

Hidrologia de encosta numa cabeceira de drenagem com cobertura de eucalipto na bacia do rio Sesmarias: médio vale do rio Paraíba do Sul

Anderson Mululo Sato¹ (sato@ufjf.br)
André de Souza Avelar¹ (andreavelar@acd.ufjf.br)
Ana Luiza Coelho Netto¹ (ananetto@acd.ufjf.br)

¹ Laboratório de Geo-hidroecologia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia. Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Edifício do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP 21.941-916 – Rio de Janeiro/RJ – Brasil

Abstract: Since early 21 century the landscape mosaic of middle Paraíba do Sul river valley has been rapidly modified by spreading of *Eucalyptus* patches in substitution to cattle grazing grasslands. On the other hand, the region have evidences of geomorphological instability due to occurrence of deep gullies caused by groundwater flows and landslide scars. Our current research interests are driven to understand the role played by *Eucalyptus* controlling the hillslope hydrology and explain how these changes may affect the regional landscape system. This paper presents the hydrological results in the headwater zone of a first order drainage basin in response to biota-soil-water interactions.

Palavras-Chave: *Eucalyptus*, escoamento superficial, cabeceira de drenagem, atravessamento, serrapilheira.

1. Introdução:

Historicamente o vale do rio Paraíba do Sul vem sendo submetido à sucessivas mudanças ambientais decorrentes dos diferentes modos de uso e ocupação. A cafeicultura se instalou entre meados do século XVIII e final do século XIX, ocasionando grande devastação da Floresta Atlântica ali presente, deixando como resquício apenas alguns fragmentos isolados. A substituição das áreas de Floresta Atlântica por plantios de café resultou na modificação de um sistema hidrológico que operava através dos processos de infiltração e estocagem (Coelho Netto, 1985) para outro que preponderava o escoamento superficial gerando altas taxas de erosão (Dantas, 1995). Seguindo o ciclo do café, a pecuária extensiva espalhou-se pelo vale ao longo do século XX, acarretando novas alterações no que diz respeito à hidrologia. Isto ocorreu devido ao enraizamento raso das gramíneas e à escavação das formigas saúva (gênero *Atta*), gerando significativas descontinuidades hidrológicas nas encostas (Deus, 1991). A partir da década de 1940 esta atividade foi acompanhada pela industrialização, assim como pela expansão dos núcleos urbanos, especialmente das grandes metrópoles de São Paulo e Rio de Janeiro.

Atualmente, prevalece uma paisagem heterogênea e instável submetida a mudanças ambientais cada vez mais rápidas e sob altas taxas de erosão e deposição nas encostas e fundos de vales fluviais. No domínio montanhoso existe um predomínio dos movimentos de massa, favorecidos pelas maiores declividades das encostas, enquanto no domínio das colinas convexo-côncavas, que possui espessos estoques sedimentares quaternários, prevalecem mecanismos de erosão linear, como, por exemplo, as voçorocas. A progressão na incisão e/ou recuo desses canais erosivos tende a favorecer a ocorrência de deslizamentos, particularmente junto às encostas mais íngremes, e sua intensificação nas cabeceiras de drenagem vem acarretando um aumento das taxas de assoreamento nos canais fluviais coletores e aumento das enchentes nas planícies de inundação (Coelho Netto, 2003). Desde o começo do século XXI uma nova mudança vem se instalando nas áreas rurais, até então degradadas sob o ponto

de vista sócio-econômico e ambiental, com o início de um novo ciclo econômico associado à implementação de plantios de eucalipto em vastas áreas.

A cultura do eucalipto tem sido apontada como indutora da desertificação pela queda da produtividade biológica dos ecossistemas através de três maneiras: a) a pesada demanda por nutrientes criaria um déficit anual que desestabilizaria o ciclo de nutrientes; b) a liberação de substâncias químicas alelopáticas afetaria o crescimento de plantas e de microorganismos do solo, reduzindo, assim, ainda mais a fertilidade dos solos; c) a alta demanda de água dos eucaliptos esgotaria a umidade do solo e acabaria com a recarga da água subterrânea (Jayal, 1985 *apud* Lima, 1996).

