



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1678-0892

Janeiro, 2004

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 42

Monitoramento Hidrológico em Voçoroca Submetida a Práticas Mecânicas e Vegetativas: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/Antônio Carlos Jobim

Hugo Portocarrero
Diogo Carvalho Angelo
Gustavo Freitas Carvalho
Aluisio Granato de Andrade
Nelson Ferreira Fernandes

Rio de Janeiro, RJ
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2274.4999

Fax: (21) 2274.5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica: *Claudia Regina Delaia*

Revisão de Português: *André Luiz da Silva Lopes*

Edição eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

1ª edição

1ª impressão (2004)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Embrapa Solos.

Monitoramento hidrológico em voçoroca submetida a práticas mecânicas e vegetativas: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro: Galeão: Antônio Carlos Jobim / Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Hugo Portocarrero et al. -- Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

47 p.: il. color. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678 - 0892; 42).

1. Voçoroca. 2. Hidrologia. 3. Intercepção. 4. Propriedades Físico-Hídricas. 5. RAD. I. Portocarrero, Hugo. II. Angelo, Diogo Carvalho. II. Carvalho, Gustavo Freitas. IV. Andrade, Aluisio Granato de. V. Fernandes, Nelson Ferreira. VI. Título. VII. Série.

CDD (21. ed.) 551.48

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
1. Introdução	9
2. Área de estudo	10
2.1. Clima	10
2.2. Geologia e Cobertura Pedológica	12
3. Identificação do Problema	12
4. Ações Mitigadoras	13
5. Metodologia	15
6. Resultados e Discussão	20
6.1. Granulometria	20
6.2. Condutividade Hidráulica Saturada (Ksat)	20
6.3. Densidade do solo e das partículas	23
6.4. Macro-micro e porosidade total	23
6.5. Tensiometria	24
6.5.1. <i>Avaliação das etapas de monitoramento</i>	25
6.5.2. <i>Equipotenciais de carga de pressão - expansão e contração da zona de saturação</i>	30
6.6. Intercepção das chuvas pelas copas arbóreas e serrapilheira	37
6.6.1. <i>Magnitude das chuvas e intercepção pelas copas arbóreas</i> ..	37
6.6.2. <i>Retenção hídrica potencial e capacidade de intercepção de serrapilheira</i>	42
7. Considerações Finais	43
8. Agradecimentos	45
9. Referências Bibliográficas	45

Monitoramento Hidrológico em Voçoroca Submetida a Práticas Mecânicas e Vegetativas: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/Antônio Carlos Jobim

Hugo Portocarrero¹

Diogo Carvalho Angelo¹

Gustavo Freitas Carvalho²

Aluísio Granato de Andrade³

Nelson Ferreira Fernandes¹

Resumo

O desenvolvimento desta dissertação está vinculado ao projeto de RAD (recuperação de áreas degradadas) do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, sendo seu objeto o processo de recuperação da voçoroca do Morro do Radar. Através da realização de uma investigação do comportamento hidrológico desta voçoroca após a implantação do projeto, buscou-se fornecer informações que possam constituir um subsídio à avaliação dos efeitos das práticas adotadas.

A metodologia utilizada compreendeu seis etapas: avaliação das variações da topografia local; monitoramento da precipitação; monitoramento da interceptação das chuvas promovida pelas copas arbóreas e pela serrapilheira; avaliação das propriedades físico-hídricas dos solos em diferentes profundidades; avaliação dos potenciais matriciais e das cargas totais nos solos nas mesmas profundidades, através de gráficos e construção de mapas de equipotenciais; avaliação da relação entre os condicionantes locais e o desempenho das práticas de RAD.

Os valores de interceptação pelas copas arbóreas e pela serrapilheira revelaram uma proteção eficaz do solo contra o impacto direto das águas pluviais. Os resultados de condutividade hidráulica mostraram uma boa relação com o comportamento das

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Depto. de Geografia. E-mail: hugoportocarrero@hotmail.com

² Universidade Santa Úrsula, Depto de Ciências Biológicas. Rio de Janeiro, RJ.

³ Pesquisador, Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000 Rio de Janeiro.

E-mail: aluísio@cnps.embrapa.br

cargas de pressão e totais. Com relação à expansão e contração da zona de saturação, observou-se que a umidade antecedente está condicionando de forma decisiva o processo de expansão.

Foi encontrada também ao longo de todas as discussões grande influência da topografia sobre os processos de recuperação, o que indica a importância do planejamento adequado da reconformação do talude. As áreas com menores declives apresentaram uma recuperação proporcionalmente mais rápida, o que se relacionou tanto ao estabelecimento da cobertura vegetal e à incorporação de serrapilheira, quanto à própria dinâmica hidro-erosiva inerente.

Palavras-chave: voçoroca, hidrologia, interceptação, propriedades físico-hídricas, RAD.

Hydrological monitoring in a gully submitted to mechanical and vegetative practices: Morro do Radar, Rio de Janeiro International Airport/ Galeão Antônio Carlos Jobim

Abstract

The development of this dissertation is related to the International Airport's land reclamation project, being its subject an investigation of the reclamation process of Morro do Radar's gully. Through an investigation of the gully's hydrological behavior after the reclamation works, the aim was to present information which can contribute to the evaluation of the adopted practices.

The adopted methods included six steps: evaluation of local topography changes, precipitation monitoring; tree canopy and litterfall interception; evaluation of physical and hydrological soil properties, at different depths; hydraulic potentials and pore-pressure monitoring at the same depths, through graphics and equipotentials analysis; evaluation of the relation between local parameters and differential responses to the land reclamation practices.

The tree canopy and litterfall interception values revealed an effective soil protection against the raindrop impacts. Hydraulic conductivity results showed good correlations with total water potentials and pore-pressure behavior. With respect to expansion and contraction of the saturated wedge, it was observed that initial water content is decisively conditioning the expansion process.

It was also encountered along all the discussions a strong relation between the new topography and reclamation performance, which pointed the importance of an adequate slope reshaping. It was observed that low slope areas presented faster recovery; this was related not only to vegetation cover development and litterfall incorporation, but also to the inherent hydro-erosive dynamic.

Key-words: gully, hidrology, interception, physical and hydrological soil properties, land reclamation.

1. Introdução

A degradação das terras e a erosão dos solos constituem um dos maiores problemas a serem enfrentados pela humanidade, sendo objeto de especial atenção por parte do aparelho estatal e da comunidade científica.

O aparecimento de áreas degradadas é crescente no Brasil, já tendo sido estimado em mais de 100 milhões de hectares (Barroso *et al.*, 2001). De fato este fenômeno é antigo, sendo o ciclo do Pau-Brasil a sua primeira grande contribuição. Um grave problema a ser enfrentado neste sentido tem sido a questão da expansão e manutenção da rede de transportes, principalmente as malhas viária, ferroviária e aeroportuária, atividades estas que vem acarretando na formação de extensas áreas degradadas, principalmente através da intensificação dos processos erosivos.

Através de Contrato de Prestação de Serviços firmado com a Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária - INFRAERO, a Embrapa Solos vem desenvolvendo um projeto de RAD (recuperação de áreas degradadas) em dezenove aeroportos em diferentes estados do Brasil. Dentre estas áreas cita-se o Morro do Radar, que abriga o sistema de radares do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, atual campo experimental da Embrapa Solos para o aperfeiçoamento e produção destas tecnologias.

Nesta área constatava-se uma grande voçoroca originada do rompimento das canaletas de drenagem das águas pluviais superficiais do talude. As estratégias utilizadas neste projeto envolveram a utilização de práticas mecânicas e vegetativas de baixo custo com aproveitamento de resíduos do próprio sítio aeroportuário.

Existem diversos métodos para o controle de feições erosivas, assim como técnicas de revegetação em áreas degradadas. A compreensão dos mecanismos relacionados e das variáveis envolvidas nestes processos está estreitamente associada ao conhecimento hidrológico. De fato, muito já tem sido pesquisado sobre o papel desempenhado pelas práticas de RAD no ordenamento dos fluxos d'água no solo e na contenção de processos erosivos (Santos *et al.*, 1981; Gray & Leiser, 1982; Darmer, 1992; Kanji, 1997; Bressani, 1997; Embrapa, 2002).

Em estudos hidrológicos ligados à erosão dos solos a compreensão dos fluxos subsuperficiais e suas relações com os processos erosivos têm sido apontadas

como de fundamental importância (Dunne, 1990). A hidrologia e a erosão em taludes e encostas vêm sendo bastante estudadas e muito já foi produzido e discutido a respeito dentro do âmbito da geomorfologia. Fernandes *et al.* (1994) estudaram a influência da paleotopografia sob os fluxos subsuperficiais; Anderson & Burt (1978) destacaram a importância do conhecimento do fenômeno da expansão e contração da zona saturada; Montgomery *et al.* (1997) relacionaram o desencadeamento de escorregamentos translacionais rasos ao fluxo subsuperficial e ao desenvolvimento de camadas de impedimento (*impeding layers*).

Sabe-se que o restabelecimento da vegetação possui como aspecto positivo o aumento da interceptação das chuvas (pelas copas arbóreas e pela serrapilheira) diminuindo a erosividade da precipitação terminal (Greenway, 1987).

O objetivo deste trabalho foi investigar a hidrologia da área da voçoroca do Morro do Radar após o término do projeto de RAD, tentando-se estabelecer uma relação entre os condicionantes locais e o resultado das práticas de RAD. Para isto foram avaliadas alterações na geometria do talude, estruturas de contenção utilizadas, propriedades físico-hídricas do solo, vegetação e a dinâmica hidrológica subsuperficial. Partiu-se da hipótese de que os diversos tipos de intervenção ocorridos na área exerceram, no conjunto, efeitos desejados, visto que a vegetação apresentou bom desenvolvimento e o processo erosivo pôde ser contido na área. O presente estudo buscou subsidiar a avaliação da eficiência das práticas de RAD implantadas e ainda contribuir para a formação de uma base de dados visando alimentar modelos que poderão fornecer informações úteis a respeito do comportamento de taludes submetidos a projetos de RAD.

2. Área de estudo

A área está situada na Ilha do Governador (Rio de Janeiro), próximo a antiga Estrada Grande, na colina em que se encontra instalado o sistema de radares do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/Antonio Carlos Jobim, na vertente voltada para as pistas de pouso e decolagem de aeronaves (Figura 1).

2.1. Clima

O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw (de acordo com Nimer, 1979) com uma estação seca definida que se inicia, em geral, em maio a junho e estende-se até o final de novembro, época em que começam os períodos chuvosos, ocorrendo fortes precipitações, que vão diminuindo até o mês de maio.

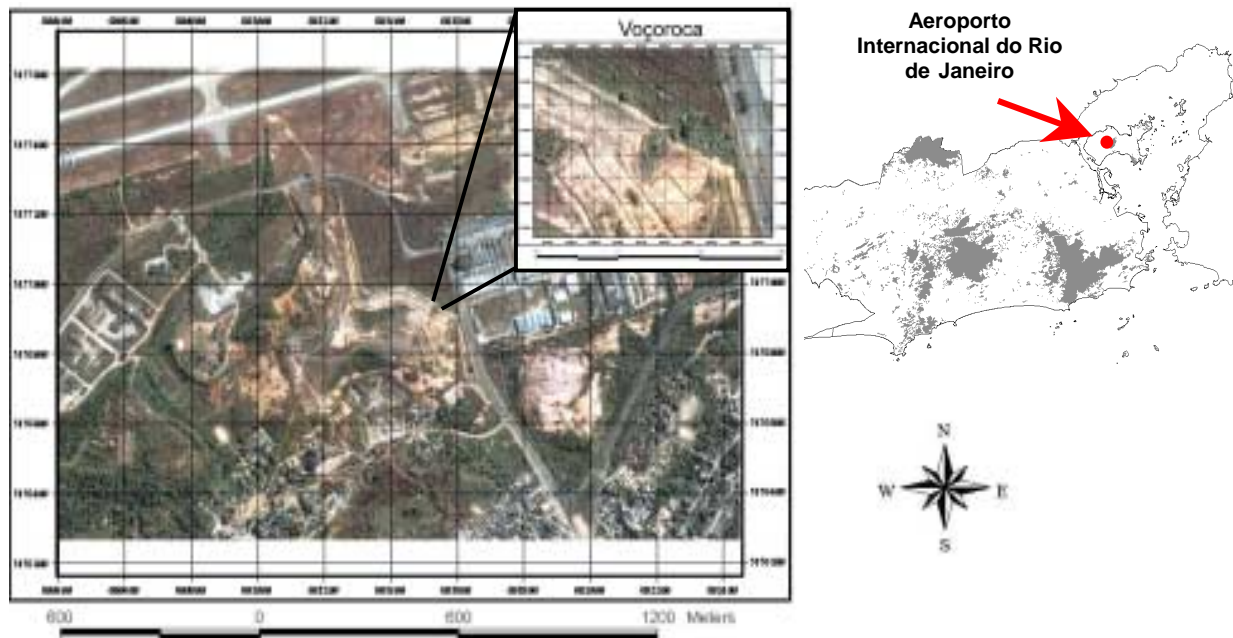


Figura 1. Localização da área de estudo. Cidade do Rio de Janeiro.

Em detalhe: imagem do satélite IKONOS (2002) da área do Morro do Radar, na Ilha do Governador.

2.2. Geologia e Cobertura Pedológica

A geologia predominante na área é composta de granitos e gnaisses do Pré-Cambriano, subjacente à Formação Macacú.

A cobertura pedológica original da área é composta de Latossolo Amarelo ou solo residual maduro, essencialmente caulinitico. Consta em anexo (anexo I) uma descrição realizada a quinze metros oeste da voçoroca de um perfil de LATOSSOLO AMARELO Distrófico argissólico, textura argilosa, A decapitado, caulinitico, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado, descrito por Lumbreiras, Lemos, Andrade e Calderano (Embrapa, 2001). Um maior detalhamento dos solos na área da voçoroca consta ao longo dos resultados, ao longo das avaliações das propriedades físico-hídricas. Deve-se ressaltar que os horizontes superficiais nesta área foram decapitados, tendo sobrado somente o saprolito, que constitui a camada que está sendo avaliada.

3. Identificação do Problema

O talude foi executado durante a construção do aeroporto (no final década de 70), tendo sido o material extraído utilizado para o aterro da estrada, da via de acesso e de obras civis das instalações do radar (Embrapa, 2001). Foi construído um sistema de drenagem de águas pluviais, com escadas dissipadoras, sendo executado também trabalho de revegetação com o uso da técnica de hidrosemeadura (*op. cit.*). Pouco tempo depois da execução do projeto a área começou a apresentar sinais de erosão. Deve-se levar em conta a elevada erodibilidade do solo (saprolito de gnaíse, constituindo material siltoso, de baixa fertilidade e baixo percentual de matéria orgânica).

Um rompimento da canaleta de crista do talude devido à intensa erosão em grande parte do topo do talude (solo residual ou saprolito (horizonte C)) provavelmente causou a instabilização de parte do talude formando uma voçoroca de aproximadamente 800m² (Embrapa, 2001). Posteriormente esta feição atingiu maiores profundidades, intensificando-se a erosão pela modificação da dinâmica dos fluxos d'água no talude.

4. Ações Mitigadoras

Para estabilizar o processo erosivo foram implantadas práticas mecânicas (terraceamento, construção de escada dissipadora e paliçadas) e vegetativas (plântio de leguminosas inoculadas, formação de cordões vegetados com capim *Vetiver* e guandu-anão e formação de cobertura morta com aparas de grama). Foi executada a reconformação do talude da voçoroca com retroescavadeira buscando uma forma de maior estabilidade geotécnica e também permitir a implantação de cobertura vegetal (Embrapa, 2001). Na área à montante foram construídos terraços em desnível para o redirecionamento da enxurrada.

O resultado da intervenção foi a formação de uma pequena cabeceira de drenagem em anfiteatro, com dois pequenos taludes de corte e de aterro, e um baixio contíguo, constituindo a zona de deposição. Posteriormente foi executada revegetação tanto nos patameres quanto nas paredes, sendo plantadas as legumionosas arbóreas inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares. As espécies selecionadas foram: *Mimosa bimucronata* (maricá), *Mimosa caesalpiniaefolia* (sabiá) e *Mimosa artemisiana*. A figura 2 sintetiza a situação do talude, com a presença da voçoroca anteriormente ao processo de recuperação, assim como as etapas do projeto de RAD.

