

Variações sazonais da água armazenada no solo e albedo em plantação de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), em Sertãozinho-SP.

Oswaldo M. R. Cabral ^{*(a)}, **Humberto R. da Rocha** ^(b), **Marcos A. V. Ligo** ^(a), **Helber de Freitas** ^(b)

^(a)Embrapa - Meio Ambiente Caixa Postal 69 CEP 13820-000 Jaguariúna SP *ocabral@cnpma.embrapa.br

^(b)Universidade de São Paulo IAG DCA

RESUMO

São apresentados dados obtidos em plantação de cana-de-açúcar entre os anos de 1997 e 1999, em Sertãozinho-SP (21°07'S, 48°11'W). A umidade volumétrica do solo (sonda de neutrons), indicou a absorção de água abaixo de 1m de profundidade, 4 meses após a colheita, demonstrando que o sistema radicular permanece ativo. O armazenamento de água na camada de 1,4m de profundidade variou entre 559 e 384mm, e potenciais hídricos da ordem do ponto de murcha permanente foram estimados durante o inverno. O valor do coeficiente de reflexão (albedo) da superfície logo após a colheita foi de 0,13 e quando o cultivo atingiu o máximo desenvolvimento foi de 0,26; sendo possível identificar períodos de estresse hídrico. Porém, a estimativa da biomassa através do albedo pode ser incorreta devido à ocorrência do tombamento dos colmos ao final do ciclo.

ABSTRACT

Data collected in a sugarcane plantation in Sertãozinho-SP (21°07'S, 48°11'W), during the years 1997-1999 are presented. The soil moisture (neutron probe) measured during 4 months after the harvest, exhibited water absorption down to 1m depth, which shows that the old root system is active. The 1.4m profile water storage varied between 559 and 384mm, and during the winter water potentials close to permanent wilting have been estimated. Through the surface albedo, which was 0,13 just after the harvest, and 0,26 when the crop was fully developed, it was possible the detection of water stress periods. However the correlation between the surface albedo and stand biomass towards the end of the cycle may be incorrect due to the stems bending after intense rainfalls.

1 – INTRODUÇÃO

O acúmulo de conhecimento dos processos de interação entre as diferentes superfícies vegetadas e a atmosfera (Goulden *et al.*, 1996; Miranda *et al.*, 1997; Hollinger *et al.*, 1998; Meyers, 2001), e em particular no caso do desenvolvimento de uma área agrícola em função do clima e solo (Dugas *et al.*, 1999; Grace *et al.*, 1998), possibilitam a análise dos efeitos da variabilidade interanual do clima (Lisson *et al.* 2000; Vallis *et al.*, 1996; van den Berg *et al.*, 2000), e a adequação de modelos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.

A observação de longo prazo do conteúdo de água no solo tem sido utilizada na análise dos impactos ambientais em consequência da alteração da cobertura vegetal, como a redução de recarga do lençol freático em função do reflorestamento de bacias hidrológicas (Wallace, 1995); ou sobre a introdução de espécies arbóreas de rápido crescimento em regiões semi-áridas gerando polêmica sobre a sua sustentabilidade (Calder, 1992).

O gerenciamento dos recursos hídricos, cada vez mais limitados, requer informações sobre os processos que regulam as perdas evaporativas pela vegetação, e de como os diferentes climas, espécies vegetais, tipos de solo e a disponibilidade de água interagem nestes processos (Calder, 1992; Sene, 1994).

Devido à importância da cana-de-açúcar no Brasil, que é o maior produtor mundial seguido pela Índia e Austrália, e cuja área plantada é da ordem de 4,5 milhões de hectares, dos quais 52% no Estado de São Paulo, o que representa aproximadamente 14% da sua área agrícola, foi adotado um programa observacional contínuo, e de longo prazo, abrangendo diferentes anos, para monitorar as interações entre a vegetação e a atmosfera, visando a compreensão das escalas de tempo sazonal e anual (Meyers, 2001).

2 – MATERIAL E MÉTODOS

O sítio experimental foi instalado na Usina Santa Elisa, localizada no município de Sertãozinho (21°07'S, 48°11'W), ao norte do Estado de São Paulo, no centro de uma área contínua de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) de aproximadamente 2.000 ha, um talhão de 36,2 ha foi escolhido, contendo rebrota (soca) de cana-de-açúcar variedade SP71-6180, plantada num espaçamento de 1,4m entre linhas.

