# INDICADORES DO MEIO FÍSICO E OS PROCESSOS EROSIVOS DA TRILHA NOROESTE - PARQUE ESTADUAL DO PICO DO MARUMBI, MORRETES – PR[1].

*Ednilson FEOLA*[2]
*Everton PASSOS*[3]

## Resumo

A presente pesquisa tem como objetivos identificar e analisar a inter-relação entre alguns indicadores do meio físico e os processos erosivos mais atuantes em um segmento da Trilha Noroeste no Parque Estadual Pico do Marumbi, localizado no município de Morretes – PR. A pesquisa constitui-se em realizar o levantamento de campo de indicadores do meio físico que são compostos por alguns elementos da paisagem e alguns experimentos. Dentre os elementos da paisagem verificaram-se declividade, a área da seção transversal da trilha, coletas de solo (propriedades físicas do solo) e índice de cobertura vegetal. No que diz respeito aos experimentos, foram quantificados o índice de pluviosidade, o escoamento superficial e sedimentação, a erosão por salpicamento, a taxa de infiltração, a estimativa de perda de solo e a compactação do solo. A utilização desses indicadores, não segue apenas um procedimento metodológico, mas sim adaptações de diferentes procedimentos, entre eles os utilizados por Bertoni; Lombardi (1993); Cole (1991); Morgan (1996) e Magro (1999). Além disso, utilizou-se o método experimental Ross (2005). A utilização de diferentes procedimentos metodológicos demonstrou-se satisfatória, pois, por meio dos indicadores do meio físico propostos, verificou-se a real atuação dos processos erosivos junto à trilha, sendo que os indicadores foram preponderantes à análise. Conclui-se que a concentração de fluxo hídrico na trilha e a declividade são as principais causas da erosão, que podem ser amenizadas com algumas medidas de manejo, entre elas a dissipação do volume da enxurrada canalizada no interior da trilha, através da construção de pequenos canais e terraços ao longo de sua extensão, e a cobertura do solo exposto da trilha com serrapilheira, que favorecerá algumas propriedades físicas do solo, obtendo-se logo menor degradação.

**Palavras chaves:** Erosão do solo. Trilha de montanha. Indicadores do meio físico.

## Abstract

### Physical environment indicators of erosive processes of the noroeste trail - Pico do Marumbi State Park, Morretes – PR

This research aims to identify and analyse the relationships between some physical environmental indicators of erosive processes in a segment of the Noroeste Trail at Marumbi State Park, within the municipality at Morretes – PR. The research performs the field survey of physical environmental indicators composed by both landscape elements experimental surveys. Among the landscape elements, the slope, the trail transversal area, soil properties, and vegetal cover were analyzed. Regarding the experimental data the rainfall, depth surface runoff and sediment transport, sprinkler erosion, infiltration, soil loss and soil compacting were quantified. The use of these indicators not only follows standard methodological proceedings, but also some adaptations of the proceedings, used by Bertoni and Lombardi (1993); Cole (1991); Morgan (1996) and Magro (1999). The experimental method proposed Ross (2005) has also been used. The use of different methods has been satisfactory because it allows to estimate the real situation of the erosive process at the trail by means of the physical environment indicators. They have been very useful to the analysis at the erosion. In conclusion, the concentration of the runoff on the trail and the slope are the main causes of erosion. Some control measures may reduce the erosion process. One of these is to dissipate the runoff energy on the trail by building diversion channels and terraces along the trail extension. Another measure is to cover the ground with litterfall which may improve some physical properties of the soil and diminish the degradation processes.

**Key words:** Soil erosion. Mountain trail. Physical environment indicators.

[1] Síntese dos resultados da dissertação do primeiro autor.

[2] Geógrafo – Mestre em Geografia Física (DG – UFPR). E-mail canidia_feola@yahoo.com.br

[3] Geógrafo, Doutor em Geografia Física e professor do Departamento de Geografia da UFPR. E-mail everton@ufpr.br

## INTRODUÇÃO

Geralmente os sistemas de trilhas que estão inseridos em áreas protegidas são freqüentemente acometidos por diferentes impactos negativos pelo uso público. De acordo Barros (2003, p.1), as atividades que potencializam os impactos negativos são caminhadas, cavalgadas, esportes de aventuras, entre outros. A depredação de árvores e rochas, danos a flora, aumento na quantidade de lixo, compactação e erosão do solo e atalhos são os impactos mais evidentes em trilhas.

O uso público de trilhas atrelado a dinâmica dos processos erosivos, contribui para o surgimento de impactos, principalmente quando se trata de perda e compactação do solo. Yoda e Watanabe (2000) e Nepal e Amor-Nepal (2004) enfatizam os impactos do meio físico, abordando principalmente o tema da erosão do solo favorecida pela compactação, ocasionada pelo pisoteio. Takahashi (1998) no Parque Estadual Pico Marumbi- Magro (1999) e Barros (2003) - no Parque Nacional do Itatiaia - realizaram pesquisas sobre os impactos negativos em trilhas de áreas montanhosas, ocupando-se principalmente da vegetação e do solo.

Os autores supracitados apresentam em suas pesquisas uma forte relação entre a visitação e a potencialização dos impactos negativos junto aos elementos da paisagem que envolve a trilha. Neste contexto, Andrade e Rocha (1990, p. 790); Cole (1991, p. 3); Jewell e Hammitt (2000, p. 134); Yoda e Watanabe (2000, p. 174); Marion (2003, p. 20); Nepal e Amor-Nepal (2004, p. 335) e Feola, Nucci e Santos (2008, p. 165) fazem referência dos principais impactos negativos em trilhas, sendo eles: compactação do solo, processos erosivos, falta de drenagem e alargamento das trilhas. Magro (1999, p. 80) e Magro e Talora (2006, p. 9) mencionam sobre a degradação da vegetação e a redução do banco de sementes do solo.

Para entender tais dinâmicas que ocorrem ao longo da trilha, principalmente no que se refere à erosão, faz-se necessário entender primeiramente os fatores controladores da erosão e seus processos, além da correlação dos elementos do meio físico (água, solo, vegetação e declividade). Devido a esse fato, caracteriza-se a importância do levantamento detalhado de alguns indicadores do meio físico, tais como pluviosidade, declividade, área da seção transversal da trilha, propriedades físicas do solo, cobertura vegetal, escoamento superficial, erosão por salpicamento, taxa de infiltração, estimativa de degradação de solo e compactação, tanto para o planejamento como para o manejo da trilha.

