

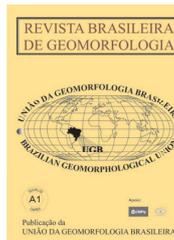


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, nº 2 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1309>



MICROTOPOGRAFIA E COMPACTAÇÃO DO SOLO EM TRILHAS GEOTURÍSTICAS NO LITORAL DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA BOCAINA – ESTADO DO RIO DE JANEIRO

MICROTOPOGRAPHY AND SOIL COMPACTATION IN GEOTOURISTIC TRAILS IN THE COAST OF THE SERRA DA BOCAINA NATIONAL PARK – RIO DE JANEIRO STATE

Luana de Almeida Rangel

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP 21940- 590. Brasil
Email: luarangel@ufrj.br*

Antonio Jose Teixeira Guerra

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP 21940- 590. Brasil
Email: antoniotguerra@gmail.com*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):

19/09/2017

Aceito (Accepted):

18/12/2017

Palavras-chave:

Erosão dos Solos; Geoturismo;
Resistência à Penetração.

Keywords:

Soil Erosion; Geotourism; Soil
Penetration Resistance.

Resumo:

Em áreas tropicais úmidas, a erosão hídrica é a grande responsável pela perda de solo. A análise da microtopografia e da compactação dos solos permite inferir áreas que estão sofrendo com processos erosivos. A atividade geoturística, pode ser uma forma de conservação do ambiente natural. Porém, a utilização de trilhas geoturísticas pode acarretar impactos quando não há planejamento e manejo adequados para sua implementação e utilização. A pesquisa teve como objetivo analisar o impacto da utilização de duas trilhas localizadas no litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina (PNSB), município de Paraty (RJ). Para isso, foram analisados quatro pontos em duas trilhas no PNSB, sendo realizados monitoramento da microtopografia do solo através do método de pontes de erosão e a avaliação da compactação através da penetrometria. Além disso, foram observados alguns impactos visuais ao longo das trilhas. Constatou-se que o leito da trilha está sofrendo com o efeito do pisoteio, principalmente em P2 onde a resistência à penetração foi de 29,07 kgf/cm², e com a remoção de sedimentos pela erosão hídrica, principalmente em PE 1, onde a área erodida foi de aproximadamente 0,37m². Há necessidade de readequar o traçado em alguns pontos das trilhas (como em PE 4, onde já existe um atalho criado pelos visitantes), bem como, incorporar matéria orgânica e revegetar as bordas trilha, principalmente no talude superior de PE 2 onde ocorreu movimento de massa.

Abstract:

In humid tropical areas, water erosion is a major cause of soil loss. An analysis of the microtopography and the soil compaction allows inferring areas that are suffering with erosive processes. Geotourism activity can be a way of conserving the natural environment. However, the use of geotouristic trails can cause impacts when there is no planning and management suitable for their implementation and use. The objective of this research was to analyze the impact of the use of two trails located on the coast of Serra da Bocaina National Park (PNSB), in the municipality of Paraty (RJ). For this, four points were analyzed in two trails in the PNSB, being carried out the monitoring of soil microtopography through the erosion bridges method and the evaluation of the compaction through the penetrometry. In addition, some visual impacts were observed along the trails. It was verified that the bed of the trail is suffering with the effect of the trampling, mainly in P2 where the resistance to the penetration was of 29,07 kgf/cm², and with the removal of sediments by the water erosion, mainly in PE 1, where the eroded area was approximately 0.37m². There is a need to readjust the track at some points of the tracks (as in PE 4, where there is already a shortcut created by the visitors), as well as incorporate organic matter and revegetate the tracks edges, mainly in the upper slope of PE 2 where occurred a mass movement.

1. Introdução

A degradação dos solos está diretamente relacionada a processos complexos que incluem a erosão (hídrica e/ou eólica), a desertificação, os movimentos de massa, a salinização e a acidificação (FULLEN; CATT, 2004; ARAÚJO *et al.*, 2013). Dentro desses processos, a erosão hídrica se destaca como a maior responsável pela perda de solo, e em contrapartida, os processos de formação do mesmo são lentos, o que prejudica a renovação desse recurso (MORGAN, 2005; GUERRA, 2016). Neste sentido, para avaliar os processos de erosão hídrica, se faz essencial os estudos sobre a microtopografia da superfície do solo (DARBOUX; HUANG, 2005).

A microtopografia do solo está associada às microvariações topográficas do topo do solo - com dimensões menores que a sequência da vertente - como por exemplo, microdepressões e microelevações, sendo que, sua distribuição espacial é o resultado de parâmetros diferenciados que alteram a superfície do solo, como o pisoteio, a erosão hídrica e as práticas agrícolas (YONG, 1972; ALLMARAS *et al.* 1966; CASTRO *et al.*, 2006; PAZ-FERREIRO *et al.*, 2008; VIDAL VÁZQUEZ *et al.*, 2010; ABRANTES; LIMA, 2014).

Logo, os processos que ocorrem na camada superficial do solo, como a retenção hídrica (VIDAL VÁZQUEZ *et al.*, 2010), o escoamento superficial, a infiltração e percolação de água, o transporte de sedimentos (DARBOUX; HUANG, 2005; CASTRO *et al.*, 2006; VOLK; COGO, 2009), a formação de

crostas e as trocas de calor do solo com a atmosfera (PRICE *et al.*, 1998) são influenciados pelas feições microtopográficas.

Para análise adequada dos fatores que ocasionam a erosão hídrica, é necessária informação sobre a microtopografia da superfície do solo, com precisão e resolução elevada. A partir dessa análise, é possível destacar a modelagem dos processos relacionados à formação de microrravinas e ravinas. Sobre a análise microtopográfica, Abrantes e Lima (2014) destacam que:

Apesar das várias técnicas e equipamentos existentes caracterizarem a superfície do solo com resolução adequada à modelagem desses processos, obter a microtopografia continua a ser uma tarefa árdua que, em geral, requer grande consumo de recursos e/ou tempo (Jester & Klik, 2005). (ABRANTES; LIMA, 2014, p. 446).