Sobre a hidrologia dos plantios de eucalipto, o trabalho de Zhou *et al.* (2002) no sul da China indica que os plantios de eucalipto implicam numa redução significativa no fluxo de chuva e erosão quando comparados à área controle sem vegetação, enquanto Lima (1990) conclui que as plantações de eucalipto podem apresentar tanto um significativo controle do escoamento superficial quanto das perdas de solo e nutrientes do sítio de plantação por lavagem superficial, sendo que esse efeito controle se faz mais eficiente à medida que o plantio de eucalipto se desenvolve. Com relação ao nível do lençol freático, Sharda *et al.* (1998), estudando em pequenas bacias de drenagem, avaliam as implicações da cobertura de eucaliptos no comportamento hidrológico durante o período de dez anos da segunda rotação numa região de montanha ao sul da Índia. Os resultados mostram que ocorreu uma redução na média do escoamento superficial total anual na área de segunda rotação em 25,4% e do fluxo de base dos rios em 27% quando comparados às áreas naturais de gramíneas. Já na primeira rotação esses valores foram de 16% e 15%, respectivamente. Zhou *et al.* (2002) demonstram que no período analisado (1983-1989) ocorreu um rebaixamento de 80 cm na área com eucalipto quando comparada à área controle desmatada, isto porque o plantio de eucalipto teria uma maior capacidade de absorção de água pelas raízes, reduzindo a recarga do aquífero. Isto também fica evidenciado por outros resultados desse estudo, uma vez que a umidade no perfil do solo no plantio de eucalipto era significativamente menor que na área controle desmatada. Na revisão realizada por Andréassian (2004) fica demonstrado nos estudos levantados em pequenas bacias pareadas que tanto o corte de plantios de eucalipto como também da floresta nativa eleva o nível do lençol freático, pois ocorre a redução da evapotranspiração. O efeito contrário também é observado quando áreas desmatadas são replantadas com eucalipto ou floresta nativa, o que acaba acarretando na redução do nível freático nos primeiros anos de plantio pelo aumento da evapotranspiração. Existem estudos que comprovam que as espécies plantadas no Brasil possuem resposta estomática à disponibilidade de água (Lima *et al.*, 2003; Soares e Almeida, 2001; Mielke *et al.*, 1999), indicando que essas espécies apresentam mecanismos que controlam a evapotranspiração em condições de baixa umidade no solo. Em contraponto ao senso comum, o estudo de Almeida e Soares (2003) conclui que em plantios de *Eucalyptus grandis* na costa leste do Brasil a evapotranspiração anual e o uso de água do solo são comparáveis às áreas de Floresta Atlântica, demonstrando as contradições encontradas nos resultados a respeito dos efeitos dos plantios de eucalipto no ciclo hidrológico.

2. Área de Estudo

A estação experimental Monte Alegre (22°36'29''S e 44°27'02''W) está localizada na zona de cabeceira de drenagem de uma sub-bacia de primeira ordem (15,9 ha) inserida na bacia do rio Sesmarias, afluente do rio Paraíba do Sul, próximo ao centro de Resende (RJ). Na região existe um predomínio de latossolos e a pluviosidade média anual é de 1508 mm, com chuvas concentradas entre Outubro a Março.

A escolha da localização da estação experimental Monte Alegre deveu-se a presença de híbridos de *Eucalyptus urophylla* e *E. grandis* com plantio em espaçamento 3x2 m, 1ª rotação, dispostos na direção do declive com plantio mínimo iniciado em Abril de 2004. A instalação da estação experimental ocorreu devido às facilidades logísticas e por estar localizada numa área representativa do domínio de colinas convexo-côncavas. Estudos preliminares indicam que a bacia do rio Sesmarias (149 Km²) possui 3,1% de sua área coberta por plantios de eucalipto, sendo todos esses plantios localizados no domínio das colinas convexo-côncavas (Sato *et al.*, 2007). Nesta bacia prevalece uma matriz de gramíneas com alguns fragmentos de floresta ombrófila espalhados por toda sua extensão, com maior concentração no domínio montanhoso. A granulometria do topo do solo (0–20 cm) foi classificada como franco argilo-arenosa baseado no método da EMBRAPA (1997).