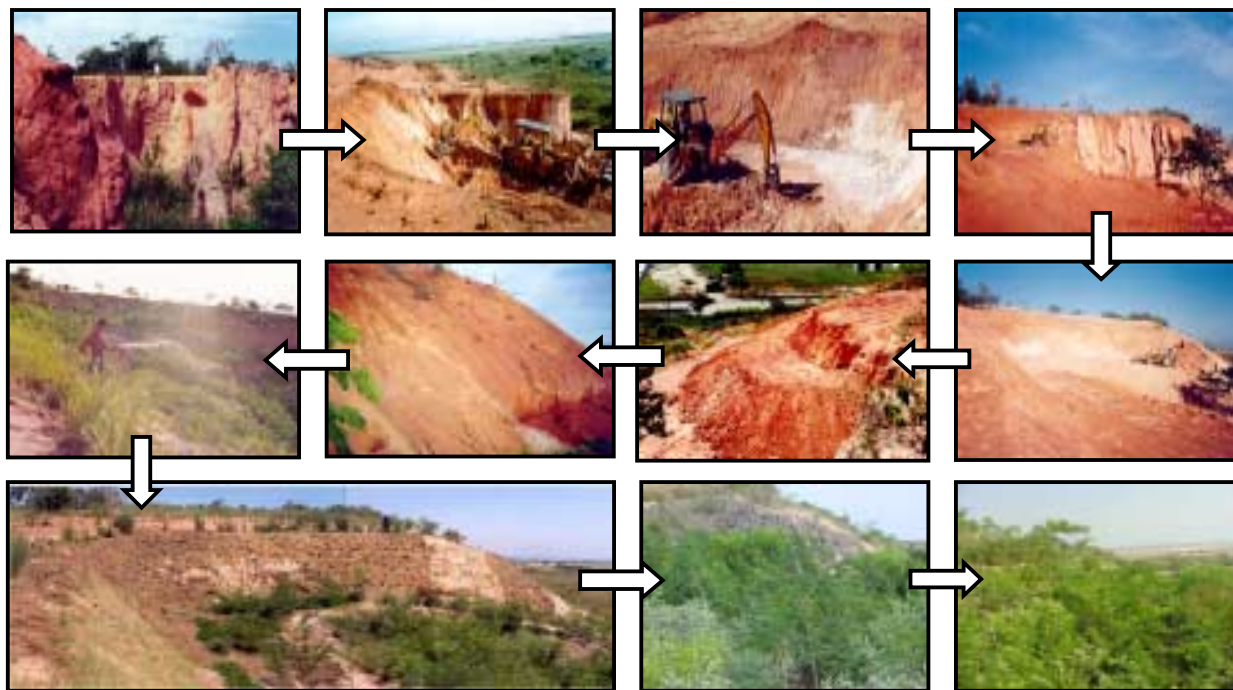


Figura 2. Situação do talude, com a presença da voçoroca anteriormente ao processo de recuperação, e, em seqüência, as etapas do projeto de RAD.

5. Metodologia

A metodologia utilizada para o monitoramento e acompanhamento das ações mitigadoras adotadas na área da voçoroca constou da obtenção das propriedades do solo, da interceptação das chuvas pelas copas arbóreas e pela serrapilheira, e dos potenciais matriciais da água no solo em diferentes pontos e profundidades na área da voçoroca.

Para isto a área foi dividida em estações de monitoramento, sendo selecionados doze pontos ou estações de monitoramento. Visando sumarizar as características geomorfológicas, da vegetação, assim como as práticas de RAD implantadas especificamente nas proximidades de cada estação, foi gerada a Tabela 1. Foram coletadas amostras em três profundidades (20cm, 40cm e 80cm) para a obtenção das propriedades físico-hídricas dos solos, sendo também instalados tensiômetros nestas mesmas profundidades e pontos. Além disso, foram também instalados pluviômetros de solo para avaliar a interceptação das chuvas pelas copas arbóreas nas diferentes estações (figura 3).

As propriedades físico-hídricas avaliadas neste trabalho foram densidade, granulometria e condutividade hidráulica. Para o monitoramento das poro-pressões foram utilizados os mesmos pontos e profundidades de amostragem de solo. Para a determinação das propriedades físico-hídricas dos solos adotou-se a método Embrapa (1997).

Para a avaliação da precipitação foi utilizado o pluviógrafo (registro contínuo), instalado no campo experimental em área próxima à voçoroca. Este registro foi utilizado para uma análise em escala diária, sendo obtidos os volumes totais (mm/24 horas).

O monitoramento tensiométrico desenvolvido neste trabalho refere-se aos dias 9 de janeiro a 14 de fevereiro de 2004. Este período foi dividido em duas fases de recarga e drenagem. A primeira fase se refere à seqüência de chuvas dos dias 10, 13 e 16 de janeiro de 2004 (magnitudes 44,9mm; 43,6mm; 37,3mm), seguido do período de drenagem que vai do dia 17 de janeiro ao dia 5 de fevereiro. A segunda fase corresponde à seqüência de chuvas dos dias 5, 6 e sete de fevereiro (magnitudes de 0,9mm; 65,5mm e 7,1mm, respectivamente). A separação em fases foi feita de modo a ser detectada a influência da magnitude das precipitações,

bem como as condições de umidade antecedentes encontradas após diferentes seqüências de eventos de chuvas.

A primeira fase constitui o período de maior acúmulo de chuvas em termos de magnitude no período avaliado. O objetivo de se estudar esta fase foi avaliar a hidrologia local após uma seqüência de chuvas de magnitude alta seguida de um longo período de estiagem, constituindo o período de maior umidade antecedente.

A segunda fase corresponde ao período onde se insere a precipitação de maior magnitude em todo o período avaliado (65,5mm). A mesma é seguida e precedida de precipitações de magnitude muito baixa, sendo o objetivo do foco nesta fase a observação do comportamento hidrológico das estações tensiométricas após uma grande recarga proveniente de um único dia de chuvas.

Com o objetivo de detectar variações na zona de saturação, caracterizando, se possível, o fenômeno da expansão e contração da zona de saturação, foram geradas equipotenciais de carga de pressão em planta para as diferentes profundidades avaliadas, durante o período de 9 de janeiro a 14 de fevereiro de 2004. Durante este período se incluem a primeira e a segunda fases de recarga do período de monitoramento (referente as seqüências de chuvas dos dias 10, 13 e 16 de janeiro de 2004 (magnitudes 44,9mm; 43,6mm; 37,3mm) e dos dias 5,6 e 7 de fevereiro (magnitudes de 0,9mm; 65,5mm e 7,1mm, respectivamente). Para tal análise foram também geradas equipotenciais referentes às condições anteriores de umidade e também de drenagem e estiagem máximas.

Para o monitoramento da interceptação das chuvas foi utilizado um período mais abrangente (de 25/08/2003 a 3/03/2004), para que os resultados pudessem ser mais bem interpretados. Durante este período foram selecionados 25 eventos de chuva (dentre 55 eventos registrados), que foram divididos em três classes de magnitude. Posteriormente foram gerados gráficos de dispersão, com a distribuição do percentual de interceptação de água pelas copas em função da magnitude das chuvas.

Para a avaliação da interceptação promovida pela vegetação foram utilizados dois tipos de instrumentos: na precipitação total foi utilizado um pluviógrafo de registro contínuo (instalado à um metro e meio do chão em área desprovida de vegetação, próxima a voçoroca); e para a interceptação das copas foram utilizados 12 pluviôme-

tros de solo obtendo-se assim os valores de interceptação das copas em diferentes pontos ao longo da área de estudo, objetivando avaliar a variabilidade espacial deste processo.

Para a avaliação da retenção hídrica da serrapilheira foram coletadas 36 amostras de serrapilheira, três amostras por ponto, acumulada na superfície do solo (com o auxílio de *quadrats* de 0.25 m²). As amostras foram levadas ao laboratório, sendo saturadas durante 90 minutos (Vallejo & Vallejo, 1981), sendo depois pesadas para o cálculo percentual da capacidade de retenção hídrica máxima em cada um dos pontos amostrais. Para o cálculo da interceptação pela serrapilheira foram utilizados os resultados da capacidade de retenção hídrica da mesma. Onde os valores do peso em gramas de água foram convertidos para mililitros através da fórmula (Miranda, 1992):

$$T(mm) = \frac{t(ml)}{a(dm^2) \cdot 10}$$

Tabela 1. Posição na encosta, tipo de material, vegetação e práticas de RAD nas estações tensiométricas.

Estação	Posição na encosta	Tipo de material	Vegetação	Práticas de RAD
Bt1	Alta	Corte	<i>Vetiveria zizanioides nash</i> (Capim Vetiver); feijão guandu anão, plantados em volta da voçoroca, na forma de dois cordões com bom desenvolvimento vegetal. Vegetação em torno de 3 metros.	A vegetação está em cordão somente na área adjacente a voçoroca (Figura 4.13). Na exata localização da bateria o local está desprovido de vegetação. Existe também um cordão vegetado em área logo acima.
Bt 2	Alta	Corte	Esparsamente povoado. Coquetel de leguminosas arbóreas: <i>Mimosa bimucronata</i> ; <i>Mimosa caesalpinieaeifolia</i> . Indivíduos em torno de 3 a 7 metros.	Aplicação de apara de grama (Figura 4.14) (batatais).
Bt 3	Média	Aterro	Muitas espécies invasoras trepadeiras no chão. Vegetação com bom desenvolvimento. Predomínio no ambiente de <i>Mimosa caesalpinieaeifolia</i> . Indivíduos em torno de 5 a 10 metros de altura.	Aplicação de para de grama. Serrapilheira bastante desenvolvida. Base do primeiro talude de corte.
Bt 4	Média	Aterro	<i>Mimosa bimucronata</i> bem desenvolvido protegendo a bateria. A volta constata-se a presença de <i>Acácia holocericea</i> ; <i>Acácia auriculiformis</i> e <i>Albícia guachapelle</i> Indivíduos em torno de 5 a 10 metros de altura.	Beira do talude de aterro construído. Logo abaixo se constata uma barreira de pneus junto à estação Bt5 (Figura 4.15). Acima desta área, próximo à estação Bt11, há uma barreira de <i>pallet</i> quebrada, originando um sulco que vai até esta estação (Figura 4.16).
Bt 5	Média – baixa	Corte	Vegetação bem desenvolvida: <i>Acácia auriculiformis</i> e <i>Mimosa caesalpinieaeifolia</i> . Indivíduos em torno de 10 a 15 metros de altura.	Barreira com cinco pneus logo abaixo, o que pode induzir a concentração da umidade neste local. Nota-se a presença de muitos sulcos ao longo deste talude de corte, drenando em direção a estação Bt6 (Figura 4.17).
Bt 6	Baixa	Aterro	Árvore remanescente do local anterior a revegetação e recuperação da área. Muitos outros indivíduos de com bom desenvolvimento: <i>Acácias auriculiformis</i> ; <i>Mimosas caesalpinieaeifolia</i> . Indivíduos em torno de 10 a 20 metros de altura.	A árvore remanescente foi soterrada (algumas fotos desta árvore na época da realização das práticas mecânicas podem ser encontradas na metodologia), restando mais ou menos metade de sua antiga altura acima da superfície. Posicionada no fundo do vale, esta estação recebe fluxos e sedimentos provenientes de sulcos presentes ao longo de todo o talude de corte inferior.
Bt 7	Baixa	Aterro	Capim colônio. Vegetação esparsa. No interceptômetro está instalado na borda da vegetação da voçoroca, próximo a <i>Mimosa bimucronata</i> ; <i>Mimosa caesalpinieaeifolia</i> ; <i>Acácia auriculiformis</i> . Indivíduos em torno de 10 a 20 metros de altura.	Fora da voçoroca – escoadouro. Logo a frente da voçoroca, entre a estação Bt7 e a voçoroca, foi instalada uma barreira de pneus para impedir a formação dos fluxos para fora da área.
Bt 8	Alta	Corte	<i>Mimosa bimucronata</i> ; <i>Mimosa caesalpinieaeifolia</i> . Indivíduos em torno de 5 a 10 metros de altura.	Antigo experimento com <i>Arachis pintóia</i> . Aplicação de apara de grama – bom desenvolvimento vegetal. Posição mais baixa no talude de corte e relação à estação Bt9
Bt 9	Alta	Corte	<i>Mimosa bimucronata</i> ; <i>Mimosa caesalpinieaeifolia</i> . Indivíduos em torno de 5 a 10 metros de altura.	Antigo experimento com <i>Arachis pintóia</i> . Aplicação de apara de grama – bom desenvolvimento vegetal.
Bt 10	Média	Aterro	Vegetação bem desenvolvida. <i>Acácias auriculiformis</i> ; <i>Mimosas caesalpinieaeifolia</i> . Indivíduos em torno de 10 a 20 metros de altura.	Aplicação de apara de grama batatais. Beirada do segundo talude de corte, ainda no talude de aterro, próximo a área onde o processo erosivo ainda está ativo.
Bt 11	Alta	Corte	Cordão vegetado logo acima – capim colônio, feijão guandu anão. Presença de indivíduos de porte mediano em relação aos demais locais; <i>Mimosa bimucronata</i> . <i>Mimosas caesalpinieaeifolia</i> . Indivíduos em torno de 5 a 10 metros de altura.	Logo acima da área onde o processo erosivo ainda está ativo. Aplicação de esteira bagaço de cana para contenção da erosão superficial (uma foto desta prática se encontra na figura 4.9 (e), onde se observa a esteira no extremo direito da foto). Logo abaixo desta estação há uma barreira de <i>pallet</i> quebrada, originando um sulco que vai até a estação Bt4 (Figura 4.16).
Bt 12	Alta	Corte	Cordão vegetado logo acima – capim colônio, feijão guandu anão. Presença de indivíduos de menor porte em relação aos demais locais – <i>Acácias holocericea</i> ; <i>Mimosa caesalpinieaeifolia</i> . Indivíduos em torno de 5 a 10 metros de altura.	Logo acima da área onde o processo erosivo ainda está ativo. Aplicação de esteira bagaço de cana para contenção da erosão superficial. Foi instalada também logo abaixo desta estação uma barreira de <i>pallets</i> de caixas de transporte aeronáutico, com o objetivo de conter a água das enxurradas que poderia vir de montante. Logo abaixo da estação constata-se erosão ativa, remanescente de uma alcova de regressão que havia sido entulhada com o material do talude de aterro (Figura 4.18).

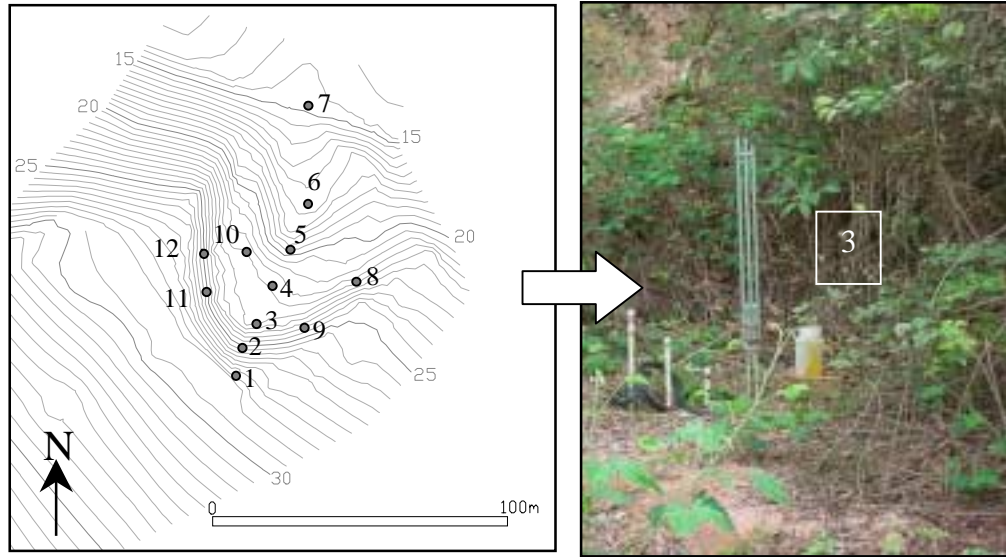


Figura 3. Acima: localização das baterias de tensiômetros e pontos de coleta de amostras ao longo da voçoroca. Em detalhe, Estação 3: pluviômetro de solo e tensiômetros.