Sensores de temperatura e umidade do ar (VAISALA); radiação solar global incidente e refletida (LICor); saldo de radiação (REBS); velocidade e direção do vento (RM Young), e precipitação (Texas) foram instalados acima da plantação (10m) e conectados à um sistema de aquisição de dados (CR10X, Campbell SCI), que os interrogava à cada 10 segundos, armazenando as médias de 10 minutos.

O conteúdo de água no solo foi medido semanalmente à cada 0,1m de profundidade, por uma sonda de neutrons (CPN, Boart Longyear Co., USA), através de 5 tubos de alumínio de 1,5m instalados no centro de entrelinhas alternadas de plantio. A calibração da sonda foi obtida em trincheiras de 1,5m de profundidade, das quais amostras volumétricas de solo foram retiradas e a umidade determinada após secagem em estufa de ventilação forçada (100 °C), por 48 horas. As curvas características do solo foram obtidas no Laboratório de Física de Solos da Embrapa-Meio Ambiente, através da mesa de tensão, câmara de Richards (Klute, 1990) e papel filtro (Campbell & Gee, 1990).

As estimativas dos fluxos de água no solo dependem das parametrizações da condutividade hidráulica ($K(\theta)$), e do potencial da água no solo ($\Psi(\theta)$), que foram ajustadas aos dados obtidos. As funções hidráulicas mais utilizadas nos esquemas de transferência solo-planta-atmosfera (Shao e Irannejad, 1999; Cuenca e Marht, 1996), são as funções de Clapp e Hornberger (1978), definidas como:

$$\Psi(\theta) = \Psi_s * W^{-B} \quad (1)$$

$$K(\theta) = K_s * W^{3+2B} \quad (2)$$

$$W = (\theta / \theta_s) \quad (3)$$

onde, Ψ_s (m) e K_s (ms^{-1}) representam os valores do potencial de água e a condutividade hidráulica no solo saturado, respectivamente; W é o grau de saturação; θ e θ_s são a umidade atual e de saturação (m^3m^{-3}), e B é um parâmetro que depende do solo.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Características físicas do solo do cultivo de cana-de-açúcar

O solo da cultura de cana-de-açúcar foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro (LVE), e os dados da análise textural obtidos até 1m de profundidade indicaram a seguinte composição média: 48% de argila; 16% de silte; 36% de areia, dos quais 3% foram areias grossas. A densidade média do perfil de solo foi ($1,226 \pm 0,077$) Mgm^{-3} , e a maior densidade ($1,395 \pm 0,026$) Mgm^{-3} foi observada na profundidade de 0,3m. A porosidade média do perfil foi estimada em ($0,531 \pm 0,029$) % Volume, assumindo-se o valor da densidade real do solo de $2,7 Mgm^{-3}$.

A equação (1), que descreve o potencial de água do solo em função do grau de saturação foi ajustada aos dados obtidos, produzindo os seguintes valores das constantes: $B = 8,5$; $\Psi_s = -0,51 mH_2O$; e $\theta_s = 0,565 m^3m^{-3}$. O valor da condutividade hidráulica de saturação (K_s) foi estimado em $9,45 * E-05 ms^{-1}$ (equação 2) e obtido conforme Tomasella e Hodnett (1997), considerando-se uma porosidade efetiva igual à $0,324 m^3m^{-3}$, que representa a diferença entre θ_s e o conteúdo de água sob um potencial $\Psi = -3,36 mH_2O$.

Os valores de B e Ψ_s reportados por Shao e Irannejad (1999), para um solo classificado como *Clay loam* são $8,52$ e $-0,361 mH_2O$, respectivamente; porém K_s ($2,45E-06 ms^{-1}$) e θ_s ($0,476 m^3m^{-3}$) são inferiores aos obtidos no LVE.

