DINÂMICA DA ÁGUA EM UM SOLO CULTIVADO COM FEIJÃO CAUPI

Bruno Bastos Sales[1]; Antonio Celso Dantas Antonino[2]; José Romualdo de Sousa Lima[3]; Willames de Albuquerque Soares[4]; Antonio Marques da Silva[5]; Eduardo Soares de Souza[6]; André Maciel Netto[2] & Carlos Alberto Brayner de Oliveira Lira[2]

RESUMO --- O trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica da água num solo cultivado com feijão caupi, em condições de sequeiro, no Brejo Paraibano, em dois períodos distintos do ano com e sem estresse hídrico. Para a realização do balanço hídrico, foram instalados numa área de 4 ha do CCA/UFPB, Areia-PB (latitude 6°58'12" S, longitude35°42'15" O, altitude: 620 m), três sítios tensio-neutrônicos contendo em cada um deles um tubo de acesso, em alumínio, para a sonda de nêutrons e oito tensiômetros. Além disso, foram realizados ensaios de infiltração para a determinação da condutividade hidráulica do solo e instalado um pluviômetro automático numa torre meteorológica no centro da área. Os resultados demonstraram que o fluxo de água no solo, para a profundidade de 60 cm nos dois períodos de cultivo do feijão caupi, ocorreu unicamente no sentido descendente (drenagem profunda), totalizando 50,6 mm e 61,4 mm, para o primeiro e segundo período de cultivo do feijão, respectivamente. A evapotranspiração total e média do feijão caupi, cultivado em condições de sequeiro no Brejo Paraibano, foi 290,1 mm e 3,62 mm d^{-1} e 184,6 mm e 2,14 mm d^{-1}, para o período sem e com estresse hídrico, respectivamente.

ABSTRACT --- The objective of this study was to evaluate the water dynamic in the soil cultivated with the cowpea crop growing in the mountain region of Paraiba, Brazil ("Brejo Paraibano") at two different periods of the year (with and without water stress). To determine the water balance in a 4 ha area of the CCA/UFPB, Areia-PB (6°58'12" S, 35°42'15" W, 620 m), in three plots, a one-meter access tube for neutron probe measurements, and 8 tensiometers were installed in each plot. Measurements of rainfall were made. Infiltration tests were performed for the determination of the soil hydraulic conductivity. The results show that the water flux at 60 cm depth occurred always downward at two cultivated periods, with 50.6 and 61.4 mm for the first and second period respectively. The total and average actual evapotranspiration of cowpea was 290.1 mm and 3.62 mm d^{-1} e 184.6 mm e 2.14 mm d^{-1}, for the period without and with water stress, respectively.

Palavras-chave: umidade volumétrica do solo, drenagem profunda, evapotranspiração

1) Mestrando em Tecnologias Energéticas e Nucleares, DEN/CTG/UFPE. Av. Prof. Luís Freire, 1000, Cidade Universitária, Recife/PE, 50740-540. e-mail: **bbastos@gmail.com**
2) Professor Associado do DEN/UFPE. Recife/PE. e-mail: **acda@ufpe.br**, **cabol@ufpe.br** **amnetto@ufpe.br**
3) Pós-Doutorando DEN/CTG/UFPE, Recife/PE. e-mail: **romualdo_solo@yahoo.com.br**
4) Doutorando em Tecnologias Energéticas e Nucleares, DEN/UFPE, Recife/PE. e-mail: **willamess@yahoo.com.br**
5) Bolsista de Apoio Técnico do CNPq, DEN/UFPE. Recife/PE. e-mail: **antmarquess@yahoo.com.br**

6) Pesquisador Dr. Bolsista DCR/CNPq da UFPB/CCA/DSER, Cidade Universitária, CEP 58397-000, Areia, PB. E-mail: edu_souza_pe@yahoo.com.br

1 - INTRODUÇÃO

O feijão caupi ou feijão macassar (*Vigna unguiculata* L. Walp), é o alimento básico das populações mais pobres, exercendo importante função social no suprimento das necessidades nutricionais, além de desempenhar papel fundamental na composição da produção agrícola brasileira, particularmente do Nordeste (Cordeiro *et al.*, 1998). Entretanto, os rendimentos obtidos com o seu cultivo ainda são extremamente baixos, geralmente inferiores a 300 kg ha^{-1} (IBGE, 2002). A alta sensibilidade do feijoeiro tanto ao déficit quanto ao excesso de água no solo, aliada às incertezas climáticas, principalmente as relacionadas com as variações pluviométricas, determinam esses baixos rendimentos e a oscilação da produção anual dessa cultura.

A produtividade das culturas agrícolas, associada às condições climáticas e edáficas, depende da disponibilidade de água e nutrientes no solo em época e quantidades apropriadas. A falta ou excesso de água no solo são fatores limitantes ao crescimento vegetal e podem diminuir a produtividade. Portanto, estudos que levem a um melhor entendimento de como a água se comporta na zona radicular de uma cultura agrícola no campo são de importância indiscutível ao adequado manejo agrícola (Cruz *et al.*, 2005).

Desse modo, é necessário que se conheça não apenas o regime pluviométrico de uma região, mas também o movimento (ascendente ou descendente), a retenção e o armazenamento da água no solo, ou seja, a sua dinâmica, para que se possa fazer um planejamento adequado das culturas que irão se estabelecer em determinadas regiões.

Para o entendimento da dinâmica da água no solo, é de fundamental importância o conhecimento da umidade volumétrica, dos potenciais da água do solo e da condutividade hidráulica do mesmo. A umidade volumétrica do solo é apenas um índice que quantifica o quanto o solo possui de água, enquanto que os potenciais da água dizem respeito aos diferentes tipos de energia potencial que atuam no sistema e podem dar indicação de como a água se encontra no solo, se parada ou em movimento (Libardi, 1995). Já a condutividade hidráulica representa a capacidade do solo em conduzir água, sendo seu valor máximo quando o solo se encontra saturado.

