



Características Hidrológicas de um Segmento de Floresta Ombrófila Densa Submontana: Subsídio aos Processos Erosivos da Trilha Noroeste no Parque Estadual do Pico do Marumbi, Morretes-PR

Ednilson Feola², Everton Passos³

¹ Geógrafo, Mestre em Geografia Física (DG – UFPR).

² Geógrafo, Prof. Dr. do Departamento de Geografia da UFPR.

Artigo recebido em 30/05/2010 e aceito em 27/09/2010

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivos identificar e analisar a inter-relação entre alguns indicadores do meio físico – principalmente a caracterização hidrológica, 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 propriedade 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. 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 em média 25% da precipitação chega ao piso florestal, entretanto não ocorre escoamento superficial. Já na trilha há concentração de fluxo hídrico e, que atrelado 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, indicadores do meio físico, caracterização hidrológica

Hydrological Characteristics of a Segment of a Dense Ombrophylous Submontane Forest: Subsidy to Erosive Processes of the Northeastern Trail in the Pico do Marumbi, Morretes-PR

ABSTRACT

This research aims to identify and analyses the relationships between some physical environmental indicators, mainly the hydrological characterization, of erosive processes in a segment of the Northeastern 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, physical 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. The experimental method proposed Ross (2005) has also been used. The use of different methods has been satisfactory because it allows estimating 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, 25% of rainfall reaches the forest floor, however not occur of runoff. Already 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.

Keywords: Soil erosion, physical environment indicators, hydrological characterization.

* E-mail para correspondência: prosec22@yahoo.com; canidia_feola@yahoo.com.br.

Introdução

A água é um dos elementos físicos mais relevantes na interação da paisagem, a qual interfere na fauna, flora, e interage com os demais elementos do meio físico, isto é uma das fases do ciclo hidrológico. Para Molchanov (1963); Coelho Netto (2001) e Arcova, Cicco & Rocha (2003), a floresta está atrelada ao ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, influenciando na dinâmica da água em vários compartimentos do sistema.

Uma das principais influências da floresta ocorre no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, processo denominado de interceptação (Coelho Netto, 2001) e (Arvoa, Cicco & Rocha, 2003). Para Morgan (1996), a vegetação atua como uma capa de protetora ou de amortecimento entre a atmosfera e o solo, de modo que seu efeito erosivo seja reduzido em relação ao solo desnudo. Segundo Coelho Netto (2001) e Arcova, Cicco & Rocha (2003), o que não foi interceptado, chega ao solo pela precipitação interna e pelo fluxo nos troncos.

Coelho Netto, Sanche & Peixoto (1986) pesquisaram os processos de interceptação em reflorestamento com espécies nativas e determinaram a precipitação interna equivalente a 88,6% da precipitação total. A interceptação foi estimada em 11,4%. Brites et al. (1998) verificam a precipitação interna na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas em duas diferentes fisionomias e obtiveram um valor para a precipitação interna que correspondeu a 78 e 70%; a interceptação foi estimada em 22%. Arcova, Cicco & Rocha (2003) constatam que, em média, 18,6% da precipitação foi interceptada pela floresta secundária de Mata Atlântica, 81,2% alcançou o solo como precipitação interna. Segundo Vallejo (1980), a chuva que atravessa o dossel não atinge o solo diretamente, devido à presença de serrapilheira, evitando a erosão.

Além dos processos hidrológicos que atuam na dinâmica da erosão, existe outro fator de grande importância – a compactação do solo. Yoda e Watanabe (2000), Jewell & Hammitt (2000) e Nepal & Amor-Nepal (2004) enfatizam os impactos do meio físico, principalmente a erosão do solo favorecida pela compactação, ocasionada pelo pisoteio.

Para entender tais dinâmicas que ocorrem ao longo da trilha, principalmente no que se refere à erosão, faz-se necessário entender os fatores controladores da erosão e seus processos, além da correlação dos elementos do meio físico.

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 representativo no que concerne aos aspectos hidrológicos.

Diante do contexto apresentado, o presente trabalho tem por objetivo principal identificar e analisar alguns dos fatores determinantes e

controladores de processos erosivos em segmento da trilha.

