

OLÍVIO BAHIA DO SACRAMENTO NETO

**BALANÇO HÍDRICO EM PLANTIOS JOVENS DE EUCALIPTO NA REGIÃO DE
BELO ORIENTE-MG.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA

MINAS GERAIS - BRASIL

2001

OLIVIO BAHIA DO SACRAMENTO NETO

**BALANÇO HÍDRICO EM PLANTIOS JOVENS DE EUCALIPTO NA REGIÃO DE
BELO ORIENTE-MG.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 09 de outubro de 2001

Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Conselheiro)

Dr. Fernando Palha Leite

Prof. Nairam Félix de Barros

Prof. Aristides Ribeiro
(Orientador)

A Deus por tudo.

À Osmarina Araújo pela firmeza e pelos ensinamentos durante a minha vida.

À Walkiria Sacramento pela dedicação e apoio sempre constantes mesmo em horas difíceis.

A Matheus Sacramento para quem, em especial, dedico essa conquista.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de aprofundar meus conhecimentos e pela calorosa acolhida.

Ao professor Aristides Ribeiro pela confiança e pela coragem de enfrentar um novo desafio.

À CENIBRA (Celulose Nipo-brasileira S.A.) pelo incentivo à pesquisa, pela disponibilização de sua área, de recursos financeiros e humanos sem os quais não seria viável a realização deste trabalho.

A Fernando Leite por acreditar na pesquisa como base do desenvolvimento e por não medir esforços para botar em prática o trabalho proposto.

A CAPES e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores Marcos Heil, Gilberto Sedyama, Luís Cláudio, José Maria e Aristides Ribeiro pelas valiosas críticas e ensinamentos.

Aos professores da Universidade Federal do Pará que acreditaram em nosso trabalho, em especial, aos professores Antônio Carlos, José Gomes e Edson Paulino.

Ao professor Júlio Neves pelas sugestões engrandecedoras.

A Roberto Almeida, Rinaldo Félix, Maria, Felipe Carneiro, Jaqueline Figueiredo, Henrique Mosqueira, Luciano, Gilson, Aroldo, Dílson, Sr. Coelho, Sr. Eustáquio, Lucimar, José Luiz, Marta, Ivo, pela grande colaboração técnica, imprescindível para a execução deste trabalho e pela amizade.

À minhas irmãs, sobrinhos, tios, primos e amigos pelo grande estímulo e compreensão.

À Silvia Monteiro e Bergson Moraes pelo incentivo, amizade e principalmente pelo grande convívio fraterno que passamos juntos.

À Tânia Lopes pela grande amizade e companheirismo durante grande parte do curso.

A todos os amigos do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, em especial, a José Luiz, Gustavo, Leila, Guilherme, Danilo, Márcia, Meire, Bérqson, Sílvia, Dalmácio, Ismael, Elizabete, Jairo, que além do incentivo proporcionaram momentos de descontração e amizade.

A todas as pessoas que conheci em Viçosa pela amizade e acolhimento, em especial a José e Aparecida Lopes.

A todos, que mesmo não citados, contribuíram de forma efetiva na construção deste trabalho.

BIOGRAFIA

OLIVIO BAHIA DO SACRAMENTO NETO, filho de Osmarina Sacramento de Araújo e Edson Firmino de Lima, natural de Altamira, Pará, nasceu no dia 29 de abril de 1968.

Em 1998 graduou-se em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará. Iniciou, em abril de 1999, o Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de tese em outubro de 2001.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xv
RESUMO.....	xix
ABSTRACT.....	xxii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Balanço hídrico.....	4
2.1.1. Precipitação pluvial interceptada pelo dossel.....	6

2.1.2. Evapotranspiração na cultura de eucalipto.....	7
2.1.3. Umidade do solo.....	11
2.1.3.1. Importância das raízes na umidade do solo.....	14
2.2. Índice de crescimento e biomassa.....	17
2.3. Importância da radiação solar.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1. Localização, clima e solo da área experimental.....	23
3.2. Esquema experimental.....	24
3.3. Período de estudo.....	25
3.4. Balanço de água no solo.....	25
3.4.1. Interceptação da água da chuva pelo dossel.....	26
3.4.2. Interceptação da água da chuva pela serapilheira.....	31
3.4.3. Determinação da evapotranspiração.....	32
3.5. Determinação da umidade do solo.....	37
3.6. Avaliação do crescimento	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1. Precipitação pluvial incidente.....	41

4.2. Interceptação da água da chuva.....	44
4.2.1. interceptação pelo dossel.....	44
4.2.2. Interceptação pela serapilheira.....	49
4.3. Transpiração do dossel e a contribuição de cada camada do perfil de solo.....	52
4.4. Modelo de balanço hídrico.....	60
4.5. Uso eficiente de água (UEA).....	64
5. CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

LISTA DE QUADROS

		Página
01	Totais mensais de chuva para as áreas experimentais e totais médios para a região (média de 16 anos) em mm.....	46
02	Totais acumulados de chuva (P_t), precipitação interna (T_r), água da chuva escoada pelos troncos (S_t), interceptação da água da chuva pelo dossel (I_d), índice de área foliar (IAF) e suas respectivas porcentagens em relação a (P_t), durante o período de estudo, em plantações de eucalipto de diferentes idades (1 e 2 anos) e posições topográficas (TOP) de baixada (BX) e encosta (EC).....	47
03	Desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV) e amplitude de variação dos coeficientes de variação (Ampl. CV) da precipitação interna e escoamento pelo tronco, em plantações de eucalipto com diferentes idades e duas posições topográficas (TOP), de baixada (BX) e encosta (EC).....	49
04	Equações de regressão para a estimativa da precipitação interna (T_r) e da água da chuva escoada pelos troncos (S_t), em mm, em função das alturas pluviais (P_t) nas diferentes idades de plantio e posições topográficas (TOP) de baixada (BX) e encosta (EC), na região de Belo Oriente – MG.....	51