O conhecimento detalhado da dinâmica da água durante o desenvolvimento de uma cultura fornece elementos essenciais ao estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola que visam à otimização da produtividade (Reichardt *et al.*, 1979). Estes mesmos autores concluíram que, o estabelecimento de um balanço hídrico completo pode fornecer informações úteis para o manejo correto de diferentes culturas em diferentes solos.

Para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e as saídas, representadas pela drenagem profunda, evapotranspiração e escoamento superficial, num volume de solo, em determinado período de tempo (Libardi, 1995).

A importância do balanço hídrico como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, para a definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para a cultura, está relacionada não só ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar, escoamento superficial) como, também, ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço (Cintra *et al*., 2000).

Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica da água, por meio do método do balanço hídrico, num solo cultivado com feijão caupi, em condições de sequeiro, no Brejo Paraibano.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Localização, clima e solo da área experimental

As medidas para a realização do balanço hídrico foram efetuadas numa área de 4,0 ha localizada na fazenda Chã de Jardim, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, situado na microrregião do Brejo Paraibano, no município de Areia, Estado da Paraíba ($6^{o}58'12"$ S e $35^{o}42'15"$ O). A altitude é de aproximadamente 619 m acima do nível do mar. O clima na região, pela classificação de Köppen, é do tipo As' (quente e úmido), com estação chuvosa no período outono-inverno, sendo as maiores precipitações nos meses de junho e julho (BRASIL, 1972). O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 1999).

Na área experimental, foi realizada uma caracterização física do solo, com amostras de solo retiradas a cada 10 cm até a profundidade de 80 cm (Tabela 1). As frações de argila e de silte foram determinadas por sedimentação, após dispersão com hexametafosfato de sódio, utilizando-se o método do densímetro (Loveland e Walley, 1991). A densidade do solo foi determinada utilizando-se o método do anel volumétrico. Na Tabela 1 observa-se, que com o aumento da profundidade, há um aumento do teor de argila e conseqüentemente uma redução no teor de areia. A classificação textural até a profundidade de 40 cm é Franco Argilo Arenosa, enquanto que de 40 cm até 80 cm, a classificação textural é Argilo Arenosa.

Tabela 1 – Análise granulométrica, classificação textural e densidade do solo (ρ) da área experimental

Profundidade	Granulometria			Classificação Textural	ρ
	Areia	Silte	Argila		
(cm)	----------g kg^{-1}----------				g cm^{-3}
0-10	640,6	129,0	230,4	Franco Argilo Arenosa	1,21
10-20	617,1	152,5	230,4	Franco Argilo Arenosa	1,35
20-30	558,2	140,8	301,0	Franco Argilo Arenosa	1,35
30-40	558,2	140,8	301,0	Franco Argilo Arenosa	1,32
40-50	499,4	117,4	383,2	Argilo Arenosa	1,32
50-60	441,0	117,1	441,9	Argilo Arenosa	1,43
60-70	488,7	70,3	441,0	Argilo Arenosa	1,43
70-80	488,7	93,8	417,5	Argilo Arenosa	1,20

2.2 – Balanço Hídrico

2.2.1 *Período de medição e instrumentação*

O estudo dos componentes do balanço hídrico foi realizado em solo cultivado com o feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), em dois períodos distintos. No primeiro período, o plantio foi realizado no dia 11 de março de 2003 e a colheita realizada no dia 30 de maio de 2003. Já no segundo período, o plantio foi realizado no dia 22 de julho e a colheita foi realizada no dia 22 de outubro de 2003.

Para a determinação do balanço hídrico foram instalados três sítios tensio-neutrônicos na área experimental. Em cada sítio foi instalado um tubo de acesso, em alumínio, para a sonda de nêutrons, e 8 tensiômetros nas profundidades de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 e 120 cm. As medidas neutrônicas foram realizadas diariamente a cada 10 cm, até a profundidade de 120 cm, com uma sonda TROXLER série 4300, tendo a mesma uma fonte radioativa de Am-Be de atividade de 10 mCi (0,37 GBq). As leituras nos tensiômetros também foram realizadas diariamente.

A curva de calibração da sonda de nêutrons foi obtida do trabalho de Lima *et al.* (2005), que trabalharam na mesma área experimental, com a mesma sonda de nêutrons e com a mesma cultura.

2.2.2 *Componentes do balanço hídrico*

O balanço hídrico em determinado volume de solo, num certo período de tempo (Libardi, 1995), é descrito pela equação:

$$\Delta A = P + I + AC - D \pm R - ET \quad (1)$$

A partir da equação do balanço hídrico (equação 1), a evapotranspiração da cultura (*ET*) pode ser obtida por:

$$ET = P + I + AC - D \pm R - \Delta A \quad (2)$$

sendo, ΔA a variação de armazenamento de água no perfil de solo (mm); *P* a precipitação pluvial (mm); *I* a irrigação (mm); *AC* a ascensão capilar (mm); *D* a drenagem profunda (mm) e *R* o escoamento superficial (mm).

O termo irrigação foi nulo, pois o trabalho foi realizado em condições de sequeiro. Considerou-se que não houve escoamento superficial de água, devido o solo apresentar declive suave e serem naturalmente bem drenados. A precipitação pluvial foi monitorada por meio de um pluviógrafo automatizado instalado numa torre no centro da área.