3. Materiais e Métodos

3.1. Precipitação e Atravessamento

A precipitação diária total foi avaliada com base na média de três pluviômetros colocados numa área aberta à cerca de 850 m da área plantada. Os pluviômetros foram construídos em laboratório com a utilização de tubos de PVC de 100 mm de diâmetro e 300 mm de altura.

O atravessamento foi avaliado com a utilização do mesmo tipo de pluviômetro usado na medição da precipitação diária total, sendo distribuídos no interior do plantio e dispostos junto aos troncos (JT) e também entre os troncos (ET), situados tanto no divisor quanto na encosta lateral. Utilizou-se três pluviômetros em cada situação. As medidas de atravessamento foram baseadas na comparação dos pluviômetros sob o dossel do plantio de eucalipto e da área aberta. As medições de precipitação e atravessamento foram realizadas diariamente às 07:00 h no período de 7/Out/2006 a 31/Jul/2007.

3.2. Produção e Estoque de Serrapilheira

A produção de serrapilheira foi avaliada mensalmente com a utilização de doze coletores quadrados de 0,5 m de lado com tela de 2 mm de abertura na parte inferior que foram dispostos tanto no divisor quanto na encosta lateral, seis em cada domínio de encosta. Já o estoque de serrapilheira foi avaliado trimestralmente com a utilização de gabaritos quadrados de amostragem de 0,25 m de lado sendo que as coletas obedeceram a mesma disposição espacial dos coletores quadrados de produção de serrapilheira, com seis amostras no divisor e seis na encosta lateral. As amostragens de produção e estoque de serrapilheira foram realizadas no período de Novembro de 2006 a Julho de 2007 sempre próximo ao dia 15 de cada mês, sendo as amostras identificadas, ensacadas e levadas para laboratório onde foram secas a 60 °C em estufa e depois pesadas.

3.3. Escoamento Superficial

Visando avaliar o escoamento superficial foram instaladas duas parcelas de escoamento superficial do tipo Gerlach de 90 m² (9,0 x 10,0 m), fechadas na parte superior, englobando quinze indivíduos arbóreos. Uma parcela foi colocada na área do divisor (8° de declividade) e outra na encosta lateral (24° de declividade). A saída dessas parcelas continha uma caixa d'água receptora de 1.000 L e as leituras do volume de escoamento superficial foram realizadas diariamente no período de 22 de Dezembro de 2006 a 30 de Junho de 2007.

4. Resultados e Discussão

4.1. Precipitação e Atravessamento

No período analisado ocorreram 88 dias com chuva, sendo o mês de Novembro o mais chuvoso, com precipitação mensal total de 319 mm e a ocorrência de doze dias chuvosos. O mês de Junho foi o mês menos chuvoso, com índice de apenas 6 mm em dois dias de chuva (figura 2).