05	Equações de regressão para a estimativa da resistência do dossel (r_c) em $s\ m^{-1}$, em função do déficit de pressão de vapor (DPV), em kPa, da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em $W\ m^2$ e da temperatura do ar (T) em $^{\circ}C$, de acordo com as idades e posições topográficas (TOP).....	55
06	Valores de ponto de murcha permanente (PMP), à tensão de 1500 kPa, capacidade de campo (CC), à tensão de 30 kPa, e capacidade de água disponível (CAD) no solo nos plantios de 1 e 2 anos de idade e nas diferentes posições topográficas (TOP) na região de Belo Oriente – MG.....	60
07	Evapotranspiração total (ET) e as respectivas contribuições percentuais de cada camada do perfil do solo nos plantios de 1 e 2 anos de idade, nas diferentes posições topográficas (TOP), durante o período de outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.....	61
08	Distribuição percentual de raízes, médias (RM) e finas (RF), nas camadas de solo e peso total das raízes, em grama por árvore (g/arv), no plantio de 1 e 2 anos de idade, nas duas posições topográficas (TOP), na região de Belo Oriente – MG...	61

LISTA DE FIGURAS

		Página
01	Vista da área experimento (plantio de 1 ano), no município de Belo Oriente, MG.....	26
02	Esquema de coleta das componentes do processo de interceptação da água da chuva no plantio de eucalipto.....	28
03	Vista dos coletores de precipitação interna (T_r) no plantio de 2 anos de idade.....	30
04	Vista dos coletores de precipitação interna (T_r) no plantio de 1 ano de idade.....	32
05	Vista dos coletores de água da chuva escoada pelos troncos (S_t) e de precipitação interna (T_r) no plantio de 2 anos de idade.....	32
06	Distribuição dos totais diários de chuva, em mm, durante o período de estudo, na área experimental dos plantios de 1 e 2 anos, na região de Belo Oriente - MG.....	44

07	Variação da umidade da serapilheira no plantio de 2 anos baixada (quadrado) e encosta (triângulo) no período de estudo. As linhas representam as capacidades de retenção da manta para os plantios de dois anos, baixada, (linha cheia), e encosta (linha pontilhada).....	52
08	Evapotranspiração real (ETR, em mm/dia) e água armazenada no solo (ARM, em mm), estimadas por modelo de balanço hídrico, em camadas do perfil do solo, sob plantios clonais de eucalipto de 1 ano de idade, na posição topográfica de baixada, durante o período que vai de outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.....	56
09	Evapotranspiração real (ETR, em mm/dia) e água armazenada no solo (ARM, em mm) estimadas por modelo de balanço hídrico, em camadas do perfil do solo sob plantios clonais de eucalipto de 1 ano de idade, na posição topográfica de encosta durante o período que vai de outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.....	57
10	Evapotranspiração real (ETR, em mm/dia) e água armazenada no solo (ARM, em mm) estimadas por modelo de balanço hídrico, em camadas do perfil do solo sob plantios clonais de eucalipto de 2 anos de idade, na posição topográfica de baixada durante o período que vai de outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.....	58
11	Evapotranspiração real (ETR, em mm/dia) e água armazenada no solo (ARM, em mm) estimadas por modelo de balanço hídrico, em camadas do perfil do solo sob plantios clonais de eucalipto de 2 anos de idade, na posição topográfica de encosta durante o período que vai de outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.....	69
12	Variação do armazenamento de água no solo medido (ARMmed) por atenuação de neutrons e estimado (ARMest) por modelo de balanço hídrico, todos em mm, num perfil de solo de 0 a 105 cm, em plantios clonais de eucalipto de 1 ano de idade, nas posições topográficas de baixada (BX) e encosta (EC), no período outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.....	64

13	Varição do armazenamento de água no solo medido (ARMmed) por atenuação de neutrons e estimado (ARMest) por modelo de balanço hídrico, todos em mm, num perfil de solo de 0 a 105 cm em plantios clonais de eucalipto de 2 anos de idade, nas posições topográficas de baixada (BX) e encosta (EC), no período outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.....	65
14	Varição mensal de eficiência de uso de água (EUA) em plantios de eucalipto de 1 e 2 anos de idade e em duas posições topográficas, baixada (BX) e encosta (EC), no período de outubro de 2000 a janeiro de 2001, na região de Belo Oriente – MG.....	67

LISTA DE SÍMBOLOS

α - albedo da cultura.

A_c - Ascensão capilar

ARM_i - Armazenamento de água no solo no dia i (atual) em mm.

ARM_{i-1} - Armazenamento de água no solo do dia anterior (mm).

ΔARM - Variação do armazenamento (mm).

a - Parâmetro; adimensional.

b - Parâmetro; adimensional.

Boc - Saldo de radiação de ondas curtas ($MJ\ m^2\ d^{-1}$).

Bol - Saldo de radiação de ondas longas ($MJ\ m^2\ d^{-1}$).

BX - Posição topográfica de baixada.

CAD - Capacidade de água disponível (mm).

CC - Capacidade de campo (mm).

CRM - Capacidade de retenção da serapilheira (manta), (mm).

Cwa - Clima temperado chuvoso mesotérmico.

C_p - Calor específico do ar seco ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

DAP - Diâmetro a altura do peito (cm).

Δ - Declividade da curva de pressão de saturação de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

δ - Declinação solar (graus).

D - Distância relativa terra-sol considerada adimensional

DPV - Déficit de pressão de vapor (kPa).

d - deslocamento do plano zero do perfil do vento (m).