O armazenamento acumulado de água no solo foi calculado pela regra do trapézio, considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados, desde a superfície (z = 0) até a profundidade de interesse (z = L) (Libardi, 1995), por meio da equação:

$$A_L = \int_0^L \theta(z)dz = \left[0{,}50\theta(z_0) + \sum_{i=1}^{n-1} \theta(z_i) + 0{,}50\theta(z_n) \right] \Delta z \quad (3)$$

sendo θ a umidade volumétrica do solo.

A variação no armazenamento de água no perfil de solo (ΔA) foi determinada pela diferença dos valores de umidade volumétrica do solo obtidos do perfil nos tempos inicial e final de cada período considerado, sendo expressa pela seguinte equação:

$$\Delta A = \left[\theta_{(f)} - \theta_{(i)} \right] L = A_f - A_i \quad (4)$$

sendo A_f e A_i os armazenamentos acumulados de água final e inicial, respectivamente.

O fluxo de água através da base do perfil de solo estudado (drenagem profunda ou ascensão capilar) foi estimado com base na equação de Darcy – Buckingham:

$$q = -K(\theta)\nabla\phi_t \quad (5)$$

sendo $K(\theta)$ a condutividade hidráulica não saturada e $\nabla\phi_t$ o gradiente de potencial total na direção vertical.

Os dados experimentais das curvas de retenção da água no solo, obtidos por meio dos pares dos valores umidade volumétrica do solo e de potencial matricial do solo, medidos, respectivamente, pela sonda de nêutrons e pelos tensiômetros, foram ajustados por intermédio da equação proposta por van Genuchten (1980):

$$\theta(\mathrm{h}) = \theta_\mathrm{r} + (\theta_\mathrm{S} - \theta_\mathrm{r}).\left[1 + (\alpha.\mathrm{h})^\mathrm{n}\right]^{-\mathrm{m}} \text{ com } \mathrm{m} = 1 - \frac{2}{\mathrm{n}} \quad \text{Burdine (1953)} \quad (6)$$

sendo θs a umidade volumétrica saturada do solo ($cm^3.cm^{-3}$); θr a umidade volumétrica residual ($cm^3.cm^{-3}$); h o potencial matricial (cm); α representa o inverso da pressão de borbulhamento (cm^{-1}) a partir da qual a água começa a ser drenada do solo previamente saturado; n e m são parâmetros de ajuste da equação.

A condutividade hidráulica não saturada, $K(\theta)$, foi obtida por intermédio da equação de van Genuchten (1980), utilizando a hipótese de Burdine (1953).

$$K(\theta) = K_s S_e^{\,2}\left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m\right] \quad \text{com} \quad S_e = (\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r) \quad (7)$$

sendo K_s a condutividade hidráulica ssaturada do solo e S_e a umidade efetiva.

Para estimar a condutividade hidráulica saturada do solo (K_s), realizaram-se ensaios de infiltração com infiltrômetro de anel simples com 15 cm de diâmetro na superfície e nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm, utilizando-se o método proposto por Haverkamp *et al*. (1994). Este método consiste em anotar o tempo em que volumes constantes de água levam para infiltrar no solo, sendo que esses volumes de água podem variar de 70 a 250 ml dependendo da taxa de infiltração, a fim de evitar uma carga hidráulica e conseqüente fluxo forçado no solo. A infiltração acumulada é obtida calculando-se a razão entre o volume acumulado e a área do infiltrômetro de anel (A = 176,71 cm^2).

Haverkamp *et al*. (1994) propuseram a seguinte equação para a infiltração acumulada para tempos longos:

$$I_{3D} = \left(K_s + \frac{\gamma \cdot S_o{}^2}{r \cdot \Delta\theta} \right) \cdot t + \frac{S_o{}^2}{2 \cdot (K_s) \cdot (1 - \beta c)} \cdot \ln\left(\frac{1}{\beta c} \right) \quad (8)$$

sendo r o raio do disco, K_s a condutividade hidráulica saturada, S_o a sorvidade, $\Delta\theta$ a variação de umidade, βc uma constante no intervalo ($0 < \beta c < 1$) (Haverkamp *et al*., 1994) e γ uma constante teórica, cujo valor é igual a 0,75.

A condutividade hidráulica saturada (K_s) do solo foi obtida por intermédio do ajuste, da equação (8), aos dados da infiltração acumulada em função do tempo por meio da subrotina DBCONF da IMSL (IMSL, 1989).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 1 é apresentada a evolução da umidade volumétrica do solo (média dos três sítios), para as profundidades de 10, 20, 40, 60 e 80 cm, e da precipitação pluvial para o período de 11/03/2003 a 30/05/2003 (Figura 1A) e para o período de 28/07/2003 a 22/10/2003 (Figura 1B).

Pode-se observar na figura 1 que a umidade volumétrica do solo segue a distribuição da precipitação pluvial, ou seja, ocorre um aumento ou um decréscimo da umidade volumétrica do solo quando ocorre uma maior ou uma menor quantidade de precipitação pluvial, respectivamente.

Para o primeiro período de cultivo do feijão caupi (Figura 1A) a precipitação pluvial apresentou seu maior evento, 32,4 mm, no dia 21/04/2003, representando quase 10% de toda a precipitação pluvial do período (341,4 mm). Além desse dia, apenas mais três dias alcançaram valores acima de 20 mm, quais sejam: 18/03/2003 com 28,0 mm, 20/3/2003 com 21,4 mm e 10/4/2003 com 20,6 mm. Em todos esses eventos é possível visualizar o aumento da umidade volumétrica do solo para todas as profundidades avaliadas. Por outro lado, nos períodos de menor quantidade de precipitação pluvial ocorria um decréscimo da umidade volumétrica do solo. Um exemplo disso pode ser visto nos período de 01 a 08/04/2003 e de 20 a 30/05/2003, onde em todas as profundidades avaliadas, de todos os sítios, observa-se que existiu um decréscimo da umidade volumétrica do solo, em virtude da ausência de precipitação pluvial.

