

ISSN 0104-1347

Evapotranspiração em microbacia hidrográfica de fluxo efêmero associada à umidade do solo¹

Evapotranspiration in small ephemeral-watershed associated with soil moisture

Carlos Rogério de Mello², José Maria de Lima³ e Antônio Marciano da Silva⁴

Resumo - Objetivou-se com este trabalho a determinação da evapotranspiração, por meio de balanço hídrico, numa microbacia hidrográfica de fluxo efêmero na região de Lavras, MG, no período de outubro/02 a março/03, estudando o comportamento da bacia associado à umidade relativa do solo, em três profundidades, e um modelo matemático para a relação evapotranspiração (real e potencial) e a umidade do solo. A precipitação foi monitorada por uma estação meteorológica compacta, que forneceu informações necessárias ao cálculo da evapotranspiração potencial pelo método de Penman. O escoamento superficial foi monitorado por meio de uma calha tipo Parshall, com linígrafo automático. A variação do armazenamento de água no solo foi calculada para uma camada de controle de 80 cm, com tensiômetros nas profundidades de 20, 50 e 80 cm. A umidade do solo e o balanço hídrico foram avaliados a cada dois dias. O deflúvio superficial correspondeu a 2,2% do balanço hidrológico, a evapotranspiração, 51,6% e a água no solo (drenagem profunda e armazenamento) 46,2%. Houve boa aderência entre a evapotranspiração real e a potencial, a partir de uma determinada umidade do solo, caracterizando a existência de uma umidade crítica para o consumo de água pelas plantas. Esta umidade crítica foi, em termos de umidade relativa, de 0,340 para 20 cm de profundidade, 0,352 para 50 cm e 0,309 para 80 cm. Estes valores correspondem, em média, a 76% da umidade à capacidade de campo nesta camada do solo. O modelo logarítmico produziu o melhor ajuste dos dados, refletindo a cobertura vegetal e textura do solo predominante.

Palavras-chave: recursos hídricos, ciclo hidrológico, umidade do solo, microbacia experimental.

Abstract: The objective of this study was to calculate the water budget in a small watershed of ephemeral flow in Lavras, Minas Gerais, Brazil and use the calculated evapotranspiration to study its relationship with soil moisture. Besides, a mathematical model was determined for that relation. The dynamic of water accounts for most of the environmental behavior at small watersheds. Understanding these phenomena is essential towards management actions, especially in watersheds that are characterized by ephemeral water flow. Meteorological data, including precipitation, were monitored by a compact weather station and used to calculate the potential evapotranspiration by the Penman method. Runoff was monitored through a Parshall flume using an automatic water-level sensor. Soil moisture was measured at 0-80cm depth, by tensiometers at 20, 50, and 80cm depth. Soil moisture and the water budget were evaluated every day. Runoff accounted for 2.2% of the water balance, whereas evapotranspiration accounted for 51.6%, and soil water accounted for 46.2%. The potential and real evapotranspiration ratios were closely related, according to relative soil moisture, above a given level of soil moisture that represented a critical value for water uptake by plants. The relative values of critical soil moisture were 0.340, at 20cm depth, 0.352, at 50cm depth, and 0.309 at 80cm depth. These values represent 76% of field capacity at the considered soil layer. The logarithmic model produced the best fit to represent the ratio of real and potential evapotranspiration and the soil moisture.

Key words: water resources, hydrologic cycle, soil moisture, experimental watershed.

¹Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada a Universidade Federal de Lavras, com apoio da FAPEMIG e CAPES.

²Pesquisador, Dr., Rua Cristiano Silva, 140 – Centro, CEP 37200-000, Lavras, MG. E-mail: rog.mello@terra.com.br.

³Professor, Dr., Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. Bolsista do CNPq, jmlima@ufla.br.

⁴Professor, Dr., Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras. Bolsista do CNPq, marciano@ufla.br.

Introdução

A questão dos recursos hídricos está sendo de fundamental importância nos dias atuais, no Brasil e no mundo, envolvendo governos, organizações não-governamentais (ONG), empresas privadas e públicas, universidades e centros de pesquisa. No contexto conservacionista, a pesquisa científica, relativa ao entendimento do ciclo da água ganha notória relevância, sendo fundamental para estabelecer estratégias de manejo.