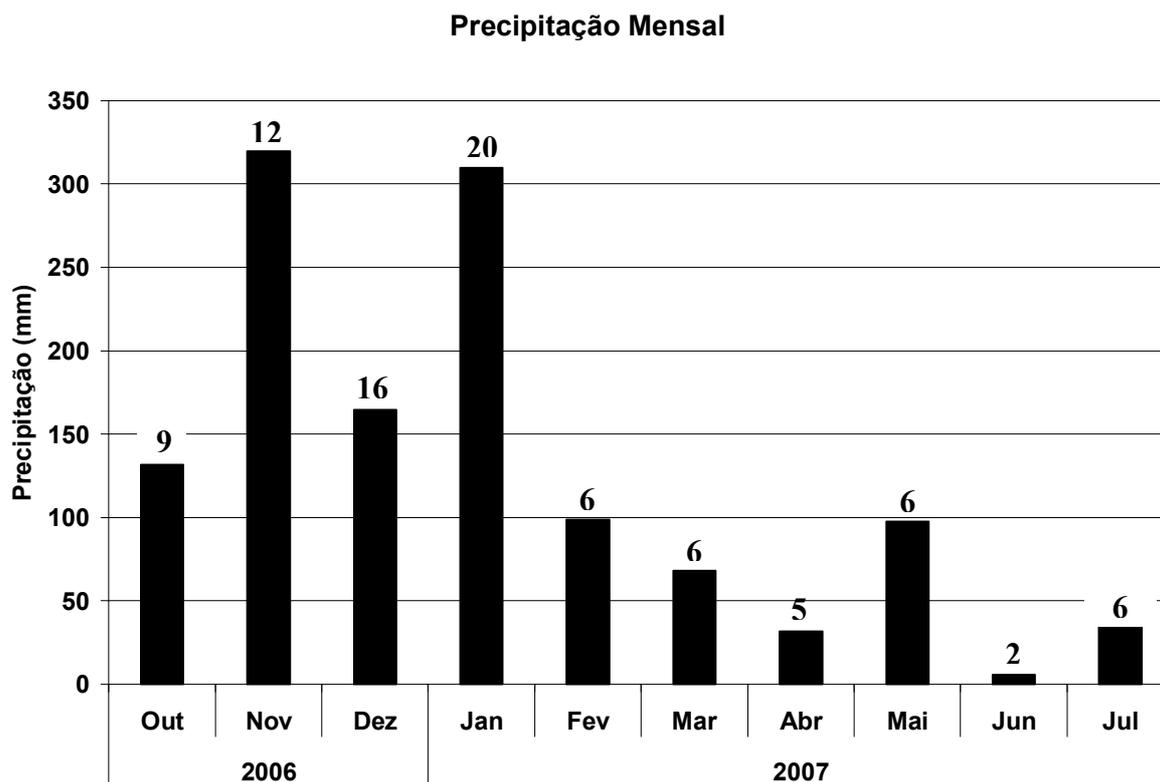


Figura 2 – Precipitação mensal baseada na média dos três pluviômetros em área aberta. O número sobre as barras indica o número de dias com chuva em cada mês.

O atravessamento mostrou-se bastante variável espacialmente, com maior concentração JT do que ET (figura 3). Essa maior concentração do atravessamento JT provavelmente está relacionada com a arquitetura convergente dos galhos da espécie plantada, o que aumentaria o fluxo de atravessamento junto aos troncos em detrimento às áreas entre os troncos. A variabilidade dos dados também demonstrou que a medição do atravessamento JT apresenta maior desvio padrão na comparação com os dados ET. Isso reforça a hipótese levantada, pois cada pluviômetro colocado JT estaria recebendo uma contribuição diferenciada em relação aos demais, isto porque a convergência dos fluxos dependeria da arquitetura dos galhos acima de cada instrumento, enquanto os pluviômetros ET se encontrariam em condições mais homogêneas.

A maior concentração dos fluxos de atravessamento JT pode facilitar a infiltração da água no solo, pois nessa área se concentram as raízes e sabe-se que as raízes são vias preferenciais do fluxo d'água no solo (Freire Allemão, 1997; Jansen, 2001; Silveira *et al.*, 2005).