Do mesmo modo que ocorreu no primeiro período (Figura 1A), a evolução da umidade volumétrica do solo para o segundo período de cultivo (Figura 1B) seguiu a distribuição da precipitação pluvial. Nesse período, a precipitação pluvial apresentou seu maior evento, 30,3 mm, no dia 16/08/2003, representando 14,0% de toda a precipitação pluvial do período (216,9 mm). Observa-se, ainda, na figura 1B, que existiu um período de déficit hídrico no solo, o qual ocorreu de 11/09/2003 a 08/10/2003.

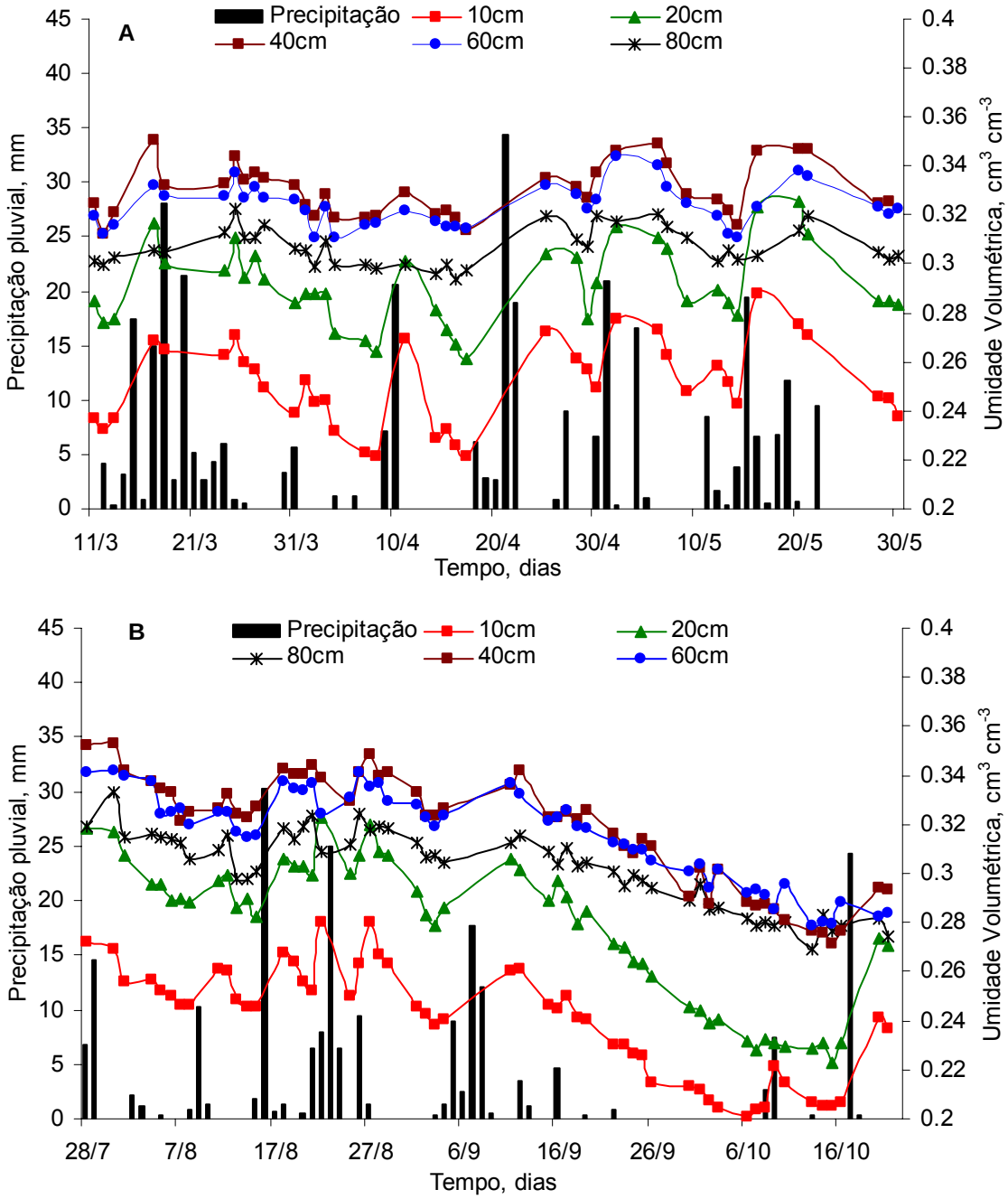

Figura 1 – Evolução da umidade volumétrica nas profundidades de 10, 20, 40, 60 e 80 cm e da precipitação pluvial em Areia-PB, nos períodos de A) 11/03/2003 a 30/05/2003 e de B) 28/07/2003 a 22/10/2003, respectivamente.

Observando-se a figura 1 mais detalhadamente, vê-se que as camadas mais superficiais (10 e 20 cm) apresentaram maiores variações nos valores de umidade volumétrica, enquanto nas camadas mais profundas (40, 60 e 80 cm) as amplitudes de variação dos valores de umidade volumétrica são menores.

A maior variação dos valores nas camadas mais superficiais pode ser explicada devido ao fato de que essas camadas, principalmente a de 10 cm, sofrem maior influência dos efeitos da demanda atmosférica e do sistema radicular da cultura, cujas raízes se concentram nas camadas mais superficiais, fatores esses, que atuando conjuntamente, são responsáveis pela retirada de água do solo. Por outro lado, nessas profundidades a recarga acontece também de forma mais efetiva.