Portanto, a caracterização da microtopografia da superfície do solo em campo, pode ser realizada a partir da elaboração de perfis transversais (ou pontes de erosão) é uma boa alternativa para (BERTOLANI *et al.*, 2000; *et al.*, 2006; CARVALHO FILHO *et al.*, 2007; PANACHUKI *et al.*, 2010).

As trilhas são as rotas de viagem mais disseminadas pelo mundo, podendo ser a única forma de acesso em áreas naturais protegidas (LECHNER, 2006). Elas possuem larguras, formas e comprimentos diversos, e permitem a aproximação dos visitantes ao ambiente natural, podendo conduzi-los a um atrativo específico,

estimulando a educação e interpretação ambiental (NEIMAN *et al.*, 2009). Neste sentido, trilhas existentes em Unidades de Conservação (UCs), motivam recreação para os visitantes, tornando-se um recurso para contato com a natureza e contribuem com a proteção do ambiente natural, passando a ter um significado próprio (PASSOLD, 2002).

Além disso, as trilhas em UCs podem ser consideradas geoturísticas, quando permitem acesso a um ambiente ou atrativo com características geológicas ou geomorfológicas de valor significativo. O geoturismo tem se apresentado como um segmento promissor da atividade turística (MOURA-FÉ, 2015) que tem características específicas e essenciais à conservação do patrimônio geológico e geomorfológico ao desenvolvimento econômico local das comunidades envolvidas (NASCIMENTO *et al.*, 2015; JORGE *et al.*, 2016; BRILHA, 2016). Santos (2012) reitera que a atividade geoturística estimula a criação de atividades econômicas relacionadas à geodiversidade de determinada área, o envolvimento das comunidades locais no manejo adequado dos geossítios e sítios de geodiversidade e a difusão desse conhecimento aos visitantes.

Porém, com o crescimento dessa atividade, as trilhas geoturísticas podem sofrer impactos significativos quando não forem bem planejadas e manejadas. Diversos autores (TAKAHASHI, 1998; MAGRO, 1999; COSTA, 2008; RANGEL; BOTELHO, 2017) destacam que o pisoteio das trilhas compacta os solos alterando sua porosidade em razão da redução do volume de macroporos, o que eleva a resistência mecânica do solo, aumenta o escoamento superficial, a sua susceptibilidade à erosão e a perda de matéria orgânica.

A compactação de um solo pode ser avaliada a partir da resistência à penetração, isto é, da força que é exercida para que determinado objeto adentre ao solo. Logo, quanto maior a dificuldade para que o objeto adentre ao solo, isto é, quanto maior a força for realizada, mais resistente e mais compactado estará um solo (FEOLA, 2009; FIGUEIREDO *et al.* 2010).

Nesta conjectura, a análise da microtopografia aliada à avaliação da compactação dos solos permite compreender aspectos da resistência à penetração e do grau de interferência que o pisoteio está gerando nas trilhas.

Pensando no impacto que a falta de planejamento e de manejo de trilhas pode causar em Unidades de Conservação, é preciso avaliar se a utilização das mesmas está influenciando na degradação dos solos. Neste sentido, esta pesquisa teve como objetivo analisar o grau de compactação e a evolução da microtopografia dos solos em duas trilhas geoturísticas, localizadas na Vila de Trindade, litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina, no município de Paraty, no estado do Rio de Janeiro. Com isso, pretende-se estimar taxas de erosão no piso das trilhas, inferir como o pisoteio dos visitantes está impactando nas trilhas e auxiliar no planejamento da atividade geoturística subsidiando à tomada de decisão e à adoção de medidas que reduzam os impactos ambientais nas UCs.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

As duas trilhas estudadas estão inseridas em uma Unidade de Conservação (UCs) localizada no município de Paraty, no litoral sul do estado do Rio de Janeiro. Essa UC foi escolhida por estar inserida na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, uma rede mundial de implantação de áreas protegidas, estabelecida através do Decreto Estadual 26.057/2000 que tem como principais objetivos a manutenção da conservação do Bioma, através da implementação de um corredor ecológico contínuo de Mata Atlântica ao longo da costa brasileira, unindo os fragmentos florestais existentes. Além disso, integra o Corredor de Biodiversidade da Serra do Mar. O Parque Nacional da Serra da Bocaina (PNSB) possui área de aproximadamente 104.000 hectares, da qual cerca de 60% localiza-se no Estado do Rio de Janeiro (municípios de Angra dos Reis e Paraty) e 40% no Estado de São Paulo (municípios São José do Barreiro, Ubatuba e Cunha) (Figura 1).

O clima da região é influenciado pela compartimentação regional do relevo e pelo desnivelamento altimétrico, que produzem descontinuidades no padrão de distribuição pluviométrica e de temperatura. Este fator reflete o efeito orográfico da Serra do Mar, que atua sobre o comportamento dos sistemas frontais, principais responsáveis pela pluviosidade regional. Logo, a classificação climática regional é **tropical úmido** (ICMBIO, 2002).