Material e métodos

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 80km de Curitiba e possui uma área de 2.342ha. Apresenta altitudes que variam de 300 a quase 1600m (IAP, 1996).

De acordo com Feola, Nucci & Santos (2008), 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 4km. A trilha Noroeste-Abrolhos (Figura 1) possui comprimento de 1,7km e um desnível de 700m.

No que se refere à geologia do PEPM, segundo Cordani & Girardi (1967), 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) 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), 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), são unidades morfo-esculturais que apresentam as seguintes características: Rampas Pré-Serra - dissecação alta, declividade predominante de 6-30%, predominam topos alongados e 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, com vertentes retilíneas, e vales em “V” encaixado. Segundo Bigarella et al. (1978), os topos quando desenvolvem superfícies aplanadas são relacionados a relevos residuais de pediplanos.

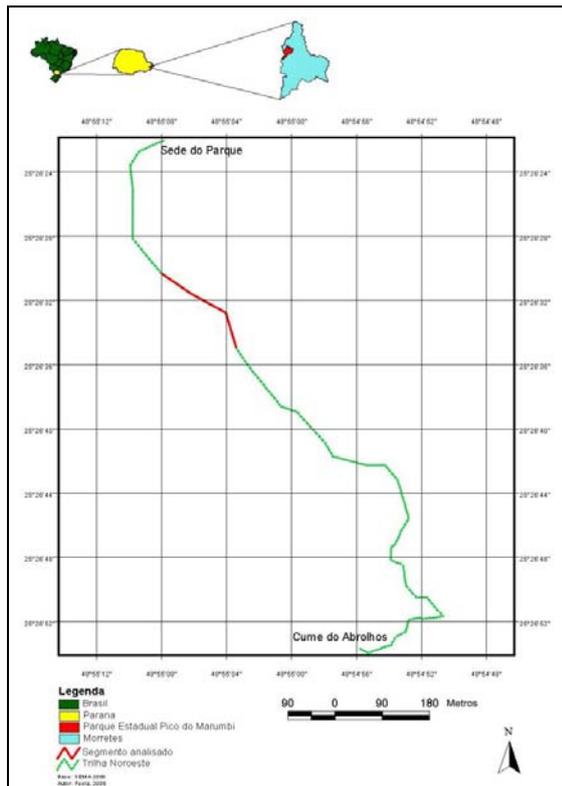


Figura 1. Localização do Parque Estadual Pico do Marumbi e da área de estudo. Org: Feola (2009).

No PEPM ocorrem duas classes de solos: Cambissolos e Neossolos Litólicos. Segundo IAP (1996), 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 e compreendem solos pouco desenvolvidos, ou seja, que estão em início de formação, com horizonte A de espessura em torno de 16cm, sobre rocha ou horizonte C.

De acordo com IAP (1996), as montanhas do PEPM, são quase totalmente recobertas pela Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Refúgios Vegetacionais. Dentro desta unidade fitogeográfica, segundo Roderjan *et al.* (2002), é encontrado as seguintes formações Submontana, Montana e Altomontana. A FOD-Submontana ocorre no parque abaixo dos 600-650m de altitude, representada principalmente por remanescentes alterados da floresta original. De acordo com Roderjan e Kuniyoshi (1988) esta formação é multiestratificada, com densa e uniforme cobertura, podendo atingir entre 25 e 30m, seu interior é muito úmido e mal ventilado apresenta uma riqueza em epífitas e espessa camada de serrapilheira.

Neste estudo foram utilizados alguns indicadores do meio físico (pluviosidade; 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) 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 & Santos (2008). 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 confeccionado com um funil de 185mm de diâmetro, acoplado em um galão plástico de 5L, e disposto a uma altura de 1,5m do solo, adaptado da metodologia sugerida por Arcova, Cicco & Rocha (2003). O outro pluviômetro tipo “calha” quantificou a chuva efetiva, este foi construído com canos de PVC (diâmetro de 100mm e comprimento de 2m), dispostas no interior da floresta, sendo conectada a dois galões com capacidade de 30L cada, conforme metodologia de Castilho (2000). 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.