6. Resultados e Discussão

Os resultados das propriedades físico-hídricas avaliadas neste trabalho encontram-se sintetizados na figuras 4 e 5.

6.1. Granulometria

O que pôde ser observado avaliando-se todas as baterias é que o material é predominantemente siltoso (classe textural franco), sendo esta granulometria relacionada à natureza do material de origem (gnaisse).

6.2. Condutividade Hidráulica Saturada (Ksat)

Nos ensaios de condutividade hidráulica foram obtidos valores bastante heterogêneos (de 3×10^{-5} a 2.78×10^{-7} m/s), sendo os maiores valores encontrados na profundidade 40 cm de (principalmente na estação 7, onde o valor é de 3×10^{-5} m/s), o que induz à concentração de fluxos subsuperficiais.

A grande variabilidade de resultados denota um ambiente altamente anisotrópico com relação à velocidade dos fluxos. A condutividade hidráulica seria uma propriedade de grande valia na avaliação do direcionamento dos fluxos subsuperficiais, já que constitui uma propriedade que governa não só a velocidade dos fluxos, mas também o direcionamento dos mesmos, alterando o percurso das linhas de fluxo e equipotenciais. O problema principal na determinação deste parâmetro é não só a sua heterogeneidade, mas também a sua anisotropia, o que faz com que este parâmetro, obtido nesta avaliação, seja aplicável somente quando se fala em fluxos verticais, já que as amostras foram coletadas com esta orientação. Buscou-se utilizar estes valores para uma avaliação geral comparativa da condutividade hidráulica do meio nas diferentes estações, de modo a se tentar observar uma relação entre este parâmetro e a orientação dos fluxos no solo. Uma metodologia que seria mais aplicável a este tipo de avaliação seria o uso de permeômetros em campo (como por exemplo o permeômetro de Guelph) que mensuram a condutividade do meio após a formação de um bulbo saturado no solo. Este procedimento tem sido utilizado em função do amolgamento das amostras utilizadas para avaliações em laboratório, que pode produzir distorções marcantes nos resultados.

Os dados de condutividade hidráulica se mostraram altos na estação 10 aos 40 cm (10^{-5} m/s) e na estação 4 aos 20 cm de profundidade (2×10^{-5} m/s).

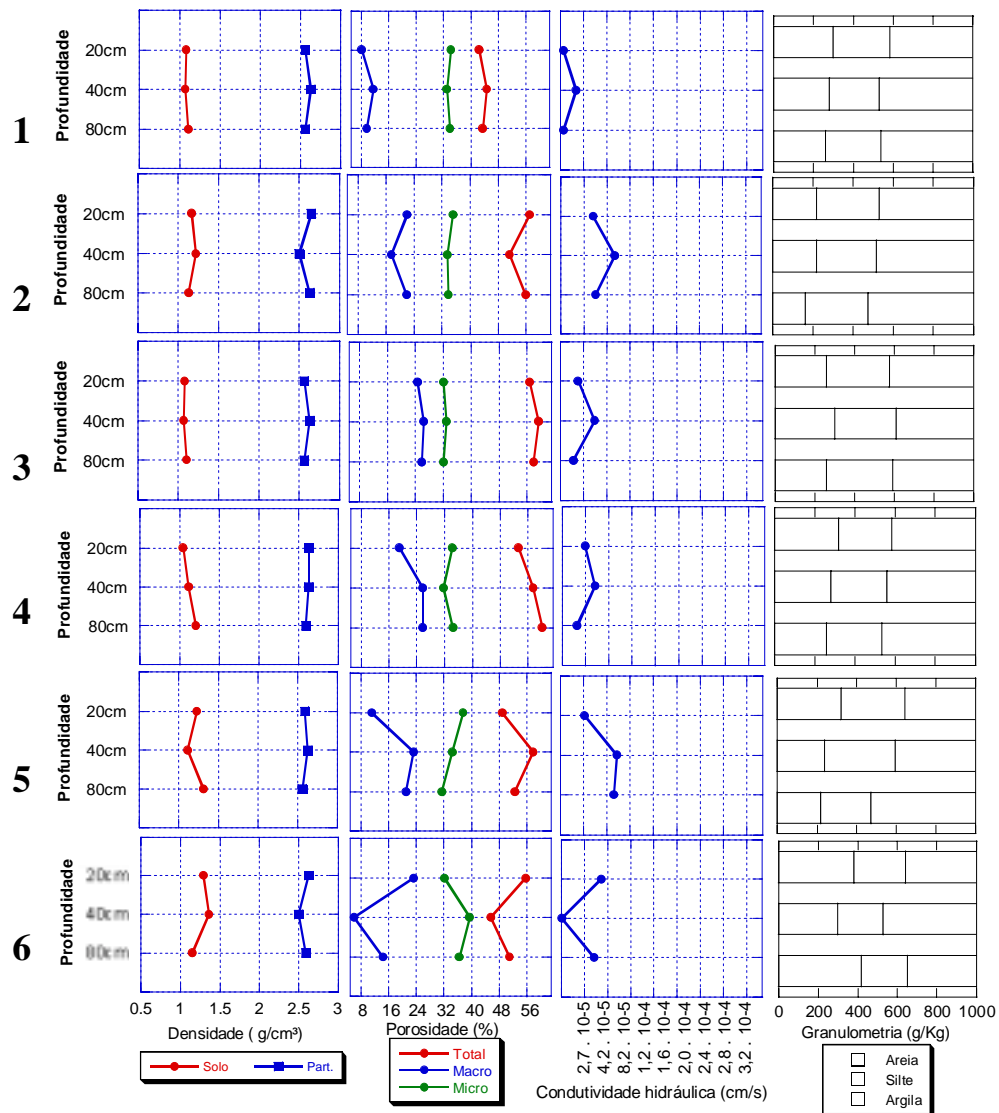


Figura 4. Propriedades físico-hídricas dos solos nas estações 1 a 6.

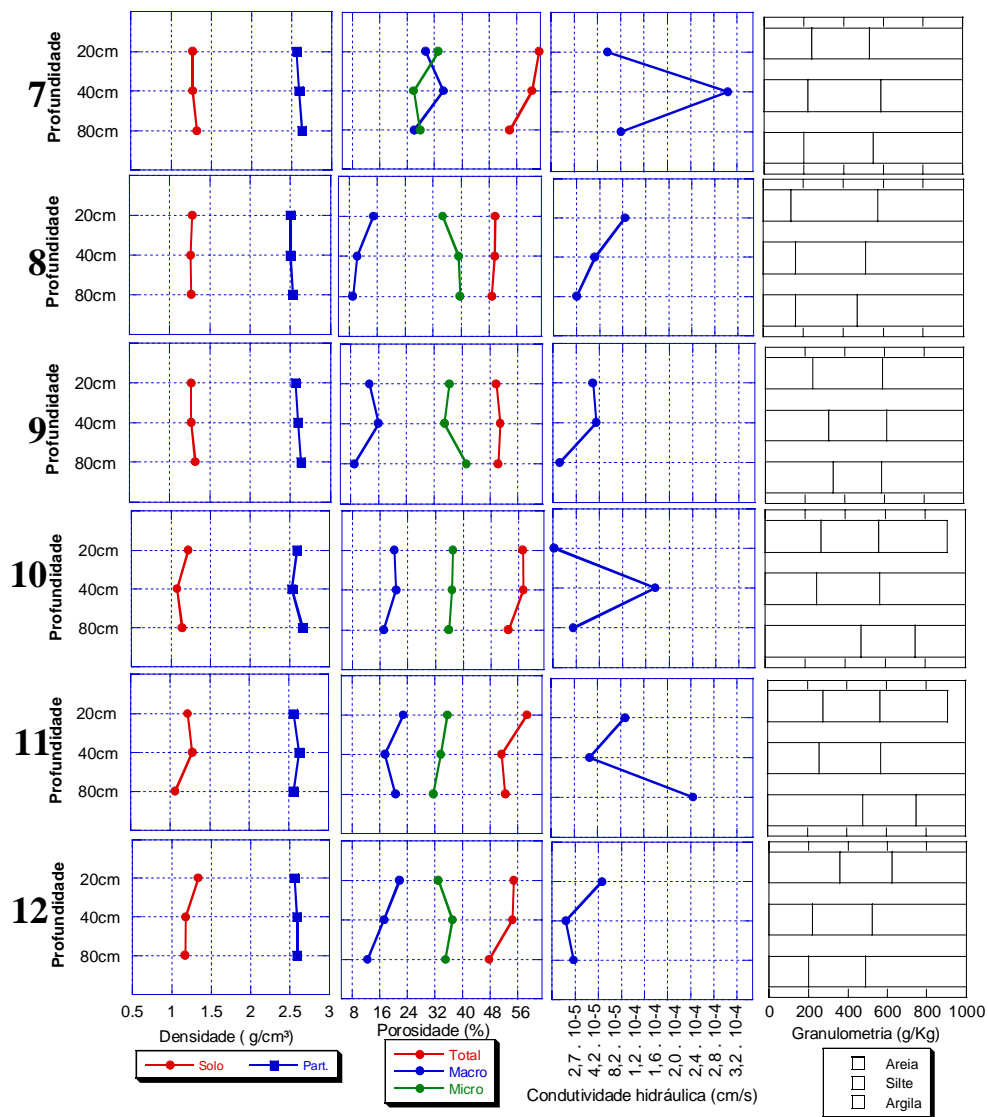


Figura 5. Propriedades físico-hídricas dos solos nas estações 7 a 12.

Os elevados valores encontrados em todas as profundidades na estação 7 apontam para a possibilidade de alívio de forças de exfiltração na base do novo anfiteatro, o que poderá ocasionar em instabilização do talude. Os elevados valores obtidos para a estação 7 20 cm reforçam ainda a hipótese de que uma das possíveis rotas finais de fluxos de exfiltração ao longo do anfiteatro passa por esta bateria. Nos pontos de menor condutividade, a tendência será a orientação dos fluxos para outras zonas, geralmente acarretando na formação de zonas de acúmulo (podendo gerar níveis d'água suspensos) que, em alguns locais, juntamente com outros fatores, como a topografia, poderão influenciar no desenvolvimento de faces de exfiltração no interior do anfiteatro.

Os maiores valores de condutividade em todas as baterias na profundidade de 40 cm revelam que nesta profundidade há uma concentração dos fluxos subsuperficiais, constituindo a profundidade onde ocorrem maior vazão e velocidade de percolação dos fluxos, fatores relacionados aos processos erosivos. Tais discontinuidades têm sido apontadas como responsáveis pela formação de planos de ruptura.

6.3. Densidade do solo e das partículas

Os resultados de densidade do solo e das partículas obtidos mostraram-se bastante homogêneos, com valores de densidade do solo medianos, variando de 0,97mg/cm³ (estação 7 80cm) a 1,51mg/cm³ (estação 1 20cm), e valores de densidade das partículas elevados, variando de 2,5mg/cm³ (estação 2 40cm e estação 6 40cm) a 2,67 (estação 1 20cm). A baixa densidade do solo encontrada na estação 7 de uma maneira geral pode estar relacionada não só aos elevados valores de condutividade hidráulica encontrados também nesta bateria, mas também devido à presença da vegetação de gramíneas.

Os valores de densidade das partículas encontrados são considerados dentro dos padrões e estão relacionados à mineralogia do material. O saprolito de gnaisse (solo residual), originalmente formado a vários metros abaixo da superfície, encontra-se agora exposto.

6.4. Macro-micro e porosidade total

Os maiores resultados de porosidade total (para as avaliações de porosidade, ver Figuras 4 e 5) foram obtidos nos pontos da estação Bt 7 (53,91% nos 20 cm; 60,46% nos 40 cm e 62,55% nos 80 cm, sendo este último o maior valor encontrado em toda a avaliação). Estes valores estão possivelmente relacionados a

uma natureza diferenciada do substrato presente em relação às demais baterias que estão sendo avaliadas. Esta diferenciação pode ocorrer desde o momento em que a estação Bt 7 já não se encontra mais no talude, e sim em sua base.

Os menores valores de porosidade total foram encontrados no Bt1 (43,45% nos 20 cm; 44,53% nos 40 cm; e 42,31% nos 80 cm, sendo este último o menor valor encontrado).

Os maiores valores de macroporosidade foram encontrados também no Bt 7, 80 cm. Já os menores valores foram encontrados no Bt 6 (14,49% nos 20 cm; 6,22% nos 40 cm; e 29,42% nos 80cm, sendo o valor obtido nos 40 cm o menor de todos os pontos), o que aponta para possibilidade do início de um processo de adensamento¹, já que o talude de aterro não foi compactado e o solo ainda está em processo de acomodação. Os resultados de densidade dos solos, no entanto, não corroboraram com esta hipótese, o que pode estar relacionado ao fato de serem utilizadas amostras diferentes nas avaliações. O que será observado ainda é uma boa correlação negativa entre a macroporosidade e a densidade dos solos, o que aponta para um erro no resultado somente na avaliação desta estação. A presença de sulcos ao longo do talude de aterro, e na junção do material proveniente dos taludes de corte e aterro está certamente relacionada a este processo.

Os maiores valores de microporosidade foram obtidos na estação Bt9 (41,26% nos 20 cm; 34,95% nos 40 cm; e 36,42% nos 80 cm), e os menores no Bt7. A estação Bt7 então, apesar de possuir elevados valores de porosidade total e macroporosidade, possui, proporcionalmente, baixos valores de microporosidade.

6.5. Tensiometria

Observando-se o comportamento geral das estações de tensiômetros para todo o período estudado podemos constatar inicialmente uma maior variabilidade dos potenciais matriciais nas estações 2, 8, 10, 11 e 12. Todas estas estações estão situadas no mesmo talude de corte, exceto a 10, porém esta última está situada

¹ Adensamento: redução natural do espaço poroso e conseqüente aumento da densidade de camadas ou horizontes do solo por dessecação, iluviação ou precipitação química (Curi, 1993). Constitui o fenômeno pelo qual os recalques ocorrem com a expulsão de água no interior dos vazios do solo (Souza Pinto, 2000). Denomina-se compactação quando resulta da ação antrópica.

próxima a uma feição erosiva (conforme consta na tabela 1). As estações 1, 3, 5 e 9 foram as que possuíram, de uma maneira geral, respostas mais homogênea em todas as profundidades em relação à chegada da frente de umedecimento durante a recarga.

Os resultados das avaliações da variabilidade das potenciais matriciais revelam um predomínio de menores sucções e um maior acúmulo de umidade nas estações 1, 3 e 7, o que deve estar relacionado à baixa declividade em ambas as estações. Estas estações apresentam um padrão de drenagem semelhante, sendo as recargas em geral maiores na 3 e, principalmente, na 7, provavelmente pela posição mais baixa na encosta em relação às demais. As estações possuem em comum os menores valores de declividade. Os resultados até agora obtidos sugerem que há uma concentração das águas pluviais provenientes de outras áreas na estação 1, para que a mesma possa apresentar comportamento similar ao encontrado nas estações 3 e 7, que se encontram topograficamente em posições que favorecem de maior acúmulo de umidade. As estações 3 e 7 possuem em comum o fato de estarem ao sopé de taludes, sendo que a 3, que apresentou os menores valores de potencial matricial para o período monitorado (mais seca), está em talude de aterro, com uma área de contribuição menor e menores declives. Observa-se a influência de outras variáveis, que não somente as topográficas estão controlando o processo de umedecimento, retenção e movimentação da água no solo nestas áreas. Uma variável importante é a condutividade hidráulica do solo, que é baixa no caso da estação 3 nos 80 cm, o que pode estar constituindo um impedimento à percolação das águas para maiores profundidades.