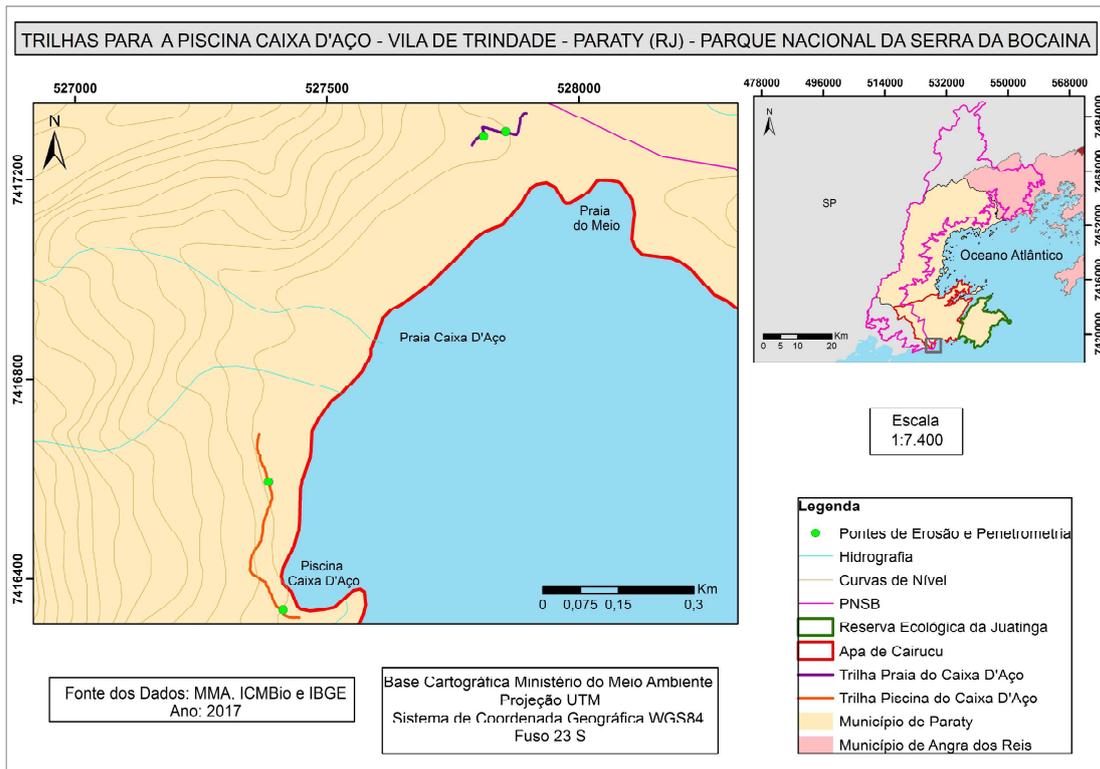


Figura 1- Localização da área de estudo.

Com relação às características geológicas e geomorfológicas, o PNSB situa-se no Planalto da Bocaina (PONÇANO, 1981) e a área onde está localizada a trilha corresponde ao relevo de Montanhas e Morros (RANGEL *et al.*, 2015). O arcabouço geológico é formado predominantemente por granitos e gnaisses do Complexo Gnáissico-Granitóide de idade proterozóica, os quais se associam sedimentos de idade cenozoica (GUERRA *et al.*, 2013). Já o tipo de solo predominante é o Cambissolo Háptico Tb Distrófico, ocupando quase toda a escarpa da Serra do Mar (ICMBIO, 2002; RANGEL *et al.*, 2015).

A área de estudo situa-se dentro dos domínios florísticos da Zona Neotropical e agrupa a seguinte diversidade vegetacional: Floresta Ombrófila Densa (Submontana, Montana e Alto Montana), expressão dominante na região, Floresta Ombrófila Mista Alto Montana e os campos de altitude (IBGE, 1992). Segundo o ICMBio (2002), na área onde as trilhas estão localizadas há o predomínio de Floresta Ombrófila Densa secundária, em estágio médio e avançado de recuperação.

A vila de Trindade, onde estão localizadas as trilhas estudadas, está inserida parcialmente nos limites do PNSB e tem se destacado como um dos principais destinos do turismo na área de inserção desta UC

(CONTI; IRVING, 2014). Além disso, em função da beleza cênica dos vários pontos turísticos, várias trilhas têm sido exploradas pelo turismo, destacando-se as duas trilhas que dão acesso à piscina natural Caixa D'Áço: a trilha da praia do Meio até a praia Caixa D'Áço (PMC) – que possui aproximadamente 190 metros de extensão - e a trilha da praia Caixa D'Áço até a piscina natural (PCN) – de aproximadamente 465 metros. A expansão da atividade turística vem desencadeando inúmeros impactos sobre as trilhas e sobre a preservação dos ambientes naturais, principalmente da piscina natural que é o principal atrativo geoturístico da Vila (Figura 2).

2.2 Microtopografia dos solos

Para medir a microtopografia do solo foram instaladas, estacas de erosão numa secção transversal ao leito da trilha, de uma borda a outra de acordo com Ferreira (1996). Foram monitorados quatro pontos, dois em cada trilha, sendo que eles foram escolhidos a partir das características do leito, isto é, quando fossem observados processos erosivos. O monitoramento ocorreu nos meses de junho e outubro de 2016 e em fevereiro e junho de 2017. Foram monitorados quatro perfis transversais, dois na trilha PMC e dois na trilha PNC.



Figura 2 – (a) Exemplos de depredação de placa de aviso instaladas na trilha PMC pela gestão do PNSB. Fotos: L. A. Rangel (2015). (b) Estrutura improvisada para a venda de bebidas na piscina natural Caixa D’Aço. No detalhe: acúmulo de lixo e placa, instalada pelo PNSB, destruída. Foto: L. A. Rangel (2016).

A ponte de erosão utilizada foi desenvolvida por SHAKESBY (1993) e foi adaptada para trilhas por Silva e Castro (2015). Para elaboração do perfil, são utilizadas estacas de madeira de 50 centímetros (úteis para o nivelamento), sarrafos de 2 metros (ponte de erosão), vareta de ferro de 1 metro (vareta de medição). A ponte possui 100 furos (pontos de análise), distribuídos numa

equivalência de 2 centímetros. Para a instalação da “ponte de erosão” é necessário fincar as duas estacas nas bordas da seção transversal escolhida. Logo depois, utiliza-se o nível de madeira para nivelar. Os valores de cada ponto de análise foram retirados com o auxílio de uma trena de medição, após o nivelamento da ponte (Figura 3).



Figura 3 - Monitoramento a partir da ponte de erosão utilizada na trilha para a Praia Caixa D’Aço. Foto: L. A. Rangel (2016).

A partir da medição da erosão do leito foi elaborado um gráfico, no *software* Excel com a evolução dos processos erosivos ao longo do tempo de monitoramento. A partir da análise do gráfico é possível observar pontos onde há acúmulo e retirada de sedimentos, bem como, identificar onde há intenso pisoteio e retirada de partículas do solo pelo escoamento de água e inferir taxas de perda de solo.