A calibração da sonda de nêutrons foi realizada no solo da própria cultura, obtendo-se uma curva para a camada superficial entre 0 e 0,1m e outra para o restante do perfil de solo (0,2-1,4m), dadas pelas equações:

$$\theta = (0,533 \pm 0,038) * TCR + (0,120 \pm 0,007) \quad r^2 = 0,99; \text{ camada de } 0-0,1m \quad (4a)$$

$$\theta = (0,925 \pm 0,034) * TCR - (0,142 \pm 0,012) \quad r^2 = 0,96; \text{ camada de } 0,2-1,4m \quad (4b)$$

onde, θ (m^3m^{-3}) é a umidade do solo, e TCR é a taxa de contagem relativa, que representa a contagem obtida numa determinada profundidade do solo, dividida pela contagem em um tubo de alumínio instalado num tambor contendo água (média = 21.900 contagens s^{-1}).

3.1 – As variações sazonais na precipitação e albedo da superfície

O período de observações teve início em janeiro de 1997 e prolongou-se até maio de 1999. Durante o ano de 1997 e o verão de 1998 registrou-se a ocorrência do fenômeno El Niño (Silva Dias & Marengo, 1999),

caracterizado na região sudeste do Brasil pelas precipitações anômalas e temperaturas mais elevadas durante o inverno.

A série temporal dos totais diários de precipitação registrados sobre a cultura da cana-de-açúcar, entre janeiro de 1997 e maio de 1999, é apresentada na Figura 1. O total máximo registrado foi de 90mm/dia^{-1} no final do ano de 1998. Os totais integrados ao longo dos ciclos de 97/98 e 98/99 foram 1386 e 1342mm, respectivamente. Porém, as distribuições foram diferentes, como se observa pelas precipitações em maio e junho de 1997, e o início da estação chuvosa em setembro, característicos de anos de El Niño (Silva Dias & Marengo, 1999). No verão de 1999, foram registrados dias com chuvas intensas intercalados à veranicos.

Nos três anos os totais acumulados foram inferiores à normal climatológica (1960-1991) da estação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em Ribeirão Preto, distante aproximadamente 30km do sítio experimental, e decresceram de ano a ano. Em junho de 1997 o total registrado (196mm) foi mais do que seis vezes a média, contribuindo favoravelmente para o desenvolvimento da cultura no período. Entretanto, a estação seca foi praticamente ininterrupta: entre julho e setembro foram registrados apenas 27mm; e no ano de 1998 durante o mês de agosto 37mm, as implicações serão abordadas na seção sobre a umidade do solo.

A série temporal dos coeficientes médios de reflexão (albedo) da superfície também é apresentada na Figura 1. A queda abrupta no albedo indica a ocorrência da colheita, que foi realizada no dia 100 em 1997, e no dia 469 em 1998. Logo após a colheita é efetuada a operação chamada de cultivo, através de maquinário (trator e arado) a camada superficial do solo é revolvida e os resíduos da colheita são enleirados à linhas alternadas de plantio. Como na colheita de 1997 esta operação foi realizada manualmente, o decréscimo não foi tão acentuado como em 1998, quando o maquinário foi utilizado.

A variação do albedo ao longo do tempo permite o acompanhamento do crescimento da cana-de-açúcar. Após as colheitas, durante cerca de 60 dias, a reflexão da superfície é dominada pelo solo descoberto e linhas de plantio contendo resíduos. Em seguida, observa-se o aumento da reflexão, que decorre inicialmente do crescimento do dossel, pois em ambos os anos, 1997 e 1998, as colheitas ocorreram nos dias do ano 100 e 104, respectivamente; o período de 60 dias indica que em torno dos dias 160 e 525 (9 de junho), em pleno inverno, a plantação apresentava significativos sinais de crescimento.