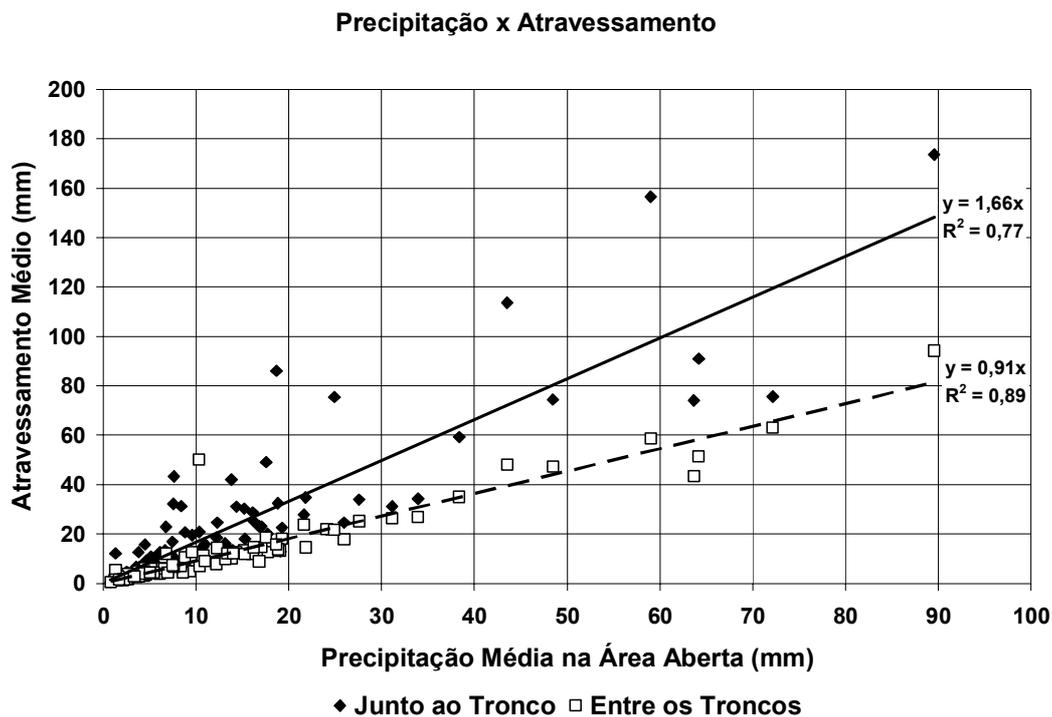


Figura 3 – Correlação precipitação x atravessamento nos pontos JT e ET.

Baseado nos resultados de atravessamento não foi obtido nenhum valor médio de intercepção, visto que os dados JT e ET apresentaram grande disparidade. Optou-se por dar mais ênfase na demonstração da grande variabilidade espacial que existe no atravessamento, fato que muitas vezes não é discutido nos trabalhos de hidrologia de plantios de eucalipto.

4.2. Produção e Estoque de Serrapilheira

A produção de serrapilheira apresentou grande variação no período, mostrando estar mais relacionada à disponibilidade hídrica (**figura 4**). O período de 13 Fevereiro – 15 Março foi o que apresentou a maior produção de serrapilheira (média de $1,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) com precipitação acumulada no período de 13 mm, contrastando bastante com os 273 mm do período anterior. Após o decréscimo das chuvas no período de 13 Fevereiro – 15 Março a vegetação respondeu à nova situação de menor umidade com grande produção de serrapilheira. A produção de serrapilheira no divisor foi superior à encosta lateral em todos os meses analisados. A maior produção de serrapilheira no divisor está relacionada com o fato das áreas de divisor possuírem uma área de contribuição hídrica menor que a encosta lateral, tanto superficialmente quanto sub-superficialmente, o que ocasiona uma menor disponibilidade de água no divisor. Desta forma, as árvores no divisor estão mais sujeitas aos efeitos do estresse hídrico com o início do período seco. Sabe-se que a perda de folhas é um comportamento fisiológico que visa diminuir a transpiração da planta, uma vez que a umidade tende a diminuir após o decréscimo das precipitações, tornando o elemento água um recurso mais escasso. Existem diversos estudos que demonstram que é através das folhas que as plantas perdem mais de 95% da água que elas transpiram (Raven, 2001).

Na seqüência da análise dos dados de produção de serrapilheira, mesmo com os índices pluviométricos nos períodos posteriores seguindo baixos, a produção de serrapilheira diminuiu significativamente. Provavelmente após o estresse hídrico que os eucaliptos foram submetidos no período 13 Fevereiro – 15 Março e a conseqüente grande produção de

serrapilheira há indícios de que nos meses seguintes a vegetação já estava novamente readaptada à condição de baixa umidade, por isso a produção não continuou elevada. Corrêa Neto *et al.* (2001) encontram resultados semelhantes, com maior produção de serrapilheira no início dos meses mais secos.

