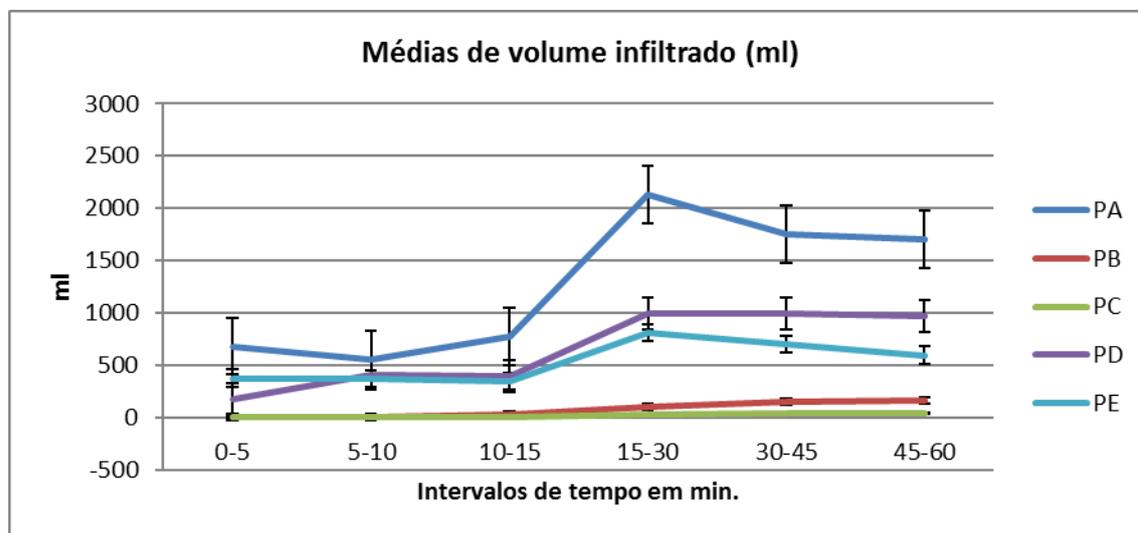


Figura 7. Médias de volume infiltrado.

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.

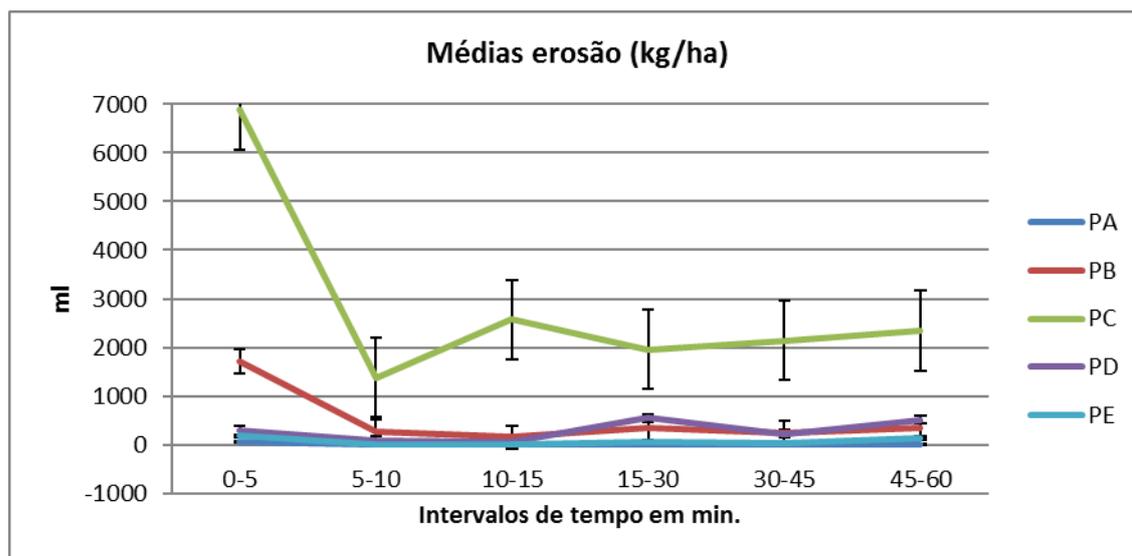


Figura 8. Médias da produção de sedimentos.

PA foi uma das amostras que mais se mantiveram regulares, quanto ao escoamento e a erosão (Fig. 6 e 8). 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).

As linhas de PB e PC (Fig. 6 e 8) 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%, elevando a média final de erosão.

Assim como nos demais experimentos a linha em PD (Fig. 8) 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 (Fig. 6).

PE tem um pico nos cinco primeiros minutos, para após isso reduzir e por fim dos 45 minutos em diante houve novo aumento (Fig. 6).