Estudos do comportamento da evapotranspiração, em escala de microbacias, determinadas por balanço hídrico, são pouco observados, havendo simplificações principalmente da dinâmica da água no solo (BRANDES & WILCOX, 2000; TUCCI & BELTRAME, 2001; ANIDO, 2002; XAVIER, 2002).

Avaliações científicas sobre as relações entre o consumo de água pelas plantas e as condições de umidade do solo, em escala de microbacias, são incipientes sob condições tropicais e subtropicais, e a busca por um modelo matemático representativo destas relações deve ser objeto de pesquisa (SOARES & ALMEIDA, 2001). Existem controvérsias sobre o comportamento da relação evapotranspiração real (ET_r) e evapotranspiração potencial (ET_p) em relação à umidade do solo. VEIHMEYER & HENDRICKSON (1955) relatam que este comportamento é exponencial a partir de uma determinada umidade, decrescendo até o ponto de murcha. Em seus experimentos, FLINT & CHILDS (1991), GILES *et al.* (1985) e BLACK (1979), determinaram comportamentos linear, não-linear e também exponencial. No entanto, BRANDES &

WILCOX (2000) sugerem que há influência da cobertura vegetal neste comportamento e que a relação no intervalo entre o ponto de murcha permanente (PMP) e a umidade crítica pode ser explicada por diferentes funções matemáticas. Além deste aspecto, CHANG (1971) cita que este comportamento é influenciado pelas características texturais do solo. A Figura 1 exemplifica a influência citada por BRANDES & WILCOX (2000) e por CHANG (1971).

O monitoramento hidrológico em microbacias deve ser implementado e melhorado, principalmente sob condição de escoamento efêmero, pela escassez de informação a respeito das mesmas. Neste tipo de microbacia somente há escoamento superficial durante ou imediatamente após as precipitações intensas (SILVEIRA, 2001; GOLDENFUN, 2001; YE *et al.*, 1997). No Brasil, microbacias com estas características de escoamento têm aumentado nos últimos anos, fruto de manejos inadequados, especialmente no tocante à conservação do solo e aproveitamento dos recursos hídricos.

Assim, objetiva-se, com esta análise, identificarem-se as relações entre a evapotranspiração e a umidade do solo, a partir de balanço hídrico, determinando um modelo matemático representativo deste comportamento e a umidade crítica para o consumo de água pelas plantas, em três camadas de solo, em uma microbacia hidrográfica de fluxo efêmero.

Material e Métodos

A microbacia hidrográfica experimental monitorada está localizada a 11 km da cidade de

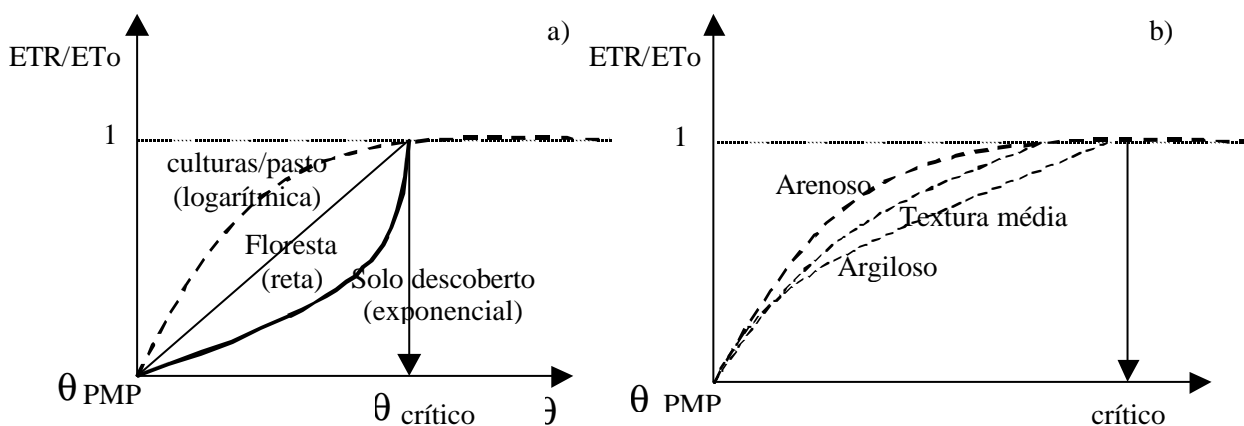


Figura 1. Relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração potencial (ETR/ET_o) em função da umidade do solo (θ) proposta por a) BRANDES & WILCOX (2000) e b) CHANG (1971).