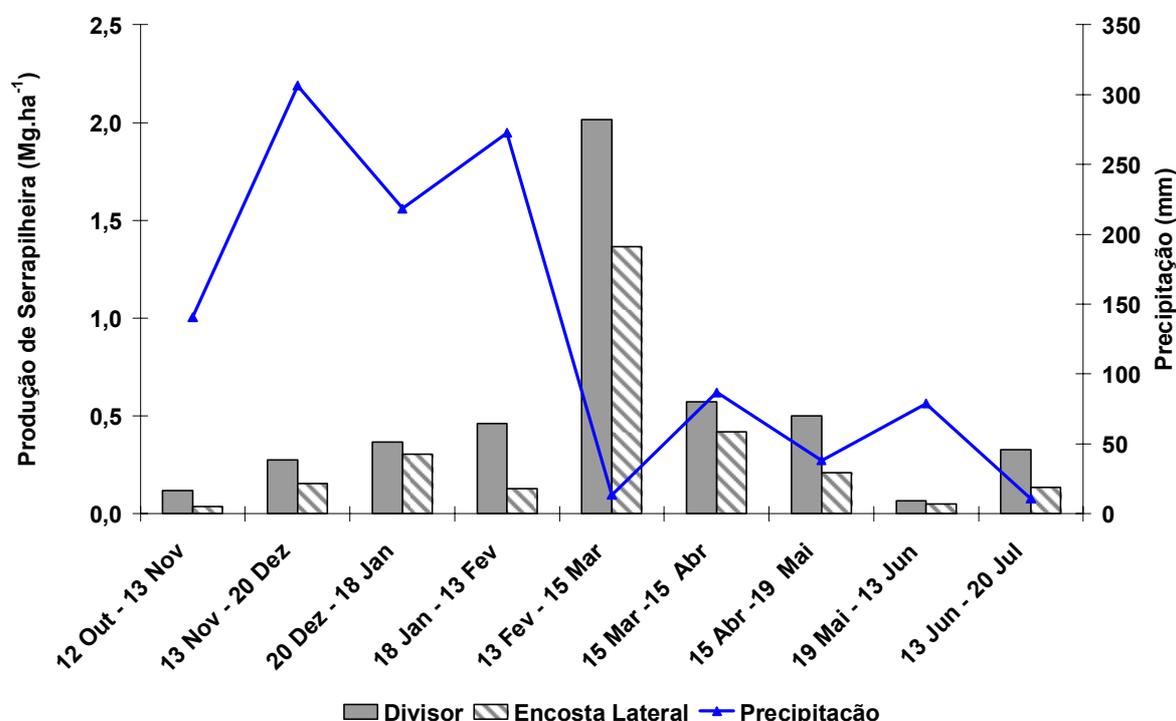


Figura 4 – Relação da produção de serrapilheira com a precipitação.

O estoque de serrapilheira sobre o solo acumulou ao longo do período analisado, conforme demonstrado na **tabela 1**. Essa acumulação está relacionada à produção de serrapilheira e também à baixa taxa de decomposição da mesma. Em plantios de *Eucalyptus sp.* são relatadas baixas taxas de decomposição, acarretando acúmulo de material orgânico e, por conseguinte, aumento da quantidade de nutrientes na interface serrapilheira-solo (Louzada *et al.*, 1997; Guo e Sims, 2001; 2002; Gama-Rodrigues e Barros, 2002). Essa baixa taxa de decomposição seria, em parte, decorrente da eficiente retranslocação de nutrientes (ciclagem bioquímica) pelo eucalipto, que produz serrapilheira de baixa qualidade nutricional (Gama-Rodrigues e Barros, 2002) e também devido à menor atividade biológica nos meses mais secos e frios do ano (Guo e Sims, 2001).

Tabela 1 – Estoque de serrapilheira (Mg.ha⁻¹).

2006	2007
Outubro	Abril
8,2	11,9
Janeiro	Julho
9,2	12,0

4.3. Escoamento Superficial

O escoamento superficial no período analisado foi baixo, sendo a média da relação Q (escoamento) / P (precipitação) de 0,1% no divisor e 0,2 % na encosta lateral, tendo como valores máximos 1,3% e 3,8%, respectivamente (**figura 5**), valores semelhantes aos da Floresta Atlântica (Coelho Netto, 1985). O fator declividade de encosta é mais relevante para explicar o comportamento hidrológico do escoamento superficial, sendo a declividade da

encosta (24°) três vezes maior que a do divisor (8°). Um fator que também ajuda a explicar esse baixo percentual de escoamento superficial é a existência de um estoque de serrapilheira bem desenvolvido, o que facilita a infiltração da água no solo (Coelho Netto, 1985; 1987). Resultados de Lima (1990) demonstram que o escoamento superficial tende a diminuir ano a ano com o desenvolvimento da vegetação após o plantio, pois a mesma reduziria o impacto das gotas sobre o solo e dificultaria o escoamento superficial. Resultados de Croke *et al.* (1999) indicam que a maior parte do escoamento superficial que ocorre em plantios de eucalipto está relacionada com as estradas de rodagem não-pavimentadas, pois as mesmas apresentam baixa capacidade de infiltração, favorecendo a ocorrência de escoamento superficial Hortoniano até em eventos de baixa intensidade.

