



DINÂMICA HIDRO-EROSIVA SUPERFICIAL E REVEGETAÇÃO EM UMA CICATRIZ DE MOVIMENTO DE MASSA. MACIÇO DA TIJUCA, RJ.

João Crisóstomo H. Oswaldo Cruz
Pedro de Carvalho Nasser
Ana Luiza Coelho Netto

GEOHECO – Laboratório de Geo-hidroecologia, Departamento de Geografia, UFRJ.
Av. Brigadeiro Trompowsky S/N, prédio do CCMN, Sala H1-015, Cidade
Universitária, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 21941-590.
Email: geoheco@acd.ufrj.br

Palavras chave: 1. Movimentos de massa; 2. Revegetação; 3. Hidrologia superficial
Eixo temático: Análise e diagnóstico de processos erosivos.

1. Introdução:

Os movimentos de massa rápidos são desastres naturais que atingem as encostas de maneira generalizada ao redor do globo, em climas úmidos, secos, periglaciais e glaciais, contribuindo para a evolução do modelado da crosta terrestre. Tem sua ocorrência associada na grande maioria das vezes a eventos extremos de precipitação de grande duração e/ou intensidade, seja em uma única chuva em meio a centenas em um ambiente tropical, ou uma chuva de recorrência rara (10 anos) em ambientes áridos (Westerberg, 1999). Nas áreas tropicais, além das elevadas taxas pluviométricas, a grande abrangência espacial de espessos mantos colúviais disponibiliza uma enorme quantidade de materiais que podem ser remobilizados pelos movimentos de massa.

Nas encostas do Maciço da Tijuca, na cidade do Rio de Janeiro, os deslizamentos são freqüentes, estando em sua maioria relacionados a eventos concentrados de precipitação de grande intensidade durante o verão (Cruz *et. al.*, 1999). A degradação da cobertura florestal devido à ocupação desordenada das encostas, incêndios e poluição se reflete na alteração dos processos hidrológicos, pois são modificadas as condições de interceptação, redistribuição e infiltração da água da chuva, potencializando o aumento do trabalho erosivo e a susceptibilidade à movimentos de massa (Zaú, 1994).

Estes movimentos de massa criam clareiras que podem ter grandes proporções e, como demonstrou Cruz (2001), a recorrência de movimentos de massa em áreas de floresta degradada leva a propagação de efeitos de borda que podem levar a uma retração florestal além dos limites do deslizamento. Nestes casos, quando a área afetada é extensa, a velocidade de regeneração da floresta é bastante lenta, fazendo com que a susceptibilidade a novos deslizamentos no seu entorno aumente consideravelmente. A preservação das florestas em bom estado de conservação é, portanto, vital para a manutenção das funções hidrológicas e mecânicas que elas desempenham, constituindo-se em um fator de segurança na estabilidade das encostas, já que como mostrou Coelho Netto (1996), apenas 12% dos deslizamentos causados pelas chuvas de 1996 no Maciço da Tijuca ocorreram em áreas de floresta conservada.

Estudos realizados no Maciço da Tijuca destacam as altas taxas de infiltração e de capacidade de retenção de umidade do sistema florestal, fazendo com que casos onde ocorre o escoamento superficial sejam raros de ser observados (Coelho Netto, 1979 e 1987). Isto se deve a alta capacidade de interceptação por parte da vegetação (Miranda, 1992) e pelo papel desempenhado pela serrapilheira (Valejo, 1982), assim como o grande número de dutos e poros formados pela atividade da fauna endopedônica e pelo crescimento das raízes (Castro Jr., 1991; Nunes *et al.*, 1991).



Quando ocorrem movimentos de massa, o sistema hidrológico florestal é completamente alterado, pois a cobertura vegetal é removida, assim como parte ou todo o solo e até por vezes até o saprolito, expondo o embasamento cristalino. As novas superfícies expostas passam a sofrer uma dinâmica hidrológica superficial, com uma intensa lavagem e fluxos concentrados em ravinas, o que dificulta a fixação de partículas e a formação de um novo topo do solo, fazendo com que a revegetação espontânea seja inibida, e a revegetação induzida por reflorestamento dificultada (Rocha Leão, 1997).

Pergunta-se se existe um limiar, ou um estágio, onde a erosão deixa de ser um fator limitante para o estabelecimento de espécies vegetais, e a partir do qual o topo do solo recupere sua funcionalidade e volte a regular a dinâmica de infiltração e escoamento como ocorre em um piso florestal.

Para tal, é importante o monitoramento hidro-erosivo de áreas em diferentes condições de sucessão vegetacional, em uma mesma cicatriz e em diferentes cicatrizes, para que possam ser estabelecidas comparações entre estas áreas e se saber qual tipo de revegetação é a mais eficiente no controle da erosão.

2. Objetivos:

Compreender como se dá o processo de revegetação em uma cicatriz de movimento de massa de grandes proporções, tanto pela vegetação natural quanto induzida, e qual sua resultante na dinâmica hidrológica superficial, através do monitoramento hidro-erosivo em parcelas de escoamento superficial instaladas em diferentes domínios geo-hidroecológicos na cicatriz do Pico do Papagaio, localizada no Parque Nacional da Tijuca. Também foi feito um mapeamento em escala de detalhe (1:10) da cobertura superficial e das características do topo do solo de cada uma das parcelas de escoamento, de modo a possibilitar uma análise mais refinada dos dados hidro-erosivos.

3. Área de Estudo:

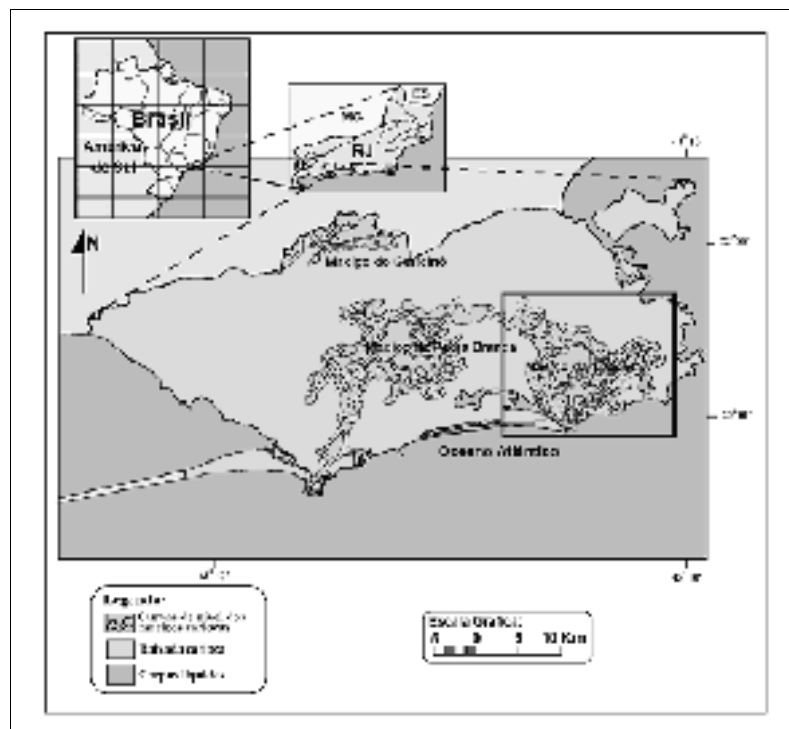


Figura 1: Mapa do Maciço da Tijuca. Fonte: Geoheco/UFRJ.