EC - posição topográfica de encosta.

ETp - Evapotranspiração potencial da cultura (mm d^{-1}).

ETR - Evapotranspiração real da cultura (mm d^{-1}).

ET - Evapotranspiração total da cultura no dia i (mm d^{-1}).

EUA - Eficiência de uso de água ($\text{mm m}^{-3} \text{ h}^{-1}$).

ϕ - latitude (graus)

e_a - Pressão parcial de vapor (kPa)

e_d - Pressão de vapor de saturação (kPa).

H - ângulo horário (rad).

IAF - Índice de área foliar (m^2 de folha por m^2 de solo)

I_d - Interceptação de água da chuva pelo dossel (mm).

- I_m - Interceptação de água da chuva pela manta orgânica (mm).
- J - Dia juliano.
- k - Constante de Von Kármán (0,41).
- Kr_J - Coeficiente de contribuição das raízes na camada J.
- $Ks_{i,J}$ - Coeficiente de contribuição do solo no dia I, na camada J.
- $Kt_{i,J}$ - Fator de ponderação no dia i, na camada J.
- LE - Fluxo de calor latente de evaporação ($\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$).
- N - Duração astronômica do dia (horas).
- n - Número de horas de brilho solar (horas).
- P - Pressão atmosférica (kPa).
- p - Percolação de água no solo (mm).
- PAR - Radiação fotossinteticamente ativa
- PE - Precipitação efetiva (mm).
- prf_J - Percentual de raízes finas na camada J.
- prm_J - Percentual de raízes grossas na camada J.
- P_t - Precipitação pluvial incidente ou total (mm).
- PMP - Ponto de murcha permanente (mm).
- γ - Constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).
- λ - Calor latente de evaporação (MJ kg^{-1}).
- R_a - Radiação incidente no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

RF	- Raiz fina
RG	- Raiz grossa
R_i	- Radiação incidente na superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).
RM	- Raiz média
R_n	- Radiação líquida ou saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).
R_{n^*}	- Radiação líquida média diária (W m^2).
r_a	- Resistência aerodinâmica (s m^{-1}).
r_c	- Resistência do dossel (s m^{-1}).
ρ_a	- Densidade do ar seco (kg m^{-3}).
S	- Fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).
S_t	- Escoamento de água da chuva pelos troncos (mm).
T	- Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).
$T_{i,j}$	- Transpiração no dia i, na camada de solo J (mm)
T_r	- Precipitação interna (mm).
T_k	- Temperatura absoluta (K).
T_{kv}	- Temperatura virtual (K).
U_z	- Velocidade do vento a altura z_m (m s^{-1}).
UR	- Umidade relativa do ar (%).
US	- Umidade do solo (mm).
z_h	- Altura da medição da umidade relativa do ar (m).

z_m - Altura da medição da velocidade do vento (m).

z_{0h} - Parâmetro de rugosidade para calor sensível e vapor (m).

z_{0m} - Parâmetro de rugosidade para momentum (m).

$\theta_{i,j}$ - Umidade do solo no dia i , na camada J (%).

θ_{CCJ} - Umidade da capacidade de campo na camada J (%).

θ_{PMPJ} – Umidade do ponto de murchamento permanente na camada J (%).

RESUMO

SACRAMENTO NETO, Olívio Bahia, M.S., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2001. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente, MG.** Orientador: Aristides Ribeiro. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Gilberto Chohaku Sedyama.

No intuito de investigar os componentes do balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto, objetivou-se, neste trabalho: determinar a taxa de água da chuva interceptada pelo dossel e pela serapilheira; calibrar o modelo de Penman-Monteith para a estimativa da evapotranspiração em plantios de eucalipto; entender a contribuição das diferentes camadas de solo no suprimento de água para o processo de transpiração do eucalipto; e simular a variação do armazenamento de água do solo através do cálculo do balanço hídrico. Este estudo foi conduzido no período de outubro de 2000 a março de 2001, no município de Belo Oriente, Estado de Minas Gerais, contemplando plantios clonais com idade de 1 e 2 anos, introduzidos respectivamente em 1999 e 1998. Coletou-se dados de precipitação pluvial,

velocidade do vento, umidade e temperatura do ar, radiação solar e pressão atmosférica. As diferentes partições da água da chuva pela interação com a cobertura vegetal também foram medidas ao longo do período de estudo, tendo sido coletados dados de precipitação interna no plantio, água da chuva escoada pelos troncos, variação da umidade da manta, umidade do solo. Foram, ainda, determinadas, através de medições de campo, as distribuições de raízes por camada do perfil do solo, a resistência do dossel à transferência de água via radicular e a altura e diâmetro das árvores ao longo do período de estudo. Verificou-se que os plantios de 1 ano de idade apresentaram maior interceptação da água da chuva que os plantios de 2 anos. Esse fato não pode ser explicado pela variação do IAF verificado entre os plantios, indicando que a arquitetura distinta do dossel entre eles seja mais importante na quantificação da contribuição deste elemento no balanço hídrico do solo. Embora os valores encontrados de interceptação da água da chuva pela manta orgânica, presente unicamente no plantio de 2 anos, sejam pequenos, devem ser contabilizados dentro do balanço hídrico uma vez que são de ordem de grandeza da interceptação do dossel. Os plantios de 2 anos de idade apresentaram uma maior transpiração que os plantios de 1 ano de idade, sendo observado que a camada do solo de 0 a 45 cm é a que mais contribui no total de água transferido do solo para a atmosfera via raízes. Os modelos de balanço hídricos gerados nesse trabalho apresentaram bom ajuste, e seus coeficientes de determinação apresentaram estreita relação entre as variáveis estimadas e as medidas em campo.