2.3 Capacidade de penetração dos solos

A penetrometria do solo foi realizada no leito e na área de borda das trilhas para efeito de comparação

entre os dois ambientes, um com pisoteio e outro sem o pisoteio, através da utilização de um penetrômetro de impacto. Seguiu-se o método proposto por Almeida (2005) e Figueiredo *et al.* (2010), no qual foram realizadas três repetições de penetrometria para cada área. O penetrômetro da marca Solotest possui um cone de ângulo de 90° em relação à superfície do terreno e um anel dinamométrico, que mede a resistência máxima à penetração do cone na superfície do solo. Para realizar as medições, posiciona-se o penetrômetro verticalmente, aplicando pressão constante até introduzir totalmente o cone no solo (Figura 4).



Figura 4 - Análise da capacidade de penetração no leito da trilha PNC através da utilização do penetrômetro. Foto: L. A. Rangel (2016).

A partir da leitura no dinamômetro instalado no anel do penetrômetro, as medidas foram obtidas em kilograma-força (Kgf). Sendo assim, a resistência de penetração (em Kgf/cm²) foi obtida dividindo-se a carga de penetração (Kgf) pela área da base do cone (6,33 cm²). Em cada ponto de coleta foram realizadas três repetições de coleta de dados e os resultados apresentados correspondem às médias dessas repetições.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise da microtopografia dos solos

A avaliação da microtopografia do solo permitiu corroborar o que foi observado através da análise do grau de dificuldade. Verificou-se a evolução dos processos de erosão e deposição de sedimentos no leito da trilha através do pisoteio e da concentração do fluxo

de água. Foram monitorados quatro perfis transversais na trilha, sendo dois em cada trilha.

No primeiro monitoramento da ponte de erosão (PE1) observa-se a presença de uma ravina (profundidade

de 16 cm e largura de 21 cm, aproximadamente) no leito da trilha que em outubro de 2016 e junho de 2017 estava com elevado acúmulo de serapilheira. Já em junho de 2016 e fevereiro de 2017 estava com menos serapilheira (Figura 5).

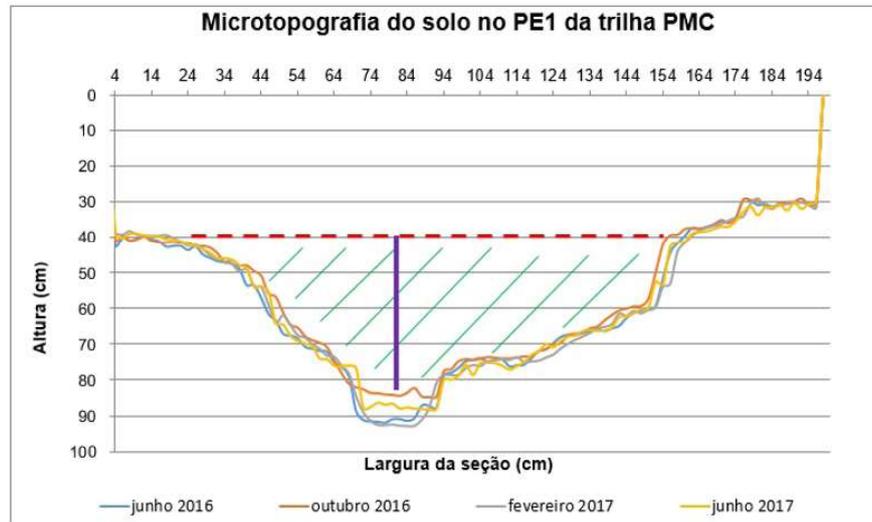


Figura 5 - Evolução da microtopografia do solo no primeiro ponto da trilha PMC (PE1), de junho de 2016 a outubro de 2017. Observações: A estimativa da profundidade anterior a incisão da trilha está sinalizada com uma linha pontilhada em vermelho; a estimativa da área de solo erodida após a incisão da trilha está sinalizada pelas linhas verdes; a estimativa da erosão em profundidade está expressa pela linha roxa.

Estima-se, portanto, que ocorreu uma perda de aproximadamente 50 cm de solo em profundidade, isto é, antes do corte e incisão da trilha o piso estava nivelado a 40 cm e atualmente, o ponto mais profundo da trilha ultrapassa 90 cm de altura. Já a área erodida (hachuras

em verde), variou entre 0,358 m² em outubro de 2016 e 0,398 m² em junho de 2016. Ademais, é possível observar nesse ponto o horizonte C exposto no leito da trilha, a ravina originada pelo escoamento superficial da água e, agravada, pelo pisoteio (Figura 6).



Figura 6 - Análise da microtopografia do solo, através da ponte de erosão, em PE 1 da trilha PMC em junho de 2016. A seta em amarelo indica ravina com acúmulo de serapilheira e o destaque em vermelho indica início de exposição do horizonte C. Foto: L. A. Rangel (2016).

No segundo ponto onde foi avaliada a microtopografia (PE 2), só foi possível realizar dois monitoramentos, pois, em fevereiro de 2017 uma das estacas que servia como base de nivelamento foi soterrada por um deslizamento que ocorreu no talude superior da trilha e a outra foi erodida em decorrência desse deslizamento. Esse

processo está associado ao grande volume pluviométrico na área e evidenciou a instabilidade do terreno onde está a trilha. A Figura 7 ilustra a presença de duas ravinas (uma de aproximadamente 20 cm de profundidade e 24 cm de largura e outra de 13 cm de profundidade e 28 cm de largura) no leito da trilha.