A área de estudo está inserida no Maciço da Tijuca, que juntamente com os Maciços da Pedra Branca e do Mendanha constituem os três corpos rochosos que, em contraposição com as baixadas quaternárias circundantes, compõe a paisagem do município do Rio de Janeiro (**figura 1**).

O Maciço da Tijuca é limitado à leste pela Baía da Guanabara, ao Sul pelo Oceano Atlântico, à oeste pela baixada de Jacarepaguá e pelo maciço da Pedra rança, e ao norte pela baixada Fluminense. Está posicionado entre as coordenadas 22°55'S, 23°S de latitude e 43°20'W, 43°10'W de longitude.

Em fevereiro de 1996 chuvas intensas castigaram o Rio de Janeiro, fazendo com que estes mês tivesse uma média pluviométrica muito acima do índice histórico. O total acumulado foi de 790mm, enquanto que a série de 14 anos de chuvas da Estação Capela Mayrink, localizada na bacia do alto rio Cachoeira, indica média de 200mm.

Os deslizamentos gerados pelas chuvas intensas atingiram principalmente a vertente oeste do Maciço, nas bacias dos rios Pedras, Quitite e Papagaio, e o setor A do Parque Nacional da Tijuca, mas especificamente, na bacia do alto rio Cachoeira (vertente sul). O total pluviométrico atingiu 230mm no dia 13 de fevereiro, quando ocorreram os movimentos de massa (Cruz *et. Al.*, 1999).

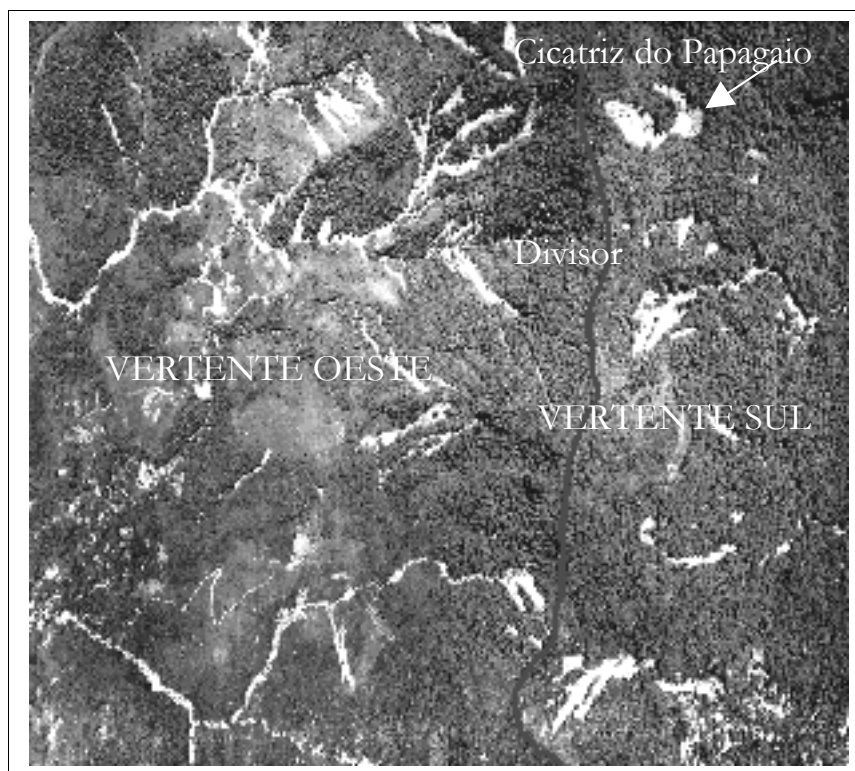


Figura 2: Fotografia aérea dos deslizamentos de 1996. Fonte: Aerofoto Cruzeiro.

O laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO/UFRJ) selecionou uma cicatriz de movimento de massa resultante dos eventos pluviométricos de 13 de fevereiro de 1996 na bacia do alto rio Cachoeira, como área piloto de estudos sobre revegetação e erosão e feições de borda e de recomposição do topo do solo nestas feições. A cicatriz está localizada na alta encosta, próxima ao Pico do Papagaio, em uma vertente que drena para o córrego do Archer, afluente do rio das Almas, que por sua vez é afluente do rio Cachoeira (**Figura 2**).

A cicatriz consiste de dois dígito, de dimensões, características de relevo e de substratos pedológicos distintas, onde toda a cobertura vegetal foi removida, assim como o topo do solo. Em alguns locais o embasamento foi exposto, e em outros uma camada rasa



de solo residual foi mantida. O dígito menor está localizado em uma encosta de forma retilínea, onde não são observadas ravinas, e mesmo durante chuvas prolongadas e intensas, não há a formação de fluxos concentrados. Destaca-se a grande quantidade de fraturas encontradas no afloramento rochoso presente. O dígito maior tem uma área de contribuição bem mais extensa, e possui uma rede de ravinas interconectadas, que tiveram grande incisão linear após o deslizamento, e nas quais foi observado fluxo de água até 3 dias após eventos de chuva longos e intensos. A revegetação é muito dificultada por esta rede de ravinas, pois a lavagem superficial é intensa, apesar de não haver um grande recuo lateral das mesmas, pois suas paredes estão estabilizadas. Nos interflúvios das ravinas encontra-se algum solo residual, fazendo com que nesses locais a revegetação seja mais eficiente.

3.1. Domínios Geo-Hidroecológicos:

Cruz (2001) identificou diferentes domínios geo-hidroecológicos na cicatriz, através da análise dos mapas topográficos, morfológicos e de substrato pedológico. Entende-se por domínio geo-hidroecológico uma área na qual as relações relevo-rocha-solo-vegetação apresentam uma estrutura funcional que regula a dinâmica hidrológica e erosiva de uma maneira específica, diferente de outro domínio geo-hidroecológico. Assim, pode-se definir domínios favoráveis à revegetação (espontânea ou induzida) e domínios que têm condições de substrato rochoso, morfologia e solos que inibem a recolonização por parte da vegetação. Pode-se também observar qual tipo de vegetação melhor se adapta a determinado domínio.