6.5.1. Avaliação das etapas de monitoramento

Observando-se os gráficos de variabilidade dos potenciais matriciais ao longo do período estudado (Figuras 6 a 9), constatou-se que a frente de umidade gerada com a chegada das precipitações foi suficiente para gerar poro-pressões positivas. As estações 7 e 12 foram as que apresentaram a maior frequência de desenvolvimento de poro-pressões positivas (constituindo os locais de maior umidade), tendo sido constatadas poro-pressões positivas em todas as profundidades avaliadas após a primeira seqüência de chuvas. A estação 11 (Figura 8) apresentou um comportamento bastante similar ao encontrado para a estação 12, porém não houve saturação até os 80 cm de profundidade para a primeira seqüência de chuvas.

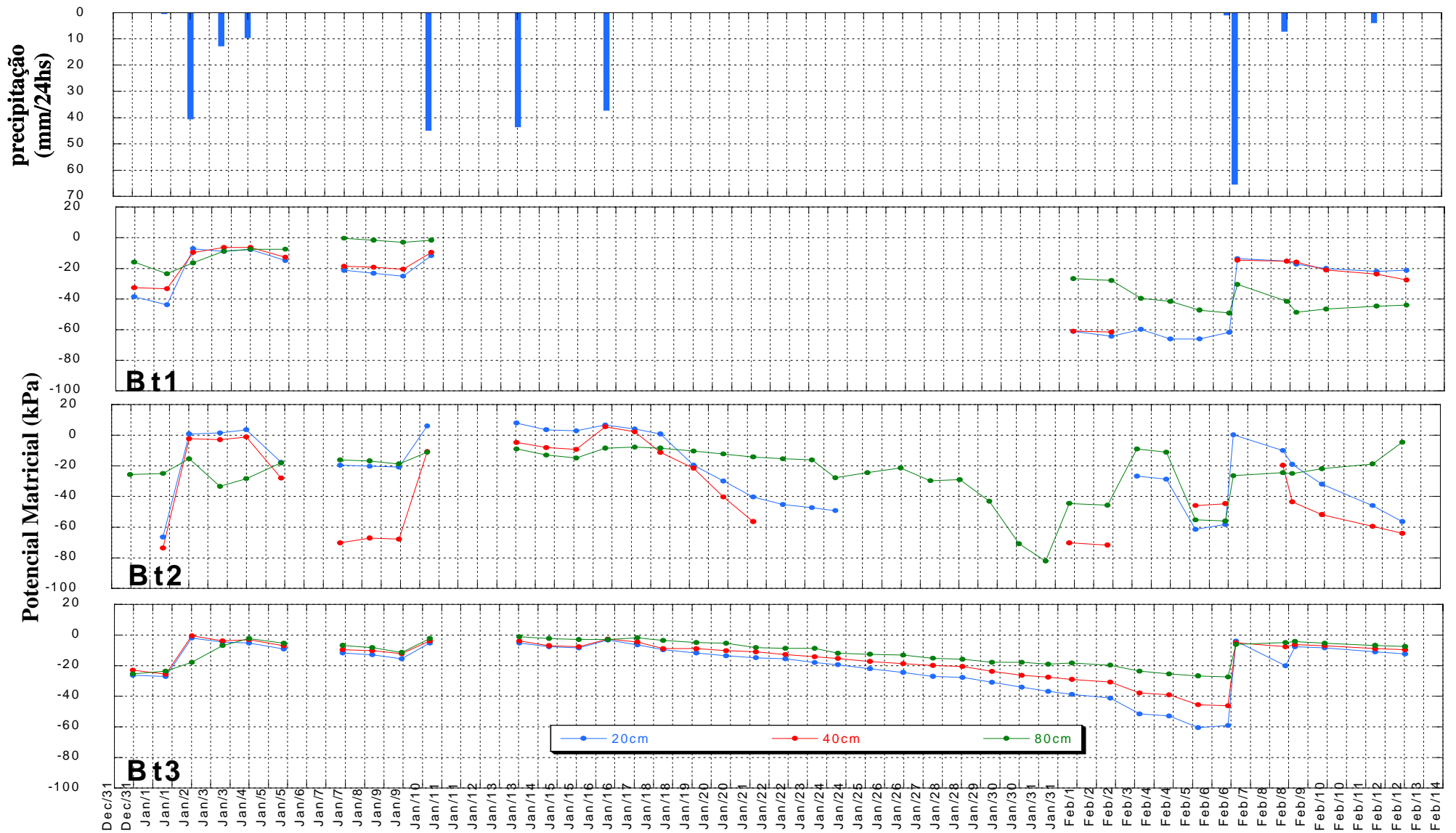


Figura 6. Variação dos potenciais matriciais (kPa) e eventos pluviométricos (mm/24hs) ao longo do período 2, nas estações 1, 2 e 3, para as profundidades de 20 cm, 40 cm e 80 cm.

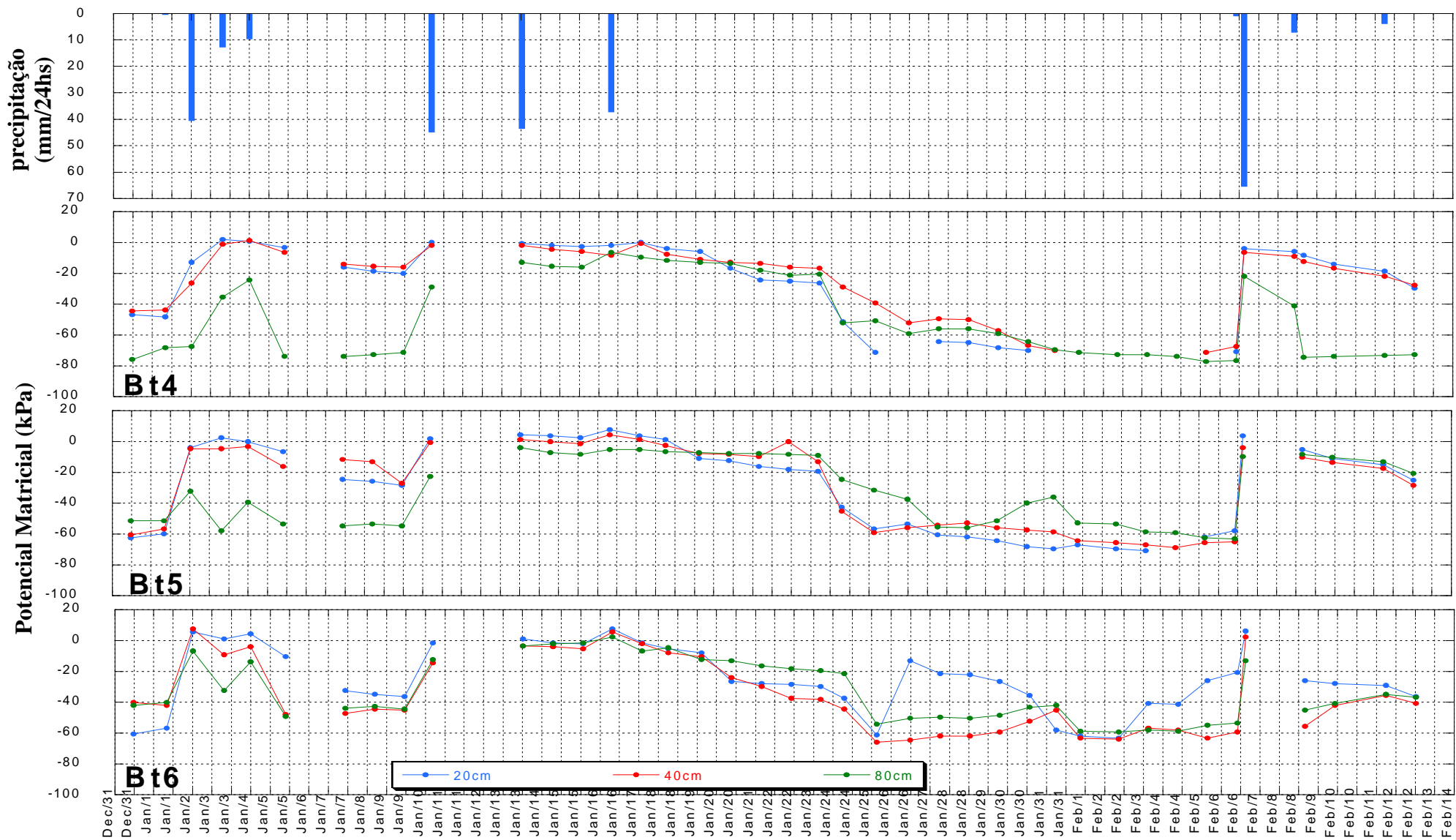


Figura 7. Variação dos potenciais matriciais (kPa) e eventos pluviométricos (mm/24hs) ao longo do período 2, nas estações 4, 5 e 6, para as profundidades de 20 cm, 40 cm e 80 cm.

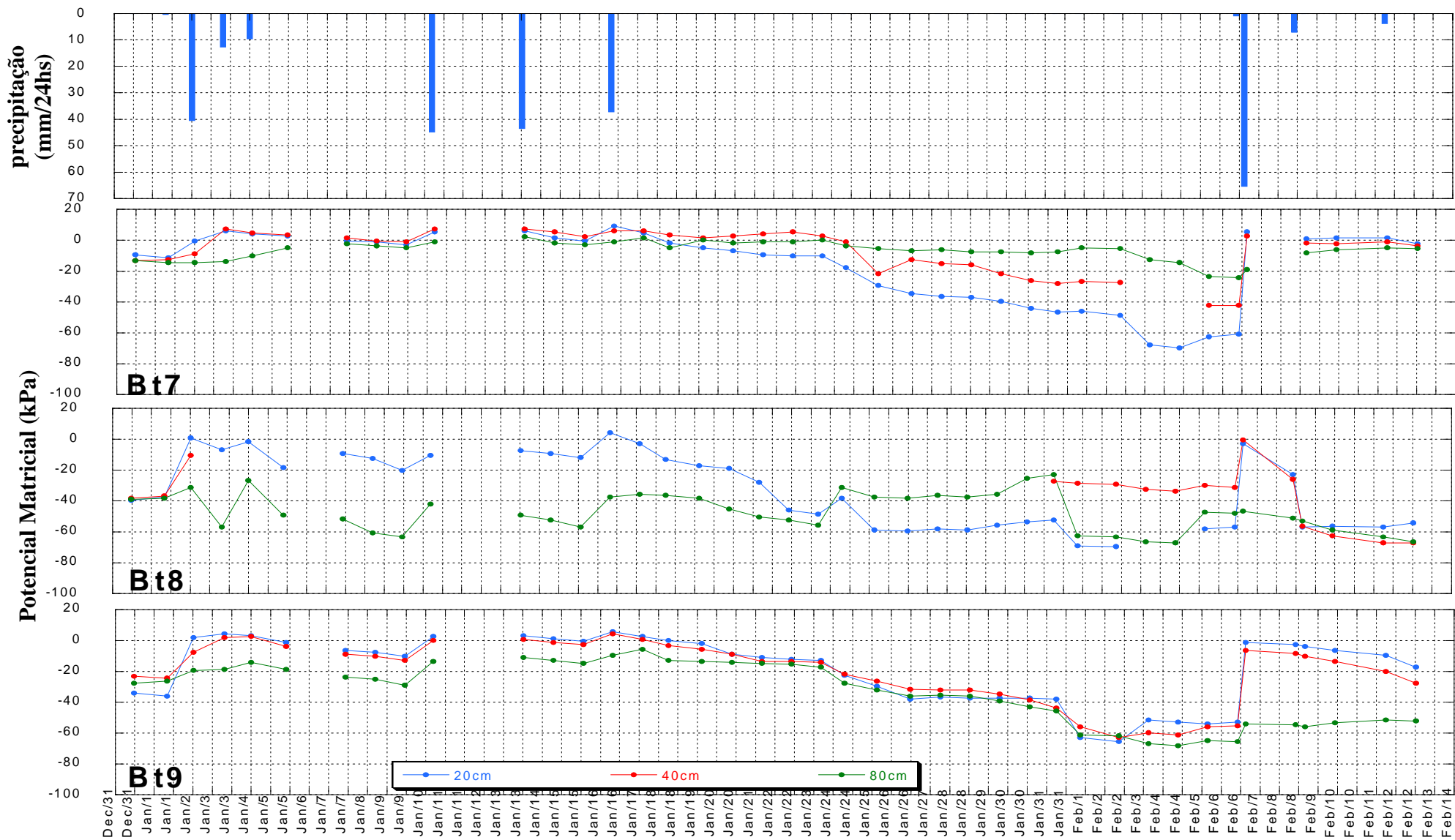


Figura 8. Variação dos potenciais matriciais (kPa) e eventos pluviométricos (mm/24hs) ao longo do período 2, nas estações 7, 8 e 9, para as profundidades de 20 cm, 40 cm e 80 cm.

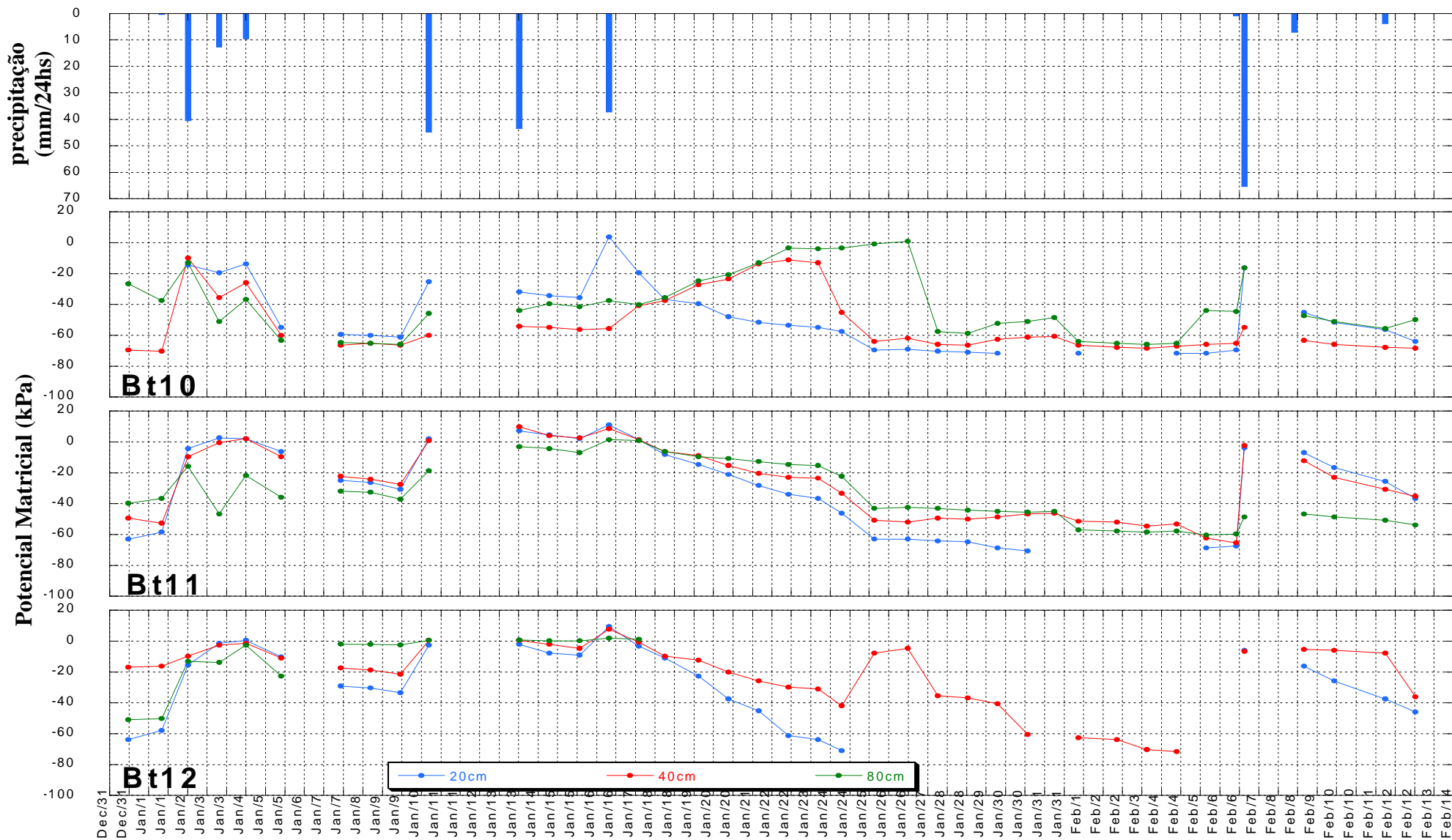


Figura 9. Variação dos potenciais matriciais (kPa) e eventos pluviométricos (mm/24hs) ao longo do período 2, nas estações 10, 11 e 12, para as profundidades de 20 cm, 40 cm e 80 cm.

