

# Geração de Fluxos Subsuperficiais Laterais em Solos Colúviais: Fatores Condicionantes<sup>1</sup>

Ana Cristina F. Vieira<sup>2</sup> & Nelson F. Fernandes<sup>3</sup>

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Departamento de Geografia - Ilha do Fundão, 21941-590, Rio de Janeiro-RJ  
ana@solos.geo.ufrj.br e nelson@solos.geo.ufrj.br

<sup>1</sup> Pesquisa financiada pelo CNPq e pela FUJB / UFRJ.

<sup>2</sup> Bolsista de Iniciação Científica - CNPq.

<sup>3</sup> Professor Adjunto

**Abstract:** The complex subsurface hydrology observed inside soil mantled hillslopes in southeastern Brazil results, in parts, from its puzzling geomorphological evolution that prevailed during the recent geological time. Lateral flows inside the thick colluvial fills may trigger a variety of erosional processes in these hillslopes. Here we discuss a field study carried out in order to define the factors controlling the generation of subsurface lateral flows in this region. Daily readings, along 14 months, were obtained from 12 tensiometer nests installed at different morphological positions and at different depths, considering the whole colluvial fill and the top of the saprolite. The results attest that lateral flows exist inside the colluvial fill immediately after important pluviometric events. It is also suggested that there is not one main factor controlling this process but it results from the interactions of a variety of factors including: soil thickness, rainfall intensity, antecedent moisture, surface morphology, bedrock geometry, among others.

**Keywords:** Preferencial Flow; Soil Hydrology; Soil Erosion

## Introdução

Cada vez mais torna-se fundamental um melhor conhecimento da dinâmica hidrológica dos solos, tanto em superfície como em subsuperfície, e em especial nas regiões tropicais. Na sua maior parte, os estudos encontram-se direcionados para a hidrologia de superfície, já que o monitoramento da dinâmica hidrológica subsuperficial é, em geral, bem mais complexo e caro.

No entanto, o tratamento de problemas tais como a previsão de zonas de saturação na paisagem, a geração e expansão de voçorocas, a iniciação de processos de erosão em "piping", a geração de deslizamentos nas encostas, entre muitos outros, encontra-se intimamente relacionado com o conhecimento dessa dinâmica hidrológica de subsuperfície (Coelho Netto, 1995; Fernandes et. alii, 1994; Guerra, 1995; Fernandes & Amaral, 1996, entre outros). Como agravante, sabe-se que essa dinâmica raramente assume um padrão simplificado, típico de solos homogêneos em encostas retilíneas.

De fato, e isto assume especial importância nos espessos mantos de alteração das regiões tropicais, essa dinâmica hidrológica de subsuperfície se dá de forma bastante complexa. Nestes solos, com frequência, são observadas inúmeras descontinuidades as quais podem

ter tido sua origem ligada à morfogênese ou à pedogênese. Em certas condições estas descontinuidades assumem papel de relevante no condicionamento da dinâmica hidrológica subsuperficial (Fernandes et. alii., 1994). Destaque especial tem sido dado à geração de fluxos laterais em subsuperfície e suas consequências na localização espacial e temporal de processos tais como voçorocamentos e deslizamentos.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo caracterizar os fatores que condicionam no tempo e no espaço a geração de fluxos laterais subsuperficiais no interior das encostas cobertas por espessos mantos colúviais.

## Área de Estudo

Os estudos foram realizados na região de Bananal (SP), mais precisamente em um anfiteatro localizado na Fazenda São João (Figura 1). Neste local já foram realizados uma série de monitoramentos hidrológicos de subsuperfície que permitiram o desenvolvimento do arcabouço teórico deste trabalho (Fernandes, 1990; Fernandes et. alii., 1994).

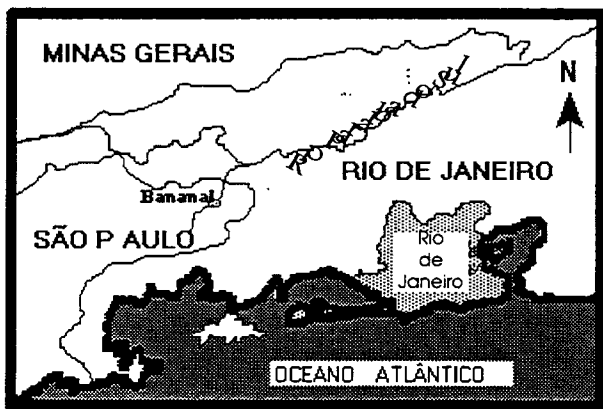


Figura 1 - Localização da área de estudo.