ABSTRACT

SACRAMENTO NETO, Olívio Bahia, M.S., Universidade de Viçosa, October 2001.
Water balance in young Eucalypt cultures in the region of Belo Oriente, State of Minas Gerais. Adviser: Aristides Ribeiro. Committee Members: Júlio César Lima Neves and Gilberto Chohaku Sedyama.

In order to investigate the water balance in young Eucalypt cultures, the following goals were set for this study: determination of the rainwater rate absorbed by the canopy and litter layer, adjustment of the Penman-Monteith model for an assessment of evapotranspiration in Eucalypt cultures, the understanding of the contribution of different soil layers to the water supply for the transpiration process in Eucalypt and the variation simulation of stored soil water by the calculation of the water/hydro balance. This study was carried out in the period from October 2000 to March 2001, in the county of Belo Oriente, Minas Gerais State, observing clonal cultures with ages of 1 and 2 years, introduced in 1999 and 1998, respectively. Data of rainfall, wind speed, air humidity and temperature, solar radiation and atmospheric pressure were collected. The different rainwater partitions caused by the interactions

with the vegetal cover were measured during the whole study period, collecting data of culture-intern precipitation, rainwater running off along the trunks, variation of litter layer humidity and soil humidity. Furthermore, root distributions per soil profile layer, canopy resistance to water transference via roots as well as tree height and diameter during the whole study period have also been determined in field measurements. At the age of one year, the cultures presented a higher rainwater absorption than at the age of two years. This fact cannot be explained by the variation of IAF observed among the cultures, indicating that the different canopy architecture could be more important for the quantification of the contribution of this element to the water/hydro balance of the soil. Although the organic litter layer, which is only present in the culture of 2 years presented small of rainwater interception, these must be taken into account in the water/hydro balance since they are of the same size range as the canopy interception. The 2-year-old cultures presented a greater transpiration than the 1-year-old cultures and the soil layer that contributed most to the total water transferred from the soil to the atmosphere via roots was between 0 and 45 cm. The water/hydro balance models created in this study proved to be well adjusted and their determination coefficients presented a close relation between the estimated variables and field measurements.

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto é uma espécie florestal nativa da Austrália e ilhas circunvizinhas, que em função de características como crescimento rápido e capacidade de resistir ao estresse hídrico tem sido introduzido em diversos países, dentre os quais o Brasil possui a maior área plantada, seguida por Índia, África do Sul e Portugal. Seu produto principal, a celulose, extraída de sua madeira, é utilizado, principalmente, na fabricação de papel; já o óleo, extraído de suas folhas é, também, aproveitado nas indústrias farmacêuticas e de cosméticos. A madeira pode ser utilizada nas indústrias de móveis, construção de casas, pisos, forros, cercas, etc. Ainda, o eucalipto é útil na fabricação de produtos de limpeza, além de ser utilizado como combustível em caldeiras e para a produção de carvão vegetal utilizado em siderurgias.

A importância econômica do eucalipto é muito grande, pois, seu plantio e beneficiamento geram empregos e divisas. A exportação dos produtos manufaturados traz divisas para o país, ou seja, tem participação importante no desenvolvimento de grande parte dos setores da economia, nas regiões onde é

plantado.

Os efeitos ambientais causados por plantações de espécies florestais de crescimento rápido vêm sendo objeto de discussão nos últimos anos. A maior preocupação ambiental é quanto à magnitude de redução da água contida no solo. Há uma grande controvérsia, em várias partes do mundo, quanto aos efeitos ambiental e social causado pelas extensas plantações de eucalipto, nos diversos ecossistemas, para fins industriais. Um dos principais focos dessa discussão é o aspecto hidrológico, no que se refere ao uso da água pela plantação de eucalipto, o que vem sendo investigado intensamente nos últimos anos. Sabe-se que o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais é consequência de vários processos fisiológicos controlados pelas condições ambientais e características genéticas de cada espécie vegetal. Portanto, para melhor compreender o crescimento, o desenvolvimento e o impacto hidrológico de uma plantação de eucalipto, faz-se necessário conhecer os fatores que controlam o uso da água.

Vários fatores ambientais influenciam a abertura e o fechamento estomático, determinando maior ou menor transferência de vapor de água para a atmosfera. Dentre esses, destacam-se os níveis de umidade do solo, o alto teor de umidade do ar, baixa disponibilidade de radiação solar, temperatura do ar e déficit de pressão de vapor.

Padrões sazonais e diários de trocas de gases, como o vapor d'água e CO₂, juntamente com as características físicas e químicas da planta e o estado da água na atmosfera, podem ser ferramentas úteis para entender como os recursos ambientais são utilizados por um genótipo específico, e como estes recursos influenciam na produção primária. Um grande número de métodos, diretos e

indiretos, tem sido utilizado para avaliar o uso de água pelo eucalipto. Dentre os métodos utilizados pode-se destacar o método do lisímetro (direto), que são tanques enterrados no solo dentro dos quais se mede a evapotranspiração. Esta característica pode ainda ser estimada pela equação de Penman-Monteith (método indireto), que requer dados meteorológicos para ser aplicada.

Recentemente, várias empresas de base florestal têm aumentado os esforços no sentido de investigar a contribuição dos componentes do balanço hídrico na produtividade do eucalipto. Neste sentido, o estudo ora proposto visa aprofundar os conhecimentos do uso da água por esta espécie florestal gerando subsídios para a racionalização da implantação e condução de plantios de eucalipto em escala comercial.