As estações 1, 3, 4, 8 e 10 apresentaram somente alguns valores de potenciais matriciais positivos (sendo encontrada uma umidade menor em termos gerais), nos 20 cm e nos 40 cm para todas as estações exceto a 10, onde se desenvolveram poro-pressões positivas aos 80 cm de profundidade. De fato a estação 10 apresentou de uma maneira geral elevada umidade ao longo do período avaliado, podendo constituir um dos locais de escoamento dos fluxos subsuperficiais.

A estação sete está posicionada ao final do anfiteatro, na baixa encosta, e recebe os fluxos provenientes das demais estações. A existência de fluxos direcionados a esta estação está relacionada à transferência das águas das estações vizinhas, gerando um acúmulo que pode acarretar na formação de frentes de exfiltração e posteriormente até mesmo uma erosão por *pipping*, o que poderá reativar a feição erosiva. No entanto, outros parâmetros controlam o desenvolvimento destes fenômenos, e o desenvolvimento destes valores de potenciais na base do talude é de se esperar mesmo em situações de estabilidade, principalmente com o talude não saturado.

6.5.2. Equipotenciais de carga de pressão - expansão e contração da zona de saturação

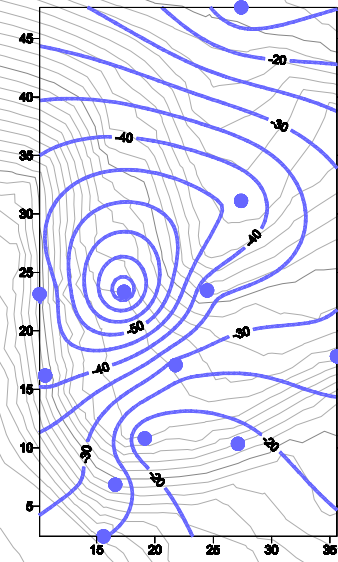
A zona de saturação, ou a altura da franja capilar é o ponto onde a sucção matricial iguala-se a zero. Em uma situação onde predominem condições não saturadas, é interessante o conhecimento das áreas onde a poro-pressão é quase zero também, já que são os locais onde a redução na coesão em função da perda de sucção é máxima. Para facilitar a visualização dos resultados as zonas de isopressões de 0 a -5KPa e de 0KPa ou maior foram hachurizadas, com diferentes classes para cada uma das zonas.

6.5.2.1. Momento 1: expansão da zona de saturação

No dia 16 de janeiro (Figura 10), após a seqüência de chuvas que gerou a maior magnitude acumulada de chuvas, pôde ser constatada a presença da zona de saturação. A potencial matricial chegou à zero na base do talude, entre as estações 6 e 7 nos 20 cm.

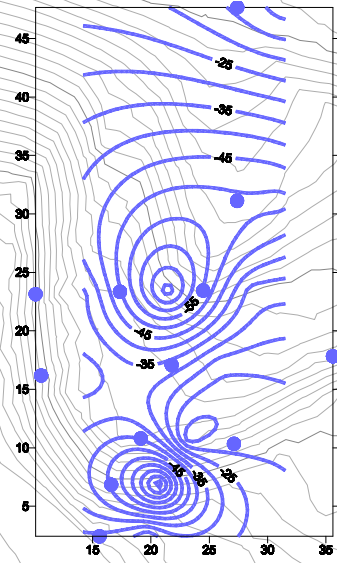
Aos 40 cm formou-se uma pequena zona de saturação na parte mais alta do talude, próximo à estação 1, e uma zona de cargas entre 0 e -5KPa no entorno da área. A explicação para a geração desta zona de saturação na alta encosta (que constitui um nível de saturação suspenso, ou *perched water table*) está relacionada não só à

A



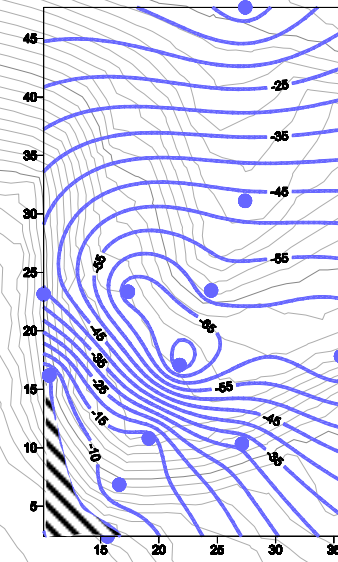
20cm

B



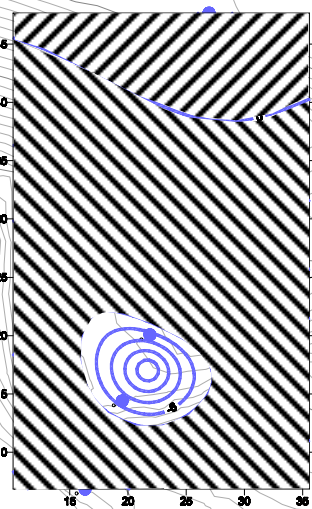
40cm

C



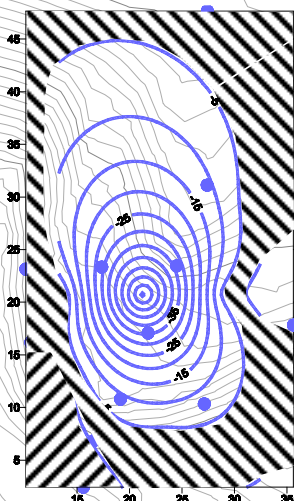
80cm

D



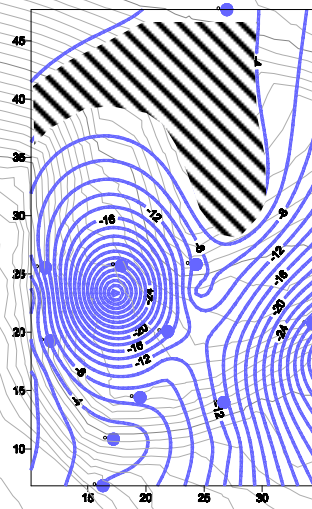
20cm

E

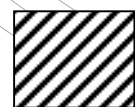


40cm

F



80cm



Cargas de pressão superiores à 0 kPa



Cargas de pressão entre -5 e 0 kPa

Figura 10 – Equipotenciais de carga de pressão, em planta, do dia 09/01/2004 (A, B e C) e do dia 16/01/2004 (D, E e F) para as profundidades de 20, 40 e 80 cm.

velocidade de percolação diferencial nas profundidades, que faz com que a própria saturação ocorra primeiramente nos 20 cm, mas também a uma possível contribuição de fluxos provenientes da retenção de águas propiciada pelo cordão vegetado logo abaixo da estação. Além disto, há a possibilidade da formação destes níveis suspensos em função de fluxos laterais. Pode estar acontecendo também uma transferência em subsuperfície das águas vindas do outro lado do cordão, fazendo com que ocorra uma maior saturação nesta estação em relação às outras.

Aos 20 cm se observa um comportamento diferenciado para a estação 3, havendo também quase saturação nesta posição do talude (zona entre 0 e -5KPa), o que está relacionado à concentração dos fluxos superficiais em função das formas do relevo (a estação está na base do talude, em uma posição côncava em perfil).

Nos 80 cm foi observada a expansão da zona de saturação, na mesma posição da detectada para os 20 cm, na base do talude, o que constitui a trajetória final natural dos fluxos no talude (considerando-se o meio isotrópico).

6.5.2.2. Momento 2: contração da zona de saturação

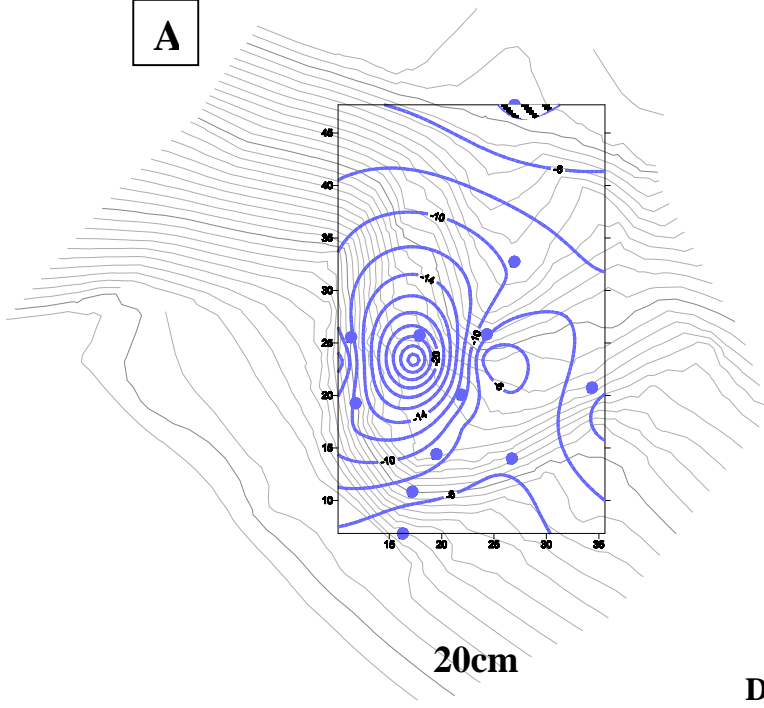
Durante o dia 17 de janeiro (figura 11), que constitui o início do período de drenagem das chuvas acumuladas do dia 16 (Figura 10), foi verificada uma mudança na configuração da zona de saturação em todas as profundidades avaliadas. Aos 20 cm a zona de saturação recuou bastante, estando presente nesta profundidade somente uma zona com potencial matricial entre 0 e -4KPa a partir de uma posição muito próxima a estação 7. Tal condição tem relação com a posição da estação em relação à encosta, já que a estação possui valores de retenção de umidade reduzidos.

Nos 40 cm a tendência foi semelhante, havendo a retração da zona de saturação e a manutenção somente de uma zona com potenciais matriciais entre 0 e -5 nas partes alta do talude, próximo as estações 1, 2, 8, 9 e 11; e parte baixa do talude, próximo à estação 7, drenando para a direita. Atenta-se para os elevados valores de retenção de umidade encontrados nas estações 8 e 9, isto é, mesmo as estações estando em posições topográficas desfavoráveis à manutenção de elevadas potenciais matriciais, foi provavelmente esta propriedade do solo que fez com que fossem encontrados valores altos neste momento. Aos 80 cm o comportamento foi semelhante ao observado nos 40 cm, havendo a formação de poropressões semelhante nas mesmas posições do talude, sendo a orientação das zonas de iso-pressão agora voltadas mais para a parte esquerda do talude.