Cobertura vegetal: utilizou-se o método de linhas Canfield (1941 *apud* Durigan, 2003), 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 & Lombardi Netto (1993) e Morgan (1996), adaptado à trilha. Na parte inferior da trilha, o fluxo foi direcionado e canalizado por meio de tubos de PVC de 100mm, que convergem a água para um tambor metálico de 117L, o qual, quando cheio, extravassa por dois orifícios de 1,5’ para um segundo tambor também de 187,5L, o qual, quando cheio, extravassa para um terceiro de 2000L. 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 50mL 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.

Análise física do solo: optou-se por analisar duas profundidades no solo da trilha com as seguintes medidas: 0-5; 5-10cm e duas na área testemunho: 0-5; 5-10cm. Foram coletadas três amostras de solo - duas indeformadas (anel volumétrico 145,59cm³) e uma deformada (armazenada em saco plástico), de cada profundidade, como preconizam Lemos e Santos (2005). Optou-se por utilizar a profundidade de 10cm devido à maior interferência ocasionada pela sobrecarga do pisoteio frente às propriedades do solo (Mantovani, 1987).

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.

Erosão por salpicamento: mensuraram-se por meio de coletor de salpicamento (Morgan, 1996). Este coletor consiste em um cilindro de ferro galvanizado, com 30cm de diâmetro e 10cm de altura, dividido ao meio por duas placas. No centro desse cilindro há outro cilindro, com 10cm de diâmetro e 2,5cm de altura, que é enterrado no solo. A bandeja foi fixada e enterrada na encosta com inclinação de 22°. 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), sendo constituído de dois anéis concêntricos; o cilindro externo é metálico e, possui 30cm de altura e 30cm de diâmetros. O interno é de PVC, possui 30cm de altura e 20cm 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 0-10cm. 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 dos coletores de escoamento. Com o total do sedimento perdido (12.758kg), em um determinado período (7 semanas) dividido pela densidade do solo (1,96g/cm³), chega-se ao volume de solo perdido (6.509m³) e quando dividido pela área (279,84m²), obtêm-se a altura de solo perdido (0,023mm) Carvalho (1994). 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 10cm do solo, devido maior interferência na compactação para essa profundidade. Admite-se valor superior a 1,0MPa como solo compactado (Tormena & Roloff, 1996). 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).

Resultados e discussão

A erosão ao longo da trilha foi favorecida pela alta declividade, alta pluviosidade, escoamento superficial, moderada proteção pela cobertura vegetal, além das propriedades físicas do solo, taxa de infiltração e compactação do solo.

Verificou-se alta pluviosidade, com variações significativas no que se refere à variação da precipitação - na área de clareira, ocorreram extremos de 5,3 e 208,87mm (Figura 1). O total precipitado no período foi de 709,49mm, sendo que 396,23mm 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.

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

O total de escoamento superficial foi de 23.397,12L, apresentando média semana de 3.342,44L. Entretanto, houve oscilações expressivas 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 5,2mm e, na 6ª semana com a maior altura de chuva registrada - 208,87mm. Essa oscilação refletiu-se também, no escoamento e na produção de sedimentos, pois apresentou para a menor chuva um escoamento de 0 e 7.169,6L, para a maior pluviometria, e quantidade de sedimento, respectivamente de 0 e 4.537kg (Tabela 1). 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.

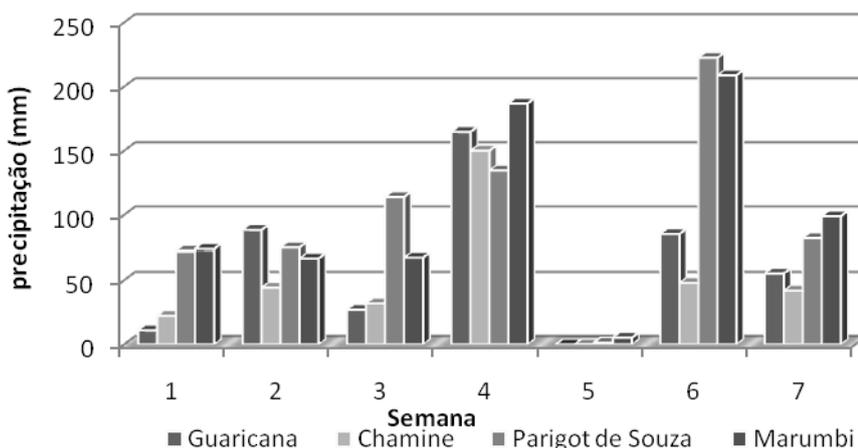


Figura 2. Comparação pluviométrica na Serra do Mar - PR.