Analisando os substratos pedológicos juntamente com as características morfológicas da cicatriz, Cruz (op.cit.) definiu os seguintes domínios geo-hidroecológicos para a cicatriz do Papagaio:

Ravinamentos profundos: canais incisos de 2 a 5 metros de profundidade na rocha sã e em solos residuais, sem vegetação.

Inter-ravinas: superfícies de depósitos coluviais associados a movimentos de massa pretéritos

Sulcos erosivos: ravinamento intenso, efêmero e pouco profundo que ocorre em áreas de solo residual

Borda florestal: é a área do entorno da cicatriz, onde em alguns locais pode se notar a degradação da floresta pelo efeito de borda.

Platô suspenso: depósito coluviais anteriores e depósitos do deslizamento de 1996.

A definição destes domínios permitiu a escolha de sítios amostrais para as medidas de erosão em diferentes situações de material do substrato, atividade erosiva/deposicional e de vegetação, de modo que se pudesse avaliar a influência destas condições no processo de sucessão ecológica e de reestruturação do topo do solo e da sua funcionalidade hidrológica.



4. Materiais e métodos:

4.1. Hidrologia e erosão:

O monitoramento hidrológico e erosivo foi conduzido em 4 parcelas de erosão superficial instaladas em diferentes domínios geo-hidroecológicos da cicatriz do Papagaio por Cruz (2001). As parcelas são uma adaptação do modelo Gerlach (**Figura 3**) medindo 3x1m, e são constituídas por chapas de galvanizadas e uma calha coletora, que limitam uma parcela da superfície na qual todo o escoamento superficial é drenado para um galão de 20l através de uma mangueira conectada à calha. Ao redor de cada uma das parcelas foram posicionados 3 pluviômetros simples feitos com garrafas do tipo PET, a fim de se medir a precipitação terminal, ou seja, aquela que atinge o topo do solo.

Todas as parcelas foram instaladas em declividades entre 35° e 45°. A parcela 1 foi instalada no domínio de sulcos erosivos no dígito menor da cicatriz, a parcela 2 foi instalada na borda florestal (que presumidamente sofre o efeito de borda), e as parcela 3 e 4 foram instaladas no domínio de inter-ravinas, sendo que a parcela 3 se encontra em uma área de revegetação espontânea e a parcela 4 em uma área de revegetação induzida. Com esta distribuição objetivou-se conhecer o comportamento hidro-erosivo em diferentes situações de substrato pedológico e de sucessão ecológica no interior da cicatriz, no intuito de se estabelecer comparações e avaliar a recuperação funcional do topo do solo.

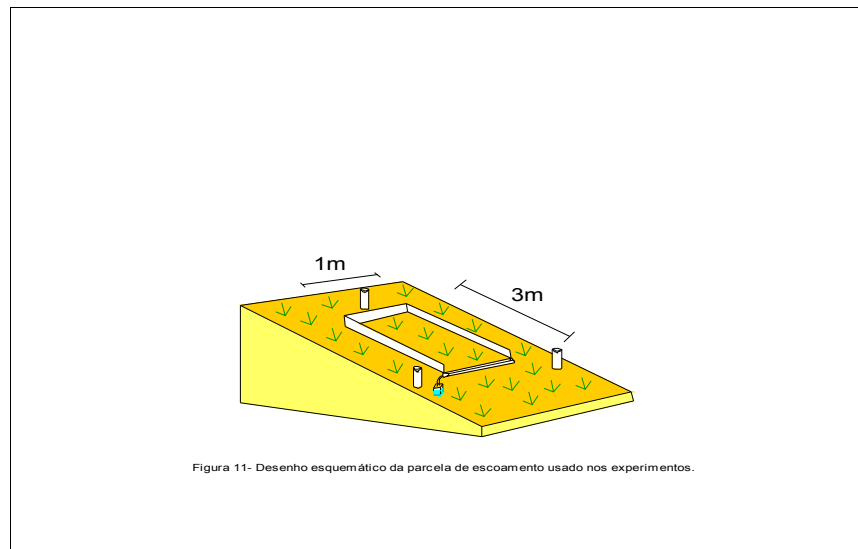


Figura 3: Desenho esquemático mostrando a parcela de escoamento superficial e a posição dos pluviômetros. Fonte: Geoheco/UFRJ.

Após cada evento de chuva são mensurados o conteúdo dos pluviômetros e o escoamento total de cada uma das parcelas. É coletada uma amostra de 500ml do escoamento que é seca em estufa e pesada em balança de precisão com 4 casas decimais no laboratório, obtendo-se o valor da produção de sedimentos em G/L para cada parcela através de extrapolação. Outros parâmetros, como por exemplo, a relação infiltração/escoamento, é obtida através destes dados primários.

4.2. Mapeamento das parcelas:

Como auxílio para o mapeamento da cobertura superficial das parcelas em escala de detalhe (1:10), foi construído um *grid* com estacas de madeira e barbante por sobre estas, subdividindo os 3m² (3x1) de área em 75 quadrados de 20cm de lado. Foram medidas



dentro de cada quadrado os limites de diferentes coberturas superficiais (solo exposto, serrapilheira, musgo, sedimentos inconsolidados, fragmentos de rocha maiores que 1cm), assim como a presença de diferentes tipos de vegetação (plântulas, indivíduos jovens, bambus, samambaias, capim, herbáceas) e de outros elementos considerados importantes no controle da infiltração/escoamento (galhos, raízes, buracos de fauna escavadora).

5. Resultados e discussão:

5.1. Totais pluviométricos:

Em primeiro lugar, foi feita uma análise de correlação entre os dados de precipitação terminal obtidos na estação experimental e os totais pluviométricos da Estação Capela Mayrink. Este procedimento teve como objetivo verificar se os dados mensurados nos 12 pluviômetros feitos de garrafas tipo PET teriam validade para representar a precipitação total dos eventos mensurados nas análises hidro-erosivas, já que estes são sujeitos à interceptação, além de uma possível perda por evaporação antes da coleta. A **figura 4** mostra a correlação entre as médias de todos os pluviômetros e a Capela Mayrink. Os Resultados dos 22 eventos mensurados tiveram uma correlação linear boa de 0,83, mostrando que os dados obtidos nos pluviômetros representam bem as chuvas e podem ser utilizados para a obtenção dos dados hidro-erosivos.

