



=====

## ESTUDO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO HÍDRICO DO SOLO SOB SUPERFÍCIES IMPERMEABILIZADA E NÃO-IMPERMEABILIZADA COM O USO DE TENSÍÔMETROS

Juliana Perez Carvalho<sup>1</sup>  
Delaide Fátima Oliveira<sup>1</sup>  
Guilherme Taitson Bueno<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Alunas do Curso de Graduação em Geografia e Análise Ambiental - Centro Universitário de Belo Horizonte - UNI-BH

<sup>2</sup> Professor do Curso de Graduação em Geografia e Análise Ambiental - Centro Universitário de Belo Horizonte - UNI-BH

**Palavras-chave:** impermeabilização, comportamento hídrico do solo, tensiômetros

**Eixo temático:** Geomorfologia em Áreas Urbanas

### RESUMO

A questão da impermeabilização das superfícies é um dos grandes problemas ambientais das áreas urbanas. O presente trabalho resultou de um experimento sobre funcionamento hídrico de solos realizado em área de aterro, com o uso de tensiômetros. Visou comparar características do comportamento hídrico de um mesmo tipo de material em condição de superfícies impermeabilizada com bloquetes de concreto e superfície não impermeabilizada (solo exposto). O tensiômetro é instrumento de fácil confecção e operação que pode fornecer informações indiretas sobre o teor de umidade do solo e o sentido potencial dos fluxos hídricos. O experimento pôde demonstrar a diferença de comportamento da água no solo entre as duas situações. Sob superfície impermeabilizada o solo apresentou maiores teores e maiores gradientes verticais de umidade, sobretudo no período de estiagem (até novembro de 2003). Na área não impermeabilizada houve menores teores de umidade e o solo comportou-se praticamente como um horizonte apenas, com teor de umidade muito baixo, até os 200cm de profundidade, nesse mesmo período. A cobertura de bloquetes é uma opção de pavimentação que pode causar um impacto um pouco menor do que as coberturas contínuas (asfalto ou concreto), pois permite que uma parte da água precipitada, ainda que pequena e apenas no caso de eventos pluviométricos em torno e acima de 10mm, infiltre no solo.



## INTRODUÇÃO

O conhecimento do comportamento da água nos solos tem grande importância nos estudos hidrológicos. O processo de compactação e impermeabilização do solo nos centros urbanos vem influenciando o comportamento natural da água no solo e modificando o ciclo hidrológico.

Este trabalho teve como objetivo levantar hipóteses do comportamento hídrico do solo em duas condições; o solo impermeabilizado e o solo exposto, sem cobertura vegetal. A técnica empregada foi a utilização do tensiômetro que é um instrumento de fácil construção e operação e que indica, indiretamente, os teores de umidade no solo.

O trabalho é resultado de pesquisa de iniciação científica desenvolvida com auxílio de bolsa de pesquisa oferecida pelo Centro Universitário de Belo Horizonte UNI BH, do Curso de Geografia e Análise Ambiental.

## ÁREA DE ESTUDO

Os estudos foram realizados na “Estação de Estudo de Hidrologia do Solo” no Campus Estoril do UNI BH, localizado na parte sudoeste do município de Belo Horizonte, a 940 metros de altitude, nas seguintes coordenadas geográficas 19° 58’ Sul e 43° 58’ Oeste. O Centro Universitário de Belo Horizonte – UNI-BH e a referida Estação ocupam o terreno da antiga sede da construtora Mendes Júnior, construída no final da década de 70, onde foi feito intenso serviço de terraplanagem por meio de cortes e aterros. A Estação localiza-se, especificamente, no antigo pátio da construtora, em uma área de aterro, plana. Seu solo predominante possui textura argilosa e foi compactado devido à operação de máquinas pesadas. A área da Estação compreende 60m<sup>2</sup>, dos quais 40m<sup>2</sup> são impermeabilizados com bloquetes de concreto e o restante apresenta solo exposto.