Este trabalho tem como objetivo geral investigar os componentes do balanço hídrico para plantios clonais de eucalipto nos primeiros anos de seu crescimento, na transição do período seco para o período chuvoso do ano na região de Belo Oriente-MG. Especificamente, objetivou-se: determinar a taxa de interceptação da água da chuva pelo dossel e pela serapilheira em plantios de eucalipto em diferentes idades e posições topográficas; calibrar o modelo de Penman-Monteith para a estimativa da evapotranspiração em plantios de eucalipto; entender a contribuição das diferentes camadas de solo no suprimento de água para o processo de transpiração do eucalipto e simular a variação do armazenamento de água do solo por meio do cálculo do balanço hídrico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Balanço Hídrico.

O balanço hídrico é a contabilização das quantidades de água que são transferidas da atmosfera para a superfície e vice-versa. Esta transferência de água é condicionada fundamentalmente pelo estado físico da atmosfera, pelas características do solo e da cobertura vegetal, podendo ser verificado déficit ou excesso de água no local considerado, com variações intra e interanuais. Os componentes do balanço hídrico são: umidade do solo, precipitação pluvial, irrigação, evapotranspiração, interceptação do dossel, interceptação da serapilheira, percolação, escoamento superficial e ascensão capilar.

O conhecimento da necessidade de água de uma cultura é importante na escolha da época de plantio mais adequada para uma dada espécie vegetal podendo, desta forma, programar, com certa precisão, a época de colheita, no caso de culturas anuais. Também, é importante na estimativa da água a ser

aplicada em uma cultura e também na determinação do potencial produtivo de uma determinada região. Conhecer os processos de perda de água e os componentes que atuam de forma efetiva no balanço de água poderá ser de grande importância na diminuição ou perda de produtividade. Portanto, é de grande importância a efetivação de um estudo climático mais detalhado, ou seja, fazer um zoneamento agroclimático para a cultura do eucalipto, o que propiciaria conhecer o potencial produtivo de uma determinada região.

As trocas de água no sistema solo-planta-atmosfera são dirigidas por uma série de processos que se inter-relacionam. Nas espécies vegetais as perdas de água pelo processo de transpiração são regidas, principalmente, pela demanda climática, mecanismos fisiológicos, estrutura do dossel, disponibilidade de água no solo e resistências encontradas no sistema solo-planta-atmosfera (LEITE, 1996). Vários trabalhos têm sido desenvolvidos em plantios de eucalipto em várias partes do mundo, visando melhorar o entendimento desse processo. Um dos pioneiros em trabalhos de evapotranspiração do eucalipto foi TCHIRCH (1881), na França. WOOD (1934) já citava a grande variação da evapotranspiração entre as espécies de eucalipto. No Brasil, ALMEIDA e SOARES (1997) estudaram os componentes do balanço hídrico climatológico mensal, em áreas de eucalipto, no Estado do Espírito Santo e, mais recentemente, MIELKE et al. (2000) estudaram as trocas de gás e relações entre umidade do solo, potencial de água na folha e variáveis climáticas em cultura de eucalipto.

É de suma importância aprofundar os conhecimentos e aprimorar a precisão da estimativa do balanço hídrico, a partir de implementações e ajustes

de métodos precisos para estimar a entrada e a saída de água do sistema solo-planta-atmosfera, assim como aprimorar cada vez mais os métodos de medição em campo de variáveis como umidade do solo, chuva, radiação, biomassa, dentre outras, o que permitiria gerar e calibrar modelos que simulariam a resistência da cultura, a eficiência de uso de água pela cultura, além de simular taxas de crescimento e de produção, para com isso tentar reduzir as perdas de produtividade ao final do ciclo produtivo.

2.1.1. Precipitação Pluvial Interceptada pelo Dossel.

A precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos que contribui de forma direta para o bom desenvolvimento de qualquer cultura, pois é a principal fonte de água para os processos vitais. A disponibilidade de água varia de acordo com a localização e condições climáticas. Sua importância se dá no transporte de nutrientes minerais, além de contribuir para o processo de termoregulação, importante, por exemplo, para as reações bioquímicas como a fotossíntese.

Embora disponível, nem toda a água da chuva pode ser contabilizada no incremento da umidade do solo, haja vista que parte dessa água é interceptada tanto pelo dossel como pelo material vegetal depositado sobre o solo.

A água da chuva ao atingir o dossel das árvores perfaz dois caminhos até atingir a superfície do solo. Uma parte da água escorre pelas folhas e galhos o que se denomina lavagem no dossel, e é mais conhecido como precipitação interna ou ***throughfall***. Outra parte da água é escoada pelo tronco das árvores até o solo e é conhecido, também, como ***stemflow***. Os dois caminhos são

importantes na distribuição de nutrientes pela água da chuva em ambientes florestais (BALIEIRO, 1999).

A quantidade de água interceptada pelo dossel depende, principalmente, da intensidade e duração do evento de chuva, da densidade populacional da cultura e do índice de área foliar. LEITE (1996) verificou uma tendência de decréscimo linear da precipitação interna com a densidade populacional, em cultura de eucalipto no município de Santa Barbara, no Estado de Minas Gerais.

A serapilheira ou manta orgânica, é fundamental para a manutenção do ecossistema nas camadas superficiais do solo de ecossistemas de florestas. Ela protege o solo da ação direta da radiação solar, reduzindo a evaporação, o que mantém o solo mais úmido e favorece a ação de microorganismos decompositores da matéria orgânica, minimiza ou evita a ação direta da chuva no solo reduzindo o escoamento superficial, a compactação e erosão do solo. A serapilheira é, ainda, responsável pela interceptação de pequena parte da água da chuva.

A quantidade de água interceptada pela serapilheira depende das características físicas da mesma, tais como espessura, estado de decomposição e umidade. Poucas são as informações existentes na literatura sobre a interceptação de água pela serapilheira.