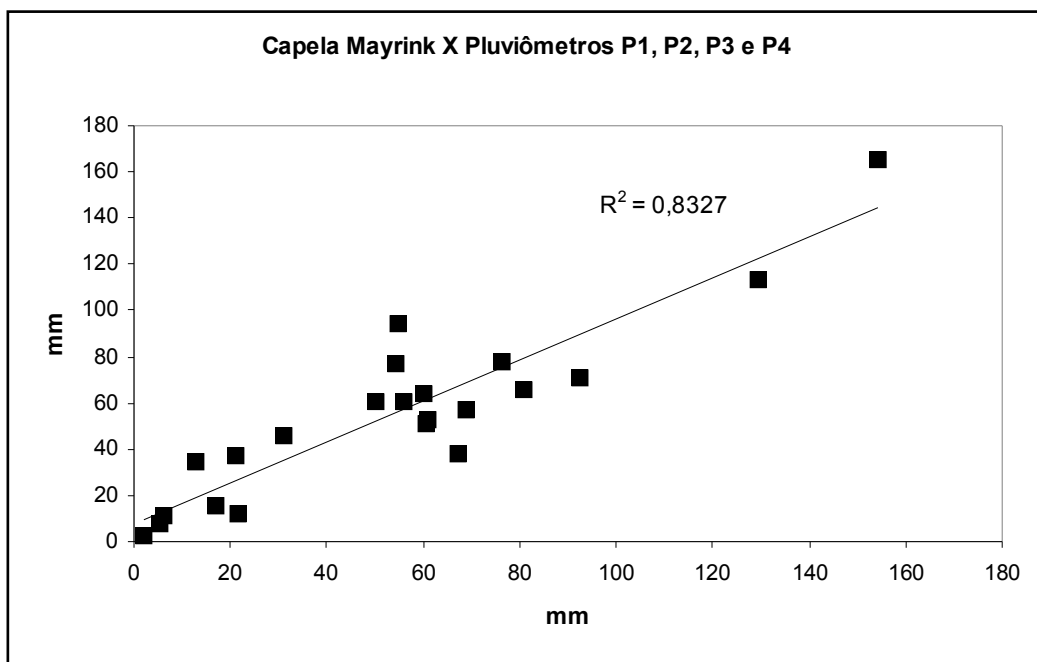


Figura 4: Gráfico de correlação entre o total pluviométrico da Capela Mayrink e a média dos 12 pluviômetros das parcelas 1,2,3 e 4.

5.2. Vazão, concentração e carga total de sedimentos:

Foram analisadas as correlações entre os parâmetros hidro-erosivos e a precipitação terminal, sendo esta a variável independente e os dados de vazão, concentração e carga total de sedimentos as variáveis dependentes. Os gráficos foram construídos primeiramente utilizando-se os dados de todos os 22 eventos mensurados, independentemente de sua duração, e em uma segunda etapa foi feita a correlação em separado para eventos de



diferentes durações (1 dia, 2 e 3 dias e eventos de mais de 3 dias). Desta maneira, procurou-se uma melhor análise dos dados, já que os eventos mensurados têm natureza muito diversa. Do total de 22 eventos, 10 tiveram 1 dia de duração, sete tiveram 2 ou 3 dias de duração e 5 eventos duraram mais que 3 dias.

Para a variável dependente escoamento superficial (a vazão total coletada pelo galão), não foi encontrado valores significativos de correlação utilizando-se todos os eventos. Quando os eventos são classificados por seu tempo de duração, foram encontradas correlações razoáveis nas áreas de revegetação espontânea e reduzida nos eventos de 1 dia de duração ($R^2=0,64$ e $0,76$, respectivamente). Nas parcelas 1 e 2 não foram encontradas boas correlações para os eventos 1 dia, assim como não foram encontradas boas correlações para nenhuma das parcelas nos eventos de mais de 1 dia de duração. Estes dados diferem dos de Cruz (2001), que havia encontrado bons valores de correlação nas parcelas 1 e 2, enquanto que na parcela 3 a correlação encontrada foi equivalente. Mostram também que, assim como já haviam apontado Rocha Leão (1997) e Cruz (op. cit.), outras variáveis como a umidade antecedente, a intensidade da chuva, o tipo de cobertura vegetal e de substrato pedológico, têm um papel mais importante que o total pluviométrico na geração de escoamento superficial.

Quanto à concentração de sedimentos e a carga total produzida por evento, não foi encontrada nenhuma correlação razoável com o total pluviométrico, tanto na análise conjunta das 22 mensurações quanto na análise de divisão dos eventos por tempo de duração. Uma tendência observada é que a concentração de sedimentos decresce com o aumento do total pluviométrico e conseqüentemente, é menor nos eventos que tem duração mais longa, e atinge os maiores níveis de concentração nos eventos de 1 dia. Isto pode indicar que após uma atividade erosiva intensa no primeiro dia de precipitação, ocorre uma redução nesta dinâmica, possivelmente devido à mudanças nas condições de umidade e de compactação do topo do solo. Cruz (op. cit.) já havia notado que após longos períodos de estiagem, o primeiro evento de chuva produzia altas taxas de erosão, que tenderiam a ser diminuídas com o aumento no teor de umidade do solo.

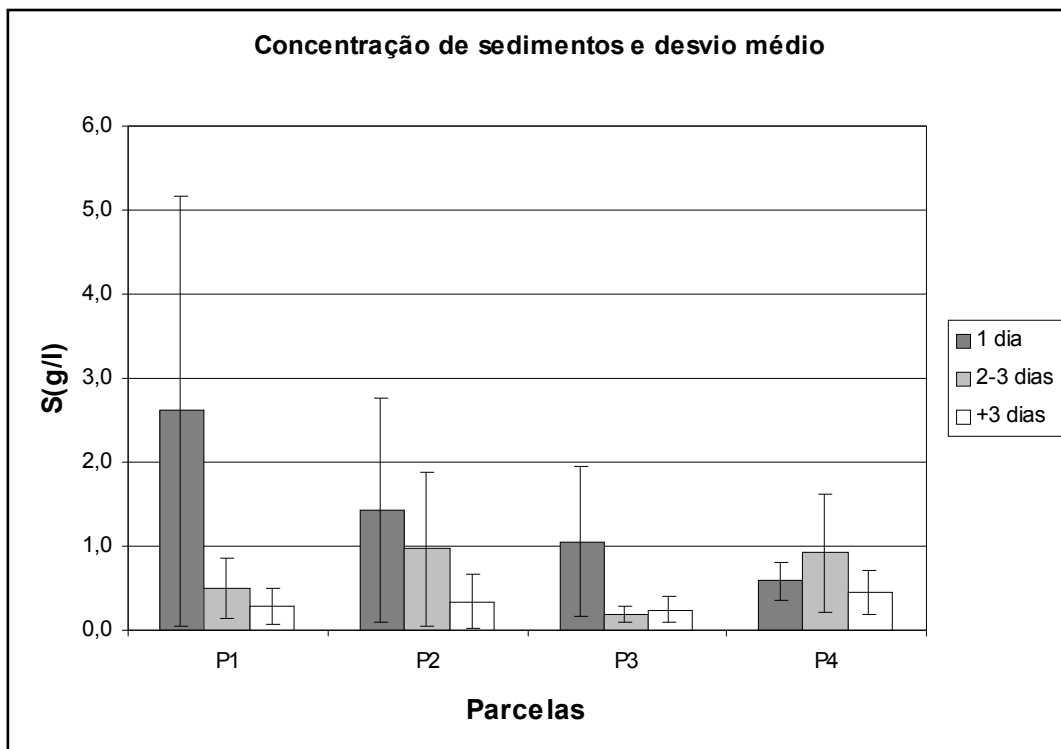




Figura 5: Gráfico de concentração de sedimentos para as 4 parcelas de escoamento, por tempo de duração do evento.