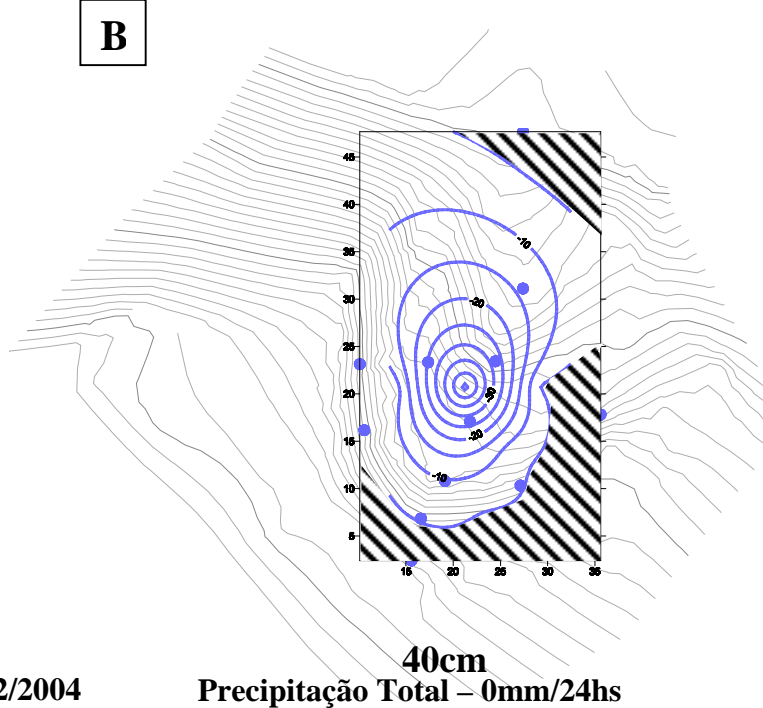
Dia 17/01/2004

Precipitação Total – 0mm/24hs

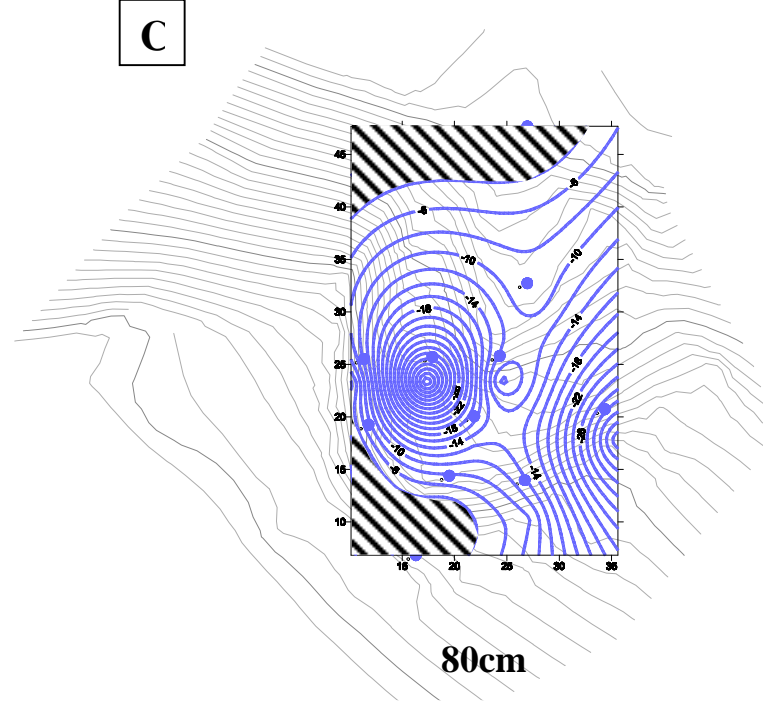
A



B



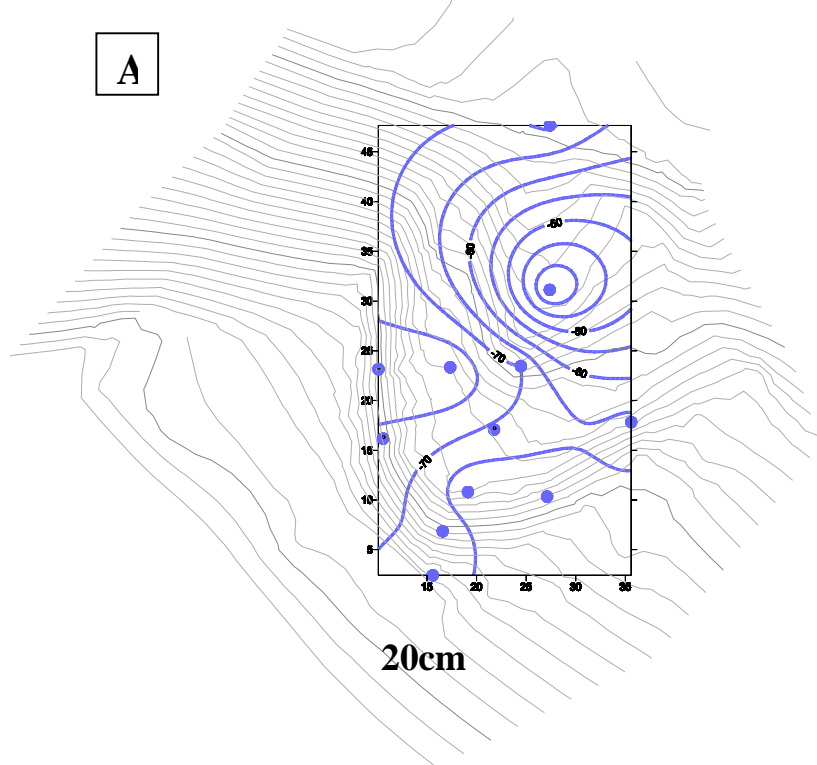
C



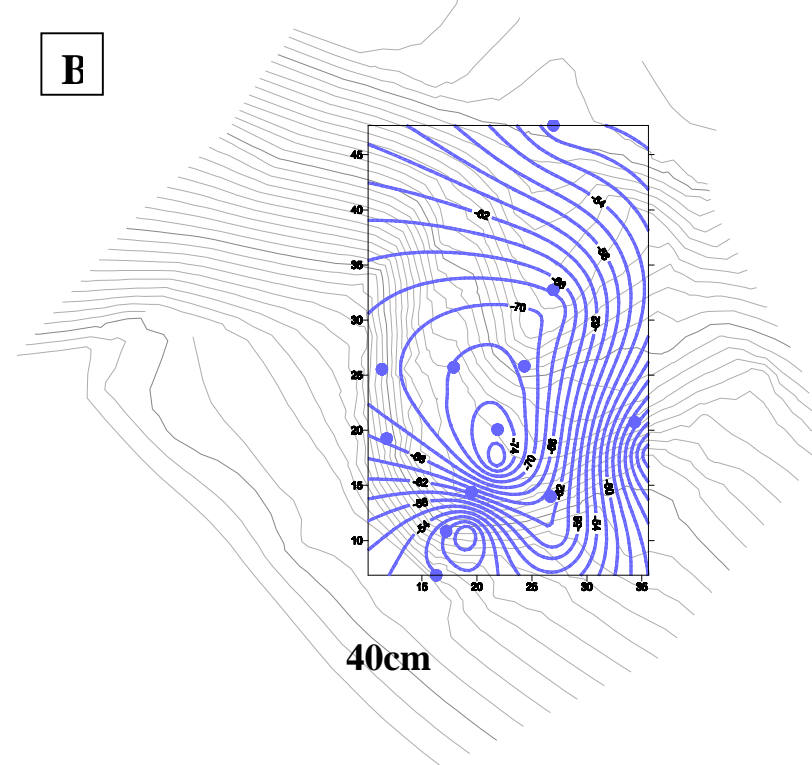
Dia 05/02/2004

Precipitação Total – 0mm/24hs

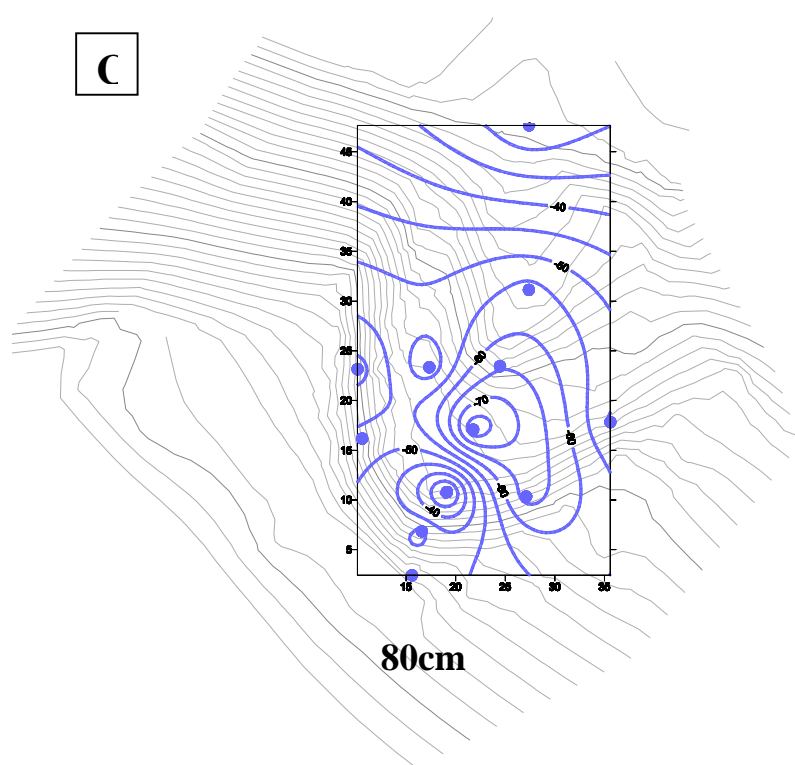
A



B



C



Cargas de pressão superiores à 0 kPa



Cargas de pressão entre -5 e 0 kPa

Figura 11 – Equipotenciais de carga de pressão, em planta, dos dias 17/01/2004 (A, B e C) para as profundidades de 20, 40 e 80 cm.

No dia 5 de fevereiro (Figura 12), ao final do período de drenagem, já não foi mais observada a presença da proximidade da zona de saturação, sendo este período suficiente para gerar condições não saturadas ao longo de todo o talude, em todas as profundidades avaliadas.

6.5.2.3. Momento 3: expansão da zona de saturação

Após o evento registrado para o dia 7 de fevereiro (Figura 12) foi observada uma formação, ainda que incipiente, de uma zona próxima à saturação, somente na profundidade de 20 cm. As zonas ocorreram nas posições referentes às estações 3 e 6 e 7, o que reforça a tendência de se observar a expansão da zona de saturação nos taludes de aterro e área de deposição da voçoroca. Aos 20 cm o comportamento das poro-pressões indicou a formação das zonas, no caso dos 20cm, em um arranjo semelhante ao encontrado para o período anterior, voltada para a esquerda (leste). A formação da zona próxima à saturação está condicionada, como já foi mencionando, à posição no talude.

A chuva que se seguiu, durante o dia 8 de fevereiro (7,1mm) (Figura 13), não foi capaz de gerar condições para a manutenção do quadro de saturação alcançado durante o dia anterior. No entanto, neste dia as equipotenciais adquiriram uma configuração interessante, provavelmente relacionada à presença de uma antiga canaleta de drenagem que foi enterrada.

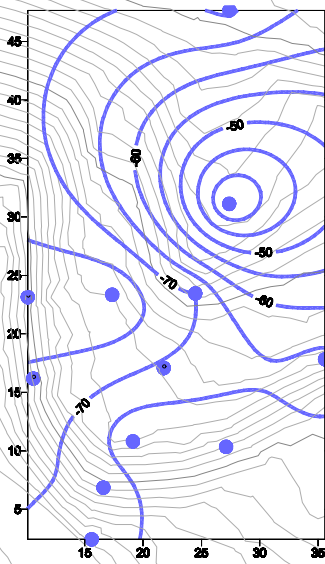
O padrão encontrado neste dia (8 de fevereiro) não foi encontrado no dia 16 de janeiro (onde houve uma maior umidade antecedente), o que pode estar relacionado à intensidade das chuvas, ou ao volume acumulado por 24 horas, que devem estar controlando a formação deste fluxo preferencial.

Observando-se os resultados obtidos nesta avaliação de uma maneira geral, pode-se deduzir que o volume de chuvas acumulado no momento 1 foi o principal responsável pela maior expansão da zona de saturação em relação ao momento 3. Se observa que a umidade antecedente está condicionando de forma decisiva a formação da zona de saturação, e nem a precipitação de 65,5mm, do dia 7 de fevereiro (Figuras 12 e 13), foi capaz de gerar condições de saturação similares, em função da estiagem do período logo anterior, que criou condições de umidade antecedente muito menor.

Dia 05/02/2004

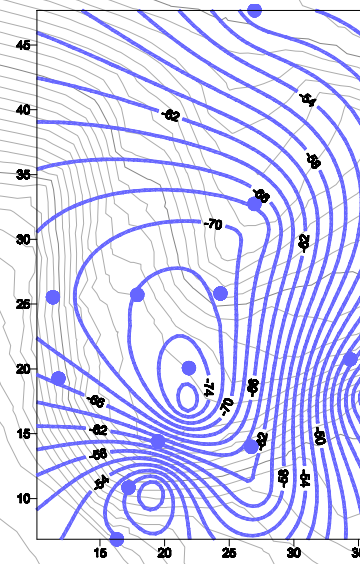
Precipitação Total – 0mm/24hs

A



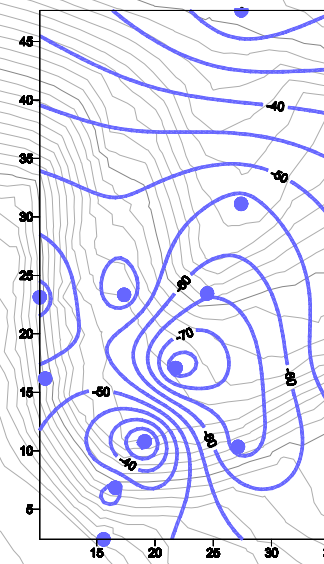
20cm

B



40cm

C

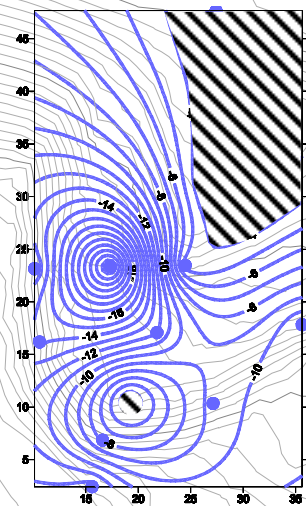


80cm

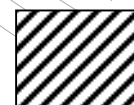
Dia 07/02/2004

Precipitação Total – 65.5mm/24hs

D

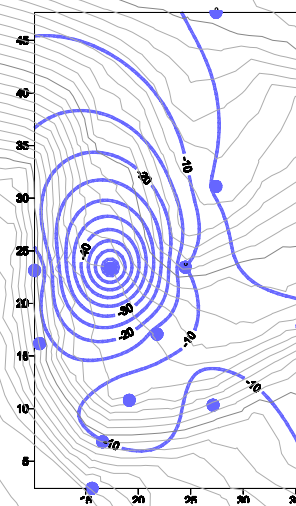


20cm



Cargas de pressão superiores à 0 kPa

E

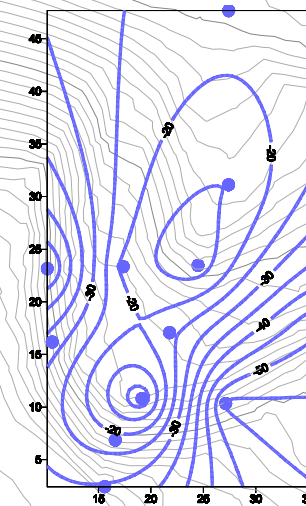


40cm



Cargas de pressão entre -5 e 0 kPa

F

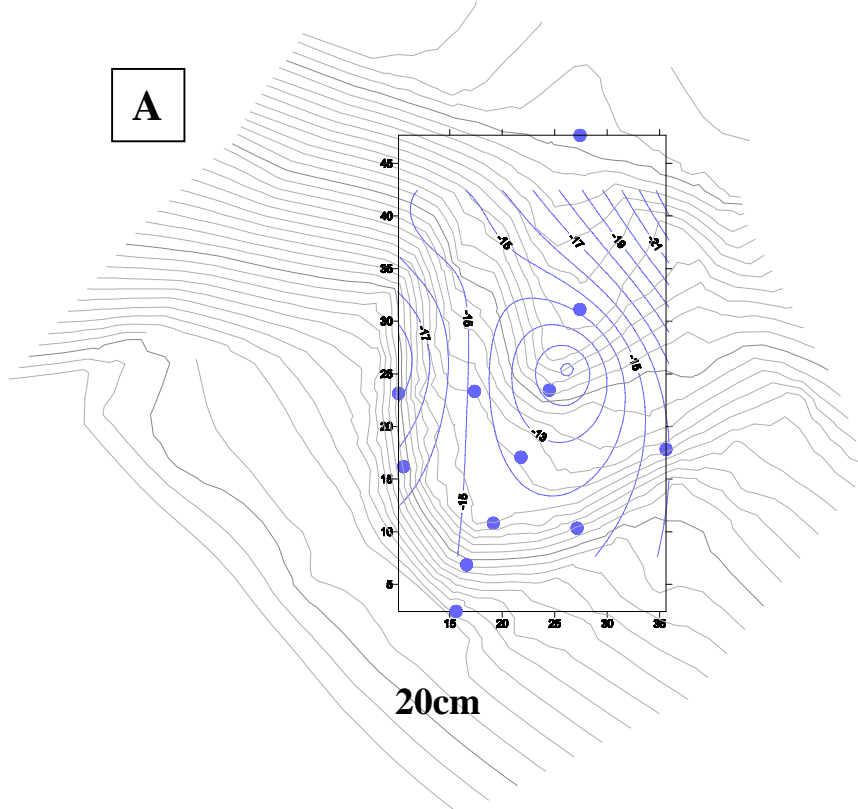


80cm

Figura 12 – Equipotenciais de carga de pressão, em planta, dos dias 05/02/2004 (A, B e C) e 07/02/2004 (D, E e F) para as profundidades de 20, 40 e 80 cm.

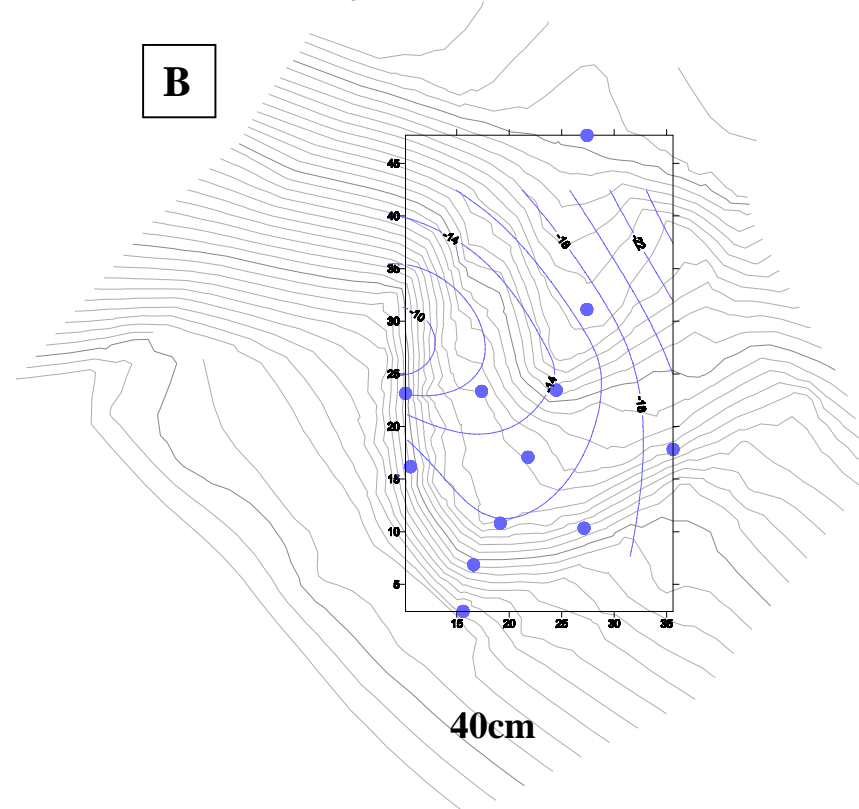
Dia 08/02/2004 Precipitação Total – 7.1mm/24hs

