

Capítulo 2

2.1 – Medida direta do teor de umidade

Os solos/sedimentos inconsolidados possuem poros de variadas formas e dimensões que lhes condicionam um comportamento peculiar. A fração que mais decisivamente determina o comportamento físico é a fração argila (diâmetros menores que $0,002\text{ mm}$). Ela possui a maior área específica - área por unidade de massa - e, por isso, é a fração mais ativa nos processos físico-químicos. As partículas de argila são responsáveis pelos processos de expansão e contração do solo/sedimento quando absorve ou perde água. A maioria delas é carregada negativamente e, por causa disto, formam uma camada eletrostática dupla devido aos íons da solução no solo e às moléculas dipolares da água.

As areias (diâmetros de $0,05\text{ mm}$ a $2,0\text{ mm}$) têm áreas específicas relativamente pequenas e, conseqüentemente, não mostram grande atividade físico-química. São importantes na macroporosidade (material bem agregado que apresenta uma boa quantidade de poros de tamanho relativamente grande) do meio onde predominam fenômenos capilares, quando o solo/sedimento encontra-se próximo da saturação.

A determinação quantitativa da fração líquida ou simplesmente do teor de umidade do solo é feita de várias formas, dependendo da finalidade do estudo. Em nosso trabalho, utilizamos o teor de umidade natural (u) e o teor de umidade volumétrico (θ).

2.1.1 – Teor de umidade natural (u)

Para os ensaios de teor de umidade natural ou teor de umidade à base de peso, as amostras foram coletadas em alguns pontos da linha geofísica (Figura 2.1) com um trado mecânico a intervalos de 0,5 m desde a superfície do terreno até a profundidade aproximada de 4,0 m (referente ao N.A. – medido periodicamente).

Essas amostras foram colocadas em recipientes previamente pesados e lacrados para não perder o teor de umidade original.

O procedimento de análise foi relativamente simples: as amostras de cada horizonte foram pesadas e colocadas numa estufa de ventilação forçada a 105° C por 24h; em seguida foram pesadas (amostras secas), sendo a diferença entre estas massas a massa de água. De acordo com Reichardt (1985), a amostra pode ter massa entre 50g e 500g e sua estrutura pode ser deformada, servindo, portanto, amostras retiradas no campo com qualquer instrumento (trado, pá, enxada, colher etc.). Sendo assim, o teor de umidade à base de peso pode ser calculado dessa maneira:

$$u = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \quad (2.1)$$

onde: m_1 = massa úmida e m_2 = massa seca.

A umidade $u(g/g)$ é freqüentemente apresentada em porcentagem:

$$u(\%) = u \cdot 100 \quad (2.2)$$



Figura 2.1 – Amostras do solo sendo coletadas na linha geofísica e colocadas em recipientes adequados

Determinamos, baseado na umidade natural, o perfil do teor de umidade para todas as campanhas (Figura 2.2), as quais foram realizadas em 3 períodos distintos de pluviometria, como será relatado mais adiante. As amostras foram coletadas na linha geofísica (Figura 4.2), nos seguintes pontos a partir da origem: 8,10 m em janeiro/2004; 20,0 m em abril/2004 e 0,1 m em setembro/2004.