Esta situação pode ser visualizada no gráfico¹ acima (**figura 5**). As maiores concentrações aparecem nos eventos de 1 dia de duração (com exceção da parcela 4, que tem maior concentração nos eventos de 2 e 3 dias), ocorrendo um decréscimo com o aumento do número de dias seguidos de chuva, e atingindo as menores concentrações nos eventos com mais de 3 dias. Nota-se também que a área de borda florestal (P2) apresenta concentrações maiores que as áreas de revegetação espontânea e reduzida (P3 e P4, respectivamente), o que pode parecer estranho, já que na borda florestal o topo do solo não foi destruído pelo deslizamento, e a dinâmica hidrológica florestal foi preservada. No entanto, conforme mostra a **tabela 1**, a vazão média dos 22 eventos é bem maior nas áreas de revegetação espontânea e induzida do que na borda florestal, o que faz com que a carga total média, e conseqüentemente, o trabalho erosivo, seja maior nas áreas de revegetação.

Esta baixa concentração de sedimentos e altas taxas de escoamento superficial nas áreas de revegetação podem ser explicadas pela cobertura do topo do solo e pelo tipo e estruturação da serrapilheira destas áreas, o que será discutido de maneira mais ampla quando forem apresentados os resultados referentes ao mapeamento das parcelas.

Tabela 1: Médias de vazão, concentração e carga total de sedimentos para os 22 eventos mensurados.

PARCELAS	VAZÃO (L)		CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS (G/L)		CARGA TOTAL DE SEDIMENTOS (G)	
	média	DM	média	DM	média	DM
P1	3,7	3,2	1,2	1,3	3,6	5,0
P2	2,1	2,3	1,0	1,0	1,4	1,2
P3	5,1	3,5	0,6	0,6	3,3	4,5
P4	4,3	3,6	0,6	0,4	2,8	2,6

A tabela também mostra que a parcela 1, localizada no domínio geo-hidroecológico sulcos erosivos/solo residual continua sendo a mais erosiva, como já havia mostrado Cruz (2001). Já nos dados referentes à vazão, a parcela 1, que quase não possui cobertura vegetal e tem uma serrapilheira bastante incipiente, apresenta valores menores que as parcelas 3 e 4, na qual a revegetação já esta bastante desenvolvida e uma camada de serrapilheira pode ser observada. O resultado esperado seria que os maiores valores de escoamento aparecessem na parcela 1 devido às condições do topo do solo, e quando analisarmos o mapeamento das parcelas uma hipótese será formulada para este comportamento. Na área de borda florestal (P2) são encontradas as menores taxas de produção de sedimentos, mostrando que apesar de as áreas de revegetação espontânea e induzida já apresentarem uma significativa cobertura vegetal e uma camada de serrapilheira (horizonte O₁) espessa, estas ainda não recuperaram plenamente suas funções hidrológicas, e continuam a ter as

¹ Neste estudo foi utilizada como medida de dispersão dos valores em relação as médias o desvio médio. O desvio médio retorna a média aritmética dos desvios médios dos pontos de dados a partir de sua média, e foi utilizado aqui pois os eventos de chuva mensurados foram de natureza muito diversa (diferentes estações do ano, diferentes durações e intensidades), gerando dados muito dispersos e um desvio padrão elevado. O desvio médio homogeneiza a dispersão, gerando valores mais próximos à média do que o desvio padrão.



mais altas taxas erosivas, devido principalmente as altas taxas de escoamento, como foi dito anteriormente.

5.3. Relação vazão x precipitação (Q/P):

A razão entre o escoamento (Q) e a precipitação (P), sabe-se a porcentagem da precipitação terminal que não foi infiltrada e escoou em superfície na parcela de erosão. Na **tabela 2** a média dos 22 eventos mensurados é comparada com os resultados de Cruz (2001).

Tabela 2: Médias da relação Q/P nos 22 eventos mensurados e médias de Cruz(2001).

Parcelas	Relação Q/P		Cruz (2001)
	Este estudo	DM	
P1	5,2	4,7	14,2
P2	2,6	2,0	3,4
P3	5,3	2,8	4,5
P4	6,0	3,4	7,7

O resultado mais expressivo é a grande redução nos valores registrados na parcela 1 (sulcos erosivos). Na época das mensurações de Cruz (2001), esta parcela tinha uma revegetação muito incipiente, e a superfície do solo era recortada por uma rede de ravinas efêmeras, evidenciando a lavagem superficial e a erosão por salpico sobre o solo exposto, o que dificultava a fixação de partículas e o estabelecimento da vegetação. Atualmente já pode ser observada na parcela uma vegetação composta de plântulas de espécies pioneiras, bambus, samambaias e até indivíduos jovens, além de toda a superfície do topo do solo ter sido recoberta por briófitas (musgo), o que protege o solo da erosão por salpico e pelo escoamento superficial. Esta situação, que aparentemente está favorecendo a infiltração, poderá ser melhor visualizada no tópico sobre o mapeamento das parcelas. Com relação as outras parcelas, não houve variações significativas nos valores de Q/P. A parcela 2 continua sendo a que menos produz menos escoamento superficial e tem as mais altas taxas de infiltração, e conseqüentemente tem as menores médias de vazão e de produção de sedimentos (**tabela 1**). Os valores de Q/P continuam elevados nas áreas de revegetação espontânea e induzida, no domínio geo-hidroecológico de inter-ravinas com depósitos coluviais antigos, apesar destas apresentarem uma sucessão acelerada, inclusive com o topo do solo totalmente recoberta por uma camada de serrapilheira. Esta camada, tanto na parcela 3, mas especialmente na parcela 4, é formada por folhas de espécies pioneiras e bambus, que são de difícil decomposição. É portanto uma serrapilheira espessa mas pouco estruturada, sem presença de camada O_o, o que pode estar favorecendo a criação de fluxos intra-serrapilheira como os descritos por Coelho Netto (1985), que seriam coletados pela calha da parcela antes de atingir o horizonte mineral.