A pesquisa foi desenvolvida no Parque Estadual do Pico Marumbi, localizado no município de Morretes (PR), os levantamentos foram realizados no período de verão, por ser o mais chuvoso, e logo o mais representativo no que concerne aos aspectos hidrológicos – principalmente atrelados a potencialidade da erosão hídrica em degradar o solo.

Diante do contexto apresentado, o presente trabalho tem por objetivo principal identificar e analisar, por meio de adaptações de diferentes procedimentos, entre eles os utilizados por Bertoni e Lombardi (1993); Cole (1991); Morgan (1996); Magro (1999) e o método experimental Ross (2005), alguns dos fatores determinantes e controladores de processos erosivos em segmento da trilha onde há impactos ambientais negativos associados ao uso público, - e sua erodibilidade.

## LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO E OS ELEMENTOS DA BASE NATURAL

O Parque Estadual do Pico do Marumbi (PEPM) localiza-se no município de Morretes (figura 1), na vertente oriental da Serra do Mar paranaense, entre as latitudes 25° 30' e 25° 25' Sul e longitude 48° 58' e 48° 53' oeste de Greenwich. Está aproximadamente a 80 km de Curitiba e possui uma área de 2.342 ha. Apresenta altitudes que variam de 300 a quase 1600 m (IAP, 1996, p. 4).

De acordo com Feola, Nucci e Santos (2008, p. 158), no PEPM há quatro trilhas, das quais duas estão abertas ao uso público (Frontal e a Noroeste-Abrolhos). Por estarem inseridas em relevo escarpado, apresentam alta declividade e suas extensões variam de 1,5 a 4 km. A trilha Noroeste-Abrolhos (figura 1) possui comprimento de 1,7 km e um desnível de 700 m.

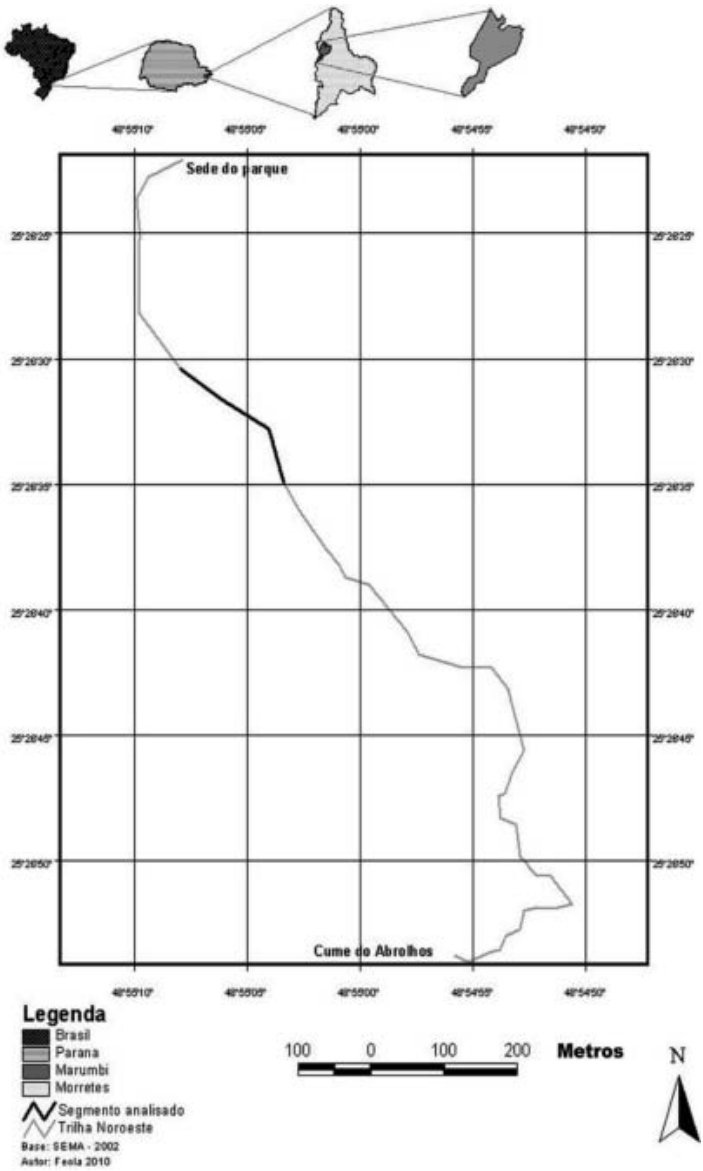


**Figura 1 – Localização do Parque Estadual Pico do Marumbi e da área de estudo**

Org: Feola, 2010.

No que se refere à geologia do PEPM, segundo Cordani e Girardi (1967, p. 9) há predominância de rochas metamórficas e ígneas de idade pré-cambrianas. Trata-se de migmatitos e outras rochas metamórficas associadas que integram o complexo cristalino. De acordo com Oka-Fiori e Canali (1987, p. 42) ocorre, em menor proporção, à presença de seqüências vulcânicas ácidas e seqüências sedimentares.

O tipo climático de Koeppen, que ocorre na área do PEPM, segundo IAP (1996, p. 9), é o Cfb, ou seja, clima subtropical úmido, mesotérmico, sem estação seca com verão fresco.

O PEPM está localizado no contexto geomorfológico da área que acompanha a grande escarpa de falha do complexo cristalino, onde existem diferentes fisionomias. De acordo com Santos, et al. (2006, p. 6) são unidades morfo-esculturais que apresentam as seguintes característica: Rampas Pré-Serra - dissecação alta, declividade predominante de 6-30%, predominam topos alongados em crista e rampas com encostas retilíneas e vales em “V”. A unidade Serra do Mar - alta dissecação, declividade predominante entre 12-30%. A unidade Blocos Soerguidos da Serra do Mar - dissecação muito alta, declividade predominante entre 30-47%. Nas duas últimas, as formas predominantes são topos alongados, cristas com vertentes retilíneas, e vales em “V” encaixado. Segundo Bigarella, et al. (1978, p. 69-94), os topos quando desenvolvem superfícies aplanadas são relacionados a relevos residuais de pediplanos.