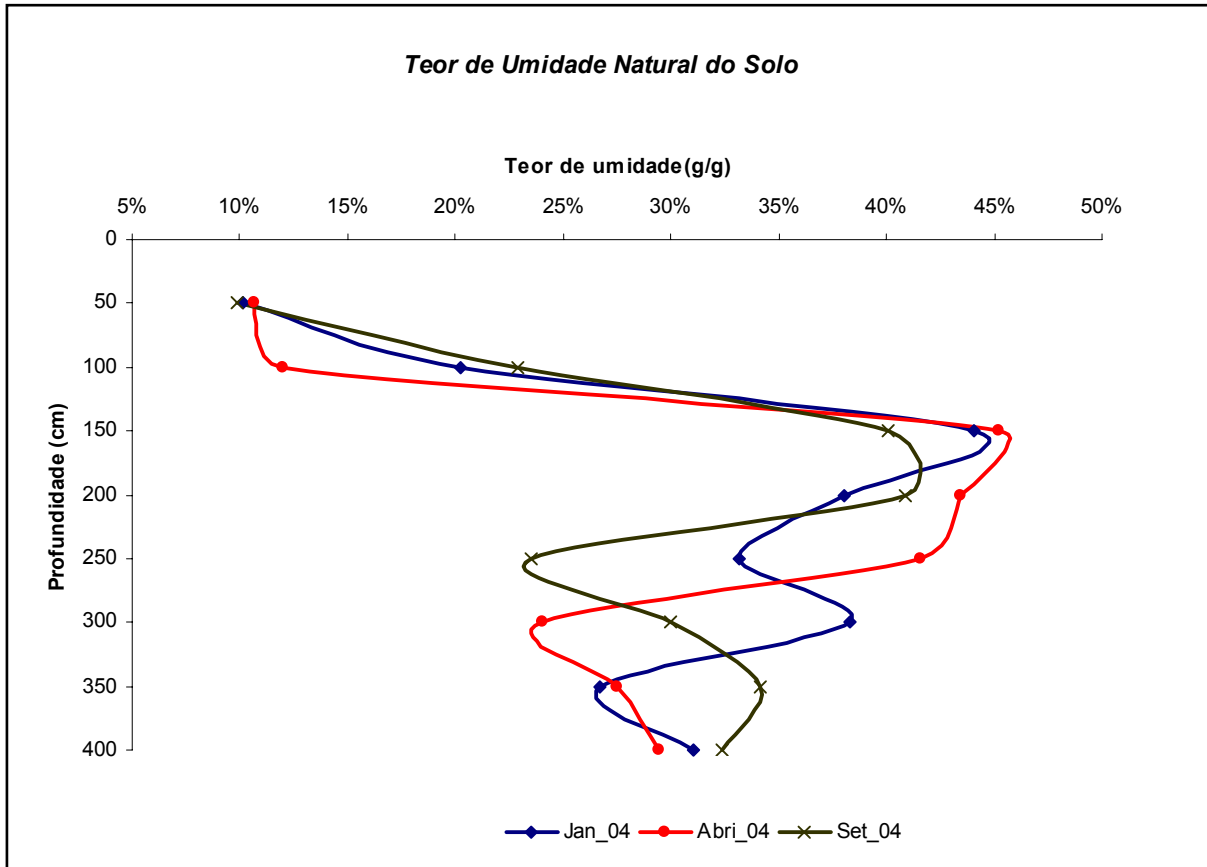


Figura 2.2 – Perfis dos teores de umidade natural para todas as campanhas: janeiro/2004 (período chuvoso), abril/2004 (período intermediário) e setembro/2004 (período seco)

De acordo com a Figura 2.2 os teores de umidade assumem valores mínimos e máximos aproximados de 10% e 46%, sendo que o valor máximo está associado a uma lente de argila bem plástica, cujo topo se situa próximo à profundidade de 1,5 m e que, com o aumento da profundidade, vai gradando para areia, resultando em teores de umidade menores (Figura 4.4 e Tabela 4.1).

2.1.2 – Teor de umidade volumétrico (θ)

Para se obter o teor de umidade volumétrico ou teor de umidade à base de volume as amostras não podem ter sua estrutura deformada (Reichardt, 1985). Foi, então, necessária a abertura de uma trincheira (Figura 4.3) no local para a coleta das amostras, que também foram realizadas a intervalos de 0,5 m até a profundidade de 3,5 m. Um amostrador *Uhland* (Figura 2.3) foi utilizado, o qual possui a forma cilíndrica e volume interno de aproximadamente 298 cm³. Também foram coletadas simultaneamente amostras para obtenção do teor de umidade

natural (u). Neste caso, o procedimento adotado foi o mesmo descrito na seção anterior.