2.1.2. Evapotranspiração na Cultura de Eucalipto.

A transpiração das espécies vegetais é determinada, prioritariamente, pela demanda climática relacionada com a radiação solar, o déficit de saturação de

vapor da atmosfera, a temperatura e a velocidade do vento. Além desses fatores, inclui-se o mecanismo fisiológico, próprio da espécie e estágio de desenvolvimento relacionado com a resposta estomática aos fatores ambientais, a estrutura do dossel, além do índice de área foliar (IAF) e da disponibilidade de água no solo (CALDER, 1986).

As espécies coníferas, como o pinus, podem transpirar em maior taxa do que as espécies latifoliadas, como é o caso do eucalipto, por apresentarem maior área foliar, o que acarreta maior superfície evaporativa, e um menor albedo, o que implica em maior quantidade de energia disponível para a evaporação.

Conhecendo-se melhor a variação da umidade do solo é possível avaliar de modo mais eficaz a influência das plantas sobre a disponibilidade de água no solo, pode-se, também, fazer inferências a respeito da transpiração dos vegetais, além de determinar a região onde o sistema radicular atua de modo mais eficiente, dentre outros.

GOMES (1994) avaliou o efeito do espaçamento no crescimento e relações hídricas de três espécies de eucalipto, entre 14 e 26 meses de idade. Embora tenha verificado uma tendência de ocorrer maiores condutâncias estomáticas e, portanto, maiores taxas de transpiração em plantas com maiores espaçamentos, os testes estatísticos não mostraram significância nas variações encontradas.

A quantidade de água evapotranspirada deve variar com as estações do ano em cada região, em virtude dos diferentes regimes de chuva, das condições atmosféricas, e da capacidade de armazenamento do dossel (arquitetura da copa). Durante os dias secos, a transpiração é praticamente a única responsável por toda transferência de água do dossel, visto que, a evaporação da água do

solo e dos tecidos vegetais (não estomáticos), comparativamente é muito pequena. Porém, quando ocorre o molhamento do dossel devido à ocorrência de chuva a transpiração é temporariamente interrompida.

A condutância estomática é um mecanismo fisiológico efficientíssimo através do qual as plantas controlam a transpiração (JARVIS e MCNAUGHTON, 1986). Os estômatos têm uma importante participação no que diz respeito à retenção e liberação de água pela planta para a atmosfera, ou seja, no processo de evapotranspiração. Portanto, conhecer seu funcionamento e como ele reage ao déficit de saturação de vapor na atmosfera e à diminuição ou aumento da água disponível no solo é vital para um melhor entendimento do balanço hídrico em determinada cultura. Por estarem localizados na epiderme das folhas, os estômatos respondem muito rápido às variações climáticas, sendo responsável pelo fluxo de entrada do CO₂ para a realização da fotossíntese e o fluxo de perda de água por transpiração RADIN et al. (1997).

As superfícies das folhas são geralmente envolvidas por uma membrana, relativamente impermeável ao vapor d'água e ao gás carbônico, que possui minúsculos orifícios aos quais são denominados de estômatos. Estes orifícios são muito sensíveis e sua abertura ou fechamento depende de fatores como luz, temperatura, umidade do solo, concentração de gás carbônico, potencial de água na folha e déficit de pressão de vapor do ar. Esta abertura ou fechamento determina a demanda transpirativa a que as folhas estão sujeitas (LIMA, 1996; RADERSMA e RIDDER, 1996).

Através da regulação da demanda transpirativa das folhas, a condutância estomática tem influência direta no potencial de água na planta. Outrossim, é que

o potencial de água nas folhas, afeta a condutância estomática, em particular em condições de déficit hídrico (BARLOW, 1983).

MONTEITH (1965), em seu modelo simplificado para estimar a transpiração, considera o dossel como uma grande folha (big leaf), o qual sujeita às mesmas condições ambientais, desta forma o autor simplifica o trabalho da condutância estomática não considerando a sua estratificação.

ROBERTS e ROSIER (1993) dizem que é aceitável considerar o dossel como uma grande folha, pois, a diferença entre as condutâncias estomáticas é pequena entre as folhas num mesmo instante.

Valores médios diários, em duas camadas, foram obtidos por MIELKE et al. (2000) e tais valores foram similares aos valores médios anuais quando se considerou o dossel independentemente de camada. Eles observaram, também, redução na condutância estomática no final do experimento, realizado no litoral do Espírito Santo, em cultura de *E. grandis*, em razão da redução do potencial de água na folha no mesmo período. MIELKE et al. (1999) afirmaram que o teor de umidade do solo e o potencial de água da folha na antemanhã também representam um papel importantíssimo no controle da condutância estomática, no uso de água pela cultura e na ligação entre o dossel e a atmosfera.

A condutância estomática tem uma função muito importante no controle do uso da água por uma cultura, isso pode ser visto pela forte relação existente entre o dossel e a atmosfera (JARVIS e MCNAUGHTON, 1986; DYE, 1987; HINCKLEY e BRAATNE, 1994).

KALLARACKAL e SOMEN (1997) dizem que existe um padrão bastante consistente quanto à variação da condutância estomática durante o dia, ou seja,

pela manhã geralmente se vê maiores valores de condutância, enquanto que pela parte da tarde esses valores são reduzidos. Os mesmos autores, em análises preliminares, verificaram que a condutância estomática foi controlada pela radiação líquida e o déficit de pressão de vapor.

Logo, o fechamento dos estômatos, que geralmente acontece próximo ao meio dia, pode ser entendido como uma estratégia evolutiva de maximizar a eficiência do uso da água, pois os estômatos permanecem mais abertos apenas durante as partes do dia em que o déficit de pressão de vapor atmosférico é mais baixo (PEREIRA et al., 1986). Verifica-se uma grande sensibilidade da condutância estomática ao déficit de pressão de vapor em plantas de *E. grandis* (LEUNING, 1990 e DYE e OLBRICH, 1993).