A região caracteriza-se por um clima mesotérmico, com verão quente e inverno seco, predominando o regime tropical de chuvas, sendo este fortemente influenciado pela presença da Serra da Mantiqueira. Durante o verão o aumento da temperatura propicia a formação de precipitações mais intensas, resultando dos movimentos convectivos do ar e do impacto térmico da passagem das frentes frias sobre a região. (Meis et. alii, 1981 e Fernandes, 1990).

**Metodologia**

Com intuito de caracterizar a magnitude e a direção dos fluxos d'água subsuperficiais no anfiteatro estudado foi instalada uma rede de cerca de 80 tensiômetros, distribuídos em 12 baterias, cada uma contendo de 4 a 8 instrumentos. Neste trabalho foram utilizados tensiômetros com manômetro de mercúrio semelhantes àqueles descritos por Fernandes et. alii (1989). A localização das estações tensiométricas foi condicionada pelas variações na morfologia da encosta. Em cada estação os tensiômetros foram instalados em diferentes profundidades (entre 0,20m e 2,90m) as quais foram determinadas pelo levantamento preliminar da cobertura de solos (Figura 2).

O potencial matricial da água no solo foi monitorado diariamente nas 12 baterias de tensiômetros ao longo de 14 meses. Estes dados foram posteriormente transformados em valores de carga total de modo a permitir a caracterização do sentido dos fluxos d'água subsuperficiais no interior dos solos.

Neste trabalho serão privilegiados os dados relativos à estação situada no eixo da concavidade do anfiteatro monitorado (Estação D). A seguir serão apresentados na Tabela 1 os dados referentes à profundidade e às camadas colúvias, onde os tensiômetros da Estação D foram instalados.

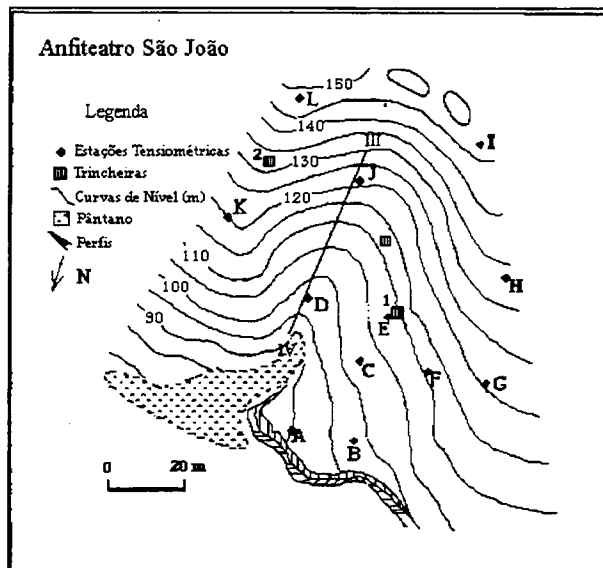


Figura 2- Localização das estações tensiométricas no anfiteatro.

Tabela 1- Profundidades dos tensiômetros e Camadas Colúvias na Estação D.

Tensiômetros	Profundidades (m)	Camadas Colúvias
T1	0.30	Camada 6
T2	0.80	Camada 5
T3	1.00	Camada 5
T6	2.50	Camada 3
T7	2.90	Saprolito

Trabalhos anteriores neste local (Fernandes, 1990; Fernandes et. alii., 1994) atestaram a existência de grande convergência dos fluxos subsuperficiais para este local, gerando condições de saturação, durante chuvas intensas em todo o manto colúvio. Serão analisados aqui apenas os registros referentes ao mês de dezembro de 1986, pelo fato de que o índice pluviométrico foi de, aproximadamente, o dobro da média mensal deste mês nos últimos 15 anos (Figura 3). Maiores detalhes relativos a estes procedimentos estão descritos em Fernandes, 1990 e em Fernandes et. alii., 1994).