Para determinar as densidades foi empregado o método do cilindro, descrito em Klute (1986), no qual o conjunto amostras/cilindro são secados numa estufa a 105° C por 48 horas. Após esse procedimento a densidade do solo (D_s) é obtida da seguinte maneira:

$$D_s = \frac{m_{cilin / amos} - m_{cilin}}{V_{cilin}} \quad (2.3)$$

onde: $m_{cilin / amos}$ = massa do conjunto cilindro/amostra (seco); m_{cilin} = massa do cilindro e V_{cilin} = volume do cilindro.

Sendo assim, a umidade do solo à base de volume (θ) é determinada pela relação:

$$\theta = u \cdot D_s \quad (2.4)$$

onde: u = umidade natural do solo (g/g).

Ainda como assinala Reichardt (1985), a densidade do solo não varia muito em condições normais, então a massa é igual ao volume, assim a equação (2.4) terá dimensões de volume (cm^3/cm^3).



Figura 2.3 – Amostrador *Uhland* e coleta de amostras indeformadas em vários horizontes para obtenção do teor de umidade volumétrico

A medida de (θ) também é adimensional, podendo ser expressa em termos percentuais como acontece com a umidade natural (Equação 2.2). O grau de saturação S (Tabela 4.1) pode ser obtido a partir da expressão:

$$S = \frac{\theta}{\alpha} \cdot 100 \quad (2.5)$$

onde α é a porosidade.

Nos casos em que $\theta = \alpha$, o grau de saturação será de 100% - solo/sedimento saturado; para $\theta = 0$, o grau de saturação será 0, ou seja - solo/sedimento totalmente seco. Sendo assim, S indica a fração do espaço poroso que é ocupado pela água.

Com os valores de θ obtidos a partir das amostras da trincheira, determinamos o perfil do teor de umidade volumétrico do local dos ensaios para a campanha de abril/2004 (Figura 2.4).