Lavras, sul de Minas Gerais, entre as coordenadas UTM 496817E – 496982E e 7658285N – 7658440N, possuindo área de 1,03 ha, com 14% da área ocupada por eucalipto (*Eucaliptus grandis*), de idade aproximada de 7 anos; 76,1% ocupada por braquiária (*Brachiaria decumbens*); 3,6% por vegetação típica de várzea em uma pequena área de surgência, no terço inferior de encosta e 6,3% de um remanescente de mata nativa. Na área de eucalipto, constata-se também a existência de braquiária entre as árvores. Os solos da microbacia constituem-se de Cambissolo (CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico), em aproximadamente, 90% da área e Gleia Pouco Húmida (GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico) nos outros 10%. A microbacia não possui curso d'água perene e ou intermitente, sendo hidrologicamente caracterizada como de fluxo efêmero (SILVEIRA, 2001). A declividade média da microbacia é de 17,44%, variando de 5,86 a 32,64%. O clima da região, pela classificação de Köppen, é uma transição Cwb para Cwa (NIMER, 1989).

Os dados meteorológicos foram monitorados por uma Estação Meteorológica Compacta completa, da marca Davis, programada para obtenção dos dados meteorológicos a cada 10 minutos. Esta estação foi previamente testada e calibrada com dados do posto meteorológico do 5º Distrito de Meteorologia, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), havendo boa aproximação dos resultados. A evapotranspiração potencial foi calculada pelo método de Penman, por melhor representar física e matematicamente o fenômeno da evapotranspiração (TUCCI, 1998; SAXTON & McGUINNESS, 1982).

Para monitoramento da umidade do solo foram instalados blocos de resistência elétrica da marca *WaterMark* que fornecem leituras convertidas em tensão da água no solo (IRMAK & HAMAN, 2001), em 12 pontos na microbacia, nas profundidades de 20, 50 e 80 cm, constituindo-se num grid aproximado de 20 x 100 m. Os tensiômetros foram instalados apenas no Cambissolo pela elevada predominância do mesmo. Amostras em cada ponto e profundidade foram coletadas para determinação das respectivas curvas características e alguns atributos físicos e químicos do solo, com o mesmo apresentando textura média.

Os dados de tensão foram coletados a cada dois dias, convertidos em umidade volumétrica e transformados em umidade relativa do solo, segundo

BRANDES & WILCOX (2000), por esta expressar a ocupação do solo pela água em relação ao máximo possível:

$$\theta_{rel.} = \frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} \quad (1)$$

em que θ_p é a umidade residual (PMP), θ_s a umidade de saturação e θ o valor de umidade num instante qualquer.

A equação abaixo é a base para a determinação do balanço hídrico:

$$P = ETr + Dp + ES + \Delta A \quad (2)$$

em que P é o total precipitado (mm), ETr é a evapotranspiração real (mm), Dp drenagem profunda, abaixo de uma camada de controle do balanço hídrico (mm), ES, o escoamento ou deflúvio superficial (mm) e ΔA , a variação do armazenamento (mm). De acordo com os objetivos deste estudo, a evapotranspiração torna-se a variável dependente.

A variável ES (deflúvio superficial) foi determinada a partir de monitoramento do escoamento superficial por meio de calha tipo Parshall, dimensionada seguindo instruções de PORTO (1998). No ponto de leitura da calha, foi construído um poço tranquilizador para instalação de um linógrafo automático da marca Global Water, modelo WKL 15, programado para fornecer um nível d'água a cada 10 minutos. Foram construídas as hidrógrafas de cada evento, e a partir destas, determinou-se o deflúvio total, em mm, pela regra do Trapézio, dividindo-se o volume total escoado pela área de drenagem da microbacia (TUCCI, 2001). O monitoramento dos dados foi feito no ano hidrológico 2002/2003, especificamente de 02 de outubro a 03 de março, num total de 30 eventos.

A drenagem profunda (Dp), em mm, foi determinada com base no conceito de porosidade drenável nas camadas monitoradas, conforme MACHADO (2002) e MELLO et al. (2002):

$$Dp = (q_1 - q_{cc}).200 + (q_2 - q_{cc}).300 + (q_3 - q_{cc}).300 \quad (3)$$

Em que θ_1 , θ_2 e θ_3 referem-se à umidade volumétrica na 1ª, 2ª e 3ª camadas e θ_{cc} à umidade volumétrica correspondente à capacidade de campo. Observa-se que a porosidade drenável somente ocorre quando as umidades nas camadas forem superiores à capacidade de campo, o que ocorreu apenas em algumas situações ao longo do período de análise.