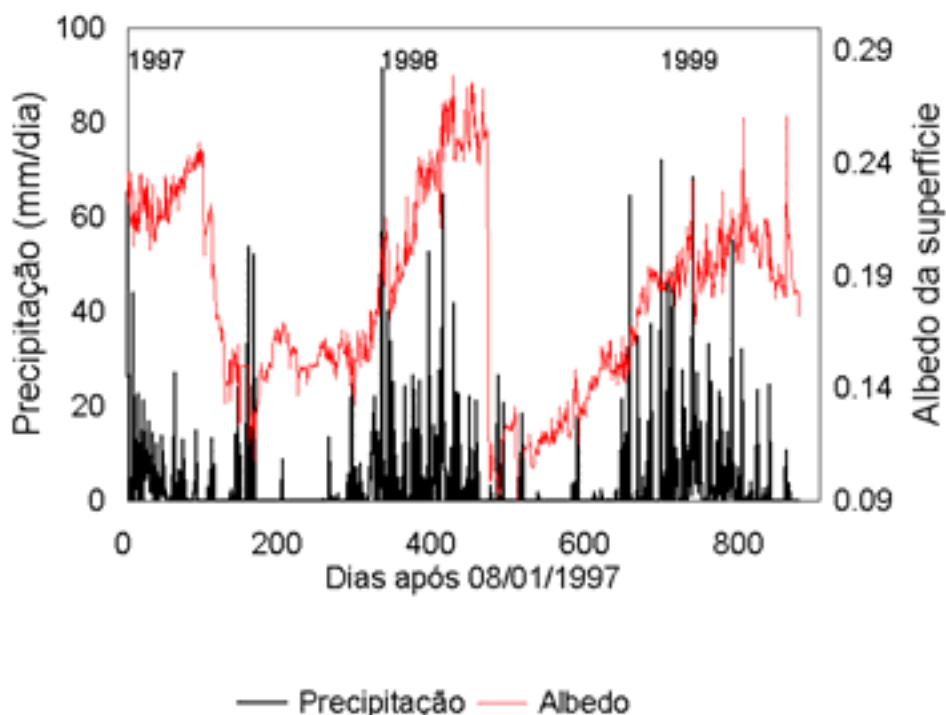


Figura 1- Série temporal da precipitação diária e coeficiente médio de reflexão (albedo) da plantação de cana-de-açúcar entre 1997-1999.

A comparação entre os patamares observados nos diferentes anos, que indicam o desenvolvimento máximo do cultivo, particularmente em 1998 e 1999, levariam a inferir que a produção em 1998 teria sido superior à de

1999, pois os patamares foram 0,25 e 0,19, respectivamente. Entretanto, no verão de 1999 e 1997, devido à precipitações intensas ocorreu o tombamento dos colmos e a redução nos valores de albedo. A produtividade nestes três anos foi de 108 (1997); 99 (1998) e 106 (1999)tha⁻¹.

3.3 – As variações de longo prazo na umidade do solo (θ)

Os valores de θ medidos ao longo do tempo em diferentes camadas de solo são apresentados na Figura 2. Os extremos do conteúdo de umidade foram 0,402 e 0,257m³m⁻³, observados em 1997, nas profundidades de 1,4m e 0,2m respectivamente.

A ocorrência de precipitações acima da média em maio e junho de 1997, interromperam temporariamente o avanço da estação seca. Porém, após este período foram registrados 8mm em 21/07/1997 (dia 202) e 16,1mm em 20/09/1997 (dia 263), que foram suficientes para manter os níveis mínimos de umidade, como se observa na Figura 2; só à partir de 20/10/1997 (dia 293) teve início a recarga do perfil.

O decréscimo de θ durante as estações secas foi praticamente uniforme, principalmente nas camadas entre 0,6 e 1,4m indicando que o sistema radicular ativo atinge estas profundidades. Como em 1997 e 1998 as colheitas ocorreram no mês de abril, durante o inverno, as rebrotas encontravam-se com 4 meses aproximadamente; logo, a renovação do sistema radicular deve ser parcial, como observado por Ball-Coelho *et al.* (1992).

O período seco em 1997 teve uma duração de 3 meses e foi praticamente ininterrupto, ao contrário de 1998, que se prolongou por cerca de 5 meses, mas foi interrompido, quando após 60 dias sem precipitações foram registrados 35mm na primeira quinzena de agosto, e depois mais 50 dias sem chuva até o início de outubro.

As variações temporais da água armazenada na camada de 1,4m de solo encontram-se na Figura 3. O máximo observado (559mm) ocorreu em 16/07/1997 (dia 197), e o mínimo de 384mm foi registrado em 15/10/1997 (dia 288), um decréscimo de 175mm; considerando-se o total de precipitação (24,1mm), a taxa média de evapotranspiração e drenagem foi de 2,2 mmdia⁻¹. Em 1998, os extremos observados foram: 500mm em 06/05 (dia 491); e 397mm em 04/10 (dia 642); levando-se em conta a variação no armazenamento e a precipitação registrada no período (35mm), obtém-se uma taxa média de evapotranspiração e drenagem de 0,8mmdia⁻¹.