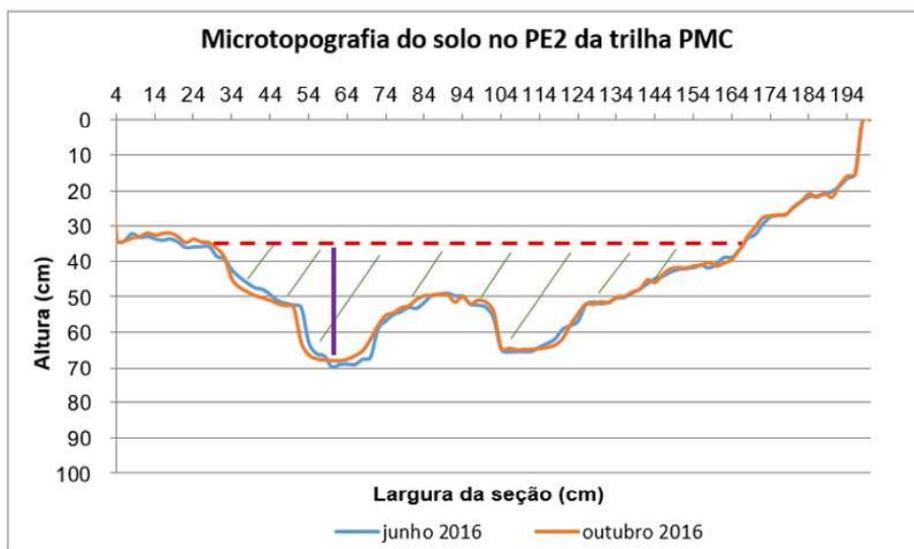


Figura 7 - Evolução da microtopografia do solo no segundo ponto da trilha PMC em junho e outubro de 2016. Observações: A estimativa da profundidade anterior a incisão da trilha está sinalizada com uma linha pontilhada em vermelho; a estimativa da área de solo erodida após a incisão da trilha está sinalizada pelas linhas verdes; a estimativa da erosão em profundidade está expressa pela linha roxa.

Comparando o possível nível inicial antes da incisão da trilha (28 cm) e o ponto de maior profundidade atualmente (68 cm), verifica-se erosão de 40 cm de profundidade. Já a área (hachuras em verde) estimada de perda de solo por causa da erosão em PE 2 é de 0,279 m² em junho e 0,278 m² em outubro.

A figura a seguir ilustra as alterações no piso da trilha e no talude superior, que ocorreram após outubro de 2016, provavelmente no final de janeiro, antes do monitoramento de fevereiro de 2017 (Figura 8).

Analisando o terceiro perfil da microtopografia (PE 3) é possível observar que a profundidade de solo erodida e compactada após a incisão da trilha não foi tão expressiva quanto em PE 1 e PE 2. Comparando o possível nível inicial antes da incisão da trilha (17 cm) e o ponto de maior profundidade atualmente (50 cm), verifica-se erosão de 33 cm de profundidade. Já a área (hachuras em verde) estimada de perda de solo por causa da erosão em PE 3 variou de 0,165 m² em outubro de

2016 e 0,212 m² em junho (Figura 9).

Verificou-se também, em PE 3, uma ravina de aproximadamente 50 cm de largura e 15 cm de profundidade, bem no meio do leito da trilha, evidenciando o caminho preferencial do escoamento superficial e dos visitantes, que compactam o solo através do pisoteio.

Ao analisar o quarto perfil da microtopografia (PE 4) verifica-se que a profundidade de solo erodida e compactada após a incisão da trilha não foi tão expressiva. Ao comparar o possível nível inicial antes da incisão da trilha (12 cm) e o ponto de maior profundidade atualmente (39 cm), verifica-se perda de 27 cm de profundidade, sendo, portanto, o perfil que menos evoluiu em profundidade. Já a área (hachuras em verde) estimada de perda de solo em PE 4 variou de 0,193 m² em outubro de 2016 a 0,225 em fevereiro de 2017 (Figura 10).



Figura 8 – (a) Microtopografia do solo em PE 2 da trilha PMC em outubro de 2016, com vegetação presente no talude superior e ravinas no leito (setas amarelas). Foto: L. A. Rangel (2016). (b) Alterações significativas em PE 2 da trilha PMC em fevereiro de 2017. Foto: L. A. Rangel (2017).

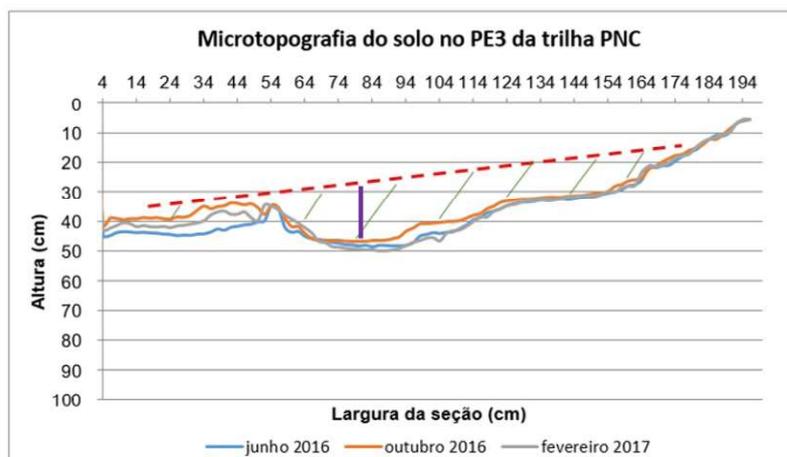


Figura 9 - Evolução da microtopografia do solo no terceiro ponto na trilha PNC em junho e outubro de 2016 e fevereiro de 2017. Observações: A estimativa da profundidade anterior a incisão da trilha está sinalizada com uma linha pontilhada em vermelho; a estimativa da área de solo erodida após a incisão da trilha está sinalizada pelas linhas verdes; a estimativa da erosão em profundidade está expressa pela linha roxa.

O PE 4 fica localizado em uma escada improvisada com contenções de madeira, as estruturas de manejo – corrimão e degraus – estão bastante danificadas.

Além disso, foi criado um atalho, entre outubro de 2016 e fevereiro de 2017, bem antes do ponto de monitoramento (Figura 11).