Analisando os valores de Q/P separadamente para eventos de diferentes durações (**figura 6**), vemos que para a parcela 1 (sulcos erosivos) ocorre uma diminuição nos valores de escoamento superficial em eventos de duração mais longa, e conseqüentemente um aumento na infiltração. Este comportamento é de difícil explicação, e possivelmente esta relacionado com a interação do musgo com a umidade. Observações de campo



indicam que quando a condição antecedente é de baixa umidade o musgo adquire características hidrofóbicas e repele a água, mas que após estar completamente encharcado este passa a absorver água, aparentemente aumentando a infiltração.

Os eventos onde foram registrados os maiores índices para a relação Q/P foram todos de 1 dia de duração, sendo que o maior valor, de 24%, foi mensurado no evento do dia 17/11/02, quando a precipitação terminal atingiu 42mm na parcela 1, enquanto que a Estação Capela Mayrink registrou 67mm de chuva.

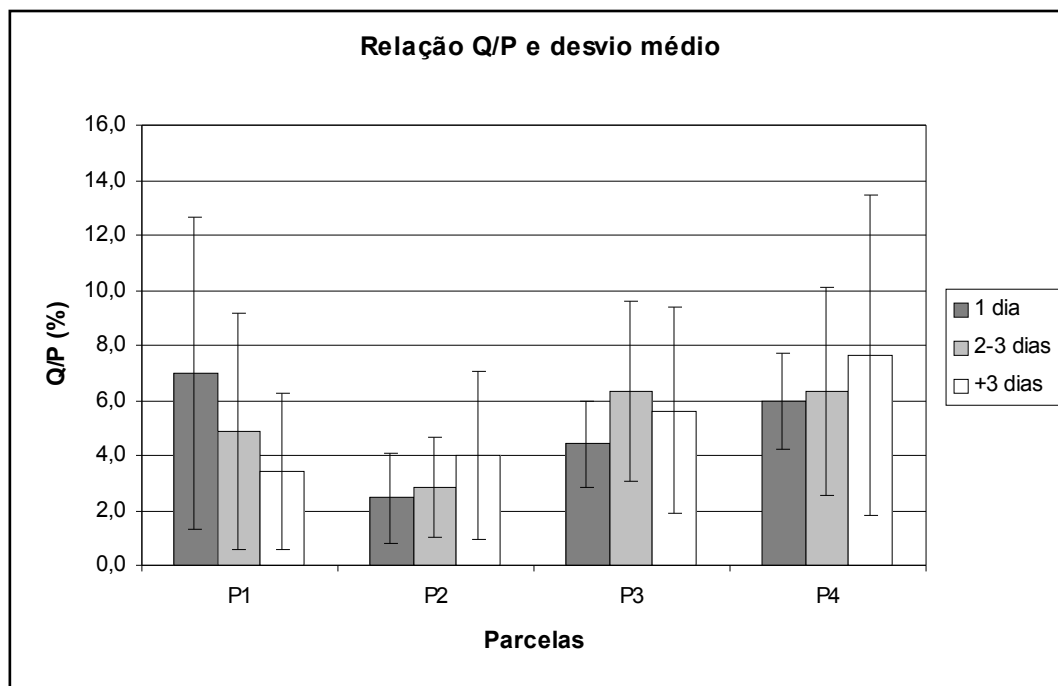


Figura 6: Gráfico de médias da relação Q/P para as diferentes parcelas, por tempo de duração do evento.

No entanto estudos mais detalhados, como ensaios de infiltração, são necessários para esclarecer o papel do musgo, e em especial sua dinâmica hidrológica de infiltração/escoamento. Também não está descartado um possível controle do fraturamento na infiltração no domínio sulcos erosivos, já que os solos (quando presentes) são muito rasos e o embasamento possui alto grau de fraturamento.

Nas outras parcelas, há um aumento nos valores de Q/P nos eventos de duração mais longa, o que se traduz por um aumento do escoamento e diminuição da infiltração. Isto provavelmente se deve a um aumento gradativo do teor de umidade da serrapilheira, que pode estocar grandes quantidades de água (Coelho Netto 1985, 1987), mas no entanto tem um limite de absorção após o qual fica saturada, e ao aumento do teor de umidade do solo.

5.4. Mapeamento das parcelas de erosão:

O mapeamento permitiu que se conhecesse em detalhe, e com precisão, o arranjo dos diferentes tipos de cobertura do topo do solo e de espécies vegetais presentes nas parcelas hidro-erosivas. A partir destes dados foram formuladas hipóteses (que necessitam de estudos mais aprofundadas para serem confirmadas) para a geração de escoamento superficial e produção de sedimentos em cada um dos domínios geo-hidroecológicos, a partir do tipo de cobertura do topo do solo.

No mapeamento da parcela 1 (**figura 7**), observamos que 75% do topo do solo é recoberto por briófitas (musgo), 23% tem cobertura de serrapilheira e apenas 1% da área tem a superfície mineral exposta diretamente à ação da precipitação. A vegetação é composta quase que exclusivamente de bambus, samambaias, capim e plântulas de



quaresmeira e embaúba. Isto faz com que a serrapilheira observada seja muito incipiente, de pequena espessura, sem nenhuma estruturação, e formada apenas pelas folhas das espécies presentes na parcela. Conseqüentemente, esta serrapilheira ainda não desempenha as funções hidrológicas de uma serrapilheira florestal, se limitando a proteger o solo da erosão por salpico, e tendo uma baixa capacidade de armazenamento de umidade. A atividade da fauna escavadora é pronunciada nesta parcela, principalmente de aranhas e formigas. Estes animais, ao fazer suas tocas, removem sedimentos que são depositados ao lado do buraco, e que são posteriormente lavados pela água da chuva. Os locais mapeados como “sedimentos inconsolidados” representam estas manchas de material movimentado pela fauna, e são importantes fontes de produção de sedimentos coletados nas amostras.