Tabela 1. Relação precipitação e degradação do solo.

| Observação | Total de chuva | Escoamento (L) | Estimativa de remoção na área da trilha (kg) |
|------------|----------------|----------------|--|
| 1ª | 73,67 | 2.388,30 | 5,916 |
| 2ª | 66,98 | 2.162,50 | 20,388 |
| 3ª | 67,69 | 2.146,80 | 0,439 |
| 4ª | 187 | 6.427,80 | 22,585 |
| 5ª | 5,35 | 0,00 | 8,794 |
| 6ª | 208,87 | 7.169,60 | * |
| 7ª | 99,04 | 3.101,60 | * |
| Total | 567,95 | | 58.122 |

Org: Feola (2010).

* Não verificado.

À medida que a precipitação aumenta, ocorre incremento no escoamento superficial, que associado à declividade, potencializa a turbulência e a velocidade da enxurrada. Esta maior velocidade reflete em maior poder de abrasão e arraste de partículas do solo (Figura 3a), 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 (Figura 3b), além de ravinas. Isso ratifica a afirmação de Cogo, Levien & Schwarz (2003) e Garcia et al. (2003) ao comentarem sobre perda de solo relacionado à declividade e enxurrada.

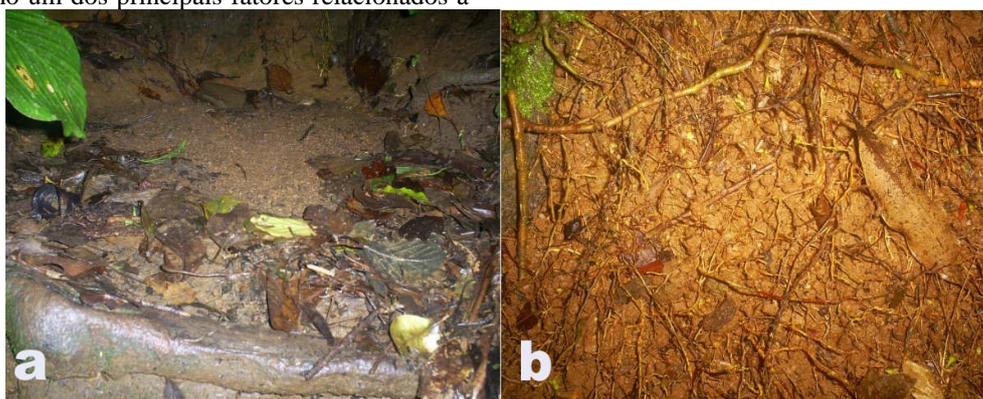


Figura 3. Ação do escoamento superficial. Nota: A – sedimentos e folhas carregados pela enxurrada. B – raízes expostas ocasionada pela força da água. Fonte: Feola (2009).

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

& Bertol (1998). A relação entre precipitação e perda de solo, demonstrou-se positiva muito forte, $r = 0,99$, ratifica a afirmação de Morgan (1996).

A atuação dos processos erosivos reflete na perda de solo - a estimativa da degradação do solo

do segmento da trilha apresentou valor significativo (Tabela 1). Constatou-se altura de 0,023mm de perda de solo, representado por um total de 12.758kg 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 159m 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.

A cobertura vegetal no interior da floresta apresentou taxa de 86,97% representadas por dossel superior a 10m de altura e, 13,03% como sub-bosque, com altura inferior a 10m. Na área da trilha, constatou-se valor inferior em relação à área

da floresta. Para este local os dosséis com altura superior a 10m apresentaram 97,52% da cobertura vegetal (Tabela 2). 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 & Lombardi Netto (1993) e Morgan (1996), sobre o fato de as gotas de chuva não serem amortecidas pelo dossel e alcançarem nova velocidade terminal.

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 (5,35mm) refletindo-se na maior eficiência da interceptação (51,03%).