A variação de armazenamento foi calculada entre uma leitura e outra das umidades, com o balanço hídrico seguindo este mesmo intervalo de tempo, determinando-se o armazenamento de água para cada data, após extração da porosidade drenável (quando esta existiu), para cada camada monitorada, e a lâmina no perfil constituiu-se da soma dos armazenamentos:

$$A_t = \bar{\theta}_{0-20} \times 200 + \bar{\theta}_{20-50} \times 300 + \bar{\theta}_{50-80} \times 300 \quad (4)$$

$$\Delta A = A_{t_2} - A_{t_1} \quad (5)$$

que A_{t_1} representa o armazenamento, em mm, na data t_1 ; A_{t_2} , representa o armazenamento na data t_2 ; ΔA , corresponde à variação de armazenamento no período t_2-t_1 . As umidades estão na forma volumétrica e são as médias nos respectivos perfis (de 0 a 20 cm, adotou-se o valor da umidade a 20 cm). Assim, determinou-se uma variação de armazenamento em cada ponto na microbacia, adotando-se o valor médio. A drenagem profunda foi determinada com base na porosidade drenável nas camadas monitoradas, conforme MACHADO (2002) e MELLO *et al.* (2002).

Por meio do balanço hídrico, determinou-se a evapotranspiração real (ETr) na microbacia e por meio de dados meteorológicos, a evapotranspiração potencial (ETp). Estas foram relacionadas e associadas à umidade relativa média em cada profundidade monitorada. As etapas do procedimento para determinação de um modelo matemático representativo para o comportamento da relação ETr/ETp, em função da umidade do solo na microbacia e da umidade crítica, foram as seguintes:

a) plotaram-se os valores da relação ETr/ETp em função da umidade. Por meio do gráfico, verificou-se a tendência de formação de um

patamar, que é característico da existência da umidade crítica, conforme Figura 1;

- b) adotou-se um valor inicial para a umidade crítica de forma visual, extraindo-se as umidades superiores a este valor. A seguir, ajustou-se um modelo linear (reta) e um logarítmico, conforme sugere a teoria comportamental na Figura 1a, sendo a adoção destes modelos influenciada pelas características da cobertura vegetal da microbacia. Para os valores da relação superiores à umidade crítica inicial, adotou-se o valor médio, representando uma reta paralela ao eixo X (este valor deve ser próximo de 1 para que os dados representem o comportamento esperado);
- c) a umidade crítica foi calculada com base no ponto de encontro das equações linear ou logarítmica, adotando-se a de melhor ajuste, com a reta, para cada profundidade monitorada.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1, apresenta-se o balanço hídrico mensal durante o período de análise de 02 de outubro a 03 de março.

Tomando-se como base o total precipitado nos últimos 12 meses, medido de 02 de março a 03 de março na microbacia hidrográfica, de 1273,3 mm, observa-se que a precipitação no período de análise (02 de out / 03 de mar) foi equivalente a 90,2% do total precipitado. Este fato mostra a elevada concentração pluviométrica nos meses de primavera e verão, situação esta típica do clima Cwb (VIANELLO & ALVES, 2000).

É importante destacar que, ao se somar a drenagem potencial e o armazenamento de água no solo, chega-se à conclusão de que os mesmos

Tabela 1. Balanço hídrico mensal de monitoramento e análise para uma microbacia hidrográfica da região de Lavras, MG, durante o período de 02 de outubro a 03 de março.

Mês	Precipitação (mm)	Escoamento Superficial (mm)	Evapotranspiração real (mm)	Drenagem profunda (mm)	Varição de Armazenamento (mm)
Outubro	80,70	0,00	58,55	2,89	+19,26
Novembro	119,50	0,49	160,83	42,81	-84,63
Dezembro	224,30	1,66	82,39	119,15	+21,60
Janeiro	453,10	17,80	104,75	154,94	+175,61
Fevereiro	44,35	0,23	103,37	53,69	-112,95
Março	226,43	4,94	83,30	101,31	+36,88
Total	1148,88	25,12	593,19	474,79	+55,78

correspondem a 46,2% do total precipitado. Contudo, a evapotranspiração real corresponde a 51,6% do total. Assim, observa-se que a água no solo é de extrema importância para o balanço hídrico em microbacias de fluxo efêmero, sendo consideravelmente mais importante que o deflúvio em termos de manejo. Conforme concluiu YE et al. (1997), microbacias hidrográficas com esta característica de fluxo são altamente consumidoras de água devido às elevadas taxas de evapotranspiração.