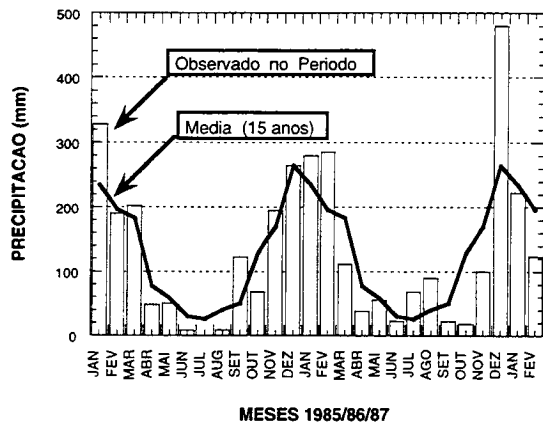


Figura 3 - Precipitação observada no período monitorado e a média em 15 anos.

### Resultados e Discussão

A Figura 4 mostra a estrutura subsuperficial do embasamento rochoso e das camadas colúvias presentes nas Estações J e D, localizadas no eixo do anfiteatro estudado. São aqui apresentados apenas os resultados referentes às características granulométricas desses materiais (Figura 5). Fernandes (1990) e Fernandes et. alii. (1994) apresentam, com detalhe, os resultados associados a outras propriedades físicas e hidráulicas desses materiais. Neste perfil destaca-se a significativa descontinuidade textural representada pela Camada 3 (Cascalheira), a qual possui cerca de 60% entre cascalho e areia, e apenas 18% de argila. Embora não tenham sido realizados ensaios de condutividade hidráulica nesses materiais pode-se afirmar, com base nas análises de granulometria, porosidade e densidade aparente (Fernandes, 1990), que a Camada 3 deve apresentar os maiores valores de condutividade hidráulica saturada de todos os materiais ali existentes, seja rocha alterada ou colúvio.

A Figura 6 sumariza, a partir dos resultados obtidos com os tensiômetros, a variação temporal da carga total e da precipitação na Estação D ao longo de um mês extremamente chuvoso, onde a precipitação alcançou o dobro da média mensal. Pode-se observar que a carga total da água no solo responde rapidamente às entradas pluviométricas registradas, principalmente àquelas associadas aos eventos de maior magnitude. Por exemplo, nota-se um rápido aumento na carga total imediatamente após às grandes chuvas dos dias 8 e 26, cujos índices pluviométricos excederam 70 mm/dia.

O monitoramento da variação da carga total com a profundidade permitiu a caracterização do sentido dos fluxos verticais da água no interior do perfil. As características pluviométricas desse mês, dentro da

estação chuvosa, condiciona um predomínio geral de condições de infiltração. Tal fato torna-se bem evidenciado logo após às grandes chuvas dos dias 8 e 26, onde todo o perfil reflete condições de infiltração. No entanto, quando há continuidade das entradas pluviométricas após esses grandes eventos, observa-se um pouco mais tarde a geração de fluxos verticais ascendentes vindos do embasamento alterado para o interior do manto colúvio. A morfologia côncava do embasamento rochoso deve ter contribuído para que os fluxos vindos das porções mais superiores da encostas se concentrassem na base do anfiteatro. Como na porção mais superficial do perfil o fluxo é descendente ocorre necessariamente a geração de fluxos laterais, durante tais condições, no interior do manto colúvio, mais especificamente na Camada 3 de composição mais grosseira e permeável. A distribuição dos tensiômetros nesse anfiteatro, voltada na época da instalação para outros objetivos, não possibilitou que os fluxos laterais fossem melhor caracterizados, ou mesmo quantificados.

### Considerações Finais

Os resultados aqui discutidos sugerem que a geração de fluxos subsuperficiais no interior dos espessos mantos colúvies, tão frequentes no sudeste brasileiro, representa um processo bastante comum. Torna-se evidente a complexidade hidrológica desses solos, decorrente, até certo ponto, da complexidade geomorfológica desses ambientes.

A localização espacial e temporal desses fluxos subsuperficiais laterais aqui monitorados está diretamente condicionada, entre outros fatores, à intensidade e volume da precipitação, às condições de umidade antecedente, às propriedades físicas e hidráulicas dos solos, à espessura do manto colúvio, às características lito-estruturais e de geometria do embasamento rochoso, e à morfologia da encosta.