Já nas camadas mais profundas, principalmente em 60 e 80 cm, essa menor variação dos valores de umidade volumétrica do solo se deve ao fato de que essas camadas já não sofrem efeito direto da demanda atmosférica, bem como do sistema radicular da cultura do feijão, que não está presente extraindo água. Além disso, as camadas de 60 e 80 cm apresentam um maior teor de argila, como pode ser visto da Tabela 1, o que pode contribuir para que a umidade volumétrica fique mais fortemente retida.

Na figura 2 são apresentados perfis de umidade volumétrica do solo (Figura 2A) e de potencial total da água no solo (Figura 2B), durante o primeiro período de cultivo do feijão caupi. Os dias 13 e 20/05/2003 são representativos de quando o feijão caupi se encontrava na sua fase de maior exigência hídrica, que corresponde à fase reprodutiva, sendo que nesse período (13 a 20/05/2003) a precipitação total foi de 50,0 mm, correspondendo, conseqüentemente, a um período de umedecimento do solo.

O umedecimento do solo nesse período ocorreu até a profundidade de 80 cm (Figura 2A), sendo que nas profundidades de 90, 100, 110 e 120 cm praticamente não houve variação da umidade volumétrica. Independentemente dos dias analisados, os maiores valores de umidade volumétrica do solo ocorreram nas profundidades de 40 a 60 cm, o que talvez se explique pelo maior teor de argila nessas profundidades (Tabela 1).

Os perfis de potencial total (Figura 2B) estão condizentes com o período de umedecimento do solo, uma vez que temos apenas o fenômeno de drenagem profunda, ou seja, o movimento de água no solo está se dando unicamente no sentido descendente.

Os perfis de umidade volumétrica do solo para os dias 12 e 18/09/2003 (Figura 2C) ilustram muito bem o processo de secamento do solo, já que do dia 12/09/2003 ao dia 18/09/2003 ocorreu uma precipitação total de somente 9,0 mm. Pela figura 2C pode-se afirmar que essa precipitação não foi suficiente para fazer a recarga do solo e atender a demanda de água pela cultura, que é máxima nessa fase fenológica (fase reprodutiva).

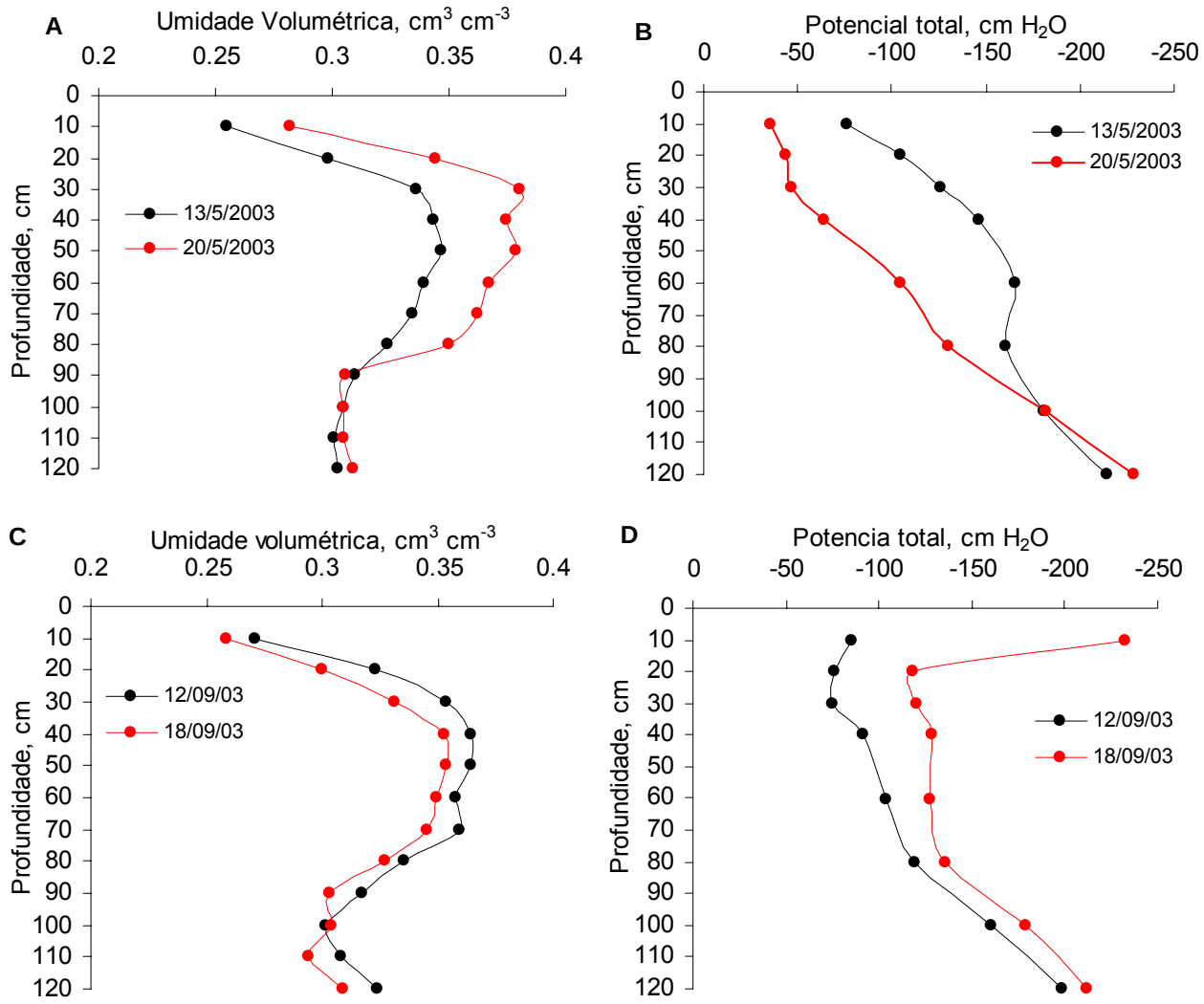

Figura 2 – Perfis de umidade volumétrica para o primeiro (A) e para o segundo (B) período e de potencial total da água no solo para o primeiro (C) e para o segundo (D) período de cultivo do feijão caupi em Areia-PB