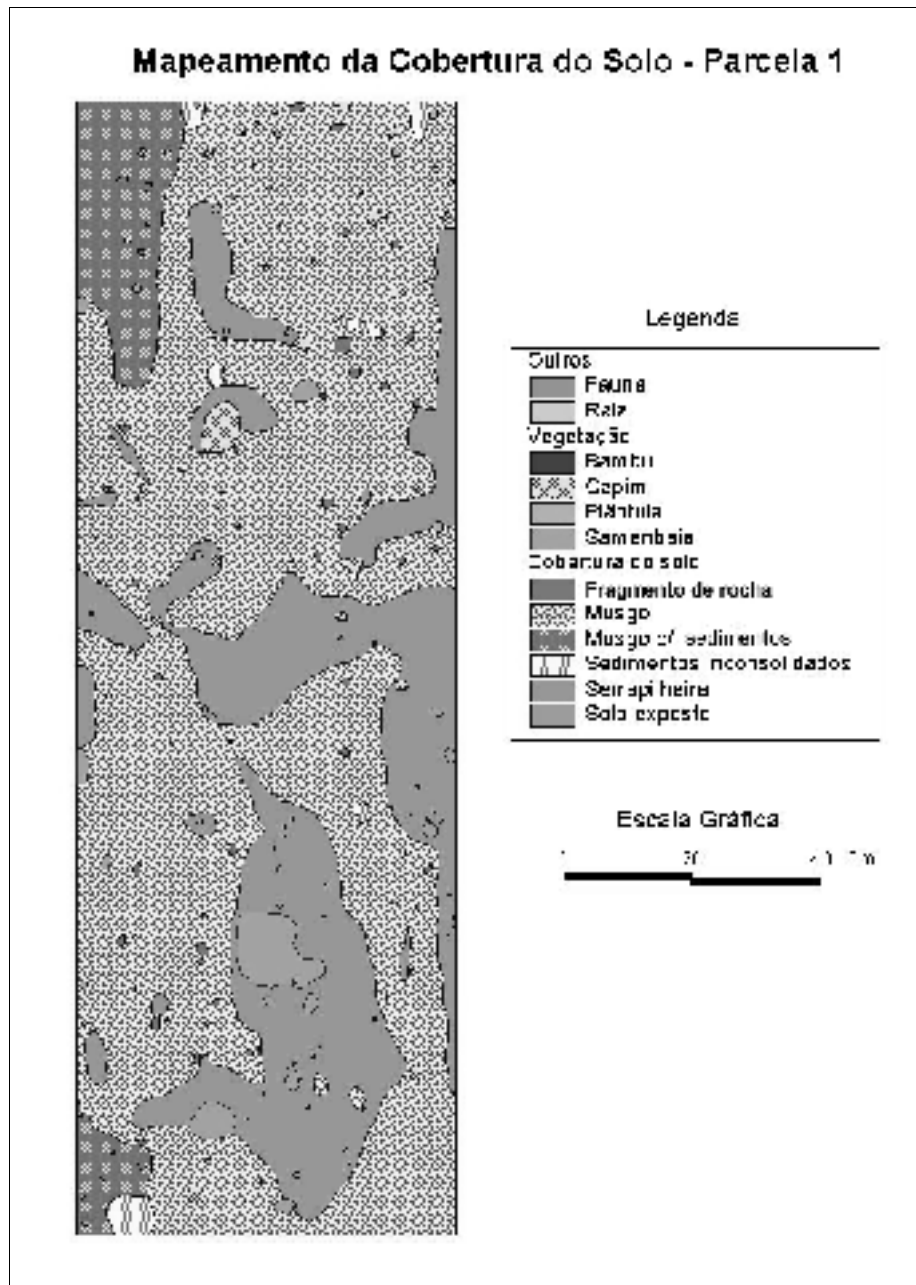


Figura 15: Exemplo de mapeamento da cobertura do topo do solo e da vegetação: Parcela 1.

O musgo que recobre 3/4 da área da parcela é denso e forma um tapete contínuo, que protege o topo do solo da erosão por salpico e da lavagem pelo escoamento superficial, e



sem dúvida desempenha um importante papel hidrológico na infiltração, como foi apontado anteriormente. O fato da parcela 1 produzir menos escoamento que as parcelas 3 e 4 deve de alguma forma estar relacionado com a atuação do musgo, que interage diferentemente com a chuva dependendo da sua condição de umidade antecedente. Maiores investigações em relação à hidrologia das briófitas, em diferentes condições de umidade antecedente são necessárias para se confirmar esta hipótese. Outro fato que pode contribuir para um aumento da infiltração é o domínio das samambaias e capim na vegetação da parcela, pois estes vegetais se desenvolvem em uma estrutura de tufos, com suas folhas captando a precipitação em uma grande área e direcionando para um ponto comum na sua base, onde podem ocorrer injeções pontuais de água no solo. O fraturamento também pode contribuir para um aumento da infiltração como foi sugerido anteriormente. Na parcela não foi possível observar a presença de fraturas, pois o musgo e a serrapilheira recobrem a superfície, mas no entanto, em afloramentos de rocha são próximos à parcela pode-se ver um grande número de fraturas. O padrão de cobertura do topo do solo e de revegetação da parcela 1 é altamente representativo do domínio geo-hidroecológico “sulcos erosivos em solo residual”, já que neste domínio a presença do musgo, das samambaias, do capim, e das plântulas de quaresmeira e embaúba é dominante.

Em relação a parcela 2, observamos que o topo do solo é quase que completamente recoberto por uma serrapilheira florestal. Esta serrapilheira é bem estruturada, possuindo os horizontes O_1 e O_2 , sendo composta de folhas de espécies arbóreas que compõe o domínio geo-hidroecológico “borda florestal”. A grande quantidade de matéria orgânica no topo do solo também pode ser evidenciada pela presença de vários galhos e raízes. Por possuir um topo do solo e serrapilheira que caracterizam um piso florestal, a parcela 2 é a que tem os menores valores de produção de escoamento superficial e de carga de sedimentos. A parcela caracteriza bem o sub-bosque do domínio borda florestal, pois possui arbustos, algumas samambaias e bambus e indivíduos jovens que chegam a ter 2 metros de altura. O número de plântulas também é elevado, e nota-se a ausência de capim.

A parcela 3 também possui uma cobertura contínua de serrapilheira. Esta, no entanto, é completamente distinta da serrapilheira da parcela 2. É composta quase que exclusivamente de folhas de bambus, samambaias e embaúbas, que são de difícil decomposição e formam um espesso horizonte O_1 que se sobrepõe diretamente à superfície mineral, sem a presença do horizonte O_2 . Esta situação é característica da vegetação pioneira que recolonizou o domínio “inter-ravinas/depósitos coluviais antigos”, onde o sistema de ciclagem de nutrientes ainda não foi recuperado. As funções hidrológicas e erosivas também ainda não foram restabelecidas, como mostram os dados de vazão e de carga de sedimentos. No entanto, a presença de indivíduos jovens e árvores de até 2 metros de altura, de outras espécies que não quaresmeiras e embaúbas, mostram que a sucessão ecológica está avançando neste domínio, já que no domínio sulcos erosivos (parcela 1), onde a sucessão encontra-se em um estágio menos avançado, apenas estas duas espécies são observadas.