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 no presente artigo 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 encontrados 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.

## **5.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 às 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.

## **7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BRYAN, R.B. (1974). **Water erosion by splash and the erodibility of Albertan soils.** *Geogr. Annlr.*, 56A, 159-181.

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

CUNHA, M. C. (2011). **Avaliação da eficácia das caixas de contenção de sedimento em estradas rurais não pavimentadas na bacia do rio das Pedras, Guarapuava-PR.** Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste (área de concentração: Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos).

DE PLOEY, J.; POESEN, (1985). Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. *In: Geomorphology and Soils.* Editores: K.S. Richards, R.R. Arnett e S. Ellis, 99-120.

DUFF, M.J. (2010). **Evaluation of road erosion prediction models applied to unpaved roads in small tropical watershed in Eastern Brazil.** Thesis submitted to the faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Biological Systems Engineering. Blacksburg, VA.

EIRADO, L. G.; HEILBRON, M; ALMEIDA, J. C. H. (2006). Os terrenos tectônicos da Faixa Ribeira na Serra da Bocaina e na Baía da Ilha Grande, Sudeste do Brasil. *In: Revista Brasileira de Geociências.* Vol. 36 (3), p. 426-436.

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, D.C. Proceedings... Washington, D.C.: National Academy Press. 1995. p. 178-186.

EMBRAPA. (1997). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.212p.

EVANS, R. (1990). **Water erosion in British farmers' field – some causes, impacts, predictions**. *Progress in Physical Geography*, 14, 2, 199-219.

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. (1973). **Relative detachability of soil particles by simulated rainfall**. *Soil Science Society American Proceedings*, 37,629-633.

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

GREENLAND, D.J., RIMMER, D., PAYNE, D. (1975). Determination of the structural stability class of English and Welsh soils using a water coherence test. **In: Journal of Soil Science**, 26, 294-303.

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

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

GUERRA, A.J.T. (1991b). Avaliação da influência das propriedades do solo na erosão com base em experimentos utilizando um simulador de chuvas. **In: Anais do IV Simpósio de Geografia Física Aplicada**, Porto Alegre, 260-266.

GUERRA, A. J. T. (2007). Processos erosivos nas encostas, cap. 4, pags. 149-209. **In: A. J. T. Guerra; S. B. Cunha (Orgs.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7ª edição, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

INDERBITZEN, A. L., (1961). "An Erosion Test for Soil". **In: Materials Research and Standards**, v.1, n.7 (Jul), technical note.

LIMA, L. D. M. (2008). **Suscetibilidade à erosão dos solos nas sub-bacias do médio e alto cursos da bacia do rio Macaé/RJ**. *Dissertação de mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro*. 172 pags.

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

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

MORGAN. R. P. C. (1985). Establishment of plant cover parameters for modeling splash and detachment. *In: **Soil erosion and conservation***. Editores: S. A. El-Swaif, W. C. Moldenhauer e A. Lo. Soil Conservation Society of America, 377-383.

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

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

NEGISHI, J.N., SIDLE, R.C., ZIEGLER, A.D., NOGUCHI, S., e N.A. RAHIM. (2008). Contribution of intercepted subsurface flow to road runoff and sediment transport in a logging-disturbed tropical catchment. *In: **Earth Surface Processes and Landforms** 33*: 1174-1191.

RAMOS-SCHARRÓN, C.E. e L.H. MACDONALD. (2007). Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources, St. John, U.S. Virgin Islands. *In: **Catena** 71*: 250-266.

RIJSDIJK, A., BRUIJNZEEL, L.A. e SUTOTO, C.K.. (2007). Runoff and sediment yield from rural roads, trails, and settlements in the upper Konto catchment, East Java, Indonesia. *In: **Geomorphology** 87*: 28-37.

SELBY, M. J. (1993). **Hillslope Materials and Processes**. Oxford University Press, Oxford, Inglaterra, 2ª edição, 451 pp.

THOMAZ, E.L. (2012). Escoamento e transporte de sedimento em uma área degradada. *In: **Revista Brasileira de Ciências do Solo***. Vol. 36, nº 1, Viçosa. Jan/fev 2012.

UERJ (2010). **Relatório de Controle Ambiental, Estrada Parque Paraty-Cunha**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

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

ZIEGLER, A.D., T.W. GIAMBELLUCA, R.A. SUTHERLAND, M.A. NULLET, S. YARNASARN, J. PINTHONG, P. PREECHAPANYA, e S. JAIAREE. (2004). Toward understanding the cumulative impacts of roads in upland agricultural watersheds of northern Thailand. **In: Agriculture, Ecosystems, and Environment 104**: 145-158.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq, à CAPES e a FAPERJ pelo apoio financeiro.