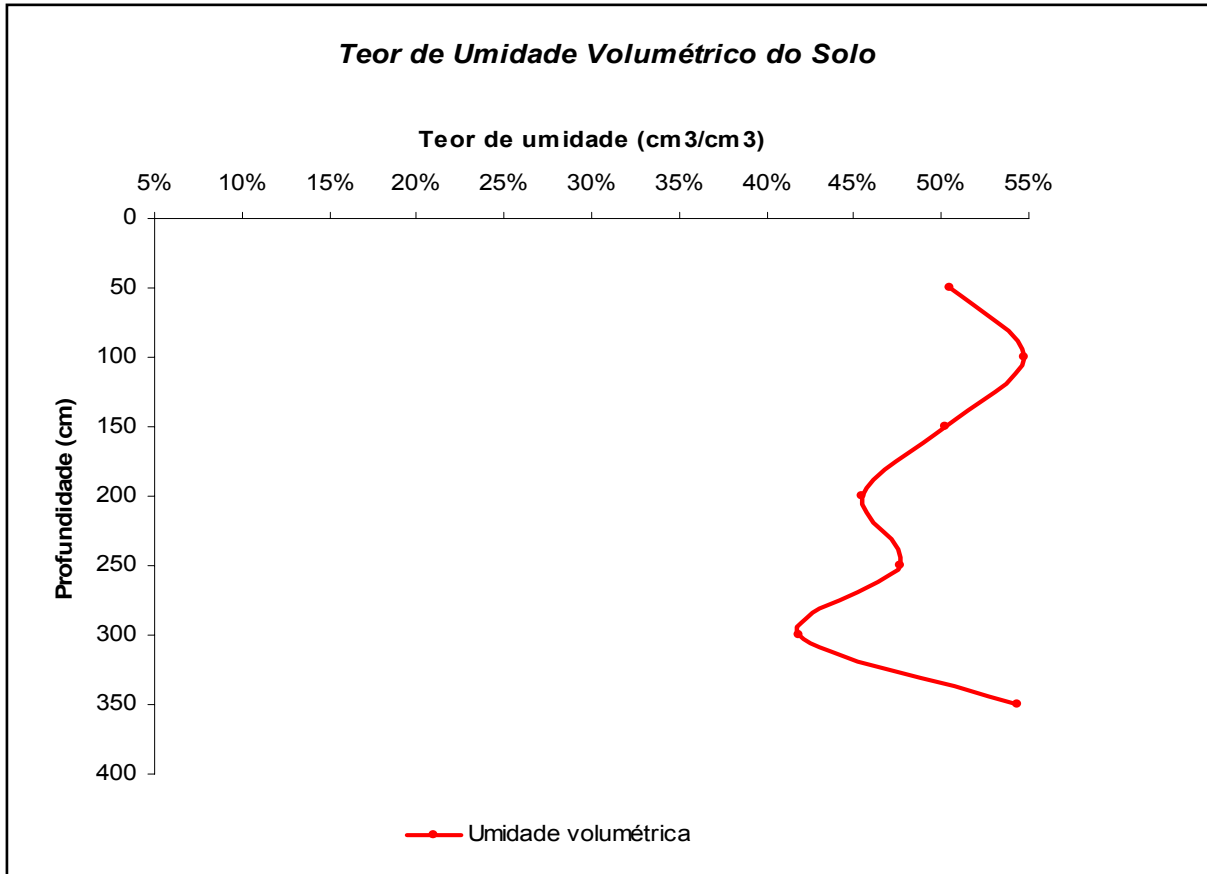


Figura 2.4 – Perfil do teor de umidade volumétrica do período intermediário (abril/2004)

Apesar do teor de umidade natural ser numericamente diferente do teor de umidade volumétrica, seus resultados retratam um comportamento semelhante (Figuras 2.2 e 2.4). O aumento brusco dos teores de umidade no intervalo de 1,0 m a 1,5 m é devido à presença de uma camada de argila nesta profundidade (Figura 4.4).

Os valores do teor de umidade volumétrica são considerados mais precisos do que os de umidade natural, porém os ensaios para sua obtenção são muito mais dispendiosos (tempo e custo). Estes fatores, mais o fato de se tratar de um ensaio que gera maiores danos ao meio, levaram-nos a programar somente um ensaio (abril/2004) com o intuito de comparar seus resultados com os obtidos das amostras de trado, os quais foram coletadas em todos os períodos.

2.2 – Monitoramento do nível d'água

O *Campus* Armando Salles de Oliveira por situar-se junto à borda da Bacia Sedimentar de São Paulo apresenta dois aquíferos distintos: o sedimentar e o cristalino.

Na Raia Olímpica, local dos ensaios, há o Aquífero Sedimentar¹ que tem o fluxo subterrâneo com sentido predominante NE em direção ao Rio Pinheiros e condutividade hidráulica em torno de 4,32 m/d (Iritani, 1993).

Iritani (1993) observou nos dados adquiridos em poços de observação entre 1988 e 1990 uma diferença das cargas hidráulicas entre as épocas de estiagem e de chuvas de 0,6 m a 3,0 m, relacionadas de forma intrínseca à pluviometria desse período. O acompanhamento da variação do N.A. com a pluviometria ilustram uma resposta dos poços de monitoramento às precipitações, tendo maiores cargas hidráulicas nos períodos chuvosos e menores nos períodos de seca.

Em 2003 o Instituto de Geociências da USP - IGc – e o *Centre Européen de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'environnement – CEREGE* – no âmbito do Projeto “Os impactos da urbanização nas águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, São Paulo” (Processo FAPESP 02/07202-3) locou três poços de monitoramento na Raia Olímpica/CEPEUSP (Centro de Práticas Esportivas da USP) os quais foram disponibilizados para o monitoramento durante o período de nosso estudo.