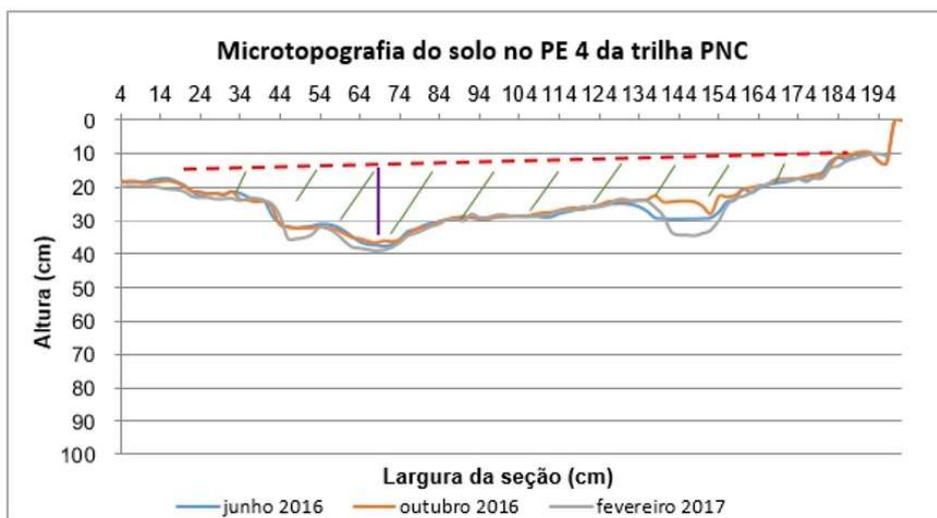


Figura 10 - Evolução da microtopografia do solo no quarto ponto na trilha PNC em junho e outubro de 2016 e fevereiro de 2017. Observações: A estimativa da profundidade anterior a incisão da trilha está sinalizada com uma linha pontilhada em vermelho; a estimativa da área de solo erodida após a incisão da trilha está sinalizada pelas linhas verdes; a estimativa da erosão em profundidade está expressa pela linha roxa.



Figura 11 - Análise da microtopografia do solo em PE 4. A seta em vermelho indica o atalho que foi criado após o primeiro monitoramento em junho de 2016 (no detalhe em vermelho) e a seta em amarelo indica o caminho que era percorrido na trilha antes da criação do atalho. Fotos: L. A. Rangel (2016).

Através da análise dos gráficos é possível estimar a área de solo erodida a partir da incisão da trilha. Na tabela 3 estão os resultados estimados referentes

à área de solo erodida, no leito da trilha, de acordo com os dados obtidos a partir do monitoramento da microtopografia.

Tabela 1: Estimativa da área de solo erodida no leito das trilhas PMC e PNC a partir do monitoramento da microtopografia.

	Junho de 2016	Outubro de 2016	Fevereiro de 2017	Junho de 2017
PE1	0,39858	0,35816	0,39384	0,38342
PE 2	0,27912	0,27823	-	-
PE 3	0,21172	0,16538	0,19456	-
PE 4	0,20616	0,19352	0,22512	-

Observações: PE 1 e PE 2 referem-se à trilha PMC; PE 3 e PE 4 referem-se à trilha PNC. Valores expressos em m² a partir do monitoramento realizado nos dias determinados.

Analisando a área de solo erodida em PE 1 observa-se que em outubro de 2016 foi encontrado o menor valor (0,35816 m²), enquanto junho de 2016 e fevereiro de 2017 apresentaram a maior área de solo erodida (0,39858 m² e 0,39384 m²). A pequena variação pode estar associada com o curto período de monitoramento, com os ciclos de transporte e deposição das partículas do solo e com a remoção e deposição de serapilheira principalmente na ravina localizada no leito. Ademais, o período chuvoso pode estar influenciando no dado obtido em fevereiro de 2017, pois, quanto maior o volume de chuva, maior a quantidade de solo transportada. Percebe-se, portanto, deposição de material (solo ou serapilheira) no período de 06/2016 até 10/2016, remoção de 10/2016 até 02/2017 e, novamente, deposição de material entre 02/2017 e 06/2017.

Já em PE 2 – que sofreu com deslizamento de terra no TS e, conseqüentemente, soterramento e erosão das estacas de nivelamento em janeiro de 2017 – foi observada pequena variação do tamanho da área do perfil transversal no leito da trilha. Em PE 3 e PE 4 foi observada a mesma tendência que em PE 1, isto é, deposição de material no período de 06/2016 até 10/2016 e remoção de 10/2016 até 02/2017. Nesses dois últimos pontos não foi possível realizar o monitoramento em junho de 2017 devido à chuva e à ressaca intensa que impossibilitaram chegar na trilha PNC.

Neste sentido, a microtopografia do solo está sofrendo alterações devido à intensidade do pisoteio e ao regime pluviométrico que facilita a concentração

do fluxo de água convergindo para as ravinas, podendo contribuir para o aparecimento de novos processos erosivos, diminuindo ainda mais a erodibilidade do solo. Somando a isto, a ausência de vegetação e de matéria orgânica no leito expõe o solo aos efeitos de erosividade da chuva, o que acentua o aporte de sedimentos retirados

3.2 Análise da capacidade de penetração

O principal impacto no leito das trilhas está associado ao pisoteio, que aumenta a densidade do solo e resistência à penetração do penetrômetro, alterando a estrutura e estabilidade do solo; promovendo redução nas taxas de infiltração e percolação de água; e elevando, assim, o escoamento hídrico e erosão superficial (RANGEL, 2018; RANGEL; GUERRA, 2018). Além disso, as alterações nas propriedades físicas podem ocasionar mudanças em propriedades químicas e biológicas do solo. Na figura 12 é possível observar os valores medidos através do penetrômetro.

Ao analisar a figura 12, observa-se que P2 apresentou maior resistência à penetração no leito da trilha, isto pode estar relacionado com o efeito do pisoteio dos visitantes. Porém, como em P1 apenas 2/3 do cone do penetrômetro adentrou ao solo, fica evidente que P1 está mais resistente. Esse resultado reitera o que foi exposto na figura 6, onde observa-se a exposição do horizonte C no leito da trilha. Portanto, é possível inferir que P1 está sofrendo intensamente com o pisoteio e com a erosão hídrica. Já P5 apresentou a menor resistência à penetração (19,12 kgf/cm²).