Tabela 2. Valores médios de pluviometria e cobertura vegetal. Org: Feola (2010).

| Chuva clareira (mm) | Chuva na floresta (mm) | Interceptação (%) | Cobertura vegetal | | | |
|---------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|--------|--------|--------|
| | | | Floresta | | Trilha | |
| 5,35 | 2,62 | 51,02 | Dossel | | | |
| 66,98 | 51,96 | 22,42 | < 10m | > 10m | < 10m | > 10m |
| 67,69 | 51,77 | 23,51 | 13,03% | 86,97% | 2,48% | 97,52% |
| 73,67 | 56,79 | 22,91 | | | | |
| 99,04 | 70,80 | 28,51 | | | | |
| 187,89 | 134,41 | 28,46 | | | | |
| 208,87 | 149,43 | 28,45 | | | | |

Essas taxas são condizentes com interceptação verificadas por outras pesquisas: Coelho Netto, Sanche & Peixoto (1986), Brites et al. (1998) e Arcova, Cicco & Rocha (2003). Constatou-se que para os totais de chuva superior a 99,04mm, 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 & Mazuchowski (1985), Goudie (1995) e Coelho Netto (2001).

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 10m 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 se constataram valores expressivos referentes à perda de solo por salpicamento na área da trilha. Essas taxas de remoção do solo ratificam as afirmações de Goudie (1995) e Bigarella et al. (2003).

Entretanto, 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. Contudo, verificou-se uma correlação positiva muito forte entre aumento do índice pluviométrico e a remoção de partículas do solo, com valor de $r = 0,99$. A

serrapilheira reduz o impacto das gotas de chuva e atua como obstáculo ao escoamento superficial, como refere (Vallejo, 1980).

Além da declividade, da pluviosidade, do escoamento superficial e da cobertura vegetal, outros fatores influenciam na erosão - as propriedades físicas do solo.

A densidade aparente (DA) encontrada na trilha foi menor em relação à área testemunho para a profundidade 0-5cm, com respectivos valores; 1,96g/cm³ e 2,02g/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 3,53g/cm³ contra 3,43g/cm³ na trilha.

Para as profundidades de 5-10cm, houve maior DA na trilha do que na área testemunho, as quais apresentam os respectivos valores: 2,03 e 1,98g/cm³. Essa inversão de valores refletiu-se também na DP, onde, a trilha demonstrou taxa superior de 3,53g/cm³ contra 3,49g/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 5cm 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) e Figueiró & Coelho Netto (2006).

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 5-10cm) 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 à 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 desagregação e ao transporte. O silte em específico atua principalmente na desagregação do solo e, na reduzida capacidade de retenção de água. No entanto, devido ao uso (Figura 3), 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 de testemunho.

Outro fator que favorece a erosão na área da trilha é a baixa infiltração de água no solo (Figura 4). 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 1.193MPa para as respectivas profundidades de 0-5 e 5-10cm.



Figura 3. Erosão em sulco em trilha com uso e sem uso. a – erosão ativa, b – processo erosivo estabilizado. Fonte: Feola (2009).

A maior taxa de infiltração na área testemunho está associada à baixa umidade gravimétrica de 21,37%, condiz com a afirmação de Molchanov (1963). 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.

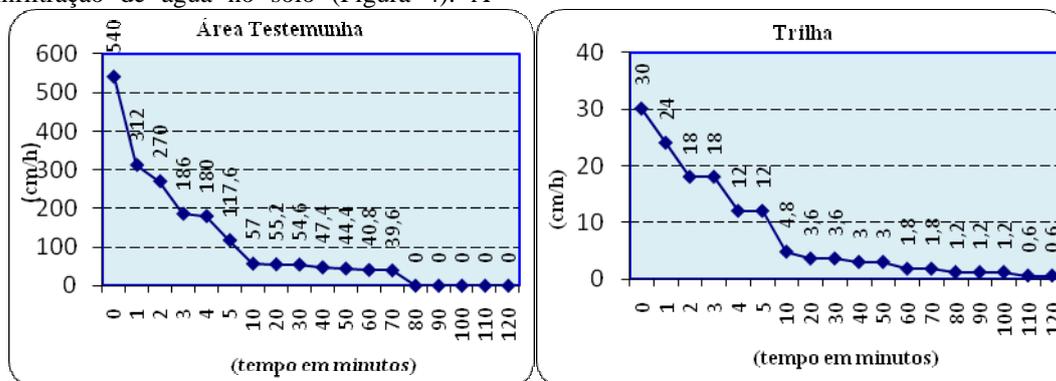


Figura 4. Características das taxas de infiltração. Fonte: Feola (2009).