No PEPM ocorrem duas classes de solos: Cambissolos e Neossolos Litólicos. Segundo IAP (1996, p. 28), os Cambissolos representam 44,3% da área total do parque e envolvem solos não hidromórficos, com horizontes A proeminente e horizonte B câmbico. A classe dos Neossolos Litólicos representa 18,6% da área do parque e compreendem solos pouco desenvolvidos, ou seja, que estão em inicio de formação, sendo rasos, com horizonte A de espessura em torno de 16 cm, sobre rocha ou horizonte C.

De acordo com IAP (1996, p. 37), as montanhas do PEPM, são quase totalmente recobertas pela Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Refúgios Vegetacionais (Campos de Altitude e Vegetação Rupestre). Dentro desta unidade fitogeográfica segundo Roderjan, et al. (2002, p. 79-81) é encontrado as seguintes formações Submontana, Montana e Altomontana.

## METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo desta pesquisa utilizam-se alguns indicadores do meio físico (pluviosidade; declividade; área da seção transversal da trilha; propriedades físicas do solo - densidade do solo, densidade de partículas e granulometria; cobertura vegetal; escoamento superficial; erosão por salpicamento; taxa de infiltração; estimativa de degradação de solo e compactação) e, método experimental. Sobre esse método Ross (2005, p. 30) comentou que “A pesquisa experimental tende a apoiar-se nas técnicas de quantificação para avaliar e interpretar os dados gerados com os experimentos”.

Os experimentos e os levantamentos foram realizados no segmento da trilha Noroeste (na porção inicial), por apresentar maior quantidade de ravinas como referido por Feola, Nucci e Santos (2008, p. 166).

Os dados dos indicadores selecionados foram obtidos ou mensurados conforme os seguintes procedimentos:

Pluviometria: com objetivo de verificar o total precipitado na semana, foram confeccionados dois tipos de pluviômetros. Um dos pluviômetros teve por finalidade a captação da precipitação de uma área de clareira. Este utensílio foi elaborado com um funil de 185 mm de diâmetro acoplado em um galão plástico de 5 ℓ, e disposto a uma altura de 1,5 m do solo, adaptado da metodologia sugerida por Arcova, Cicco e Rocha (2003, p. 259). O outro

pluviômetro tipo “calha” quantificou a chuva efetiva, este foi construído com canos de PVC (diâmetro de 100 mm e comprimento de 2,0 m), dispostas no interior da floresta, sendo conectada a dois galões com capacidade de 30 ℓ cada, conforme metodologia de Castilho (2000, p. 55). Para os resultados foram aplicados o método de ponderação regional. Dados pluviométricos são de caráter extremamente importante, uma vez que são determinantes fundamentais à erosão hídrica.

Declividade: obteve-se utilizando o Clinômetro – Chicago, por meio de 11 medições ao longo da trilha. Adotou-se as classes de declividade propostas por Lemos e Santos (2005, p. 57), em que abaixo de 2°, plana; de 2 a 5°, baixa; de 5 a 11°, média; de 11 a 24°, alta; e acima de 24°, muito alta. A partir das classes de declividade, pode-se identificar e delimitar áreas mais favoráveis a erosão.

Área da seção transversal da trilha: mensurou-se por meio do transecto da trilha, com modificações da metodologia de Cole (1991, p. 2). O transecto consiste na medida da largura e da profundidade da trilha em relação a sua margem. Este indicador é de grande valia devido ao fato de ser uma medida útil ao poder monitorar a expansão tanto da profundidade quanto da largura da trilha.

Análise física do solo: optou-se por analisar duas profundidades no solo da trilha com as seguintes medidas: 0-5; 5-10 cm e duas na área testemunho: 0-5; 5-10 cm. Foram coletadas três amostras de solo - duas indeformadas (anel volumétrico 145,59 $cm^3$) e uma deformada (armazenada em saco plástico), de cada profundidade, como preconizam Lemos e Santos (2005, p. 82). Optou-se por utilizar a profundidade de 10 cm devido à maior interferência ocasionada pela sobrecarga do pisoteio frente às propriedades do solo (MANTOVANI, 1987, p. 52).

Para a análise do solo utilizou-se a metodologia sugerida no Manual de Métodos de Análise Física do Solo, (EMBRAPA, 1997). As análises físicas do solo (densidade aparente, densidade de partículas, umidade gravimétrica e granulometria) foram desenvolvidas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solo da UFPR. Estas propriedades são válidas, como indicador, devido ao fato de indicar sua maior ou menor erodibilidade (MORGAN, 1996, p. 29).

Cobertura vegetal: utilizou-se o método de linhas Canfield (1941, apud DURIGAN, 2003, p. 466), que consiste na soma da extensão total cobertas por todos os indivíduos arbóreos ou herbáceos, dividida pela extensão da linha. Esse indicador é significante, pois, dependendo da porcentagem que apresenta, pode favorecer ou não à proteção do solo em relação às gotas de água da chuva.

Escoamento superficial: utilizou-se o método de sistema de coletores Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 282) e Morgan (1996, p. 170), adaptado à trilha. Na parte inferior da trilha, o fluxo foi direcionado e canalizado por meio de tubos de PVC de 100 mm, que convergem a água para um tambor metálico de 117 ℓ, quando cheio extravasa por dois orifícios de 1,5’ para um segundo tambor também de 187,5 ℓ, que quando cheio passa para um terceiro de 2000 ℓ. O volume total obteve-se por meio do seguinte procedimento: a) multiplicou-se o volume recolhido no terceiro e segundo tambor pelo número de orifícios do primeiro tambor; b) posteriormente, acresceram-se os resultados anteriores ao volume depositado no primeiro tambor.

Para quantificar os sedimentos, o volume foi homogeneizado e retirada uma amostra representativa de 50 ml e, posteriormente estimada para o volume total semanal. O indicador escoamento superficial é de extrema importância, uma vez que fornece informações tanto da enxurrada quanto da produção de sedimento.

Erosão por salpicamento: mensurou-se por meio de coletor de salpicamento, Morgan (1996, p. 137). Este coletor consiste em um cilindro de ferro galvanizado, com 30 cm de diâmetro e 10 cm de altura, dividido ao meio por duas placas. No centro desse cilindro há outro cilindro, com 10 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, que é enterrado no solo. A bandeja

foi fixada e enterrada na encosta com inclinação de 22º. As leituras foram realizadas semanalmente. Este indicador é relevante, devido ao fato de ser a primeira fase da erosão hídrica.