Os valores do potencial hídrico do solo (Ψ) na camada de 1,4m foram calculados através de θ (Equação 1), e são apresentados na Figura 3, entre janeiro de 1997 e maio de 1999. Foram estimados potenciais da ordem do ponto de murcha permanente (-150mH₂O) durante a estação seca em 1997, entre 20/08 e 12/11/1997, em torno do dia 300 na Figura 3, e entre 03/09 e 10/10/1998, dia 650 aproximadamente.

Os valores do potencial hídrico do solo (Ψ) na camada de 1,4m foram calculados através de θ (Equação 1), e são apresentados na Figura 3, entre janeiro de 1997 e maio de 1999. Foram estimados potenciais da ordem do ponto de murcha permanente (-150mH₂O) durante a estação seca em 1997, entre 20/08 e 12/11/1997, em torno do dia 300 na Figura 3, e entre 03/09 e 10/10/1998, dia 650 aproximadamente.

Observando-se os valores do albedo entre os dias 200 e 350 na Figura 1, verifica-se que a cultura teve o seu desenvolvimento restringido, o mesmo ocorrendo em 1998, em torno do dia 650, mas durante um período menor de tempo.

O efeito do estresse pode ser averiguado comparando-se as amostragens de biomassa aérea realizadas em 18/09/1997 e em 1/10/1998. Em setembro de 1997 os componentes da biomassa aérea foram: folhas verdes = 84gm⁻²; folhas secas = 37gm⁻²; colmos = 56gm⁻². Em outubro de 1998 os resultados obtidos foram: folhas verdes = 146gm⁻²; folhas secas = 0gm⁻²; colmos = 98gm⁻². Verificou-se a redução da área foliar verde, através da senescência em 1997, que não ocorreu no ciclo seguinte, em 1998; e na redução de 43% na biomassa dos colmos.

4 – CONCLUSÕES

As observações de longo prazo do albedo da superfície e do conteúdo de umidade no solo da plantação de cana-de-açúcar permitiram o acompanhamento da cultura e a identificação de períodos de estresse hídrico. Ao final do ciclo devido à intensas precipitações ocorreu o tombamento dos colmos, promovendo a diminuição dos valores do albedo sem a conseqüente alteração na área foliar e biomassa aérea.