Dada a importância desses fluxos laterais, torna-se evidente a necessidade de mais estudos de campo visando o monitoramento desses fluxos laterais nas mais variadas condições ambientais. A instrumentação com tensiômetros e piezômetros deve ser planejada com muito cuidado para que este processo possa ser evidenciado e, em última análise, quantificado e modelado.

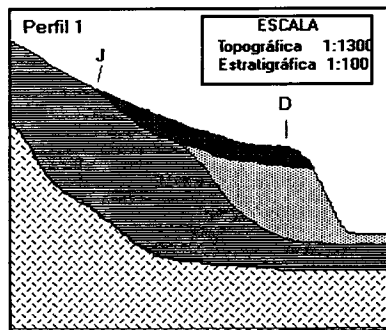


Figura 4 - Estrutura subsuperficial das camadas colúvias na Estação D.

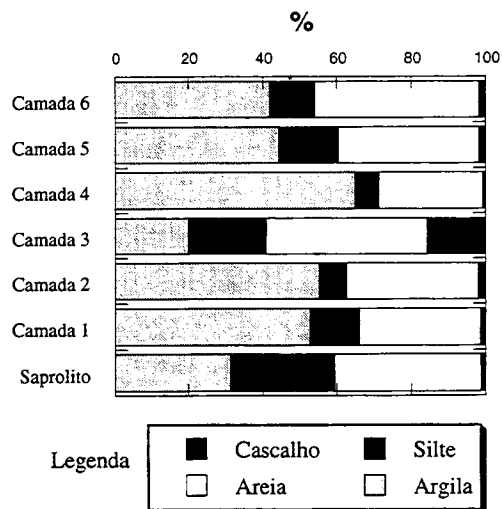
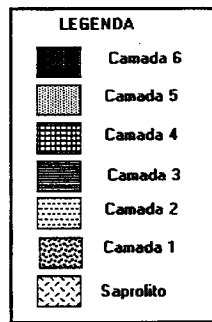


Figura 5 - Resultado da análise granulométrica.