De acordo com LEUNING (1991) e ROBERTS e ROSIER (1993) as respostas da condutância estomática ao déficit de pressão de vapor e ao índice de área foliar são fatores muito importantes em relação às quantias de água utilizada pelo eucalipto.

PEREIRA (1986 e 1987) e PEREIRA et al. (1986), desenvolvendo estudo com *E. globulus*, em Portugal, verificaram que a eficiência de uso de água pela cultura foi maior na primavera, reduzindo-se em menores taxas no período de inverno. O uso de água foi reduzido drasticamente à medida que o verão progredia, nesse momento o déficit hídrico torna-se severo.

2.1.3. Umidade do Solo.

Partindo-se do suprimento natural de água ao solo, da demanda

atmosférica, e da capacidade de água disponível, o balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real, da deficiência, do excedente hídrico e do armazenamento de água no solo. O balanço hídrico assim calculado torna-se um indicador climatológico da disponibilidade hídrica em uma região (PEREIRA et al., 1997), o que é fundamental no planejamento agrícola.

Quando se trata de ciclo hidrológico a evaporação é o seu principal termo, portanto, obter informações importantes e precisas sobre este termo se faz necessário para entender melhor os fatores controladores da evaporação, o que vai permitir desenvolver projetos de utilização mais racional e eficiente dos recursos hídricos, previsão de produção agrícola, além de auxiliar na compreensão das relações entre o clima e as alterações no uso do solo (WALLACE, 1995).

O processo de evaporação da água contida no solo tem grande importância quando se quer estimar o armazenamento de água no solo, pois este, é um elemento fundamental na resolução de problemas como manejo da irrigação, escolha da melhor época de plantio, consumo de água pela cultura entre outros (AGUIAR et al., 1997).

Vários métodos são utilizados para estimar a evaporação da água do solo, métodos com diferentes graus de dificuldade, que envolvem medidas diretas, formulações empíricas e semi-empíricas. Quanto à aplicação das formulações para determinar a evaporação do solo, o seu uso dependerá da disponibilidade de dados de elementos climáticos como temperatura, precipitação pluvial, radiação solar, umidade relativa, direção e velocidade do vento, etc. (AL-SHA'LAN e SALIH, 1987).

As perdas de água no solo por evaporação durante o primeiro ano de desenvolvimento do eucalipto serão mais acentuadas, haja vista que, nesta idade não há queda de folhas, o que protegeria o solo da ação direta do vento e da radiação solar que são elementos que atuam diretamente no processo de evaporação.

TOMAS (2000) diz que conteúdo de água no solo, que é determinado, principalmente, através da precipitação, evapotranspiração e das características do solo, é um dos fatores mais importantes dos ecossistemas naturais e introduzidos pelo homem (agricultura).

A água armazenada na superfície do solo, em pequenas poças que ocorre sempre que a intensidade das chuvas excede a capacidade de infiltração do solo são evaporadas com resistência aerodinâmica zero (RADERSMA e RIDDER,1996).

Após o solo ser molhado constantemente e em períodos subsequentes verificam-se duas fases bastante distintas no processo de retirada de água ou secagem do solo. A primeira é uma fase mais constante, na qual a taxa de evaporação é determinada pelas condições da superfície do solo e por fatores externos, como radiação e chuva. A segunda é uma fase em que ocorre redução nas taxas e durante a qual a evaporação procede a uma taxa determinada pelo perfil do solo para transportar umidade para a zona de evaporação (HILLEL, 1971).

Na primeira fase a resistência é zero, e a taxa de evaporação permanece constante, desde que o crescimento do gradiente potencial na superfície do solo em cada ponto possa ser compensado pela diminuição da condutividade

hidráulica. O solo pode ser provido de água rapidamente, para manter a umidade da superfície sobre valores nos quais a transferência de água para a atmosfera é significativamente reduzida. Quando a superfície do solo, dentro de uma cultura, se encontra molhado após um evento de chuva ou irrigação, a taxa de evaporação é menor que 5% do total evapotranspirado. Isso ocorre quando o índice de área foliar é maior ou igual a 1 (JONES, 1986).

Na segunda fase, com a superfície do solo seca, a taxa evaporativa é reduzida devido o movimento da água se dá principalmente por difusão do vapor d'água. Quando a superfície do solo se aproxima do equilíbrio com a camada atmosférica (ar seco), o gradiente potencial para a superfície não pode aumentar para compensar a redução da condutividade do solo quando este seca (RADERSMA e RIDDER, 1996).

O conhecimento da variação de água no solo é importante por algumas razões como, permitir a comparação dos efeitos de diferentes espécies de plantas, como é o caso do eucalipto, sobre a água contida no solo e subsolo; fornece informações sobre a transpiração e evaporação de diferentes vegetais e solos, respectivamente, pois como é sabido, a maior parte da água que é retirada para a transpiração, vem das camadas de solo mais próximas à superfície (HARR e PRICE, 1972; TALSMA e GARDNER, 1986).

2.1.3.1. Importância das Raízes na Umidade do Solo.

A água que a planta retira do solo é, principalmente, função da estrutura do sistema radicular dentro do perfil de solo, pois se sabe que raízes finas são bem

mais eficientes na retirada de nutrientes e água do solo. O crescimento do sistema radicular é determinado, principalmente, pelas condições ambientais tais como disponibilidade hídrica, saldo de radiação, características do solo, dentre outras.