Na Figura 2, apresenta-se o comportamento das taxas de evapotranspiração potencial e real, sendo esta última calculada pelo balanço hídrico, ao longo do período de análise. É importante destacar que, no início do monitoramento, há diferença considerável entre os valores. Esta situação não é verificada a partir do mês de novembro, no qual os dados praticamente se sobrepõem. É neste período que a umidade do solo começa a elevar-se, especialmente a 20 cm. Além disto, entre 29-01 e 20-03 ocorrem algumas reduções da umidade, devido ao veranico, havendo, concomitantemente, pequenos afastamentos entre ETr e ETp.

Na Figura 3, apresentam-se gráficos que associam a relação entre as evapotranspirações e a umidade a 20 cm, permitindo análise da umidade crítica a esta profundidade. Analisando-se a Figura 3a, observa-se a tendência de crescimento da relação entre a evapotranspiração real (ETr) e a potencial (ETp) com aumento da umidade relativa até o valor aproximado de 0,40, caracterizando a formação de um patamar a partir deste valor. Avalia-se a manutenção de um valor próximo entre as

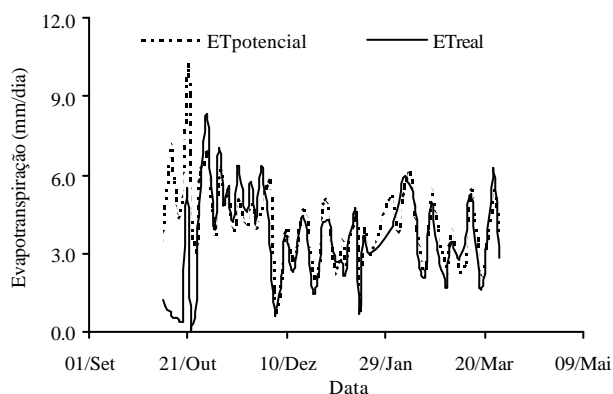


Figura 2. Evapotranspiração potencial e real em uma microbacia hidrográfica da região de Lavras, MG, no período de 02 de outubro a 03 de março.

evapotranspirações, oscilando de, aproximadamente 0,74 a 1,29, à medida que a umidade do solo aumenta. O valor médio da relação ETr/ETp, a partir da umidade próxima da crítica, é de 1,02, com os dados produzindo coeficiente de variação de 16%. Estes resultados demonstram que o comportamento da relação em função da umidade a 20 cm, obedece à teoria apresentada na Figura 1a.

As Figuras 3b e 3c representam os ajustes dos dados da relação entre as evapotranspirações e a umidade relativa a 20 cm, até o valor da umidade crítica. Conforme já destacado, no tocante ao comportamento do ajuste em relação à cobertura vegetal, analisa-se que o modelo logarítmico apresenta um coeficiente de determinação ligeiramente superior, apesar de ambos os ajustes serem próximos. Isto é reflexo da cobertura vegetal da microbacia, destacando-se que a mesma é coberta por pastagem (braquiária e vegetação de várzea) e floresta (eucalipto e mata nativa), com braquiária entre as árvores, estando portanto, de acordo com a teoria comportamental dos dados explicitada na Figura 1a. O valor calculado para a umidade crítica, de acordo com a metodologia adotada, é igual a 0,340. Este valor, transformado para umidade volumétrica, corresponde a $0,306 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o que está associado a uma tensão de 181,3 cmca. A esta profundidade, a umidade volumétrica, associada à capacidade de campo, é de $0,401 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, mostrando a sensibilidade da cobertura vegetal da microbacia a abaixamento da umidade do solo, pois a umidade crítica corresponde a 76,3% da capacidade de campo.

Na Figura 4, tem-se o comportamento da relação ETr/ETp em função da umidade relativa a 50 cm de profundidade. A Figura 4a permite avaliar que o comportamento de ETr/ETp associado à umidade, na profundidade de 50 cm, é semelhante à umidade a 20 cm, havendo tendência de formação de um patamar. No entanto, avalia-se que a umidade crítica a esta profundidade é ligeiramente superior à profundidade de 20 cm, encontrando-se, neste caso, valor inicial da região do patamar próximo a 0,45.