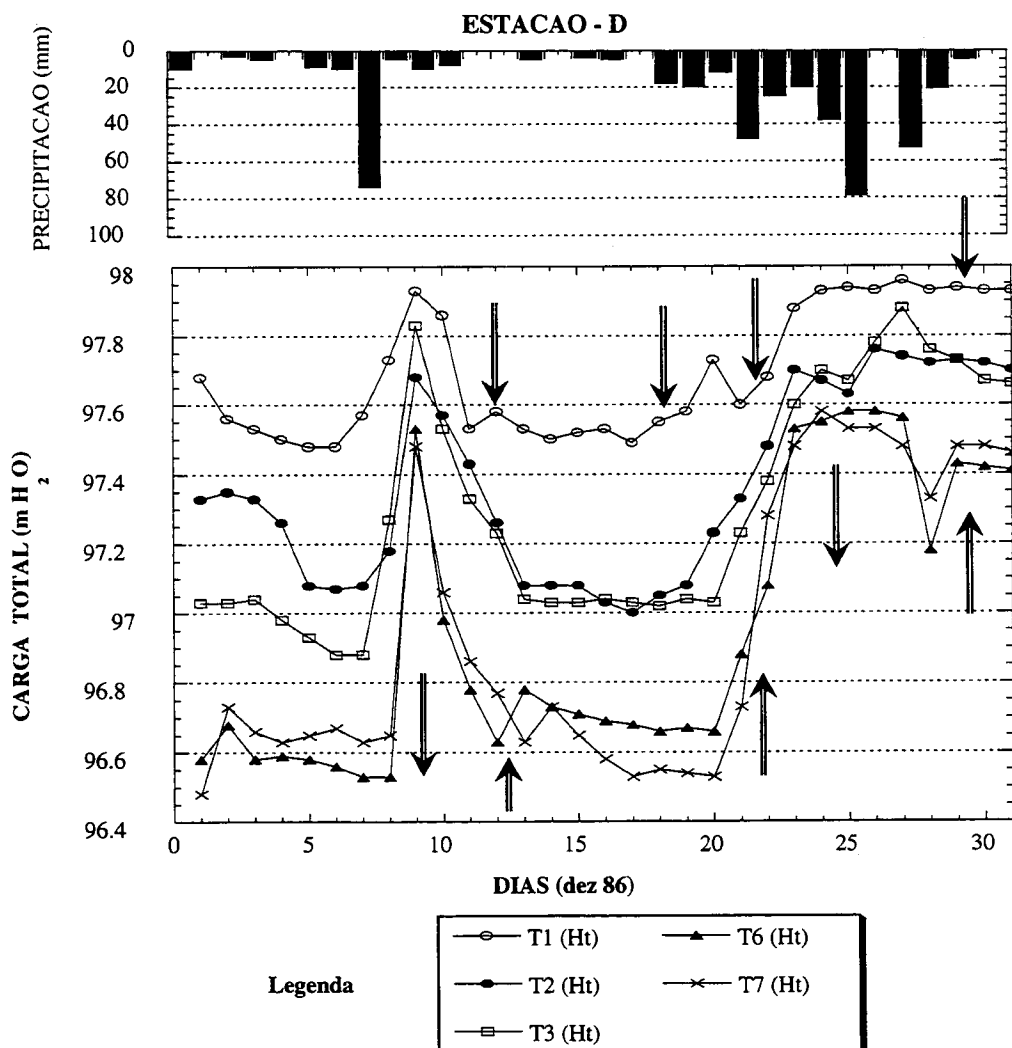


Figura 6 - Gráfico da variação temporal da carga total na Estação D.

## Referências Bibliográficas

- ANDERSON, M.G. & BURT, T.P. The Role of Topography in Controlling Troughflow Generation. *Earth Surface Process and Landforms*, 3, 1978. p. 331-344.
- AVELAR, A.S. & COELHO NETTO, A.L. Fluxos D'água Subsuperficiais Associados a Origem das Formas Côncavas do Relevo. *Anais da I Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encosta-COBRAE*, Rio de Janeiro, 1992.
- COELHO NETTO, A.L.; FERNANDES, N.F.; DEUS, C.E. Gulling in the Southeastern Brazilian Plateau. *International Association of Hydrological Scientists Publication*, 174, São Paulo, 1988. p. 35-42.
- COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: Guerra, A.J.T. & Cunha, S.B. (Eds). *Geomorfologia Uma Atualização de Bases e Conceitos*. Ed. Bertrand Brasil 2ª edição, Rio de Janeiro, 1995. p. 93-148.
- DIETRICH, W. E.; WILSON, C.; RENEAU, S. Hollows, Colluvium, and Landslides in Soil-Mantled Landscapes. In: Abrahams, A.D.(Ed.). *Hillslope Process, 16th Annual Binghamton Symposium in Geomorphology*, Allen and Unwin, 1986. p.361-386.
- FERNANDES, N.F.; COELHO NETTO, A.L.; DEUS, C.E. Monitoramento dos Fluxos D'água no Solo: Instrumentação Alternativa. *III Simpósio de Geografia Física e Aplicada*, 1. Nova Friburgo, Rio de Janeiro, 1989. p. 71-97.
- FERNANDES, N.F. Hidrologia Subsuperficial e Propriedades Físico-Mecânicas dos Complexos de Rampa - Bananal (SP). *Tese de Mestrado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990. p. 151.
- FERNANDES, N.F.; COELHO NETTO, A.L., LACERDA, W.L. Subsurface Hydrology of Layered Colluvium Mantles in Unchannelled Valleys - South Eastern Brasil. *Earth Surface Process and Landforms*, 19, 1994. p. 609-623.
- FERNANDES, N.F. & AMARAL, C.P. Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológica. In: Guerra, A.J.T. & Cunha, S.B. (Eds). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1996. p. 123-194.
- GUERRA, A.J.T. Processos Erosivos nas Encostas. In Guerra, A.J.T. & Cunha, S.B. (Eds). *Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos*. Ed Bertrand do Brasil 2ª edição, Rio de Janeiro, 1995. p. 149-209.
- MEIS, M.R.M.; MOURA, J. R. S.; SILVA, T.J.O. Os Complexos de Rampa e a Evolução das Encostas no Planalto Sudeste do Brasil. *An. Acad. Bras. Ciênc*, 3, 1981. p. 53.
- MICHIELS, P.; HARTMANN, R.; De STROOPER, E. Subsurface Water Flow on a Slope in the Loamy Regium of Belgium. *Earth Surface Process and Landforms*, 14, 1989. p.533-543.
- O'LOUGHLIN, E.M. Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis. *Water Resources Research*, 22, 1986. p. 794-804.