Quanto aos valores de potencial total da água no solo (Figura 2D) nota-se, mais uma vez, que os mesmos estão condizentes com os valores de umidade volumétrica do solo, demonstrando a confiabilidade dos tensiômetros, pelo menos nessa faixa de solo mais úmida. De um modo geral, os dias 12 e 18/09/2003 se caracterizam por apresentar movimento descendente de água no perfil de solo (Figura 2D), exceção feita para as camadas mais superficiais (10 a 40 cm) para o dia 18/09/2003, onde está ocorrendo um movimento ascendente.

A evolução do fluxo de água no solo, na profundidade de 60 cm, bem como da precipitação pluvial, estão apresentados na figura 3. Observa-se que o fluxo de água no solo para os dois períodos de cultivo do feijão caupi, 11/03/2003 a 30/05/2003 (Figura 3A) e 28/07/2003 e 22/10/2003 (Figura 3B) ocorreu apenas no sentido descendente (valores negativos), ou seja, ocorreu

nesses dois períodos de cultivo o fenômeno da drenagem profunda. Vale ressaltar, que esses valores de fluxo são valores médios dos três sitos de medição.

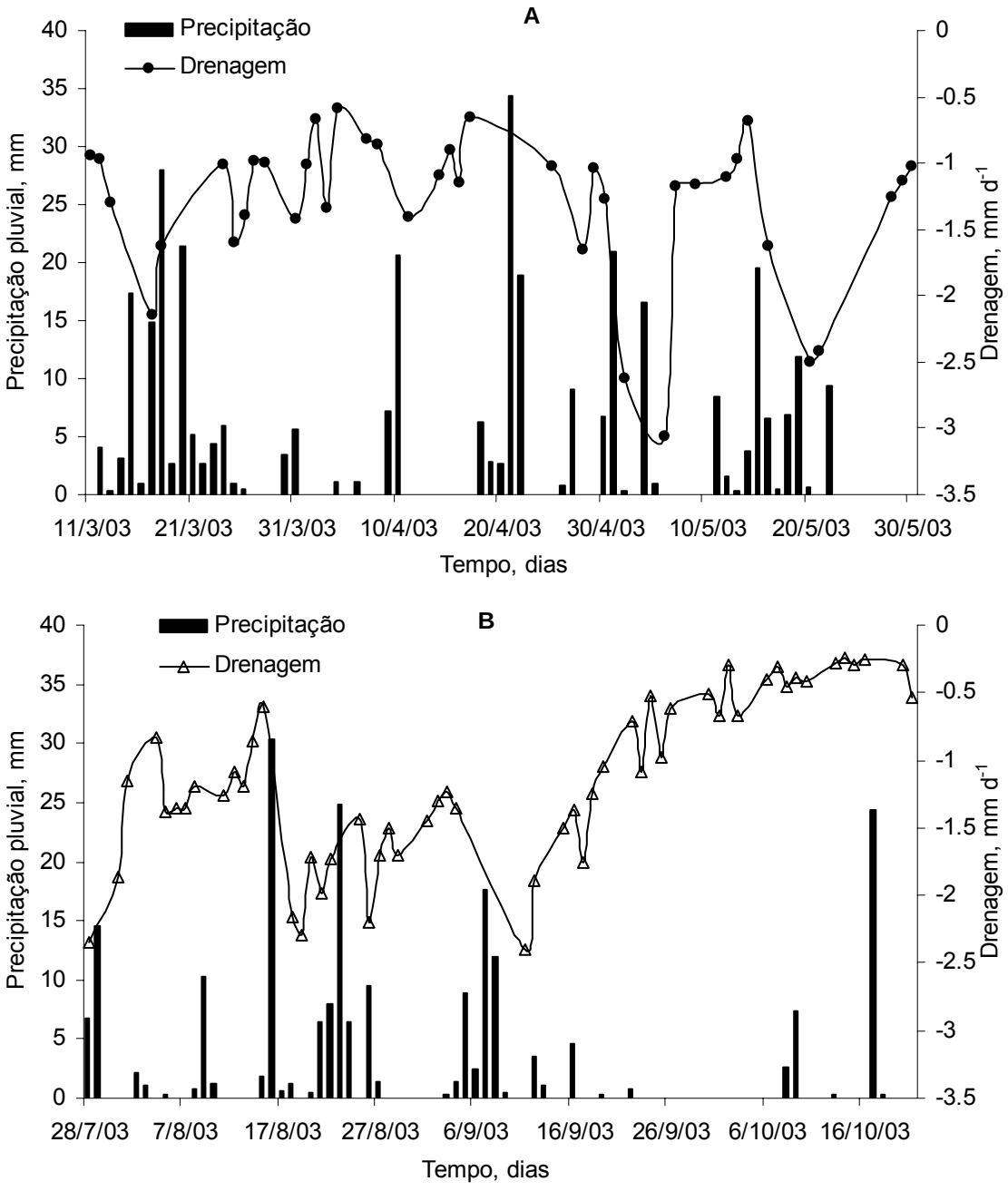

Figura 3 – Evolução da drenagem a 60 cm e da precipitação pluvial num solo cultivado com feijão caupi em Areia-PB, durante os períodos de 11/03/2003 a 30/05/2003 (A) e de 28/07/2003 a 22/10/2003 (B)