O monitoramento do N.A. foi feito de forma manual com um medidor de continuidade desenvolvido pelo Laboratório de Geofísica Aplicada – LIGA – nos poços de monitoramento multiníveis PM-1R (profundidade 4,49 m e condutividade hidráulica $1,21 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) e PM-3R (profundidade 4,67 m e condutividade hidráulica $2,45 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) (Figura 2.5).

¹ Aquífero composto pela água armazenada nos interstícios granulares dos sedimentos Terciários e Quaternários da Bacia de São Paulo.

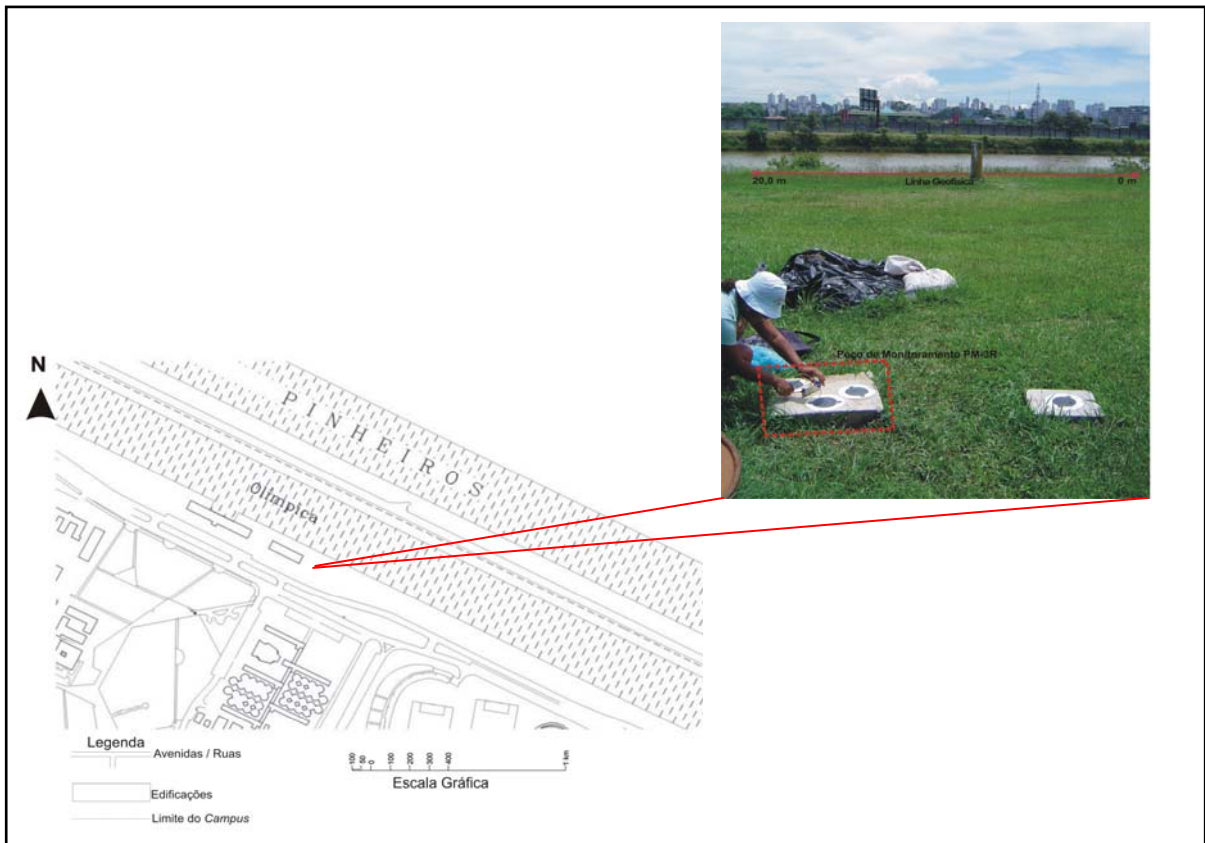


Figura 2.5 – Localização dos poços de monitoramento na Cidade Universitária

Os valores dos N.A. foram obtidos de forma periódica durante todos os meses de duração da pesquisa e nos dias de realização dos ensaios (Figura 2.6).