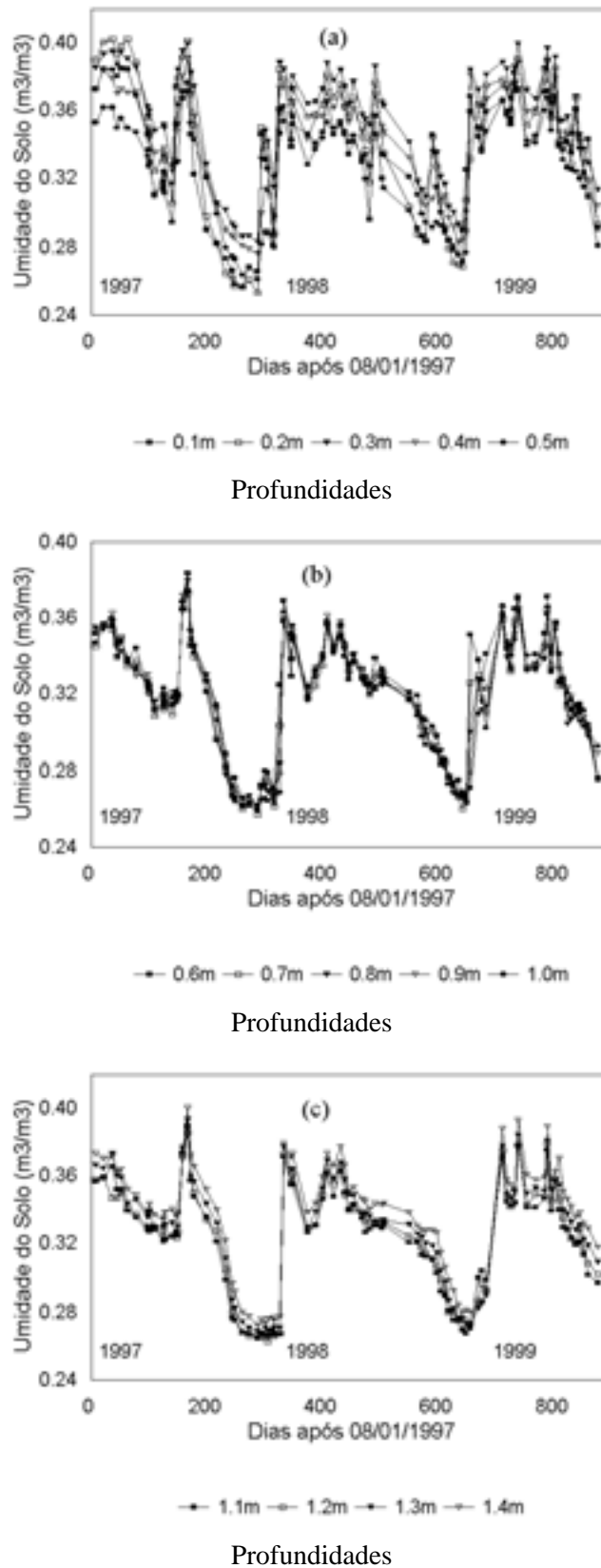


Figura 2 – Série temporal da umidade do solo ($m^3 m^{-3}$), medida à cada 0,1m na camada de 1,4m de profundidade, sob o cultivo de cana-de-açúcar, entre 1997-1999.