## CONCEITOS ENERGÉTICOS DA ÁGUA NO SOLO

Ao se utilizarem os tensiômetros, trabalha-se com dados de pressão, parâmetro que no solo depende de algumas variáveis, tais como o teor de umidade, o tamanho e o tipo de porosidade, a profundidade, a carga elétrica das soluções. “O potencial de pressão está



relacionado às forças resultantes da atração da água pela matriz do solo. Quando a água do solo está sob pressão hidrostática maior que a atmosférica, o seu potencial de pressão é considerado positivo; quando em situação contrária, ou seja, submetida a uma subpressão (tensão ou sucção), o potencial de pressão é negativo (Fernandes et. al, 1989)”. O valor de pressão resultante, final, denomina-se potencial total da água no solo ( $\psi$ ), que depende, fundamentalmente, dos potenciais matricial ( $\psi_m$ ) e gravitacional ( $\psi_g$ ), segundo a equação:  $\psi = \psi_m + \psi_g$ . O potencial matricial ( $\psi_m$ ) é função do valor da pressão da água no solo em relação à pressão atmosférica e representa a força de retenção da água pela matriz do solo. O potencial gravitacional ( $\psi_g$ ) considera a diferença de altura entre a cápsula porosa do tensiômetro e um referencial, usualmente a superfície do solo. Por meio da observação da variação do potencial total com a profundidade (gradiente de pressão) levantam-se hipóteses sobre o funcionamento hídrico do solo.

## METODOLOGIA

Para o experimento foram implantadas duas baterias de tensiômetros, separadas por 13 m de distância, uma na área impermeabilizada e uma na área não-impermeabilizada.

### **O instrumento**

Segundo Neto (1994), um tensiômetro consiste em uma cápsula porosa de cerâmica, preenchida com água e conectada a um manômetro. Ao se instalar o instrumento, a água de seu interior entra em contato com a solução do solo por meio da cápsula de cerâmica e tende a se equilibrar com o solo. Como a água do solo geralmente encontra-se sob pressão sub-atmosférica, estabelece-se um gradiente de pressão e o solo exerce uma sucção que retira a água do tensiômetro, diminuindo sua pressão hidrostática. Assim, as variações de pressão resultantes do umedecimento e da secagem do solo são registradas no manômetro. O tensiômetro mede a força com que a água esta sendo retida pelo solo indicando de forma indireta o seu teor de umidade.

A faixa de potencial matricial que pode ser medida pelo tensiômetro é geralmente limitada a valores de -1 atmosfera. Isto acontece porque a cerâmica é permeável e porosa; a sucção muito alta causa entrada de ar na cápsula. A sucção do solo continuará a crescer, sob estas condições, entretanto não será medida pelo tensiômetro (Hillel, 1982, citado por Bueno, 1997).



O tensiômetro utilizado no trabalho foi o da marca *SDEC*, que consiste em um tubo plástico transparente preenchido com de água e que possui na extremidade superior uma rolha de silicone e na inferior uma cápsula porosa de cerâmica, por onde a água pode entrar e sair, dependendo das condições de umidade do solo. A leitura é feita utilizando-se o tensímetro, que consiste em um manômetro conectado a uma agulha. O tensímetro é acoplado ao tensiômetro fazendo com que a agulha atravesse a rolha de silicone, atingindo a coluna de ar que se forma sobre a coluna de água. A pressão existente dentro do tensiômetro, que está em equilíbrio com a pressão do solo, é registrada em hpa (hectopascals).

### **Instalação dos instrumentos**

Para o estudo foram delimitadas duas parcelas da área, a primeira impermeabilizada com bloquetes de concreto de forma poligonal, com espessura de 7 cm, e área superficial aproximada de 180 cm<sup>2</sup> (Figura 1). Os bloquetes são instalados de maneira que as faces se ajustem entre si. A segunda parcela, não impermeabilizada, apresenta solo exposto (sem cobertura vegetal).

Em cada parcela foram instalados 6 tensiômetros nas profundidades de 20, 60, 90, 120, 160 e 200cm, constituindo as Baterias 1 e 2. Sua instalação foi feita com o auxílio de trado com diâmetro um pouco maior que o diâmetro do tensiômetro e o excesso de espaço foi vedado com argila.