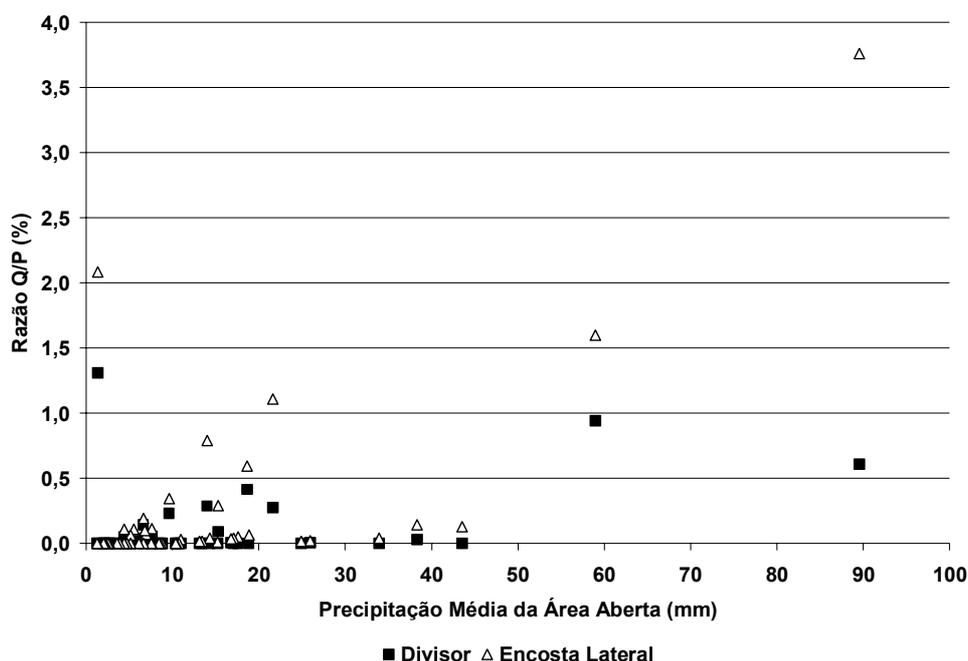


Figura 5 – Relação entre a precipitação e a razão Q (escoamento superficial)/P (precipitação).

5. Conclusões

Os fluxos de atravessamento são espacialmente variados nos plantios de eucalipto, apresentando maior concentração junto aos troncos; A vegetação do plantio respondeu rapidamente aos menores índices pluviométricos com o início do período seco através da grande produção de serrapilheira. Nesse contexto, as árvores no divisor tiveram maior produção em virtude da menor área de contribuição hídrica; O escoamento superficial no plantio de eucalipto mostrou-se muito reduzido, sendo apenas significativo em eventos de alta pluviosidade. Apesar desta constatação, se faz necessário quantificar o escoamento superficial e a erosão nas estradas não-pavimentadas dos plantios para avaliar integralmente a magnitude desses processos nas cabeceiras de drenagem.

7. Agradecimentos

A pesquisa teve apoio do MCT/CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) – PRONEX, Universal e CT-Hidro; e FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro). Agradecemos à Votorantin Celulose e Papel por ter autorizado as pesquisas na Fazenda Monte Alegre e aos membros da equipe do Laboratório de Geo-Hidroecologia/UFRJ envolvidos nesta pesquisa.