Taxa de infiltração: utilizou-se o método do infiltrômetro de anéis concêntricos, Cauduro e Dorfman (1988, p. 160), sendo constituído de dois anéis concêntricos; o cilindro externo é metálico e, possui 30 cm de altura e 30 cm de diâmetros. O interno é de PVC, possui 30 cm de altura e 20 cm de diâmetro. As taxas de infiltração foram determinadas sob umidade gravimétrica de 29,94% na trilha, e 21,37% na área testemunho, ambas para a profundidade de 0-10 cm. A taxa de infiltração reflete maior ou menor capacidade de absorção, portanto, nos diz que um determinado solo estará ou não mais susceptível a produção de escoamento superficial, logo, maior ou menor erosão.

Estimativa da degradação do solo: utilizou-se o total de sedimento quantificado por meio de amostras (de 50 ml) dos coletores de escoamento. Com o total do sedimento perdido em (12.758 Kg), em um determinado período (7 semanas) dividido pela densidade do solo (1,96 g/cm³), chega-se ao volume de solo perdido (6.509 m³) e quando dividido pela área (279,84 m²), obtêm-se a altura de solo perdido (0,023 mm) Carvalho (1994, p. 47). Os levantamentos que levam em conta a estimativa de perda de solo são importantes, principalmente porque podem apontar em quais épocas do ano ocorre maior ou menor degradação.

Compactação do solo: usou-se um penetrômetro digital *Spectrum – Fieldscout* sc-900, utilizado para medir a resistência mecânica do solo. Analisou-se os primeiros 10 cm do solo, devido maior interferência na compactação para essa profundidade. Admite-se valor superior a 1,0 MPa como solo compactado (TORMENA; ROLOFF, 1996, p. 337). Este indicador é relevante devido ao fato de alterar a estrutura do solo, dificultando a infiltração e favorecendo os processos erosivos.

Para o tratamento estatístico optou-se por usar o coeficiente de correlação linear simples (correlação de Pearson), por quantificar a força de associação linear entre duas variáveis. A correlação pode ser: perfeita r = 1; muito forte r [0,9-1]; forte [0,6-0,9]; regular r [0,3-0,6]; [0-0,3] e nula r = 0 (ANDRIOTTI, 2003, p.68-78). Para obtenção de tal análise utilizou-se o programa *Analyse-it* para *Microsoft Excel – Oficce* 2007.

## RESULTADOS

### PLUVIOMETRIA, COBERTURA VEGETAL E EROSÃO POR SALPICAMENTO

Verificou-se alta pluviosidade, com variações significativas no que se refere a variação da precipitação - na área de clareira, ocorreu extremos de 5,3 e 208,87 mm (tabela 1). O total precipitado no período foi de 709,49 mm, sendo que 396,23 mm, foram coletados no mês de fevereiro, demonstrando-se representativos em relação à precipitação total mensal de três estações pluviométricas (Guaricana, Parigot de Souza e Chaminé), instaladas na Serra do Mar. Com o método de ponderação regional verificou-se variação de 1,30% para a média mensal de fevereiro.

Constataram-se episódios de chuva acentuados (187,89 e 208,87 mm), excepcionais em relação aos anteriores, que refletiram no maior escoamento superficial para a área da trilha com os respectivos valores de 6.427,8 e 7.169,6 ℓ. Essas taxas relativamente altas, ratificam o que Cassete (1991, p. 57) afirmou sobre importância da água na interação com as encostas, por favorecer a erosão, solifluxão, movimentos de massa, entre outros.

**Tabela 1 – Algumas variáveis atuantes no processo erosivo**

| Chuva clareira (mm) | Interceptação (%) | Escoamento (*l*) | Erosão por salpicamento | Cobertura vegetal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (g/0,07m²) | | Trilha | Floresta |
| 5,35 | 51,02 | 0 | 0,11 | | | |
| 66,98 | 22,42 | 2.162,50 | - | m²/ m | 32,63 | 51,49 |
| 67,69 | 23,51 | 2.146,80 | 1,48 | m²/ 50 m | 1631,87 | 3.148,94 |
| 73,67 | 22,91 | 2.388,30 | - | Dossel > 10 m | 1586,75 | 2.738,70 |
| 99,04 | 28,51 | 3.101,60 | 5,1 | Dossel < 10 m | 90,24 | 410,24 |
| 187,89 | 28,46 | 6.427,80 | 2,20 | | | |
| 208,87 | 28,45 | 7.169,60 | 5,65 | | | |

Org: Feola, 2010.

A cobertura vegetal no interior da floresta, apresentou taxa aproximada de 3.148,94 m²/50m, sendo que, 86,97% são representadas por dossel superior a 10 m de altura e, 13,03% como sub-bosque, com altura inferior a 10 m. Para área da trilha os dosséis com altura superior a 10 m apresentaram 97,52% da cobertura vegetal. Devido a esse fato, é possível mencionar que a trilha está mais susceptível ao processo erosivo por salpicamento em relação à floresta. Essas características ratificam as afirmações de Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 47) e Morgan (1996, p. 16), sobre o fato de as gotas de chuva não serem amortecidas pelo dossel e alcançarem nova velocidade terminal.

Na área da trilha, constatou-se valor inferior em relação à área da floresta, ou seja, na trilha a cobertura vegetal apresentou valor médio de 1.631,87 m²/50m. Além disso, no interior da floresta, a cobertura vegetal por metros quadrados é de representatividade superior em relação à trilha (tabela 1).

A interceptação da chuva apresentou valor médio de 29,34%, sendo que as porcentagens encontradas estão sempre nessa faixa dos 20%, com exceção do menor índice pluviométrico semanal (5,35 mm) refletindo-se na maior eficiência da interceptação (51,03%). Essas taxas são condizentes com interceptação verificadas por outras pesquisas: Coelho Netto, Sanche e Peixoto (1986, p. 62); Britez, et al. (1998, p. 67) e Arcova, Cicco e Rocha (2003, p. 261). Constatou-se que para os totais de chuva superior a 99,04 mm, uma modesta redução na interceptação. Devido a esse fato, demonstra-se que a interceptação está mais atrelada à intensidade do que ao total de chuva, como preconizam Bigarella e Mazuchowski (1985, p. 95); Goudie (1995, p. 131) e Coelho Netto (2001, p. 100).