Na Bateria 1, situada a 10m metros de distância da área não-impermeabilizada, houve a retirada de quatro bloquetes, dando origem a orifícios separados entre si por um metro. No orifício 1 instalaram-se os tensiômetros 20 e 160cm; no orifício 2 o tensiômetro de 60cm; no orifício 3 os tensiômetros de 90 e 200cm e no orifício 4 o tensiômetro de 120cm (Figura 2). Esse critério de instalação de pares de tensiômetros em profundidades diferenciadas justifica-se pela necessidade de evitar interferências entre os instrumentos. Na borda dos orifícios foi elaborado um ressalto de 1,5cm e os tensiômetros foram protegidos por baldes plásticos perfurados (Figura 3). Essas duas medidas visaram evitar que a água da chuva penetrasse no solo pelos orifícios dos bloquetes retirados, comprometendo o experimento.

O mesmo procedimento de instalação dos tensiômetros ocorreu na bateria 2 porém sem a necessidade de abertura de orifícios e do uso dos baldes, pois a área não é impermeabilizada.



Op Figura 3: Baldes perfurados utilizados para evitar entrada de água da chuva pelos orifícios onde se instalaram os tensiômetros na Bateria 1.

As leituras foram feitas diariamente durante 7 meses (março a novembro/2005), às 12 horas, exceto aos domingos e feriados e durante o mês de julho.

A recarga da água dos tensiômetros (refluxagem), procedimento necessário para compensar a entrada de ar pela cápsula, que ocorre sobretudo quando o solo está mais seco, foi realizada sempre que a coluna de ar atingia altura próxima de 15 cm. Foi realizada utilizando uma seringa por meio da qual a água foi injetada no interior do tubo, através da rolha de silicone. Durante a refluxagem a pressão no interior do tensiômetro se iguala a zero. Após alguns minutos ou horas espera-se que se restabeleça o equilíbrio entre a pressão da água no solo e a pressão no interior do tensiômetro.

A partir dos valores de pressão lidos no tensiômetro, zerado a cada leitura, segundo a pressão atmosférica, foram calculados o potencial matricial ( $\psi_m$ ) – em hpa e em metros de H<sub>2</sub>O – e o potencial total ( $\psi$ ) – em metros de H<sub>2</sub>O – da água no solo utilizando-se o software Excel. Os valores de foram obtidos utilizando-se as seguintes equações:

$$\bullet \quad \psi_m(hpa) = p + (z + 15 - 0,5 - a)\delta g$$

onde  $p$  é o valor lido no tensiômetro;  $z$  (cm) é a profundidade do tensiômetro; 15 (cm) é a altura do tensiômetro acima da superfície; 0,5 (cm) é a altura da rolha de silicone;  $a$  é a altura da coluna de ar no interior do tensiômetro;  $\delta$  é a densidade do líquido (H<sub>2</sub>O) e  $g$  é a aceleração da gravidade.

$$\bullet \quad \psi_m(m) = \psi_m(hpa) / 98,1$$

$$\bullet \quad \psi(m) = \psi_m(m) - z(m)$$

### Dados pluviométricos

Para uma análise mais completa do funcionamento hídrico do solo é importante comparar os dados tensiométricos com os dados pluviométricos. Os dados pluviométricos foram obtidos por meio do *site* do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET- 5º Distrito de Meteorologia ([www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)) localizado na parte sul do município de Belo Horizonte a 915 metros de altitude – coordenadas geográficas 19º 56' Sul e 43º 56' Oeste, a 4,5 km de distância em linha reta da área do experimento.

## RESULTADOS

### Bateria 1:



Os resultados referentes à Bateria 1 são representados nas Figuras 4 e 5A.