Similarmente à profundidade de 20 cm, verifica-se o mesmo intervalo de valores para a relação ETr/ETp a partir da umidade crítica, bem como baixo coeficiente de variação dos dados (16%) e um valor médio de 0,994, muito próximo de 1. O melhor modelo ajustado foi o logarítmico (Figuras 4b e 4c), assim como na situação anterior, porém houve uma diferença maior entre os coeficientes de determinação dos modelos (linear e logarítmico), além de me-

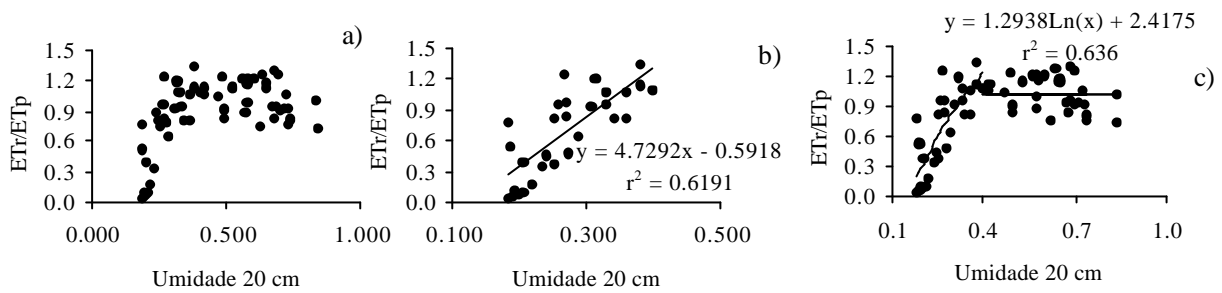


Figura 3. Comportamento da relação ET_{real} e $ET_{potencial}$ em função da umidade relativa do solo a 20 cm de profundidade em uma microbacia hidrográfica da região de Lavras, MG.

lhores ajustes. Trabalhando-se com o valor médio de ETr/ETp e o modelo logarítmico, a umidade crítica a esta profundidade é igual a 0,352. Esta umidade relativa corresponde a umidade volumétrica de $0,293 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e um potencial matricial de 138 cmca. A capacidade de campo a esta profundidade é de $0,380 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, mostrando a mesma característica apresentada para a profundidade de 20 cm, ou seja, a umidade crítica corresponde a 77,1% da capacidade de campo.

Na Figura 5, encontra-se o comportamento da relação entre evapotranspiração em função da umidade relativa do solo à profundidade de 80 cm.

Com base no gráfico da Figura 5a, observa-se comportamento de ETr/ETp em relação à umidade a 80 cm semelhante ao que foi observado em relação às outras profundidades. Porém, pode-se verificar pelos ajustes matemáticos, nas letras b e c, coeficientes de determinação dos modelos consideravelmente inferiores aos obtidos anteriormente. Esta situação sugere que a umidade a 80 cm tem um peso inferior no processo evapotranspirativo na microbacia em comparação com as umidades a 20 e 50 cm. Isto pode ser explicado pelas condições de cobertura vegetal,

em que, a esta profundidade, apenas a parcela dominada por eucalipto e mata é capaz de absorção de água, não influenciando na microbacia como um todo.

Apesar do comportamento menos evidenciado da relação ETr/ETp e a umidade a 80 cm, observa-se uma umidade crítica (um patamar no gráfico da Figura 5a), apontando para um valor inicial de 0,35. O intervalo de valores da relação ETr/ETp foi o mesmo das profundidades anteriores, com o coeficiente de variação igual a 17% e o modelo de melhor ajuste também foi logarítmico, mostrando que este deve prevalecer na modelagem da evapotranspiração na microbacia. O valor médio da relação ETr/ETp foi de 0,96 e a umidade crítica calculada foi de 0,309. A umidade volumétrica correspondente foi de $0,27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, com o potencial matricial de 245,2 cmca e a capacidade de campo foi de $0,367 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A umidade crítica correspondeu a 73,8% da capacidade de campo. Mesmo havendo ajuste de pior qualidade, um patamar menos evidente e o valor médio da relação ETr/ETp mais distante de 1, observa-se que se manteve uma dependência da evapotranspiração em relação à umidade a esta profundidade. Em todos os ca-