6. Referências Bibliográficas

- Almeida, A.C. e Soares, J.V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (mata atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore** 27(2): 159-170. 2003.
- Andreassian, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology** 291(1-2): 1-27. 2004.
- Coelho Netto, A.L. Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): Bases para um Modelo de Formação e Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. **Rev. Bras. Geomorfologia**, 4(2): 118-167. 2003.
- Coelho Netto, A.L. **Surface hydrology and soil erosion in a tropical mountainous rainforest drainage basin, Rio de Janeiro**. 185p. Phd thesis, Katholieke Univ. Leuven, Belgium. 1985.
- Coelho Netto, A.L. Overlandflow production in a tropical rainforest catchment: the role of litter cover. **CATENA** 14(3): 213-231. 1987.
- Corrêa Neto, T.A.; Pereira, M.G.; Correa, M.E.F. e Anjos, L.H.C. Decomposição de serrapilheira e mesofauna edáfica em áreas de eucalipto e floresta secundária. **Floresta e Ambiente** 8(1): 70-75. 2001.
- Croke, J.; Hairsine, P. e Fogarty, P. Runoff generation and re-distribution in logged eucalyptus forests, south-eastern Austrália. **Journal of Hydrology** 216(1-2): 56-77. 1999.
- Dantas, M.E. **Controles naturais e antropogênicos na sedimentação fluvial, especialmente não uniforme, na bacia do rio Bananal (SP/RJ): médio vale do rio Paraíba do Sul**. 142p. Dissertação (mestrado) PPGG/IGEO/UFRJ. 1995.
- Deus, E. **O papel da escavação das formigas do gênero *Atta* na hidrologia de encostas e áreas de pastagem – Bananal (SP)**. 135p. Dissertação (Mestrado), PPGG/IGEO/UFRJ. 1991.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 212p. 1997.
- Freire Allemão, A.V. **Recarga e drenagem em solos florestados: o papel dos sistemas radiculares**. 136p. Dissertação (mestrado) PPGG/IGEO/UFRJ. 1997.
- Gama-Rodrigues, A.C. e Barros, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore** 26(2): 193-207. 2002.
- Guo, L.B. e Sims, R.E.H. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand. I: external effects. **Soil Biology and Biochemistry** 33(10): 1381-1388. 2001.
- Guo, L.B. e Sims, R.E.H. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand. II: internal effects. **Soil Biology and Biochemistry** 34(7): 913-922. 2002.
- Jansen, R.C. **Distribuição dos sistemas radiculares em encostas florestadas e sua influência sobre a infiltração**. 118p. Dissertação (mestrado) PPGG/IGEO/UFRJ. 2001.
- Lima, W.P. Overland flow and soil and nutrient losses from Eucalyptus plantations. **IPEF International** 1:35-44. 1990.
- Lima, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: EDUSP (2ª ed.), 1996. 301p.
- Lima, W.P.; Jarvis, P. e Rhizopoulou, S. Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO₂ concentration and drought stress. **Scientia Agricola** 60(2): 231-238. 2003.
- Louzada, J.N.C.; Schoederer, J.H. e Marco Júnior, P. Litter decomposition in semideciduous forest and *Eucalyptus spp.* crop in Brazil: a comparison. **Forest Ecology and Management** 94: 31-36. 1997.
- Mielke, M.S.; Oliva, M.A.; Barros, N.F.; Penchel, R.M.; Martinez, C.A. e Almeida, A.C. Stomatal control of transpiration in the canopy of a clonal *Eucalyptus grandis* plantation. **Trees** 13: 152-160. 1999.
- Raven, P.H.; Evert, R.F. e Eichhorn, S.E. **Biologia vegetal**. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro (6ª ed.). 2001.
- Sato, A.M.; Vianna, L.G.G., Almeida, R.C.G., Avelar, A.S. e Coelho Netto, A.L. Changing landscape mosaic of the mid-Paraíba do Sul river valley: geo-hydroecological responses to *Eucalyptus* growth. In: 25 Years of Landscape Ecology: Scientific Principles in Practice, 2007, Wageningen, Netherlands. p. 526.
- Sharda, V.N.; Samraj, P.; Samra, J.S. e Lakshmanan, V. Hydrological behaviour of first generation coppiced bluegum plantations in the Nilgiri sub-watersheds. **Journal of Hydrology** 211: 50-60. 1998.
- Silveira, C.S.; Barbosa, M.C. e Coelho Netto, A.L. A tracer experiment as an alternative methodology to understand infiltration pathway in a tropical rainforest soil. **Solos e Rochas** 28(3): 261-270. 2005.
- Soares, J.V. e Almeida, A.C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing *Eucalyptus* plantation in Brazil. **Journal of Hydrology** 253(1-4): 130-147. 2001.
- Zhou, G.Y.; Morris, J.D.; Yan, J.H.; Yu, Z.Y. e Peng, S.L. Hydrological impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in southern China. **Forest Ecology and Management** 67 (1-3): 209-222. 2002.