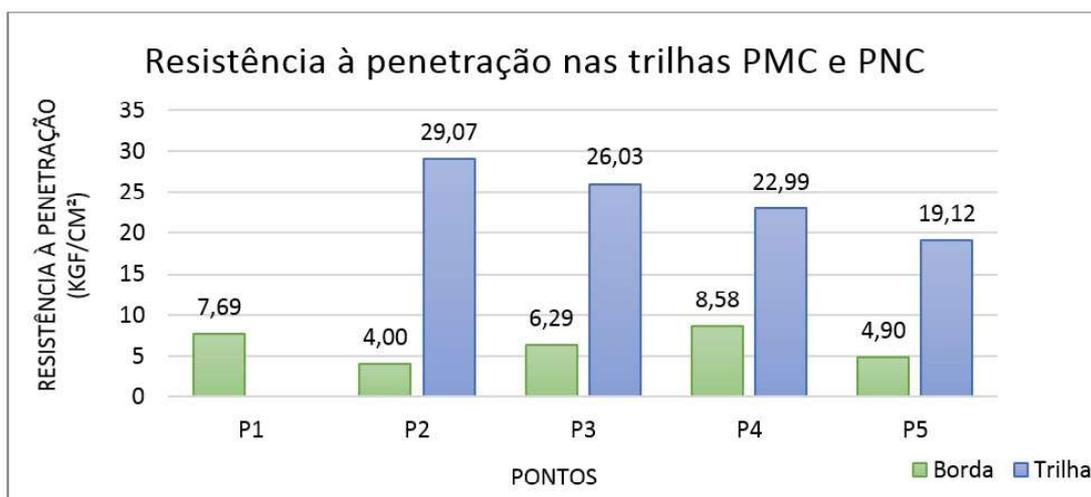


Figura 12 - Variações nos índices de resistência à penetração nas trilhas PMC e PNC. Observações: os pontos 1 e 2 referem-se à trilha PMC e os pontos 3, 4 e 5 referem-se à trilha PNC; na medição da compactação do leito da trilha em P1, o cone do penetrômetro penetrou apenas 2/3 da sua extensão na superfície do solo, inviabilizando o cálculo penetrométrico, conforme preconiza o manual do equipamento quando acontece tal situação.

Takahashi (1998) avaliou a resistência média do solo à penetração na superfície da trilha encontrando valores de 9,2 kgf/cm² no leito da trilha e 4,1 kgf/cm² na área de borda. Já Figueiredo et al. (2010) encontraram valores mais elevados, sendo os valores de resistência média do solo à penetração no leito da trilha de 37,8 kgf/cm² e nas áreas adjacentes de 10,2 kgf/cm² - isto porque na trilha estudada pelos autores havia passagem de veículos motorizados. Magro (1999) obteve em seu trabalho, utilizando um penetrômetro de bolso, uma resistência média de 45,9 kgf/cm² no leito da trilha e de 30,6 kgf/cm² nas margens afirmando que “ (...) dados de resistência à penetração obtidos na parte externa da trilha mostraram correlação com a largura do solo exposto, com o número de fatores depreciativos e com o índice de erodibilidade do transecto analisado” (MAGRO, 1999, p.68).

Analisando a área de borda das trilhas, P4 apresentou o maior valor 8,58 kgf/cm², já P2 apresentou o menor valor 4 kgf/cm². Logo, fica evidente que o pisoteio está impactando negativamente o leito das trilhas, visto que, os resultados obtidos no piso são muito superiores aos obtidos na área de borda.

Conclusões

Conclui-se, portanto, que é necessário o reconhecimento da importância do patrimônio geológico e geomorfológico existente no PNSB. Para

isso, é preciso que os gestores da UC estimulem os trabalhos de identificação, mapeamento e divulgação do patrimônio geológico e geomorfológico para os visitantes. Partindo desse pressuposto, o visitante precisa compreender a relevância daquele ambiente, não só no aspecto turístico e da beleza cênica da paisagem, mas também, no aspecto da sua formação e da sua relevância para a dinâmica do sistema ambiental.

Com relação aos impactos nas trilhas, é necessário recuperar as áreas já degradadas, através da utilização de técnicas de bioengenharia, como geotêxteis e instalar estruturas de manejo mais eficientes, como diques e barreiras de drenagem que evitam a circulação de água no leito da trilha e o aprofundamento de processos erosivos. É fundamental recuperar algumas estruturas de manejo bastante danificadas que representam risco aos usuários. Ademais, é preciso conscientizar os turistas e demais usuários, no sentido de promover a adoção de condutas adequadas e menos impactantes, pois como foi constatado, os próprios usuários picham as placas de sinalização nas trilhas.

Constatou-se que o leito da trilha está sofrendo com o efeito do pisoteio, principalmente em P2 onde a resistência à penetração foi de 29,07 kgf/cm², e com a remoção de sedimentos pela erosão hídrica (como, por exemplo, em PE 1, onde a área erodida foi de aproximadamente 0,37m²). Há necessidade de readequar o traçado em alguns pontos das trilhas (como em PE 4, onde já existe um atalho criado pelos visitantes), bem

como, incorporar matéria orgânica e revegetar as bordas trilha, principalmente no talude superior de PE 2 onde ocorreu movimento de massa.

Os resultados apontam para a importância dos estudos de campo, do planejamento e da análise das atividades de uso público. O desenvolvimento dessas análises auxilia na elaboração de diagnósticos e de propostas que visem reduzir o impacto negativo que está ocorrendo no litoral do PNSB.