Observa-se na figura 3A que a variação do fluxo de drenagem no solo, profundidade de 60 cm, seguiu as variações da precipitação pluvial, com o maior valor (-3,05 mm) observado no dia 06/05/2003. Esse elevado valor de drenagem nesse dia pode ser explicado devido à quantidade de precipitação pluvial ocorrida do período de 30/04/2003 a 05/05/2003, que foi de 45,6 mm. Partindo

desse pressuposto, pode-se dizer que a lacuna existente entre alguns dias nas leituras de umidade volumétrica e de potencial total deve ter influenciado na estimativa do fluxo de água no solo. Por exemplo, do período de 18 a 25/04/2003 ocorreu uma precipitação de 65,0 mm, sendo que a drenagem de água no solo no dia 25/04/2003 foi de apenas -1,02 mm. Nesse período, as leituras de umidade volumétrica e de potencial total ocorreram apenas no dia 17/04/2003 e depois somente no dia 25/04/2003.

A quantidade total de drenagem no período de 11/03/2003 a 30/05/2003 (Figura 3A) foi de 50,6 mm, com um valor médio de 1,3 mm d^{-1}.

E do mesmo modo que ocorreu no primeiro período de cultivo do feijão caupi, a variação do fluxo de água no solo no segundo período (Figura 3B) seguiu as variações da precipitação pluvial. A quantidade de drenagem ocorrida no solo no período de 28/07/2003 a 22/10/2003 foi de 61,4 mm e o valor médio foi de 1,1 mm d^{-1}, sendo que o maior valor (-2,4 mm) ocorreu no dia 11/09/2003. Esse elevado valor de drenagem nesse dia explica-se devido à quantidade de precipitação ocorrida no período de 04 a 11/09/2003 que foi de 43,0 mm.

Observa-se, ainda, na figura 3B, que no período de 18/09/2003 a 07/10/2003 ocorreu uma escassez das precipitações pluviais, o que ocasionou um déficit hídrico no solo, e conseqüentemente, os valores de drenagem foram quase nulos. Desse modo, conclui-se que nesse período (28/07/2003 a 22/10/2003) não deve ter ocorrido uma subestimativa da drenagem de água no solo.

Essa constatação é corroborada pelos valores totais de drenagem ocorridas nos dois períodos de cultivo, uma vez que no primeiro período (Figura 3A) o valor total de drenagem (50,6 mm) foi menor que a do segundo período (Figura 3B), que foi de 61,4 mm, mesmo a precipitação total (314,4 mm) do primeiro período sendo bem maior que a do segundo (216,9 mm).

Na figura 4 estão apresentados os dados referentes aos componentes do balanço hídrico no solo para os dois períodos de cultivo do feijão caupi. O balanço hídrico foi efetuado para a camada de 0-60 cm, tendo em vista essa profundidade englobar todo o sistema radicular da cultura do feijão caupi.

Observa-se na figura 4, independentemente do período de cultivo do feijão caupi, que a variação do armazenamento de água no solo (ΔA) seguiu as variações da precipitação pluvial, sendo seu valor total de 0,72 mm e -29,1 mm, para os primeiro e segundo períodos, respectivamente. Os valores de drenagem profunda (D), como já comentado anteriormente, também seguiram as variações da precipitação pluvial, sendo que deve ter ocorrido uma subestimativa de seus valores no primeiro período de cultivo (Figura 4A), principalmente nos subperíodos mais chuvosos.