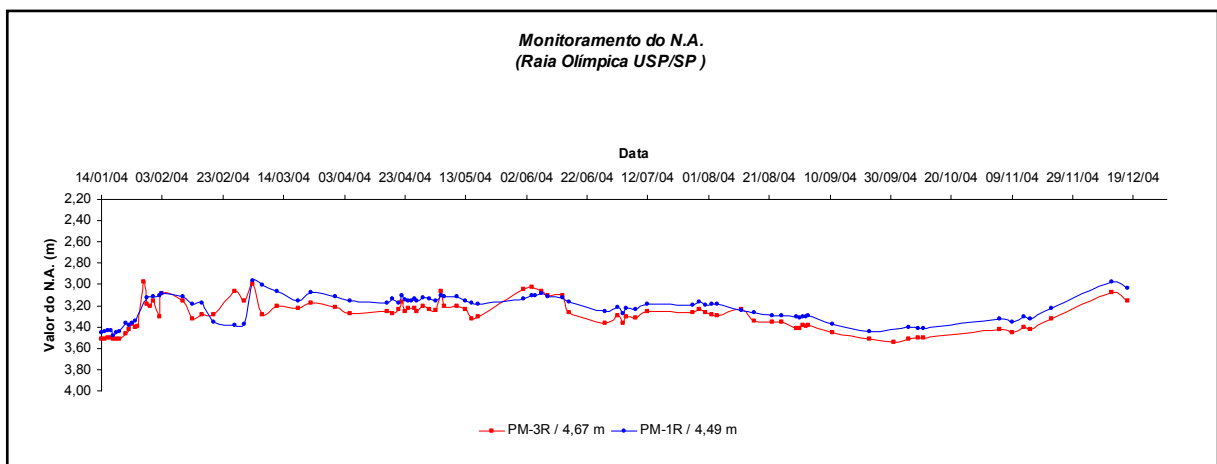


Figura 2.6 – Valores do N.A. nos poços de monitoramento PM-1R e PM-3R, localizados na Raia Olímpica, CEPEUSP

Os níveis d'água medidos nos poços nos períodos dos ensaios oscilaram de 3,0 m a 3,5 m (Figura 2.6), sendo os valores mínimos associado ao período chuvoso

e os valores máximos ao período seco. Estes dados, juntamente com as informações geológicas, nos deram subsídios para interpretarmos os dados geofísicos de *GPR* e sísmica de refração.

2.3 – Monitoramento pluviométrico

De acordo com as informações da Estação Meteorológica - ACA-IAG/USP (Figura 2.7) instalada no prédio do IAG/USP, elegemos os meses de janeiro como representativo do período chuvoso, abril do período intermediário, agosto do período seco. A escolha destes períodos nos propiciou buscar uma correlação entre as variações climáticas sazonais e diferentes índices pluviométricos com as respostas geofísicas obtidas.