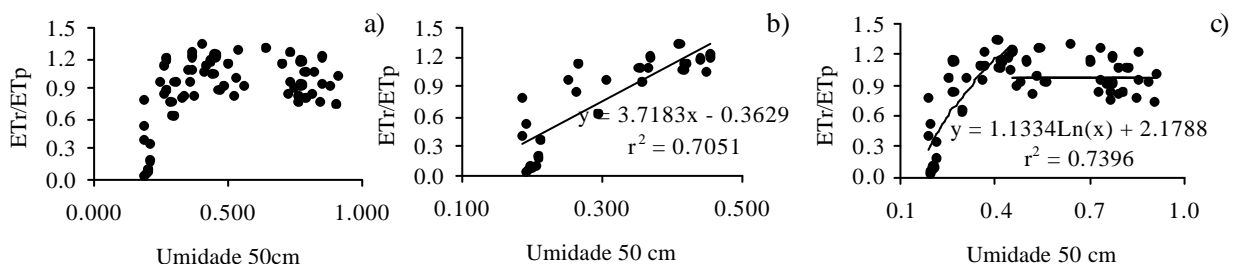


Figura 4 Comportamento da relação ET_{real} e $ET_{potencial}$ em função da umidade relativa do solo a 50 cm de profundidade em uma microbacia hidrográfica na região de Lavras, MG.

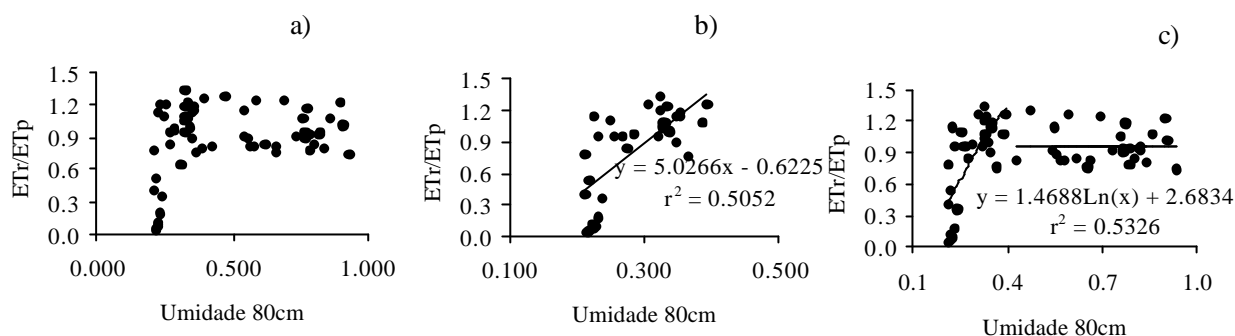


Figura 5. Comportamento da relação ET_{real} e $ET_{potencial}$ em função da umidade relativa do solo a 80 cm de profundidade em uma microbacia hidrográfica da região de Lavras, MG.

tos, verifica-se praticamente o mesmo comportamento em todo o perfil analisado: quando a umidade do solo é reduzida a, aproximadamente, 76% da capacidade de campo, é provável que um processo de estresse hídrico das plantas seja iniciado.

No tocante à magnitude do coeficiente de determinação dos modelos ajustados, BRANDES & WILCOX (2000) obtiveram um valor de 0,62 para uma reta, destacando-se o melhor ajuste desta, em relação aos outros modelos, significando que, para uma microbacia florestada (predominância de Pinus, no caso dos autores), os resultados apresentaram boa qualidade. Assim, analisa-se que este trabalho produziu, de maneira geral, ajuste de boa qualidade, tanto estatística quanto comportamental, uma vez que se caracterizou o modelo logarítmico aos dados da microbacia e esta é, predominantemente, coberta por pastagem, com o solo apresentando textura média, conforme gráficos da Figura 1. Com relação à umidade crítica, estes autores não a obtiveram, sendo justificado pelo comportamento hidrológico do solo predominante na microbacia então estudada (textura arenosa, com elevada permeabilidade), o qual não fornece umidade suficientemente rápida para a intensidade de consumo da cobertura vegetal dominante. No entanto, FLINT & CHILDS (1991) obtiveram para uma microbacia hidrográfica florestada, com umidades monitoradas na camada de 48 a 70 cm, uma umidade crítica de $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para um solo cuja capacidade de campo é de $0,225 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Isto mostra um percentual da capacidade de campo de 62,2%, inferior ao obtido por este trabalho, significando menor restrição de água ao desenvolvimento das plantas. Esta diferença de comportamento é explicada pela cobertura vegetal da microbacia estudada pelos autores, que é predominantemente de floresta, com profundidade

efetiva das raízes consideravelmente superior à de pastagem, possibilitando às plantas maior capacidade de absorção de água a maiores profundidades, com menor restrição ao seu desenvolvimento.