Na Figura 4 verifica-se que, ao longo de todo o período do experimento, distinguem-se dois comportamentos tensiométricos: no primeiro, de março até o início de novembro (01/11), tem-se uma tendência geral de decréscimo de potenciais totais e aumento de amplitude dos valores entre tensiômetros. Ao final desse período foram registrados os menores valores médios de potencial total. A partir 02/11 tem-se outro comportamento: uma elevação geral do potencial total e maior oscilação dos valores.

Os valores mínimos extremos ( $-7,5$  e  $-8$  mH<sub>2</sub>O) foram observados em duas ocasiões: no final de agosto e final de outubro.

A Figura 5A refere-se ao período de setembro ao final de novembro. Observa-se uma certa homogeneidade no comportamento dos tensiômetros, com pequenas oscilações, e valores aproximadamente constantes de setembro até o início de novembro (01/11) exceto para o tensiômetro profundidade 20 cm de profundidade que tem seus valores aumentados após 24/10/2003, antecipando-se aos demais. Nesse período os valores estão compreendidos entre  $-2$  a  $-8$  mH<sub>2</sub>O, havendo assim, uma amplitude elevada entre os tensiômetros.

Do início de novembro até 22/11 verifica-se um segundo tipo de comportamento para todos os tensiômetros. Seus valores aumentam e tendem a sofrer maiores oscilações.

Após 22/11 um terceiro tipo de comportamento configura-se: os valores mantêm-se mais elevados, com menor oscilação e amplitude máxima de cerca de  $-5$  m (H<sub>2</sub>O) entre si.

#### **Bateria 2:**

Os resultados referentes à Bateria 2 são representados na Figura 5B. Observa-se que, de setembro ao início de novembro os tensiômetros estão todos com valores baixos, na faixa entre  $-4$  mH<sub>2</sub>O (tensiômetro de 90 cm) e  $-8$  mH<sub>2</sub>O (tensiômetro de 120 cm).

No período de 02/11 à 23/11 percebe-se uma oscilação dos valores em todos os tensiômetros, que passam a apresentar grande amplitude.

A partir de 23/11, os valores de todos tensiômetros encontram-se superiores a  $-2$ mH<sub>2</sub>O, registrando-se pequena amplitude entre eles e baixa taxa de oscilação.

#### **Precipitação pluviométrica:**

A precipitação pluviométrica no período de setembro ao final de novembro de 2003 estão representados na Figura 5C. A altura da precipitação total no período foi 242,6mm.



Verificou-se a existência de dois padrões de precipitação bastante nítidos quando se trata da distribuição e amplitude dos eventos pluviométricos ao longo do experimento:

- até 01/11, precipitações mais esparsas e de baixa altura (3mm em média).
- após 01/11, precipitação mais freqüente e de maior altura (média de 28 mm, com máxima de 37 mm em 01/11).



---

### **O procedimento de refluxagem:**

A Figura 6 representa os dados tensiométricos no período de 29/09 a 04/10, quando não foram registrados eventos pluviométricos. Verificou-se, nesse período, uma oscilação dos valores dos tensiômetros: no dia 01/10, elevaram-se os valores dos tensiômetros A90 e A160. No dia seguinte, elevaram-se os valores dos tensiômetros A60, A120 e A200. Esse comportamento foi observado, em todos os casos, no dia seguinte após a realização do procedimento de refluxagem.