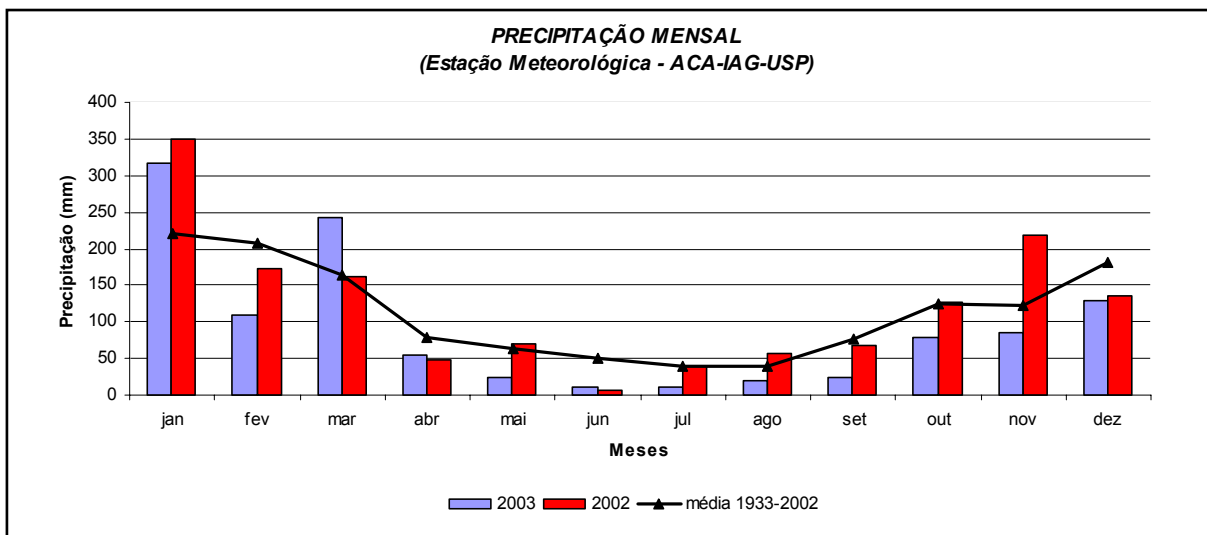


Figura 2.7 – Valores totais mensais da precipitação em 2002 e 2003, com valores médios para o período de 1933-2002

Os dados pluviométricos foram coletados mensalmente para entendermos melhor as variações sazonais nos poços de monitoramento e controlarmos de forma sistemática os levantamentos geofísicos. Conforme ilustra a Figura 2.8, a escolha dos períodos chuvoso, intermediário e seco para os ensaios foi coerente com a precipitação mensal para cada período.

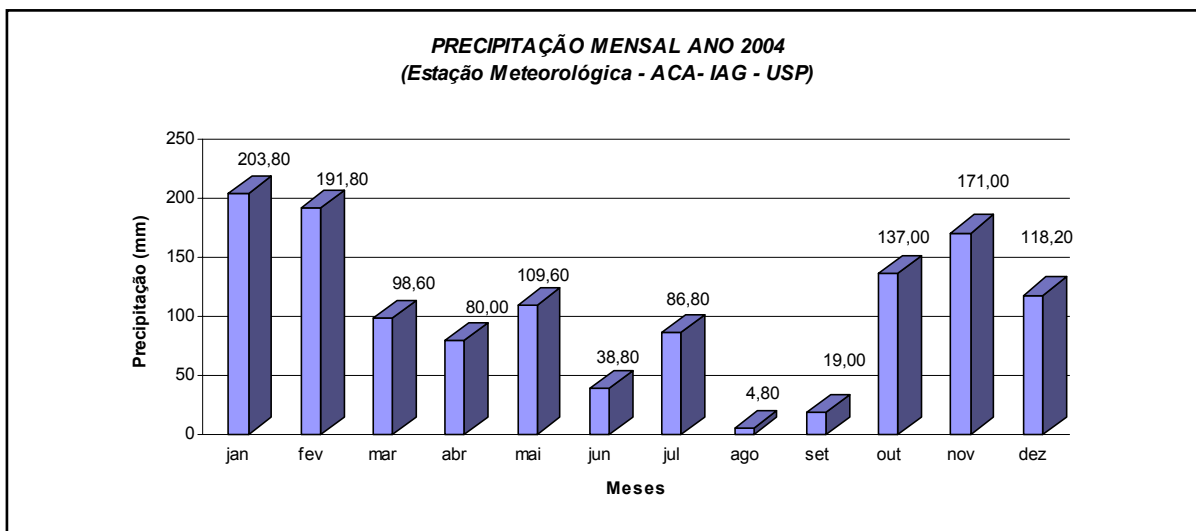


Figura 2.8 – Valores totais mensais da precipitação em 2004 na Cidade Universitária