Os maiores valores de perda de partículas do solo pelo impacto da gota da chuva, podem ser explicados pela altura do dossel, ou seja, o dossel pode ser denso, entretanto se estiver a uma altura superior a 10 m não vai proteger o solo dos impactos pelo salpicamento. Os valores de remoção das partículas do solo foram extrapolados para o segmento da trilha, onde constatou-se valores significativo referente à perda de solo por salpicamento na área da trilha. Essas taxas de remoção do solo ratificam as afirmações de Goudie (1995, p. 131) e Bigarella, et al. (2003, p. 914).

Contudo, esses valores são super estimados, uma vez que ao longo da trilha, há variação na declividade, a cobertura vegetal não é uniforme, o solo nas laterais da trilha geralmente possui cobertura por serrapilheira e, a existência de grande quantidade de raízes expostas e alguns fragmentos de rocha junto à superfície do solo. Entretanto, verificou-se

uma correlação positiva muito forte entre aumento do índice pluviométrico e a remoção de partículas do solo, com valor de r = 0,99.

## ANÁLISE FÍSICA DO SOLO, TAXA DE INFILTRAÇÃO E DEGRADAÇÃO DO SOLO

A densidade aparente (DA) encontrada na trilha foi menor em relação à área testemunho para a profundidade 0-5 cm, com respectivos valores; 1,96 g/cm³ e 2,02 g/cm³. O valor reduzido na área de influência do pisoteio pode estar atrelado à maior quantidade de matéria orgânica incorporada no solo, uma vez que a rugosidade do caminho faz com que seja depositada grande quantidade de serrapilheira. A maior taxa verificada na profundidade de 0-5 na área de floresta pode estar atrelada à densidade de partículas (DP), pois apresentou valor de 3,53 g/cm³ contra 3,43 g/cm³ na trilha.

Para as profundidades de 5-10 cm, houve maior DA na trilha do que na área testemunho, as quais apresentam os respectivos valores: 2,03 e 1,98 g/cm³. Essa inversão de valores refletiu-se também na DP, onde, a trilha demonstrou taxa superior de 3,53 g/cm³ contra 3,49 g/cm³ para a área testemunho. A DA do solo, essa é normalmente alterada pela pressão mecânica exercida sobre ele, influenciada pelo pisoteio que favorece a compactação. Portanto, a DA demonstrou-se diferente do esperado para os primeiros 5 cm na trilha, devido à transferência de carga ocasionada pelo pisoteio ser reduzida às partículas do solo em maior profundidade. Os resultados encontrados nesta pesquisa condizem com os encontrados por Vashchenko (2006, p. 69) e Figueiró e Coelho Netto (2006, p. 11).

No que se refere à granulometria tanto os solos da trilha quando da área testemunho, são classificados como argilosos, pois apresentam teor de argila superior a 50%. A comparação das profundidades superficial (0-5 e 5-10 cm) entre a trilha e a área testemunho demonstrou-se com pouca variação, sendo o teor de argila mais representativo com o percentual de 9,93 % a mais em relação à área testemunho. Em contra partida, os teores de areia fina e silte foram respectivamente 15,42 e 1 % menos na área da trilha.

É possível constatar-se que a mais vulnerável aos processos erosivos teoricamente seria a área testemunho, por apresentar maior teor de silte e areia fina em relação a trilha. Este fato deve-se as características de maior erodibilidade tanto da areia fina quanto do silte, refletindo-se em uma textura de maior suscetibilidade à desagragação e ao transporte. O silte em específico atua principalmente na desagregação do solo e, na reduzida capacidade de retenção de água. Contudo, devido ao uso, a concentração de fluxo hídrico, a presença de selagem na superfície do solo e a ausência de matéria orgânica, tornam a trilha mais vulnerável aos processos erosivos, mesmo possuindo características granulométricas que possibilitem menor grau de erodibilidade em relação à área testemunho.

Outro fator que favorece a erosão na área da trilha é a baixa infiltração de água no solo (gráfico 1). A reduzida taxa de infiltração é ocasionada por diferentes fatores, entre eles: a selagem do solo, ocasionada pelo impacto da gota de chuva, a compactação favorecida pelo pisoteio, ao elevado teor de argila, à maior DA do solo e, umidade gravimétrica elevada. A compactação na trilha, apresentou os seguintes valores máximos: 1.848 e 1.193 MPa para as respectivas profundidades de 0-5 e 5-10 cm.

A maior taxa de infiltração na área testemunho está associada à baixa umidade gravimétrica de 21,37%, condiz com a afirmação de Molchanov (1963, p. 154). Além disso, há a presença de matéria orgânica, baixa compactação do solo - 0,309 MPa, (tabela 2), e ausência de selagem na superfície do solo.

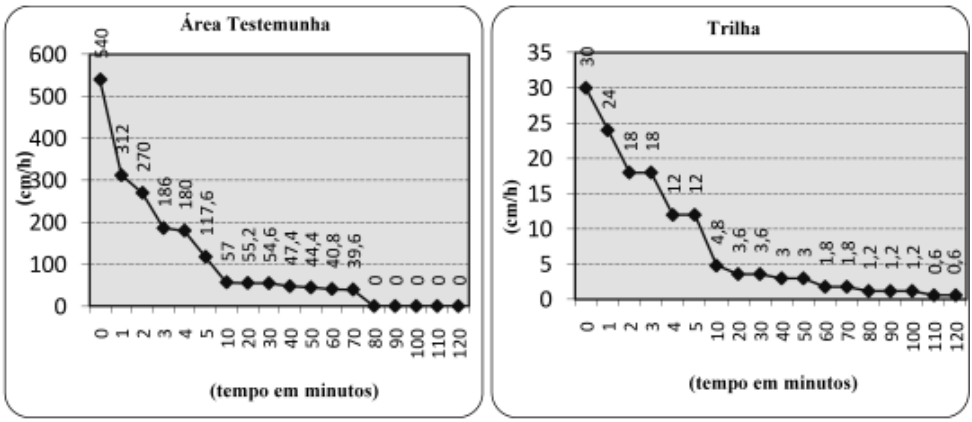


**Gráfico 1 – Características das taxas de infiltração**

Org: Feola, 2010.