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 1,0MPa, na profundidade de 0-5cm na superfície da trilha, averiguou-se em 6 dos 10 pontos mensurados, valores inferiores a 1,0MPa. Contudo, um dos pontos (2,244MPa), demonstrou-se restritivo à penetração de água e aeração das raízes, ratificando as afirmações de Tormena & Roloff (1996).

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 5-10cm). Essas taxas

ratificam a afirmação de Andrade (2005), 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 (2005); Magro (1999) e Feola, Nucci & Santos (2008).

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 hidrológicos e erosivos junto à trilha, onde todos os indicadores foram pertinentes à análise.

No que se refere aos resultados, a pluviometria no Parque Estadual Pico do Marumbi mostrou-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 10m. 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 22,585kg.

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 159m 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 influência 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. Encontra partida, fora da área da trilha não foi observado escoamento superficial. 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. Recomenda-se ainda que, além dos

levantamentos de campo para o monitoramento, é imprescindível o gerenciamento do uso público nessa área - recomenda-se restrição de acesso em períodos chuvosos (Verão), devido fato de o solo alcançar o limite de compactação com menor pressão.

Referências

- Andrade, W.J. 2005. Implantação e manejo de trilhas. In: Silvia, W.M. Manual de ecoturismo de base comunitária: ferramentas para um planejamento responsável. Brasília: Ed. da WWF – Brasil, pp. 247-259.
- Andriotti, J.L.S. 2003. Correlação e Regressão lineares. In: _____. Fundamentos de Estatística e Geoestatística. São Leopoldo: Ed. Unisinos, p. 68-80.
- Arcova, F.C.S.; Cicco, V.; Rocha, P.A.B. 2003. 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.
- Bertoni, J.; Lombardi Netto, F. 1993. Conservação do solo. 3^a Ed. São Paulo: Ed. Ícone, 355p.
- Bigarella, J.J.; Mazuchowski, J.Z. 1985. Visão integrada da problemática da erosão. Maringá: Ed. ADEA/ABGE, 329p.
- Bigarella, J.J. et al. 1978. A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento e ADEA Curitiba, 249p.
- Bigarella, J.J. et al. 2003. Processos Erosivos. In: Bigarella, J.J. Estrutura e origem da paisagem tropical e subtropical. Florianópolis: Ed. UFSC, v. 3, p. 884-939.
- Britez, R.M. et al. 1998. 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.
- Carvalho, N.O. 1994. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: Ed. CPRM, 372p.
- Castilho, C.P.G. 2002. Interceptação de chuvas na cultura de cana-de-açúcar. 274p. Dissertação – (Mestrado em Engenharia Agrícola na área de concentração “Água e Solo”) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Cauduro, F.A.; Dorfman, R. 1988. Taxa de infiltração. In: _____. Manual de ensaio de laboratório e de campo para irrigação e drenagem. Porto Alegre: PRONI-IPH – UFRGS, pp. 159-174.
- Coelho Netto, A.L. 2001. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. (Org.) Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos. 4^a Ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, pp. 93-144.
- Coelho Netto, A.L.; Sanche, M.; Peixoto, M.N.O. 1986. Precipitação e interceptação florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Engenharia, 4, 5, 55-71.
- Cogo, N.P.; Bertol, I. 1998. 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, pp. 53-75.