### **DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

- O período do experimento apresentou dois tipos de comportamento hídrico geral, registrados pelos tensiômetros da Bateria 1 no primeiro semestre e pelos dados pluviométricos e tensiométricos das Baterias 1 e 2, no segundo semestre. Isso revela que o comportamento pluviométrico característico do verão, com chuvas mais freqüentes e de maior altura, iniciou-se, de fato, no começo de novembro de 2003.
- Na área impermeabilizada (Bateria 1), o teor de umidade do solo apresentou grande diferença em função de profundidade, no período entre setembro e início de novembro. A parte mais próxima da superfície apresentou-se mais seca enquanto a mais profunda (200cm) encontrou-se mais úmida. Na área não-impermeabilizada (Bateria 2) isso não se verificou. O solo comportou-se, até os 200cm, aproximadamente como um só horizonte do ponto de vista hídrico, com valores de tensão baixos (solo seco).
- Os tensiômetros da área impermeabilizada não responderam aos eventos de precipitação de baixa altura que ocorreram, no segundo semestre, até 01/11. Entretanto, os eventos pluviométricos de maior altura, que ocorreram a partir de 02/11, foram registrados. Isso sugere duas hipótese, não excludentes: 1°. a ocorrência de fluxo lateral de água da área não-impermeabilizada, adjacente, para o solo da área impermeabilizada, durante o período de eventos pluviométricos mais intensos e freqüentes, e 2°. a infiltração vertical de água nos planos de contato entre bloquetes nesse mesmo período. Essa segunda hipótese é reforçada quando observa-se que o evento pluviométrico de 24/10, com 10,6mm, é registrado apenas no tensiômetro de 20cm da Bateria 1, o que indica um aumento da umidade apenas na primeira camada do





=====  
solo, e, conseqüentemente, a ocorrência de infiltração vertical e não do fluxo lateral, que teria afetado outros tensiômetros.

- O procedimento de refluxagem interferiu nos valores registrados pelos tensiômetros, mesmo com as leituras tendo sido feitas 24 horas após sua realização. Isso pode ter ocorrido em função dos elevados teores de argila e ao alto grau de compactação do solo, o que provavelmente estendeu o período de tempo necessário para o reequilíbrio da pressão entre solo e tensiômetro.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento da água no solo apresentou diferenças entre as áreas impermeabilizada e não-impermeabilizada. Sob superfície impermeabilizada o teor de umidade foi sempre mais elevado, verificando-se, também, a configuração de um gradiente vertical elevado entre a parte superficial e os 200cm de profundidade, mesmo durante a estação seca. Sob superfície não-impermeabilizada o volume de solo entre 0 e 200cm de profundidade comporta-se praticamente como um só horizonte, bastante desidratado, até o início das chuvas mais freqüentes e de maior altura, em novembro. Isso significa que os bloquetes reduzem a intensidade dos fluxos ascendentes dentro do solo (dificulta a evaporação), mantendo as camadas inferiores mais úmidas.

O uso de bloquetes como forma de pavimentação significa um grau de impermeabilização elevado, mas não total, como no caso de uma cobertura contínua de asfalto ou concreto. Quando ocorrem eventos pluviométricos de cerca de 10mm ou de maior altura a água atravessa a superfície nos contatos entre os bloquetes e chega a atingir os 20 cm superiores do solo. Isso mostra que esse tipo de cobertura descontínua permite que um percentual da água precipitada, ainda que pequeno, infiltre e não contribua para o aumento dos fluxos hídricos superficiais.



FIGURAS



Figura 1: bloquetes utilizados na pavimentação da superfície do solo na Estação de Estudos de Hidrologia do Solo – UNI-BH.