A atuação dos processos erosivos reflete na perda de solo - a estimativa da degradação do solo do segmento da trilha apresentou valor significativo. Constatou-se altura de 0,023 mm de perda de solo, representado por um total de 12.758 kg de sedimentos carreados. Essas taxas são superestimadas por de ter-se realizado a análise do solo de forma pontual (apenas um ponto), ao longo dos 159 m de extensão. Encontra partida, na área testemunho as variáveis que atuam na minimização dos processos erosivos são: a cobertura do solo por serrapilheira, baixa compactação do solo e ausência de uso, pelo pisoteio.

**Tabela 2 – Variáveis que interferem na infiltração**

| Profundidades (cm) | Área da trilha | | | | Área testemunho | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Compactação (MPa) | DA (g/cm³) | AG (%) | UG (%) | Compactação (MPa) | DA (g/cm³) | AG (%) | UG (%) |
| 0-5 | 1.848 | 1,96 | 55 | 32,48 | 0,351 | 2,02 | 45 | 19,63 |
| 5-10 | 1.193 | 2,03 | 52,33 | 27,91 | 0,268 | 1,90 | 51,66 | 23,12 |

Org: Feola, 2010.
Nota: MPa – mega pascal, DA – densidade aparente (valores médios), AG – argila (valores médios) e UG – umidade gravimétrica (valores médios). A compactação refere-se ao local onde, realizou-se a taxa de infiltração.

No que se refere à compactação do solo, constatou-se como era esperada, maior valor na área da trilha, principalmente pela influência do pisoteio e presença de selagem na superfície do solo. Apesar de o valor médio da resistência à penetração do solo ter apresentado taxa superior a 1,0 MPa, na profundidade de 0-5cm na superfície da trilha, averiguou-se em 6 dos 10 pontos mensurados, valores inferiores a 1,0 MPa. Contudo, um dos pontos (2,244 MPa), demonstrou-se restritivo à penetração de água e aeração das raízes, ratificando as afirmações de Tormena e Roloff (1996, p. 337).

Verificou-se variação na compactação do solo da trilha em relação à área testemunho. A área com influência do pisoteio apresentou porcentagem superior, em relação à área

testemunho (49,53% para a profundidade de 0-5; 34,66% de 5-10 cm). Essas taxas ratificam a afirmação de, Andrade (2005, p. 250), que quanto maior a quantidade de pisoteio, maior será a compactação do solo. Além disso, os valores encontrados condizem com os resultados obtidos por Takahashi (1998, p. 98); Magro (1999, p. 85) e Feola, Nucci e Santos (2008, p. 166).

## ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DECLIVIDADE

O total de escoamento superficial foi de 23.397,12 ℓ, apresentando média semana de 3.342,44 ℓ. No entanto, houve oscilações significativas que acompanharam as variações de precipitação. Exemplo são os dois episódios de maior amplitude, ou seja, na 5ª semana que apresentou a menor taxa de precipitação de 5,2 mm e, na 6ª semana com a maior altura de chuva registrada - 208,87 mm. Essa oscilação refletiu-se também, no escoamento e na produção de sedimentos, pois apresentou para a menor chuva um escoamento de 0 e 7.169,6 ℓ, para a maior pluviometria, e quantidade de sedimento, respectivamente de 0 e 4.537 kg. Nas menores precipitações, pode-se observar que o escoamento superficial é reduzido quando comparado com as precipitações mais elevadas, visto que a infiltração da água é mais significativa naquela situação.

À medida que a precipitação aumenta, ocorre incremento no escoamento superficial, que associado à declividade (alta, com valor médio de 21,54° e, um dos pontos classificado como muita alta, 26°), potencializa a turbulência e a velocidade da enxurrada. Esta maior velocidade reflete em maior poder de abrasão e arraste de partículas do solo, sendo a inclinação do terreno um dos principais fatores relacionados à erosão do solo nas encostas, que deixa grande quantidade de raízes expostas ao longo do caminho, além de ravinas. Isso ratifica a afirmação de Cogo, Levien e Schwarz (2003, p. 750) e Garcia, et. al. (2003, p. 539) ao comentarem sobre perda de solo relacionado à declividade e enxurrada.

No gráfico 2 é possível notar que houve correlação positiva perfeita entre pluviosidade e escoamento, com valor de r igual a 1,0 e, correlação positiva muito forte entre escoamento e produção de sedimentos, com valor de r igual a 0,99 condiz com a afirmação de Cogo e Bertol (1998, p. 59).

A relação entre precipitação e perda de solo, demonstrou-se positiva muito forte, r = 0,99, ratifica a afirmação de Morgan (1996, p. 26).

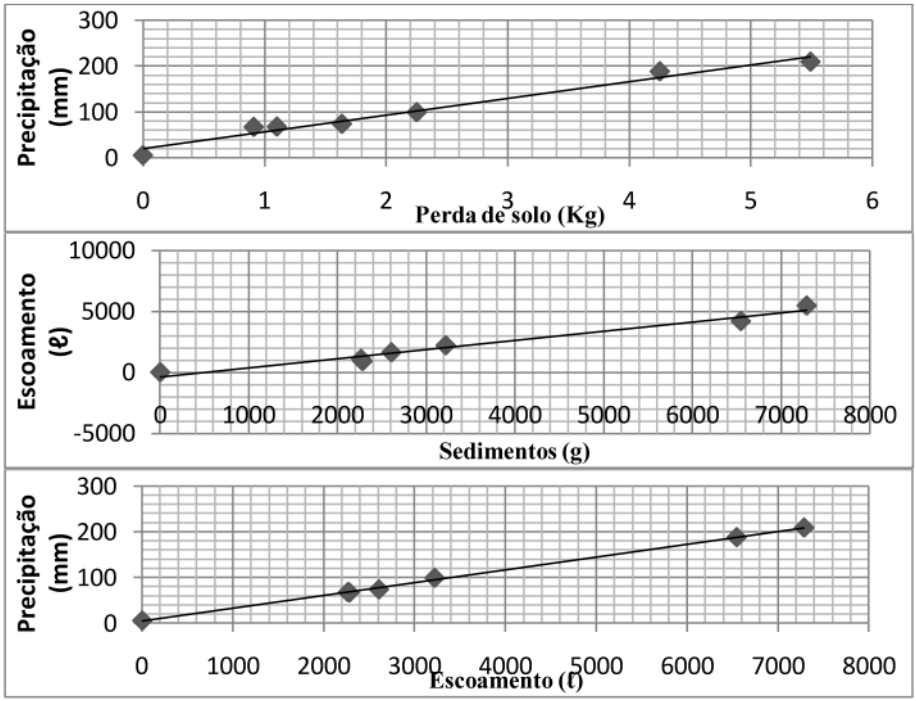


**Gráfico 2 – Correlações lineares**

Org: Feola, 2010.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de diferentes procedimentos metodológicos demonstrou-se satisfatória, pois, por meio dos indicadores do meio físico propostos, constatou-se a real atuação dos processos erosivos junto à trilha, onde todos os indicadores foram pertinentes à análise.