A



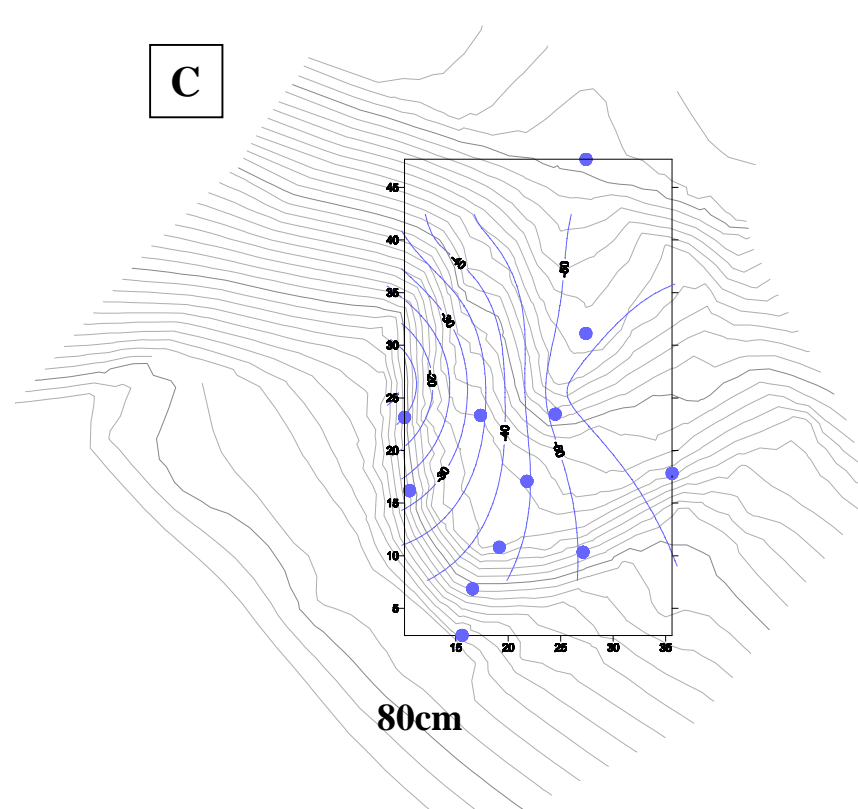
20cm

B



40cm

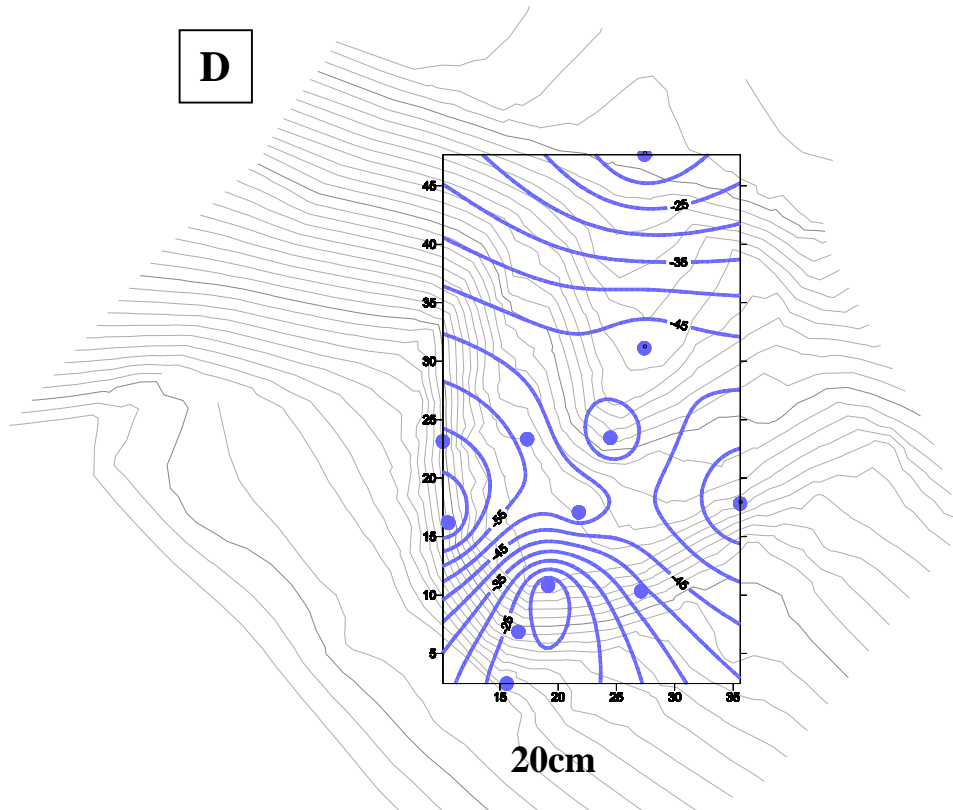
C



80cm

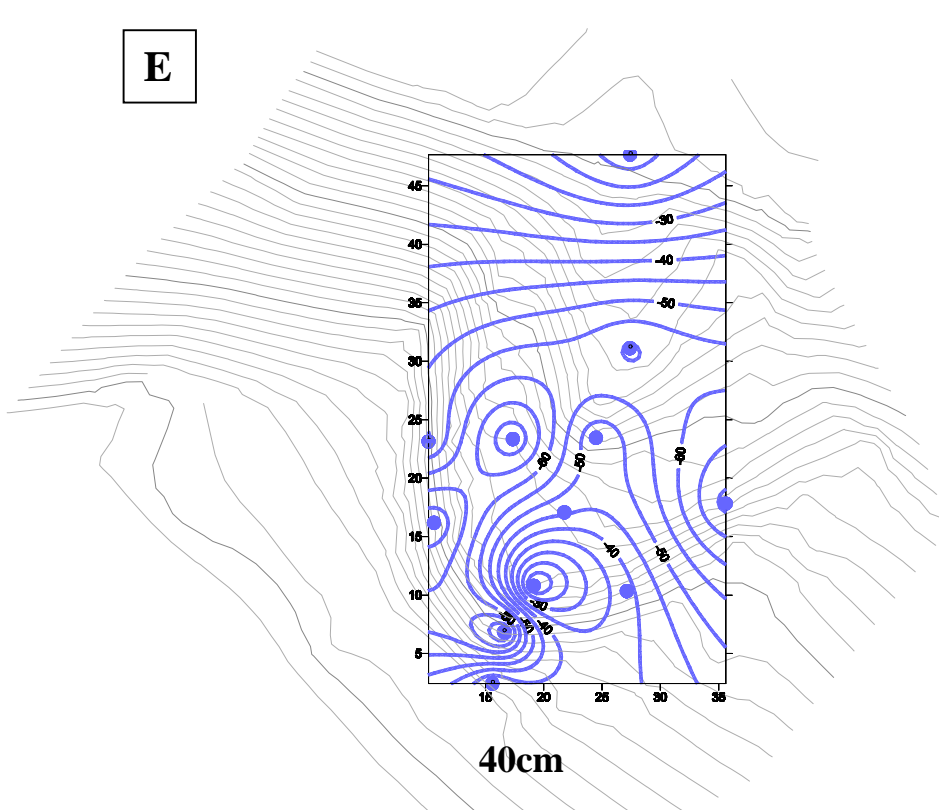
Dia 14/02/2004 Precipitação Total – 0mm/24hs

D



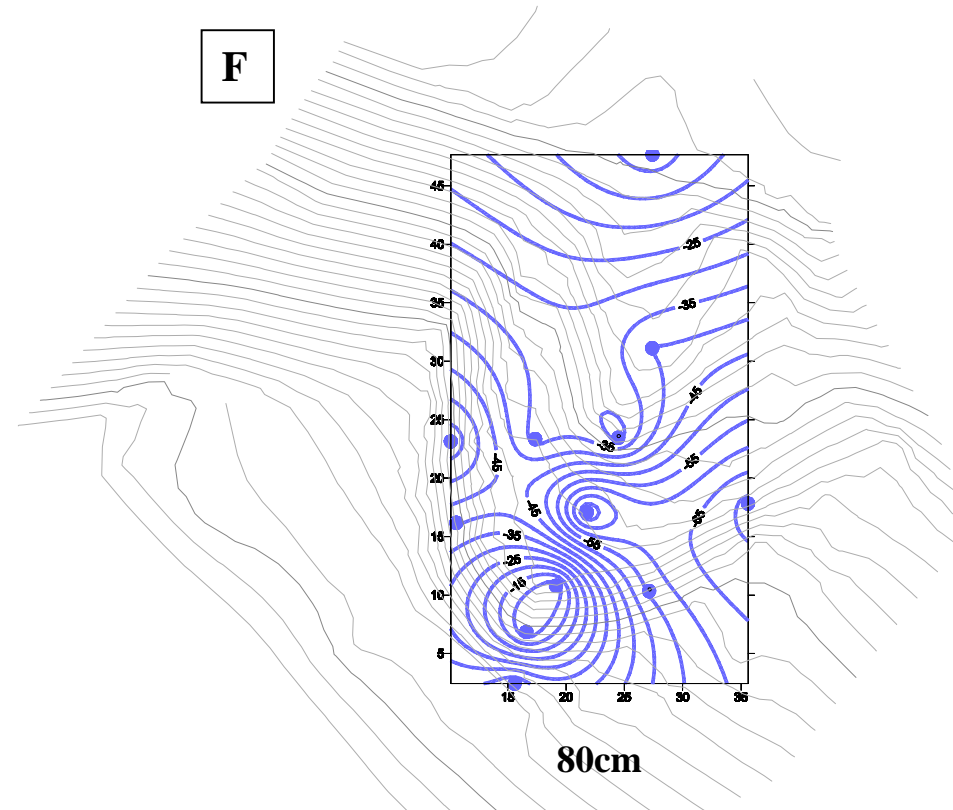
20cm

E



40cm

F



80cm



Cargas de pressão superiores à 0 kPa



Cargas de pressão entre -5 e 0 kPa

Figura 13 – Equipotenciais de carga de pressão, em planta, dos dias 08/02/2004 (A, B e C) e 14/02/2004 (D, E e F) para as profundidades de 20, 40 e 80 cm.

6.6. Intercepção das chuvas pelas copas arbóreas e serrapilheira

Os dados do monitoramento da precipitação (com valores de magnitude diários), realizado durante o período de 25/08/03 a 26/02/2004, encontram-se na figura 14.

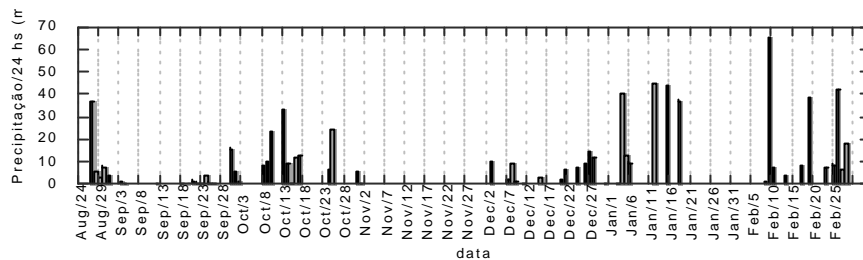


Figura 14. Monitoramento da precipitação (com valores de magnitude diários), realizado durante o período de 25/08/03 a 26/02/2004.

6.6.1. Magnitude das chuvas e intercepção pelas copas arbóreas

Apesar da dificuldade em se estabelecer relações entre a magnitude das chuvas e o processo de intercepção pelas copas arbóreas, observa-se que o valor médio obtido para todo o período de monitoramento é da ordem de 38%. Clegg (1963) encontrou valores da ordem de 40% avaliando florestas pluviais secundárias em Porto Rico. Coelho Netto (1992), estudando o mesmo fenômeno na Floresta da Tijuca, encontrou valores da ordem de 17%, tendo contado em suas avaliações também os espaços abertos desprovidos de cobertura vegetal.

Os valores obtidos para a Floresta da Tijuca constituem uma boa base para avaliação, já que a mesma é a vegetação mais próxima à observada em áreas florestadas da Ilha do Governador, e o recobrimento com floresta é uma premissa básica do projeto de RAD. Observa-se que o valor encontrado por Coelho Netto é maior do que o encontrado para a área de estudo, mesmo a área não possuindo espaços abertos expressivos. Apesar disso o valor encontrado indica que a vegetação implantada na área está desempenhando o papel desejado no que diz respeito a este parâmetro (intercepção pelas copas), e os valores menores refletem o estágio de desenvolvimento dos indivíduos, já que os mesmos possuem somente três anos.

Durante a construção dos gráficos de percentual de interceptção de água pelas copas arbóreas em função da magnitude das chuvas não foi possível o traçado de curvas ou linhas de tendência que expressem uma relação entre a magnitude das chuvas e o percentual de interceptção (figuras 15 e 16). Observa-se, porém, que pode haver uma tendência se utilizarmos na avaliação somente dados de precipitações superiores a 40 mm de magnitude diária, quando a interceptção passou a apresentar valores progressivamente menores (esta relação não foi no entanto avaliada neste trabalho).

Puderam ser detectadas algumas diferenças no que diz respeito à quantidade de eventos onde os valores de interceptção foram negativos, isto é, onde a vegetação exerceu um efeito de convergência da água das chuvas, resultando no fenômeno do gotejamento.

A estação 10 não apresentou gotejamento, sendo, portanto um local onde a vegetação protege bem o solo. A estação 4 se mostrou também um local bem protegido, apresentando somente um evento com gotejamento. Ambas as estações encontram-se no aterro e em posição mais bem protegida dos ventos.

A estação 11 apresentou dois eventos com gotejamento, enquanto as estações 1 e 7 apresentaram três e a estação 6 quatro.

As estações 2, 3 e 5 apresentaram cinco dias onde houve gotejamento. A estação 9 apresentou seis eventos. As estações 8 e 12 apresentaram ambos nove eventos com gotejamento. Estas duas foram as baterias que apresentaram maior ocorrência deste fenômeno. Nota-se que as duas estações estão no talude de corte superior, nos extremos da voçoroca, o que possibilita a ação dos ventos.

O padrão de interceptção semelhante encontrado para a estação 1 e para a 7 está provavelmente relacionado à semelhança da cobertura vegetal e ao posicionamento, já que ambas as estações estão nos limiares da voçoroca revegetadas com capim *Vetiver* na 1 e capim colônio na 7. A estação 6 apresentou um padrão diferente dos demais, com gotejamento um pouco abaixo da média, provavelmente em função da presença de uma árvore remanescente neste local, a única que foi aproveitada desde o começo do processo de revegetação.

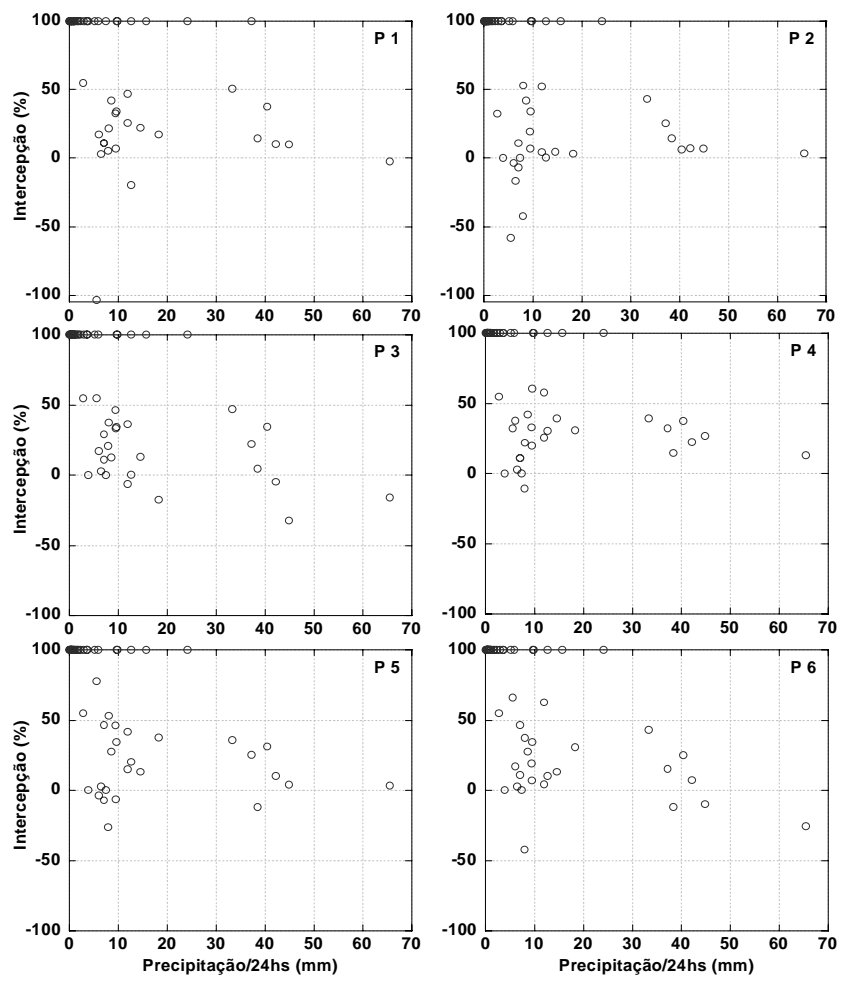


Figura 15. Variação da intercepção das águas pluviais pelas copas arbóreas (percentual) em função da magnitude das chuvas (mm) nos pontos 1 a 6.