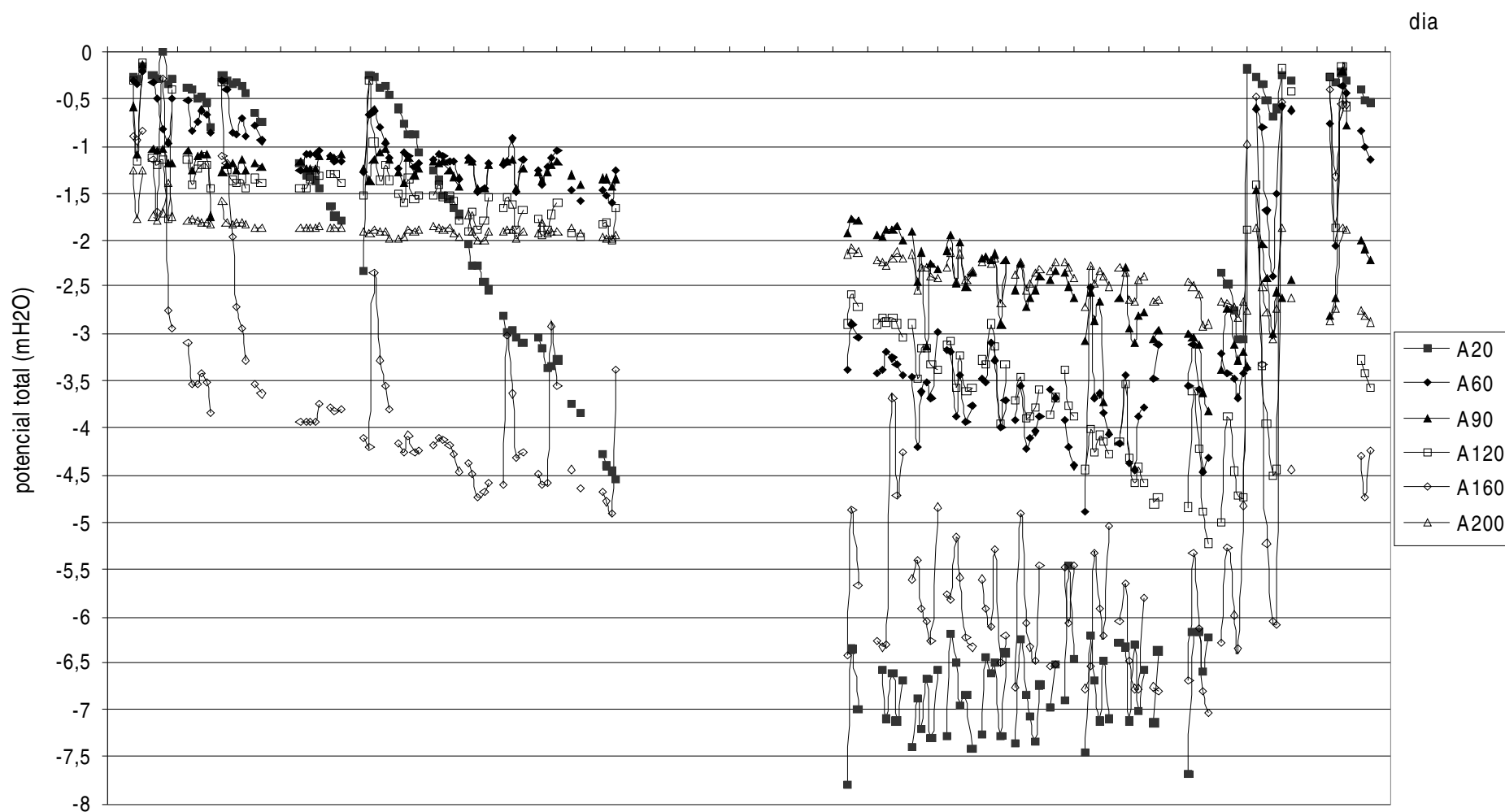


Figura 2: Instalação dos tensiômetros em um dos orifícios abertos com a retirada de bloquete na Bateria 1.





Figura 4: Variação do Potencial Total na Bateria 1 - Março a Novembro de 2003





*V Simpósio Nacional de Geomorfologia  
I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia  
UFSM - RS, 02 a 07 de Agosto de 2004*

---



Figura 5A: Variação do Potencial Total na Bateria 1 - Setembro a Novembro de 2003