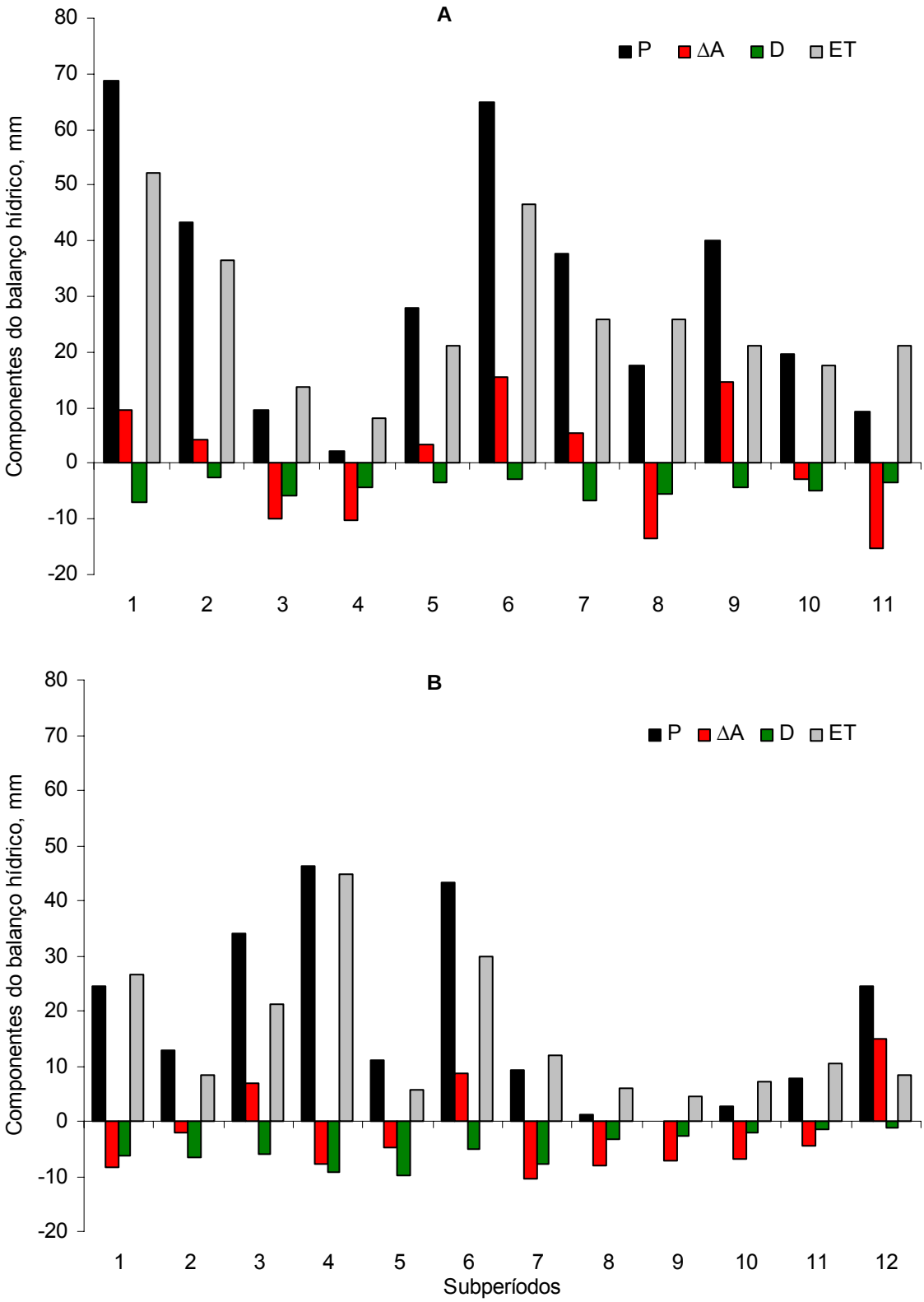

Figura 4 – Componentes do balanço hídrico num solo cultivado com feijão caupi em Areia-PB, durante os períodos de 11/03/2003 a 30/05/2003 (A) e de 28/07/2003 a 22/10/2003 (B)

Com relação à evapotranspiração (ET), observa-se na figura 4A que seus valores estão coerentes com os valores de precipitação pluvial ocorrida no período, ou seja, os maiores valores de ET ocorreram nos subperíodos de maior disponibilidade hídrica. Do mesmo modo, os valores de ET

para o segundo período de cultivo do feijão caupi (Figura 4B) estão coerentes com os valores de precipitação pluvial.

Observa-se, ainda, na figura 4B que os valores de ET foram bem menores que os valores de ET ocorridos no primeiro período de cultivo do feijão caupi (Figura 4A). O valor total de ET para o primeiro período foi de 290,1 mm e o valor médio foi de 3,62 mm d^{-1}, enquanto que para o segundo período foi de 184,6 mm e 2,14 mm d^{-1}. Essa diferença nos valores totais e médios entre a ET ocorrida nos dois períodos de cultivo do feijão caupi se explica devido à quantidade de precipitação pluvial, a qual foi bem maior no primeiro que no segundo período de cultivo. Essa menor quantidade de precipitação pluvial no segundo período contribuiu, ainda, para um menor desenvolvimento e crescimento da cultura do feijão caupi, o que também contribui para os menores valores de ET observados no segundo período deste cultivo.

4 – CONCLUSÕES

O fluxo de água no solo para os dois períodos de cultivo do feijão caupi, com e sem estresse hídrico, ocorreu somente no sentido descendente (drenagem profunda), totalizando 50,6 mm e 61,4 mm, respectivamente.

Verifica-se uma possível subestimativa da drenagem profunda para o período de cultivo sem estresse hídrico, principalmente durante os maiores eventos de precipitação pluvial.

A evapotranspiração total e média do feijão caupi, cultivado em condições de sequeiro no Brejo Paraibano, foi 290,1 mm e 3,62 mm d^{-1} e 184,6 mm e 2,14 mm d^{-1}, para um período sem e com estresse hídrico, respectivamente.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Divisão de Agrologia. (1972). *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba.* SUDENE Rio de Janeiro, 670p.

BURDINE, N. T. (1953) "*Relative permeability calculation from size distribution data*". Trans. AIME 198, pp.71-78.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. (2000) *"Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro"*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 4, pp.23-28.

CORDEIRO, L.G.; BEZERRA, F.M.L.; SANTOS, J.J.A.; MIRANDA, E.P. (1998) *"Fator de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do feijão Caupi (Vigna unguiculata (L). Walp.)."* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 2 (2), pp.153-157.

CRUZ, A.C.R.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A.; ROCHA, G.C. (2005) "*Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros"*. Revista Brasileira de Ciência do Solo 29, pp.1-10.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1999). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. EMBRAPA Solos Rio de Janeiro - RJ, 412p.

HAVERKAMP, R.; ROSS; P.J.; SMETTEM, K.R.J.; PARLANGE, J.Y. (1994). "*Three dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer. 2. Physically based infiltration equation*". Water Resource Research 30, pp.2931-2935.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2004) *Produção Agrícola Municipal: Culturas temporárias e permanentes*. 129 p.

LIBARDI, P.L. (1995). *Dinâmica da água no solo*. ESALQ Piracicaba - SP, 497p.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOUZA, C.; SOARES, W.A.; SILVA, I.F.; LIRA, C.A.B.O.; MACIEL NETTO, A.; SANTIAGO, R.D. (2005). "*Estimativa da evapotranspiração do feijão caupi utilizando os métodos dos balanços de água e de energia*". In Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, Nov. 2005, CD ROM.

LOVELAND, P.J.; WHALEY, R.W. (1991) *"Particle size analysis", In: Soil Analysis – Physical Methods.* Ed. por SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. MARCEL DEKKER, New York.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U.; CADIMAZ, A. (1979) "*Dinâmica da água em solo cultivado com milho"*. Revista Brasileira de Ciência do Solo 3, pp.1-5.

van GENUCHTEN, M.Th. (1980) "*A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*". Soil Science Society of America Journal 44, pp.892-898.