No que se refere aos resultados: à pluviometria no Parque Estadual Pico do Marumbi demonstrou-se coerente com o método de ponderação regional. Em média 29% de toda a precipitação foi interceptada pela cobertura vegetal. Esse percentual foi compatível com resultados alcançados por outras pesquisas, em áreas de Mata Atlântica. Os dosséis não proporcionam efetiva proteção do solo, frente aos impactos por salpicamento, por possuírem altura superior a 10 m. A erosão por salpicamento demonstrou-se significativa, por causa primeiramente da altura dos dosséis. Constatou-se, para o maior evento pluviométrico, taxas de remoção de partículas na ordem de 80,71g/m². Mesmo de forma arbitrária, para esse evento chuvoso estimou-se para a área da trilha remoção de partículas equivalente a 22,585 kg.

As propriedades físicas do solo demonstraram-se relevantes à análise da área da trilha e da área testemunho, principalmente no que se refere à granulometria e densidade aparente. A trilha apresentou alterações significativas para essas propriedades. Essa área possui menor suscetibilidade a erosão (no que se refere à textura), em relação a área testemunho, no entanto, devido ao pisoteio e concentração de água, tornam o caminho uma área de degradação do relevo.

A perda de solo no segmento da trilha é registrada em vários pontos com erosão em ravinas no leito do caminho. Já nas laterais há predomínio de exposição de micro-raízes, evidencia a erosão laminar entre ravinas e erosão por salpicamento. Contudo, esse valor é ilustrativo, devido ao fato de ter-se realizado a análise do solo de forma pontual (apenas um ponto), ao longo dos 159 m de extensão. Para esse indicador, aconselha-se que seja utilizada sempre que possível a própria densidade aparente do solo em questão, para evitar distorções nos resultados.

A compactação do solo apresentou valores restritivos e até impeditivos ao desenvolvimento da vegetação. Para a área com influência do pisoteio a compactação foi de 42,37% a mais em relação à área testemunho. Devido a esse fato, constatou-se taxa de infiltração significativamente superior na área testemunho em relação à trilha, logo, há favorecimento do *runoff* na área com influencia do pisoteio.

O escoamento superficial apresentou características marcantes no que se refere ao potencial de transporte de sedimento ao longo do segmento da trilha. Demonstrou correlação linear positiva entre precipitação e produção de sedimentos. O escoamento atrelado a alta declividade, potencializa a velocidade da enxurrada que favorece o desprendimento e remoção das partículas do solo. Contudo, para melhor caracterização hidrológica sugerem-se novos levantamentos de campo para as diferentes estações do ano.

No que diz respeito ao manejo de trilha, indica-se principalmente duas frentes de atuação. A primeira está atrelada à redução da velocidade do escoamento superficial, que poderá ser feita por desvio e redução da distância desse fluxo ao longo do caminho. Para a redução da velocidade da enxurrada, poderão ser utilizados fragmentos de rocha, troncos e dormentes. Para a redução da distância do fluxo, o ideal é construir pequenos canais de desvio para o interior da floresta.

Em um segundo momento, recomenda-se recobrir o solo exposto da trilha com serrapilheira, “material de empréstimo” do interior da floresta. Essa cobertura de matéria orgânica favorecerá algumas propriedades físicas do solo, e logo, trará melhor infiltração e retenção de água, e, por conseguinte, menor degradação. Além disso, essa medida ajuda a proteger a superfície da trilha dos impactos das gotas da chuva, refletindo em menor remoção de partículas do solo.

Recomenda-se ainda que, além dos levantamentos de campo para o monitoramento, é imprescindível o gerenciamento do uso público nessa área, pois são os visitantes que podem atenuar ou acelerar tais processos. Quanto ao uso público recomenda-se restrição de acesso em períodos chuvosos (Verão), devido fato de o solo alcançar o limite de compactação com menor pressão.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Waldir. J. Implantação e manejo de trilhas. In: SILVIA, W. Mitraud. **Manual de ecoturismo de base comunitária:** ferramentas para um planejamento responsável. Brasília: Ed. da WWF – Brasil, 2005. p. 247-259.

ANDRADE, Waldir. J.; ROCHA, Ligia. M. Planejamento, implantação e manutenção de trilhas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...**Campos do Jordão: 1990, p. 786-794.

ANDRIOTTI, José. L. S. Correlação e Regressão lineares. In: _____. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 2003. p. 68-80.

ARCOVA, Francisco. C. S.; CICCO, Valdir.; ROCHA, Paulo. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 257-262, Mar./Abr. 2003.

BARROS, Maria. I. A. **Caracterização da visitação, dos visitantes e avaliação dos impactos ecológicos e recreativos do planalto do Parque Nacional do Itatiaia.** 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

BERTONI, José.; LOMBARDI NETTO, Francisco. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ed. Ícone, 1993. 355p.

BIGARELLA, João. J.; MAZUCHOWSKI, Jorge. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Maringá: Ed. ADEA/ABGE, 1985. 329 p.

BIGARELLA, João. J. et al. **A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná.** Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento e ADEA Curitiba, 1978. 249p.

BIGARELLA, João. J. et al. Processos Erosivos. In: BIGARELLA, João. J. **Estrutura e origem da paisagem tropical e subtropical.** Florianópolis: Ed. UFSC, 2003. v.3, p.884-939.

BRITEZ, Ricardo. M. et al. Interceptação das chuvas em duas formações florestais, na planície litorânea da ilha do Mel, PR. In: FÓRUM GEO-BIO-HIDROLOGIA: ESTUDOS EM VERTENTES E MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS, 1., Curitiba. UFPR, p. 60-69, 1998.