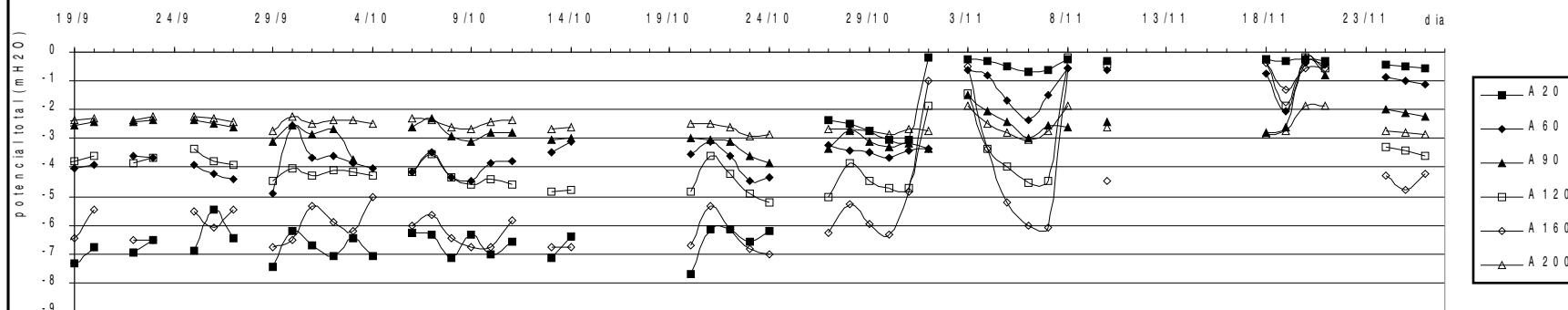


Figura 5B: Variação do Potencial Total na Bateria 2 - Setembro a Novembro de 2003