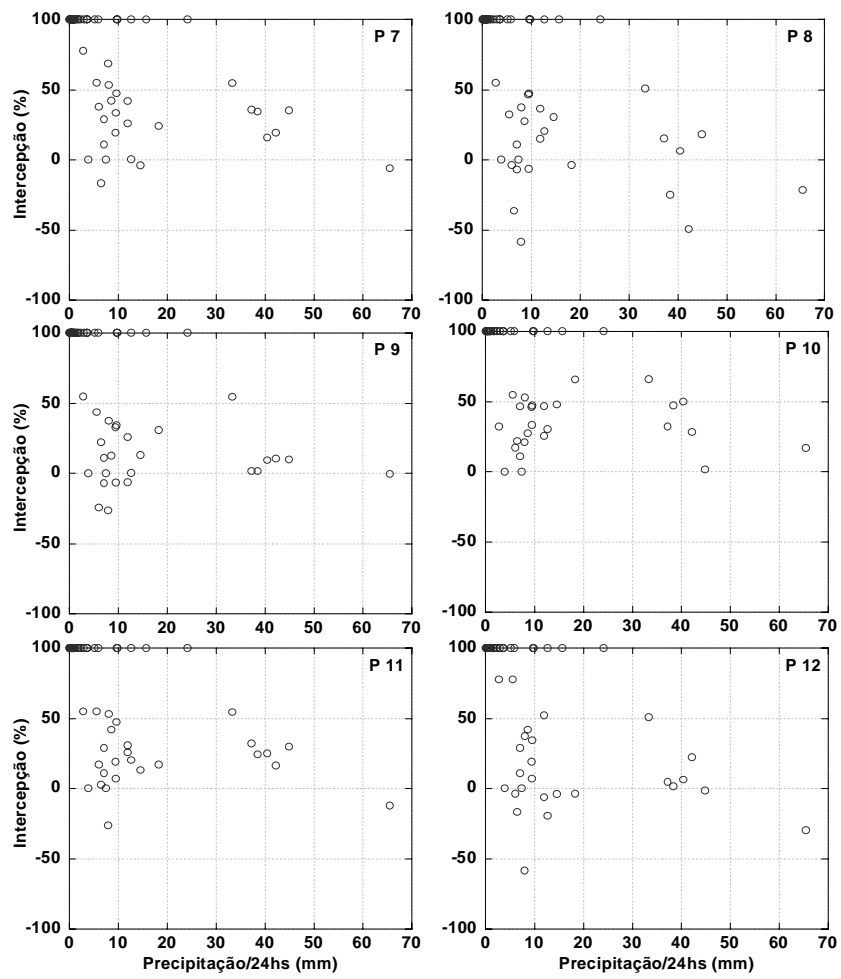


Figura 16. Variação da intercepção das águas pluviais pelas copas arbóreas (percentual) em função da magnitude das chuvas (mm) nos pontos 7 a 12.

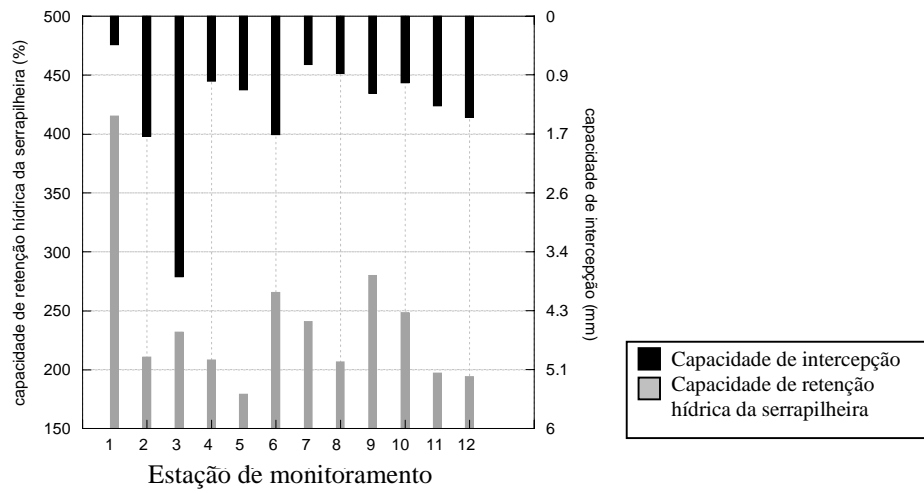


Figura 17. Retenção hídrica potencial e capacidade de interceptação da serrapilheira.

6.6.2. Retenção hídrica potencial e capacidade de interceptação da serrapilheira

Os resultados das avaliações de capacidade de retenção hídrica da serrapilheira e sua capacidade de interceptação encontram-se sumarizados na Figura 17.

Em relação aos valores de retenção hídrica da serrapilheira encontrados, observa-se um valor médio de 240%. Os valores encontrados para a Floresta da Tijuca por Vallejo (1982), Coelho Netto (1985, 1987) e Castro Jr. (1991), da ordem de 130 a 300%, e Miranda (1992), da ordem de 200%, foram muito similares. Deve-se ter em mente que os valores encontrados para a área de estudo levam em conta o papel da cobertura morta, incorporada através de apara de grama e da esteira de bagaço de cana.

Os valores encontrados indicam, no entanto, que as práticas de RAD estão exercendo efeito positivo, sendo encontrada uma serrapilheira semelhante à encontrada em florestas, o que constitui uma situação de elevada estabilidade. Deve-se atentar para o fato de que a aplicação de apara de grama e esteira de bagaço de cana dificultou a avaliação deste parâmetro, no entanto, a influência destas aplicações está embutida nestas avaliações.

Atenta-se para o fato de que os dados, obtidos por ensaio em laboratório, expressam o potencial ou a capacidade máxima de interceptação das chuvas, e não exatamente o quanto é retido em determinado dia ou evento. Este valor só poderia ser obtido mediante avaliações da umidade atual da serrapilheira, para cada dia ou evento avaliado. Por isso constatou-se que os valores de interceptação pela serrapilheira foram em geral maiores para a estação 3, pois lá foi encontrada maior quantidade de material (mesmo quando plotados junto à interceptação pelas copas arbóreas). Resta também saber se quando é atingido o limite de retenção hídrica do litter haverá fluxos superficiais.

Outra consideração importante, e que mostra relação com os resultados obtidos, é a importância da topografia (fator que também foi ressaltado por Vallejo (1982)) no acúmulo da serrapilheira (a estação 3 encontra-se na área de menor declividade de toda a voçoroca (0), além de estar na base do primeiro talude de corte e em um segmento côncavo em planta), e, conseqüentemente, na proteção do solo. No tópico referente à topografia será retomado ainda este assunto.

7. Considerações Finais

Com relação ao processo de interceptação das águas das chuvas pelas copas arbóreas, não foi possível estabelecer uma correlação entre a magnitude das chuvas e o percentual de interceptação. Foi constatado um valor médio obtido para todo o período de monitoramento da ordem de 38%, semelhante ao encontrado por Coelho Netto (1992) para a Floresta da Tijuca (17%). Os valores obtidos para a Floresta da Tijuca constituem uma boa base de comparação, e o valor encontrado indica que a vegetação implantada na área está desempenhando o papel desejado no que diz respeito à interceptação pelas copas, já que foi capaz de gerar condições semelhantes às de uma floresta plenamente desenvolvida. Foi encontrada também forte relação entre a interceptação pelas copas e a variável topografia, já que nos taludes de corte (onde pode haver maior capacidade de penetração das chuvas e dos ventos) os valores de *throughfall* obtidos foram consideravelmente maiores.

Em relação aos valores de retenção hídrica da serrapilheira encontrados, observou-se um valor médio de 240%. Os valores encontrados para a Floresta da Tijuca por Vallejo (1982), Coelho Netto (1985, 1987) e Castro Jr. (1991), da ordem de 130 a 300%, e Miranda (1992), da ordem de 200%, foram muito similares. Mesmo que estes valores encontrados na voçoroca levem em conta o papel da cobertura morta incorporada através de aparas de grama e da esteira de bagaço de cana, eles indicam que as práticas de RAD estão exercendo o efeito desejado sobre a hidrologia local, já que como resultado formou-se uma cobertura semelhante a florestas plenamente desenvolvidas.

Os resultados das avaliações das propriedades físico-hídricas dos solos apontaram para uma pequena variabilidade textural na área.

Nos ensaios de condutividade hidráulica foram obtidos valores bastante heterogêneos, sendo os maiores valores encontrados na profundidade de 40 cm. Os resultados de condutividade hidráulica mostraram uma boa relação com o comportamento diferenciado das cargas de pressão e totais.

Em relação ao comportamento das poro-pressões nas diferentes profundidades, observou-se uma maior amplitude das cargas de pressão, de uma maneira geral, na profundidade de 20 cm. Provavelmente esta maior variabilidade das cargas foi resultado da influência de elementos superficiais (cobertura vegetal, serrapilheira, insolação etc.). Os resultados revelaram um predomínio de menores sucções nas

baterias Bt1, Bt3 e Bt7 (acúmulo de umidade), o que provavelmente no caso estudado se deve à posição das estações e a morfologia do talude. A maior variabilidade das cargas de pressão ocorreu nas baterias Bt2, Bt8, Bt10, Bt11 e Bt12, todas situadas no talude de corte superior, exceto a Bt10.

Com relação à expansão e contração da zona de saturação, foi notado que a umidade antecedente está condicionando de forma decisiva a formação da zona de saturação. Um padrão diferente foi encontrado no dia 8 de fevereiro, pois as equipotenciais apontaram para a formação de fluxos laterais da face oeste para a face leste da voçoroca, o que provavelmente relacionada à presença de uma antiga canaleta de drenagem que foi enterrada. Observou-se que o padrão encontrado neste dia não foi encontrado no dia 16 de janeiro (onde houve uma maior umidade antecedente), o que pode estar relacionado à intensidade das chuvas, ou ao volume acumulado por 24 horas, que devem estar controlando a formação deste fluxo preferencial. Neste caso observa-se que o comportamento das cargas de pressão no talude, principalmente na face oeste, está sendo condicionado essencialmente pela intensidade ou magnitude das chuvas.

Com relação ao desempenho das práticas de RAD, foi constatada certa diferenciação entre as estações avaliadas. De uma maneira geral, foi notada uma estreita relação entre o desempenho inicial diferenciado das estações monitoradas e a topografia nas diferentes sessões do talude. As áreas de menor declives apresentaram uma recuperação mais rápida em relação às demais, o que se relacionou tanto ao estabelecimento da cobertura vegetal e à incorporação de serrapilheira, quanto à própria dinâmica hidro-erosiva. No talude de aterro foram encontrados alguns pequenos sulcos, possivelmente provocados por processos de acomodação, já que o talude de aterro não foi compactado.

Apesar de não ter comprometido a recuperação da área, observou-se que nos locais onde foram utilizadas práticas mecânicas mais intensas (estruturas de contenção) quando início da revegetação, o processo de RAD se mostrou geralmente mais eficaz. Deduz-se que estas pequenas medidas de contenção de baixo custo realizaram seu papel na recuperação da área, fornecendo condições iniciais de estabilidade, anteriormente ao estabelecimento da vegetação.

8. Agradecimentos

Ao grupo de pesquisa NEMPES – UFRJ (Núcleo de Estudos de Modelagem Matemática, Processos Hidrológicos e Erosivos) e à equipe da Embrapa Solos; ao técnico de campo André Santos, pela coleta diária dos dados hidrológicos.

À INFRAERO, Embrapa Solos, PRONEX, CNPQ e CAPES pelo apoio financeiro.

9. Referências Bibliográficas

ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. The role of topography in controlling throughflow generation. **Earth Surface Processes and Landforms**, New York, v. 3, p. 331-344, 1978.

BARROSO, L. V.; SILVA, J. C. L. BARBOSA, A. L. PEREIRA FILHO, J. P. A. Estabilização do talude da estrada de Itaipu (Região Oceânica de Niterói) por meio de drenagem e reflorestamento. In: COBRAE: CONFERÊNCIA BRASILEIRA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 3., 2001, Rio de Janeiro. **Anais...**São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica, 2001.

BRESSANI, L. A. Field suction measurements in a residual soil slope. In: PANAMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 2.; CONFÉRENCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 2., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...**São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica, 1997. p. 363-369.

CASTRO JUNIOR, E. **O papel da fauna endopedônica na estruturação física do solo e seu significado para a hidrologia de superfície**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1991. Dissertação de mestrado PPGG/UFRJ.

CLEGG, A. G. Rainfall interception in a tropical forest. **Caribbean Forester**, Rio Grande (Puerto Rico), v. 24, n. 2, p. 75-79, 1963.

COELHO NETTO, A. L. **Surface Hidrology and Soil Erosion in a Tropical Mountainous Rainforest Drainage Basin, Rio de Janeiro**. Leuven (Bélgica): Katholieke Universiteit, 1985. 181 p. Tese de Doutorado.

COELHO NETTO, A. L. Overlandflow production in a tropical rain forest catchment: the role of the litter cover. **CATENA**, Cremlingen (Alemanha Ocidental), v. 14, n. 3, p. 213-231, June 1987.

COELHO NETTO, A. L. O geocossistema da Floresta da Tijuca. In: Abreu, M.A. (org). **Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: IplanRio, 1992. p. 104-142. (Biblioteca Carioca).

CURI, N. (Coord.). **Vocabulário de Ciência do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89 p.

DARMER, G. **Landscape and surface mining: ecological guidelines for reclamation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 155 p.

DUNNE, T. Hydrology, mechanics, and geomorphic implications of erosion by subsurface flow. In: HIGGINS, C. G.; COATES, D. R. (Ed.). **Groundwater Geomorphology: the role of subsurface water in earth-surface processes and landforms**. Boulder: Geological Society of America, 1990. p.139-155.(Special Papers, n. 252).

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Diagnóstico do Estado de Conservação – Morro do Radar: Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Relatório técnico e plano de monitoramento do Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro, 2002.

FERNANDES, N. F. F.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. Subsurface hydrology of layered colluvium mantles in unchannelled valleys: South-Eastern-Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, New York, v. 19, p. 609-626, 1994.

GRAY, D. H.; LEISER, A. T. **Biotechnical slope protection and erosion control**. Malabar: Krieger, 1982. 271 p.

GREENWAY, D. R. Vegetation and slopes stability. In: ANDERSON, M. G.; RICHARDS, K. S. (org.) **Slope stability: geotechnical engineering and geomorphology**. New York: J. Wiley, 1987. 656 p.

KANJI, M. A. Estabilização e remediação de taludes: relato geral. In: PANAMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 2.; CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 2., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica, 1997. p. 251-259.

MIRANDA, J. C. de. **Intercepção das chuvas pela vegetação florestal e serrapilheira nas encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca, RJ**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1992. Dissertação de mestrado PPGG/UFRJ.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E.; TORRES, R.; ANDERSON, S. P.; HEFFNER, J. T.; LOAGUE, K. Hydrologic response of a steep, unchanneled valley to natural and applied rainfall. **Water Resources Research**, v. 33, n. 1, p. 91-109, Jan. 1997.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. v. IV.

SANTOS, A. R. dos; FERREIRA, C. S. M.; GIESEKE, C. V. S. A Erosão em taludes e encostas: mesa redonda: tema III. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROÇÃO, 2., São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1981. v. 2.

SOUZA PINTO, C. de. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247 p.

VALLEJO, L. R.; VALLEJO, M. S. Aspectos da dinâmica hidrológica em áreas florestadas e suas relações com os processos erosivos: primeiros resultados. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO DO BRASIL, 4., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...**São Paulo: Abequa, 1981.

VALLEJO, L. R. **A influência do "litter" na distribuição das águas pluviais**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1982. Dissertação de mestrado. PPGG/UFRJ.