A parcela 4, é representativa do domínio “inter-ravinas/depósitos coluviais antigos” com revegetação induzida introduzida pela EMBRAPA. As espécies introduzidas tiveram uma boa adaptação às condições limitantes, e apresentam um desenvolvimento considerável, com árvores de até 3 metros de altura. Fisionomicamente, a vegetação apresenta o porte de uma formação pioneira em avançado estágio de sucessão, e aparentemente a revegetação induzida obteve sucesso. Porém os valores de Q/P, e portanto, as taxas de escoamento superficial continuam elevadas. Este fato parece estar relacionado com o tipo de serrapilheira que recobre a parcela 4 e toda a área de revegetação induzida. Esta serrapilheira é composta exclusivamente das folhas das espécies pioneiras introduzidas, que são de decomposição lenta e difícil, e portanto formam uma densa camada O_1 que atinge até 20cm de altura. A estruturação da serrapilheira no entanto não é



boa, pois não pode ser observado o horizonte O_2 . Consequentemente as funções hidrológicas da área de revegetação induzida aparentam ainda não estar recuperadas, já que a relação Q/P é a mais elevada das 4 áreas e a vazão é elevada. Novamente, atribui-se isto à fluxos que são gerados dentro da espessa camada de serrapilheira e percorrem caminhos horizontais (encosta abaixo) e verticais antes de atingir a superfície mineral. Apesar das altas taxas de escoamento superficial, a serrapilheira aparenta estar protegendo o topo do solo da erosão, já que a concentração e a carga total de sedimentos apresentam números menores que as parcelas 1 e 3.

6. Considerações finais:

Após sete anos da ocorrência dos deslizamentos de fevereiro de 1996, a cicatriz do Pico do Papagaio, apesar de suas grandes dimensões, dá sinais de recuperação, principalmente no tocante à revegetação.

Aparentemente a área de sulcos erosivos (parcela 1), já ultrapassou o limiar entre a limitação imposta pela erosão à revegetação e o momento em que esta vegetação passa a ter um controle sobre a dinâmica hidro-erosiva. Os indicadores sofreram drásticas reduções quando comparados com os resultados de Cruz (2001), e as espécies vegetais presentes são as mesmas que dominam a área de inter-ravinas (parcela 3), na qual o processo de revegetação começou logo após o evento. No entanto este processo se deu de forma muito lenta, já que foram necessários sete anos para o surgimento de plântulas de espécies pioneiras como embaúbas e quaresmeiras.

Os resultados da área de borda florestal (parcela 2) foram similares aos obtidos por Cruz há 2 anos, mostrando que ao menos sobre as taxas hidro-erosivas um possível efeito de borda não está tendo influência. Este aliás, parece ter sido neutralizado, já que se observa uma revegetação mais acelerada nas bordas da cicatriz.

Com relação ao domínio inter-ravinas, nota-se que após sete anos foi formada uma vegetação pioneira, que apesar de prover uma cobertura vegetal que intercepta a água da chuva, e uma serrapilheira que protege o topo do solo do impacto direto das gotas de chuva, não recuperou ainda suas funções hidrológicas, mostrando como é lento este processo nas áreas de revegetação espontânea.

Já na área de revegetação induzida podemos observar um rápido desenvolvimento das espécies introduzidas, que se mostraram eficientes no controle da erosão, apesar das altas taxas de escoamento superficial ainda serem altas. Fica claro que não basta introduzir espécies pioneiras e esperar que a sucessão ocorra naturalmente para que se recupere as funções hidrológicas florestais. O manejo deve ser contínuo, e no caso da área de revegetação induzida seria aconselhada a introdução de espécies secundárias iniciais como forma de acelerar o processo neste estágio da sucessão.

7. Bibliografia:

- CASTRO JR., E., “O Papel da Fauna Endopodônica na Estruturação Física do Solo e o seu Significado para a Hidrologia de Superfície”. Dissertação de Mestrado, PPGG/UFRJ. Rio de Janeiro, 1991.
- COELHO NETTO, A.L., “O Processo Erosivo nas Encostas do Maciço da Tijuca/RJ”. Dissertação de Mestrado, PPGG/UFRJ. Rio de Janeiro, 1979.
- COELHO NETTO, A. L., “Surface Hydrology and Soil Erosion in a Tropical Mountainous Rainforest Drainage Basin, Rio de Janeiro”. Tese de Doutorado. Universidade Católica de Leuven, Bélgica, 1985.



COELHO NETTO, A. L., “Overland Flow Production in a Tropical Rainforest Catchment: The Role of Litter Cover”. In: **Catena 14: pp. 213-231**. 1987.

COELHO NETTO, A.L., “Produção de Sedimentos em Bacias Fluviais Florestadas do Maciço da Tijuca, RJ: Respostas ao Evento Extremo de Fevereiro de 1996”. In: **II Enc. Nacional de Engenharia de Sedimentos, pp. 209-219**, 1996.

CRUZ, E.S.; VILELA, C.L. & COELHO NETTO, A.L., “February 1996 Landslide Scars and Subsequent Erosion: Tijuca Massif, Rio de Janeiro”. **IAG – Regional Conference on Geomorphology**. Rio de Janeiro, 1999

CRUZ, E.S., “**Reativação Erosiva e Revegetação em Cicatrizes Erosivas de Movimento de Massa: Estação Experimental da Cicatriz do Pico do Papagaio/Macço da Tijuca/RJ**”. Dissertação de Mestrado, PPGG/UFRJ. Rio de Janeiro, 2001.

MIRANDA, J. C., “**O Efeito da Cobertura Vegetal na Entrada e Redistribuição da Chuva em uma Encosta Florestada**”. Dissertação de Mestrado, PPGG/UFRJ. Rio de Janeiro, 1992.

NUNES, V.M.; CASTRO JR., E. & COELHO NETTO, A.L., “Bioporosidade e Infiltração em Solos Florestados: O Papel da Fauna Endopedônica”. In: **Anais IV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, pp. 43-51**. Porto Alegre, 1991.

ROCHA LEÃO, O.M., “**Potencialidades e Limitações da Revegetação no Controle da Hidrologia e Erosão Superficial**”. Dissertação de Mestrado, PPGG/UFRJ. Rio de Janeiro, 1997.

VALLEJO, L.R., “**A Influência do Litter na Distribuição de Águas Pluviais**”. Dissertação de Mestrado, PPGG/UFRJ. Rio de Janeiro, 1982.

WESTERBERG, L.O., “**Mass movements in East African Highlands: Processes, Effects and Scar Recovery**”. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia Física, Universidade de Estocolmo. Suécia, 1999.

ZAÚ, A. S., “**Variação da Cobertura Vegetal e Efeitos na Hidrologia Superficial: Maciço da Tijuca/RJ**”. Dissertação de Mestrado, PPGG/UFRJ. Rio de Janeiro, 1994.

Apoio financeiro: CNPq, FAPERJ, FUJB, PRONEX.