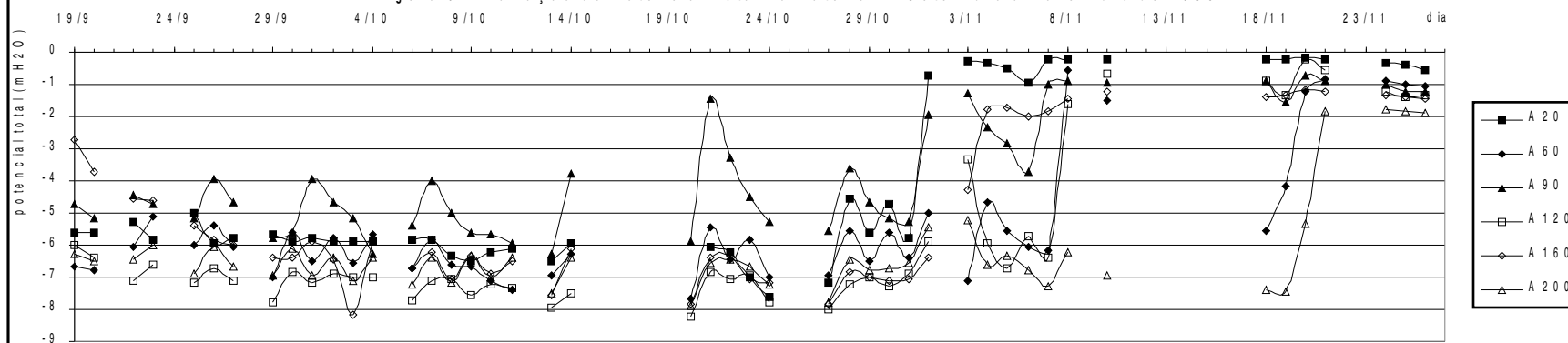
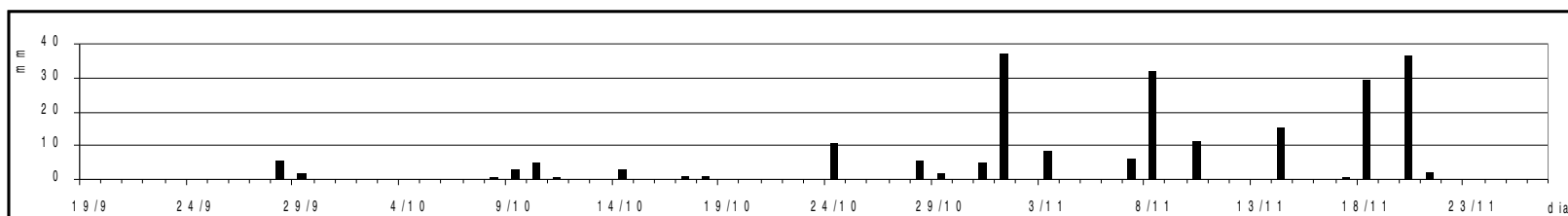
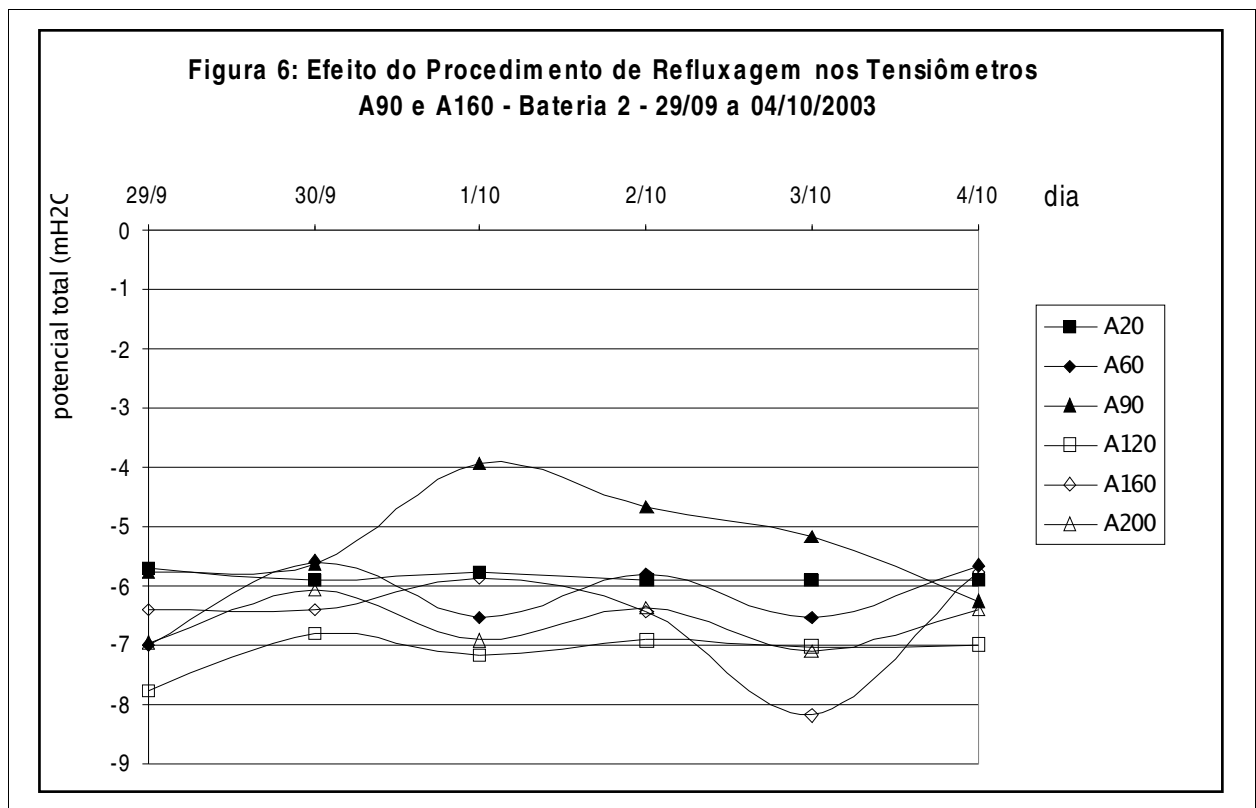


Figura 5C: Precipitação Pluviométrica - Setembro a Novembro de 2003





## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BUENO, G. T. Estudo do Comportamento da Água no Solo na Região de Gouveia, MG com o Uso de Tensiômetros. **Monografia de graduação**. UFMG, Belo Horizonte, 1997, p. 86.

FERNANDES, Nelson F; NETTO, Ana L Coelho; DEUS, Carlos E. Monitoramento dos Fluxos d'Água no Solo: instrumentação alternativa. **3º Simpósio de Geografia Física Aplicada**. Nova Friburgo, 1989. P. 71 – 87.

NETO, M. D. A. Métodos de Medição da Água no Solo: Uma Breve Discussão. **Geonomos**, 1994, pp. 51 – 61.

[www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br), acesso em 28/09/2003.