CARVALHO, Newton. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Ed. CPRM, 1994. 372p.

CASSETI, Valter. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Ed. Contexto, 1991. 147p.

CASTILHO, Camilo. P. G. **Interceptação de chuvas na cultura de cana-de-açucar**. 2002. 274 f. Dissertação – (Mestrado em Engenharia Agrícola na área de concentração "Água e Solo") – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

CAUDURO, Flavio. A.; DORFMAN, Raul. Taxa de infiltração. In: _____. **Manual de ensaio de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI-IPH – UFRGS, 1988. p. 159-174.

COELHO NETTO, Ana Luiza. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia In: GUERRA, Antonio. J. T.; CUNHA, Sandra. B. (Org.) **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2001. p. 93-144

COELHO NETTO, Ana Luiza.; SANCHE, Marise.; PEIXOTO, Maria. N. O. Precipitação e intercepção florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia**, Rio de Janeiro, vol.4, nº 5, p. 55-71, 1986.

COGO, Neroli. P.; BERTOL, Ildegardis. O papel das práticas mecânicas e não-mecânicas no controle da erosão hídrica do solo: conceitos e princípios. In: NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: SBCS, 1998. p. 53-75.

COGO, Neroli. P.; LEVIEN, Renato.; SCHWARZ, Ricardo. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica por método de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, n. 27, p.743-753, 2003.

COLE, David. **Changes on Trails in the Selway-Bitterroot Wilderness, Montana, 1978-89**, Ogeden: USDA, Forest Service Intermountain Research Station, (Research Paper INT-450), 1991. p.1-7.

CORDANI, Umberto. G.; GIRARDI, Vicente. A. V. Geologia da folha de Morretes. **Boletim da Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, n. 26, p. 1-37, 1967.

DURIGAN, Giselda. Métodos para analise de vegetação arbórea. In: CUELLEN, Laury.; RUDHAN, Rudy.; VALLADARES-PADUA, Claudio. **Método de estudos em biologia da conservação manejo da vida silvestre**. Curitiba: Ed. UFPR, 2003. p. 455-480.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA BRASILEIRA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: 1997. 212p.

FEOLA, Ednilson.; NUCCI, João. C.; SANTOS, Leonardo. J. C. Avaliação de impactos do uso público em uma trilha no Parque Estadual do Pico do Marumbi – PR. **Geografia**, Rio Claro, v. 33, n. 1, p. 157-175, jan/abr 2008.

FIGUEIRÓ, Adriano. S.; COELHO NETTO, Ana. Luiza. Análise do impacto produzidos por trilhas em áreas de borda florestal no maciço da Tijuca – Rio de Janeiro – RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E MANEJO DE TRILHAS, 1., 2006. Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: 2006. CD-ROM.

GARCIA, Alessandra. R. et. al. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, nº 4, p. 535-542, 2003.

GOUDIE, Andrew. Slope processes. In: _____. **The changing Earth:** rates of geomorphological processes. 5nd, Oxford: Ed. Blackwell Publishers, 1995. p. 122-157.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Pico do Marumbi**. Curitiba: 1996. 114p.

JEWELL, Mark. C.; HAMMITT, Willian. E. Assessing Soil Erosion on Trails: A Comparison of Techniques. In: COLE, David. N. et al. **Wilderness ecosystems, threats, and management**. Missoula. U.S.D.A. Forest Service. p. 23 - 27. May 2000.

LEMOS, Raimundo. C.; SANTOS, Raphael. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5. ed. Campinas: Ed. SBCS, 2005. 92p.

MAGRO, Teresa. C. **Impactos do uso público em uma trilha no planalto do parque nacional do Itatiaia**. 1999. 35 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo, Carlos, 1999.

MAGRO, Teresa. C.; TALORA, Daniela. C. Planejamento e manejo de trilhas e impactos na flora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E MANEJO DE TRILHAS, 1., 2006. Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: 2006. CD-ROM.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informativo agropecuário**, Belo Horizonte, n. 13, p. 52-55, mar. 1987.

MARION, Jeffrey. L. Camping Impact Management on the Appalachian National Scenic Trail. In: **Appalachian Trail Conference**, Virginia: USDA, 2003. 116p.

MOLCHANOV, Alexander. A. **Hidrologia florestal**. Lisboa: Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, 1963. 419p.

MORGAN, Royston. P. C. **Soil erosion and conservation**. 2nd, England: Ed. Longman, 1996. 198 p.

NEPAL, Sanjay. K.; AMOR-NEPAL, Stella. A. Visitor Impacts on Trails in the agarmatha (Mt. Everest) National Park, Nepal. **Royal Swedish Academy of Sciences**, Ambio v. 33, n. 6. p. 334-340. Aug, 2004.

OKA-FIORI, Chisato.; CANALI, Naldi. E. Geomorfologia da área do parque Marumbi, Serra do Mar (PR). In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1987. Curitiba. **Anais...**Curitiba: v. 1, p. 41-58, 1987.

RODERJAN, Carlos. V. et al. As unidades fitogeográficas do Paraná. **Ciência e ambiente**, Santa Maria, nº 24. p. 74-92, jan/jun 2002.

ROSS, Jurandyr. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2005. 85 p.

SANTOS, Leonardo. J. C. et al. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná: **Revista Brasileira de geomorfologia**, Uberlândia, n. 2, Ano 7, p. 3-12, 2006.

TAKAHASHI, Leide. Y. **Caracterização dos visitantes, suas preferências e percepções e avaliação dos impactos da visitação pública em duas unidades de conservação do Estado do Paraná**. 1998. 129 f. Tese (doutorado em ciências florestais) – Setor Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

TORMENA, Cássio. A.; ROLOFF, Gláucio. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, n. 20, p. 333-339, 1996.

VASHCHENKO, Yuri. **Caracterização da trilha e o impacto do montanhismo nos picos Camapuã e Tucum – Campina Grande do Sul – PR**.2006. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

YODA, Akemi.; WATANABE, Teiji. Erosion of Mountain Hiking Trail Over a Seven-Year Period in Daisetsuzan National Park, Central Hokkaido, Japan. In: COLE, Davis. N. et al. **Wilderness science in a time of change**. Rocky Mountain Research Station: U.S.D.A.2000. v. 5, p. 172-178.

Recebido em março de 2010

Aceito em julho de 2010