Conclusões

- A umidade do solo tem grande influência nas condições de evapotranspiração, especialmente as camadas superficiais na microbacia estudada, com a umidade relativa crítica para a evapotranspiração igual a 0,340 à profundidade de 20cm (76,3% da umidade à capacidade de campo); 0,352 a 50 cm (77,1% da capacidade de campo) e 0,309 a 80 cm (73,8% da capacidade de campo).
- O modelo logarítmico foi o que melhor se ajustou à relação entre evapotranspiração medida (real) e evapotranspiração potencial e a umidade do solo, refletindo as condições de cobertura vegetal e textura do solo predominantes na microbacia.

Referências Bibliográficas

ANIDO, N.M.R. **Caracterização hidrológica de uma microbacia experimental visando identificar indicadores de monitoramento ambiental.** Piracicaba: USP, 2002. 69 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Curso de Pós-graduação em Ciência Florestal, Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002.

BLACK, T.A. Evapotranspiration from Douglas Fir Stands exposed to soil water deficits, **Water Resources Research**, Washington, v. 15, n. 1, p. 164-170, 1979.

BRANDES, D.; WILCOX, B.P. Evapotranspiration and soil moisture dynamics on a semiarid ponderosa pine

- hillslope, **Journal of the American Water Resources Association**, Middleburg, v. 36, n. 5, p. 965-974, 2000.
- CHANG, J. **Climate and agriculture: an ecological survey**. Chicago: Aldine Publ. Company, 1971. 296 p.
- FLINT, A.L.; CHILDS, S.W. Use of the Priestley-Taylor evaporation equation for soil water limited conditions in a small forest clearcut, **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 56, n. 3/4, p. 247-260, 1991.
- GILES, D.G.; BLACK, T.A.; SPITTLEHOUSE, D.L. Determination of growing season soil water deficits on a forested slope using water balance analysis, **Canadian Journal Forest Research**, v. 15, n. 1, p. 107-114, 1985.
- GOLDENFUM, J.A. Pequenas bacias hidrológicas: conceitos básicos. In: PAIVA, J.B.; PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 3-14.
- IRMAK, S.; HAMAN, D.Z. Performance of the Watermark Granular Matrix sensor in sandy soils, **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 17, n. 6, p. 787-796, 2001.
- MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Piracicaba: USP, 2002. 152 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002.
- MELLO, C.R. et al. Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da Microrregião Campos das Vertentes, MG, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 9, p. 1319-1324, 2002.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 421 p.
- PORTO, R.M. **Hidráulica básica**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 540 p.
- SAXTON, K.E.; McGUINNESS, J.L. Evapotranspiration. In: HAAN, C.T.; JOHNSON, H.P.; BRAKENSIEK, D.L. **Hydrologic Modeling of Small Watersheds**. St. Joseph: ASAE, 1982. p. 229-276. (Cap. 6).
- SILVEIRA, A.L.L.A. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001. p. 35-52. (Cap.2).
- SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil, **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 253, n. 1/4, p. 130-147, 2001.
- TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade, UFRGS, ABRH, 1998. 669 p.
- TUCCI, C.E.M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed., Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, 2001. p. 391-441.
- TUCCI, C.E.M.; BELTRAME, L.F.S. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, p. 253-288, 2001. (Cap.7).
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. Does transpiration decrease as the soil moisture decreases? **Transactions of American Geophysical Union**, Washington, v. 36, p. 425-448, 1955.
- VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, UFV, 2000. 448 p.
- XAVIER, A.C. **Estimativa da dinâmica do índice de área foliar em uma microbacia hidrográfica por meio de técnicas de sensoriamento remoto**. Piracicaba: USP, 2002. 111 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002.
- YE, W. et al. Performance of conceptual rainfall-runoff models in low-yielding ephemeral catchments, **Water Resources Research**, Washington, v. 33, n. 1, p. 153-166, 1997.