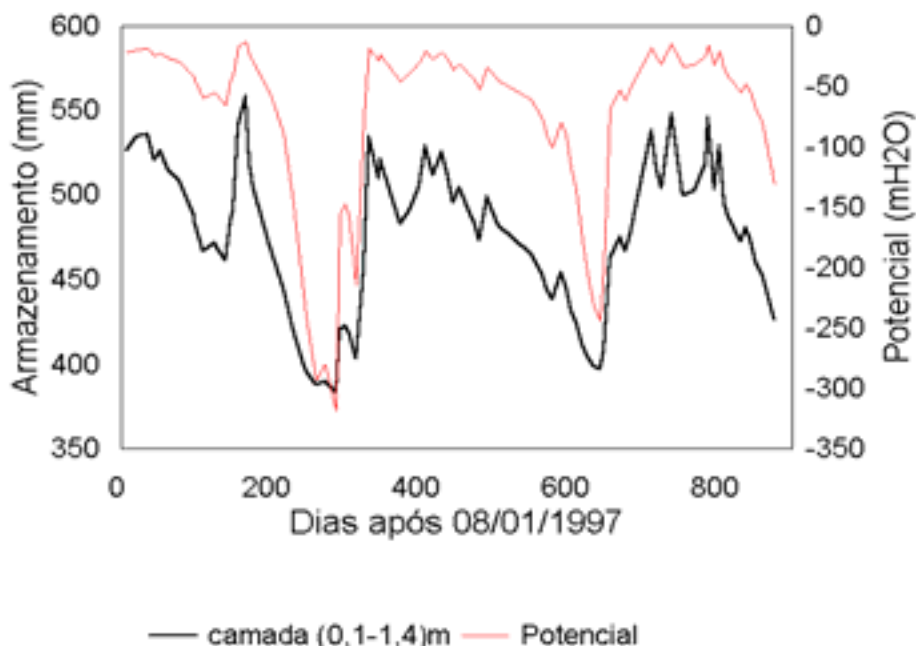


Figura 3 – Água armazenada (mm) na camada de solo de 1,4m de profundidade e totais diários de precipitação (mm dia^{-1}), observados no cultivo de cana-de-açúcar, entre 1997-1999.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ball-Coelho, B., Sampaio, E.V.S., Tiessen, H., Stewart, J.W.B., 1992. Root dynamics in plant and ratoon crops of sugar cane. *Plant and Soil* **142**: 297-305.
- Calder, I., 1992. Water use of eucalyptus-a review. In: **Growth and water use of forest plantations**, I.Calder, R.L.Hall and P.G.Adlard (eds.), J.Wiley, Chichester, p. 167-179.
- Campbell, G.S. e Gee, G.W. 1990. Water Potential: Miscellaneous Methods. In: **Methods of Soil Analysis, Part 1**, American Society of Agronomy, Madison, 619-633.
- Clapp, R.B. e Hornberger, G.M., 1978. Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resour.Res.*, **14**: 601-604.
- Cuenca, R.H., Ek, M., Marht, L. 1996. Impact of soil water parameterization on atmospheric boundary layer simulation. *J Geophys. Res.*, 101, 7269-7277.
- Dugas, W.A., Heuer, M.L., Mayeux, H.S., 1999. Carbon dioxide over bermudagrass, native prairie, and sorghum. *Agric.For.Meteorol.*, **93**: 121-139.
- Grace, J., Lloyd, J., Miranda, A.C., Miranda, H., Gash, J.H.C., 1998. Fluxes of carbon dioxide and water vapour over a C₄ pasture in south-western Amazonia (Brazil). *Aust.J. Plant Physiol.*, **25**, 519-530.
- Goulden, M.L., Munger, J.W., Song-Miao, F., Daube, B.C., Wofsy, S.C., 1996. Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: methods and a critical evaluation of accuracy. *Global Change Biology*, **2**: 169-182.
- Hollinger, D.Y., Kelliher, F.M., Schulze, E.D., Bauer, G., Arneth, A., Byers, J.N., Hunt J.E., McSeventy, T.M., Kobak, K.I., Milukova, I., Sogatchev, A., Tatarinov, F., Varlargin, A., Ziegler, W., Vygodskaya, N.N., 1998. Forest-atmosphere carbon dioxide exchange in eastern Siberia. *Agric.For.Meteorol.*, **90**: 291-306.

- Klute, A. 1990. Water Potential: Laboratory Methods. In: **Methods of Soil Analysis, Part 1**, American Society of Agronomy, Madison, 635-662.
- Lisson, S.N., M.J. Robertson, B.A. Keating, R.C. Muchow, 2000. Modelling sugarcane production systems II: Analysis of system performance and methodology issues., *Field Crops Research*, **68**: 31-48.
- Meyers, T.P., 2001. A comparison of summertime water and CO₂ fluxes over rangeland for well watered and drought conditions. *Agric. For. Meteorol.*, **106**: 205–214
- Miranda, A.C., Miranda, H.S., Lloyd, J., Grace, J., Francey, R.J., McIntyre, J.A., Meir, P., Riggan, P., Lockwood, R., Brass, J., 1997. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. *Plant, Cell and Environment*, **20**, 315-328.
- Robertson, M.J., N.G. Inman-Bamber, R.C. Muchow, A.W. Wood, 1999. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit, *Field Crops Research*, **64**: 211-227.
- Sene, K.J., 1994. Parameterisations for energy transfers from a sparse vine crop. *Agric. For. Meteorol.*, **71**: 1-18.
- Shao, Y. e Irannejad, P., 1999. On the choice of soil hydraulic models in land-surface schemes. *Boundary-Layer Meteorology*, **90**: 83-115.
- Silva Dias, P.L. e Marengo, J.A. 1999. Capítulo 3 - Águas Atmosféricas. In: **Águas Doces no Brasil**. Reboças, A.C.R., Braga, B. e Tundisi, J.G. Organizadores. IEA-USP, São Paulo, p. 65-115.
- Tomasella, J. e Hodnett, M. G. 1997. Estimating unsaturated hydraulic conductivity of brazilian soils using soil-water retention data. *Soil Science*, 162(10): 703-712.
- Vallis, I., Parton, W.J., Keating, B.A, Wood, A.W., 1996. Simulation of the effects of trash and N fertilizer management levels and yields of sugarcane. *Soil & Tillage Research*, **38**: 115-132.
- van den Berg, M., P.A. Burrough, P.M. Driessen, 2000. Uncertainties in the appraisal of water availability and consequences for simulated sugarcane yield potentials in São Paulo State, Brazil. *Agriculture Ecosystems and Environment*, **81**: 43–55
- Wallace, J.S., 1995. Calculating evaporation: resistance to factors. *Agric. For. Meteorol.*, **73**: 353-366.
- Wiedenfled, R.P, 2000. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. *Agricultural Water Management* **43**: 173-182.