Agradecimentos

Agradecemos à Capes, ao CNPq e à FAPERJ pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P. Termografia para determinação da microtopografiada superfície do solo em diferentes condições de cobertura morta. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.3, p.445-453, 2014.
- ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E.; LARSON, W. E.; HOLT, R. F. **Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage**. Washington: Agricultural Research Service, 1966. 22p. Disponível em: <<https://archive.org/details/totalporosityran07allm>>. 29 mai. 2016.
- ALMEIDA, A. A. **Diagnóstico ambiental em trilhas ecoturísticas: estudo de caso no Parque Nacional da Serra do Cipó, MG**. 2005. 45f. Monografia (Graduação) - Departamento de Ciências Biológicas, Ambientais e da Saúde, Centro Universitário de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2005.
- ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. 322p.
- BERTOLANI, F. C.; PAZ GONZÁLEZ, A.; LADO LIÑARES, M.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; MIRANDA, J. G. V. Variabilidade espacial da rugosidade superficial do solo medida com rugosímetros de agulhas e laser. **Bragantia**, v.59, n.2, p.227-234, 2000.
- BRILHA, J. **Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review**. Geoheritage, 2016.
- CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J. F.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; CARVALHO, L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.229-237, 2007.
- CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.339-352, 2006.
- COSTA, N. M. C. da. Ecoturismo: abordagens e perspectivas geográficas. In: COSTA, N. M. C. da; NEIMAN, Z.; COSTA, V. C. da. (org). **Pelas trilhas do ecoturismo**. Parte I. São Paulo: Ed. Rima, 2008. p.17-30.
- DARBOUX, F.; HUANG, C. Does soil surface roughness increase or decrease water and particle transfers? **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n.3, p.748-756, 2005.
- FEOLA, E. **Análise dos processos erosivos em trilha: subsídio ao planejamento e manejo**. 2009. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- FIGUEIREDO, M. A.; BRITO, I. A.; SANTANA, W. A.; ROCHA, C. T. V. Compactação do solo em trilhas de Unidades de Conservação. **Mercator**, v. 9, n. 19, P. 165-174, 2010.
- FULLEN, M.A.; CATT, J.A. **Soil Management: problems and solutions**. London: Arnold, 2004.
- GUERRA, A.J.T.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. C. O.; FULLEN, M. A. The geomorphology of Angra dos Reis and Paraty municipalities, Southern Rio de Janeiro State. **Revista Geonorte**, v.9, n.1, p.1-21, 2013.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.
- ICMBIO. **Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina**. 2002. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/parnaserradabocaina/extras/62-plano-de-manejo-e-monitorias.html>. Acesso: 10 mar. 2015.
- JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Geodiversidade, Geoturismo e Geoconservação: Conceitos, Teorias e Métodos. **Revista Espaço Aberto**. v. 6, n.1, p. 151-174, 2016.
- LECHNER, L. **Planejamento, implantação e manejo**

- de trilhas em unidades de conservação.** Fundação O Boticário de Proteção à Natureza. Cadernos de Conservação, n.3, 2006.
- MAGRO, T.C. **Impactos do Uso Público em uma Trilha no Planalto Nacional do Itatiaia.** Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation.** England: Blackwell, 2005.
- MOURA-FÉ, M. Geoturismo: uma proposta de turismo sustentável e conservacionista para a Região Nordeste do Brasil. **Sociedade & Natureza.** v. 27, n.1, p. 53-66, 2015.
- NASCIMENTO, M.A.L.; MANSUR, K.L.; MOREIRA, J. C. Bases conceituais para entender geodiversidade, patrimônio geológico, geoconservação e geoturismo. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada,** Teresina, 2015.
- PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; DE SOUZA, C. M. A.; URCHEI, M. A. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.34, n.2, p.443-451, 2010.
- PASSOLD, A. J. **Seleção de indicadores para o monitoramento do uso público em áreas naturais.** 2002. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Escola Superior de Agricultura Luiz e Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- PAZ-FERREIRO, J.; BERTOL, I.; VIDAL VÁZQUEZ, E. Quantification of tillage, plant cover, and cumulative rainfall effects on soil surface microrelief by statistical, geostatistical and fractal indices. **Nonlinear Processes in Geophysics,** v.15, n.4, p.575-590, 2008.
- PRICE, J.; ROCHEFORT, L.; QUINTY, F. Energy and moisture considerations on cutover peatlands: surface microtopography, mulch cover and Sphagnum regeneration. **Ecological Engineering,** v.10, n.4, p.293-312, 1998
- PONÇANO, W. L. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. 1 mapa. p. 94 .
- RANGEL, L. A.; SILVA, M. A. P.; GUERRA, A. J. T. Impactos da utilização da trilha para a piscina do Caixa D’Aço no Parque Nacional da Serra da Bocaina, Paraty. In: VALEJJO, L. R.; PIMENTEL, D.; MONTEZUMA, R. C. M. (Org.) **Uso público em Unidades de Conservação: planejamento, turismo, lazer, educação e impactos.** Niterói: Alternativa, 2015.
- RANGEL, L. A. **Geoturismo em Unidades de Conservação: a utilização de trilhas no litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina - Paraty (RJ).** 223 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- RANGEL, L. A.; BOTELHO, R. G. M. Análise ambiental da trilha Sahy-Rubião no Parque Estadual Cunhambebe em Mangaratiba (RJ) por meio de um Protocolo de Avaliação Rápida. **Revista GeoUERJ,** v.30, p.391 - 418, 2017.
- RANGEL, L. A. GUERRA, A. J. T. Caracterização de atributos do solo de trilhas ecoturísticas em Unidades de Conservação do município de Paraty, estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia.** v.19, p.17 - 31, 2018
- SANTOS, E. M. **Diagnóstico da geodiversidade e potencial geoturístico do município de Bonito, agreste de Pernambuco.** 2012. 113f. Dissertação (Mestrado em Geociências). - Departamento de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2012.
- SHAKESBY, R. The soil erosion bridge: a device for micro-profiling soil surfaces. **Earth Surface Processes and Landforms.** London, v. 18, p. 823 – 827, 1993.
- SILVA, A. O.; CASTRO, A. O. C. Avaliação dos impactos de uso público na trilha ecológica da praia do perigoso – Parque Natural de Grumari, RJ. In: VALEJJO, L. R.; PIMENTEL, D. D.; MONTEZUMA, R. C. M.. (Org.). **Uso público em Unidades de Conservação: planejamento, turismo, lazer, educação e impactos.** Niterói: Editora Alternativa, 2015, p. 293-304.
- TAKAHASHI, L. **Caracterização dos visitantes, suas preferências e percepções e avaliação dos impactos da visitação pública em duas unidades de conservação do estado do Paraná.** 1998. 129f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias,

Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1998.

VIDAL VÁZQUEZ, E.; VIVAS MIRANDA, J. G.; PAZ-FERREIRO, J. A multifractal approach to characterize cumulative rainfall and tillage effects on soil surface micro-topography and to predict depression storage. **Biogeosciences**, v.7, n.10, p.2989-3004, 2010.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Relações entre tamanho

de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.5, p. 671-679, 2009.

YONG, A. **Slopes**. Logman Londres, 1972, 201-204p.