- Cogo, N.P.; Levien, R.; Schwarz, R.A. 2003. 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*, 27, 743-753.
- Cordani, U.G.; Girardi, V.A.V. 1967. Geologia da folha de Morretes. *Boletim da Universidade Federal do Paraná*, 26, 1-37.
- Durigan, G. 2003. Métodos para análise de vegetação arbórea. In: Cuellen, L.; Rudhan, R.; Valladares-Padua, C. *Método de estudos em biologia da conservação manejo da vida silvestre*. Curitiba: Ed. UFPR, pp. 455-480.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 212p.
- Feola, E.; Nucci, J. C.; SaNTOS, L.J.C. 2008. Avaliação de impactos do uso público em uma trilha no Parque Estadual do Pico do Marumbi – PR. *Geografia*, 33, 1, 157-175.
- Figueiró, A.S.; Coelho Netto, A.L. 2006. Análise do impacto produzido por trilhas em áreas de borda florestal no maciço da Tijuca – Rio de Janeiro – RJ. In: *Congresso Brasileiro de Planejamento e Manejo de Trilhas*, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: 2006. CD-ROM.
- Garcia, A.R. et al. 2003. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. *Revista Árvore*, 27, 4, 535-542.
- Goudie, A. 1995. Slope processes. In: _____. *The changing Earth: rates of geomorphological processes*. 5ª Ed., Oxford: Ed. Blackwell Publishers, p. 122-157.
- Instituto Ambiental do Paraná - IAP. 1996. *Plano de Manejo do Parque Estadual do Pico do Marumbi*. Curitiba: 114p.
- Jewell, M.C.; Hammitt, W.E. 2000. Assessing Soil Erosion on Trails: A Comparison of Techniques. In: COLE, D.N. et al. *Wilderness ecosystems, threats, and management*. Missoula. U.S.D.A. Forest Service. p. 23-27.
- Lemos, R.C.; Santos, R.D. 2005. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5ª Ed. Campinas: Ed. SBCS, 92p.
- Magro, T.C. 1999. Impactos do uso público em uma trilha no planalto do parque nacional do Itatiaia. 35p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, Carlos.
- Mantovani, E.C. 1987. Compactação do solo. *Informativo agropecuário*, Belo Horizonte, n. 13, p. 52-55.
- Molchanov, A.A. 1963. *Hidrologia florestal*. Lisboa: Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, 419p.
- Morgan, R.P.C. 1996. *Soil erosion and conservation*. 2ª Ed., England: Ed. Longman, 198p.
- Nepal, S.K.; Amor-Nepal, S.A. 2004. Visitor Impacts on Trails in the agarmatha (Mt. Everest) National Park, Nepal. *Royal Swedish Academy of Sciences*, v. 33, n. 6, p. 334-340.
- Oka-Fiori, C.; Canali, N.E. 1987. Geomorfologia da área do parque Marumbi, Serra do Mar (PR). In: *Simpósio Sul Brasileiro de Geologia*, 3, 1987. Curitiba. Anais... Curitiba, 1, 41-58.
- Roderan, C.V.; Kuniyosh, Y.S. 1988. Macrozoneamento florístico da área de proteção ambiental de Guaraqueçaba. Curitiba. FUPEF.
- Roderjan, C.V. et al. 2002. As unidades fitogeográficas do Paraná. *Ciência e ambiente*, 24, 74-92.
- Ross, J. 2005. *Geomorfologia ambiente e planejamento*. 2ª Ed., São Paulo: Contexto, 85p.
- Santos, L.J.C. et al. 2006. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná: *Revista Brasileira de geomorfologia*, 2, 7, 3-12.
- Takahashi, L.Y.; Milano, M.S.; Tormena, C.A. 2005. Indicadores de impactos para monitorar o uso público no Parque Estadual do Pico do Marumbi. *Revista Árvore*, 29, 1, 159-167.
- Tormena, C.A.; Roloff, G. 1996. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 20, 333-339.
- Vallejo, L.R. 1982. A influência do “litter” na distribuição das águas pluviais. 98p. *Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.
- Vashchenko, Y. 2006. Caracterização da trilha e o impacto do montanhismo nos picos Camapuã e Tucum – Campina Grande do Sul – PR. 96p. *Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba*.
- Yoda, A.; Watanabe, T. 2000. Erosion of Mountain Hiking Trail Over a Seven-Year Period in Daisetsuzan National Park, Central Hokkaido, Japan. In: Cole, D.N. et al. *Wilderness science in a time of change*. Rocky Mountain Research Station: U.S.D.A. v. 5, p. 172-178.