LIMA (1996) diz que como resultado da absorção de água pelas raízes finas, um gradiente de potencial acaba por se desenvolver entre a região imediatamente ao redor dessas raízes e as demais partes do perfil do solo, induzindo desta forma a difusão da umidade do solo em direção às raízes finas. À medida que o solo se torna mais seco, esse fluxo de água começa a se tornar mais difícil, e a retirada de água pela transpiração das plantas tende a diminuir continuamente.

Portanto, as raízes são as principais vias de saída de água do solo para a atmosfera dentro de uma determinada cultura. A profundidade do sistema radicular, principalmente a distribuição das raízes finas no perfil do solo, é muito importante, pois, é aí que saberemos até que profundidade as plantas serão capazes de captar água suficiente para seu pleno desenvolvimento. Vale ressaltar que, para a planta ter uma boa eficiência na retirada de água do solo não basta apenas ter disponibilidade de água, mas também, um sistema radicular bem formado é importante para que a planta capture, de forma eficiente, água e nutrientes para o seu bom desenvolvimento.

INCOLL (1979), numa cultura de *E. regnans* de 29 anos de idade, verificou que cerca de 98% do peso seco das raízes se encontravam nos primeiros 60 cm, próximos à superfície do solo e, a raiz pivotante atingia cerca de 2,5 m de profundidade. PECK e WILLIAMSON (1987) levantaram a possibilidade de que

raízes de eucalipto, na Austrália, extraem água a profundidades maiores do que 6 metros. ASHTON (1975) estudou a configuração do sistema radicular de *Eucalyptus regnans*, verificando um crescimento anormal do sistema radicular, com um máximo de crescimento em profundidade chegando a 7 metros de profundidade quando em idade adulta. GIORDANO (1969), na Itália, em cultura de *E. globulus* com 7 anos de idade verificou que a maior parte do sistema radicular desenvolvia-se nos primeiros 100 centímetros, próximo à superfície do solo, e seu crescimento máximo atingiu a profundidade de 4 metros.

Um fator determinante para que as raízes penetrem nas camadas inferiores do solo é a compactação do solo. Quanto mais compacto é o solo menos raízes finas irão penetrá-lo. Isso mostra a grande sensibilidade das raízes finas à compactação do solo. Portanto, pelo que se verifica em literatura, a maior parte do sistema radicular se desenvolve nas primeiras camadas de solo, a pouca profundidade. Logo, os cuidados com o manejo do solo, antes do plantio, e da cultura, durante sua fase de desenvolvimento, são importantes para que se evite a compactação do solo, contribuindo assim para o bom desenvolvimento do sistema radicular.

Como a profundidade dos aquíferos varia ao longo da topografia local, entende-se que a retirada de água pelas raízes de eucalipto, também é variável. E só seria possível em locais onde esses aquíferos ficassem mais próximos à superfície.

Como resultado das características da concentração do sistema radicular nas camadas superficiais do solo, essas camadas desempenham, naturalmente, uma função ativa na hidrologia do solo, ou seja, a recarga da água do solo pelas

chuvas, assim como, a exaustão da água armazenada no solo pela transpiração, define, ao longo dessa camada, hidrologicamente ativa, um padrão anual de alta variabilidade do conteúdo de umidade, como vem sendo verificado em plantações de eucalipto por (LIMA e REICHARDT, 1977; HARDING, 1987).

2.2. Índice de Crescimento e Biomassa.

Para a obtenção de um bom desempenho, do ponto de vista produtivo, deve-se conciliar uma determinada cultura às condições ambientais em que ela melhor se desenvolve, como: índice pluviométrico, radiação disponível, tipo e umidade do solo, área onde será efetuado o plantio, para minimizar as possibilidades de perdas de biomassa e crescimento pelas quais essas espécies seriam submetidas, aumentando, dessa forma, a produtividade e melhorando a eficiência de uso dos fatores de produção (LEITE, 1996).

Com a necessidade de se obter em curto prazo resultados satisfatórios de níveis de produção, até mesmo para atender às exigências e demandas do mercado consumidor interno e externo utiliza-se, hoje, em grande escala a cultura do pinus e de eucalipto, por apresentarem crescimento rápido e, dentre essas, seleciona-se os clones que melhor se desenvolvem para cada região. Sabe-se que, essas culturas se estendem pelo Brasil, desde o Estado do Amapá até o Rio Grande do Sul (BARROS, 2000), por esse motivo é necessário fazer correções no solo para suprir às necessidades nutritivas das espécies, além disso, verifica-se qual o melhor espaçamento, se há possibilidade de irrigação, tudo isso é feito para reduzir as condições de estresse que vão influenciar diretamente a

assimilação de carbono e outros nutrientes necessários para o bom desenvolvimento desses vegetais e posteriormente a obtenção de uma boa produtividade.

O número ótimo de vegetais, plantados dentro de determinada área de solo, capaz de utilizar, de maneira adequada, o meio onde foram cultivados, pode variar de acordo com a disponibilidade de água e o nível de fertilização do solo (EMBRAPA, 1993).

A variação no número de plantas de eucalipto por área poderá influenciar na quantidade de biomassa obtida por unidade de tempo e também na qualidade do produto final. Pode-se esperar que maiores densidades populacionais produzam maior biomassa inicial por área, em menor intervalo de tempo (LEITE, 1996). Dentro dessa linha de pesquisa alguns trabalhos foram desenvolvidos e algumas conclusões foram explicitadas, como por exemplo: A relação entre matéria seca e biomassa total da parte aérea total e de folhas mostra taxas crescentes com a redução de área útil disponível, isso dá a idéia de que em situações de menor área disponível a eficiência das folhas na produção de biomassa é maior (LEITE, 1996). GRESPAN (1997) verificou, no Espírito Santo, que clones de *E. grandis* que apresentavam grande quantidade de galhos em idade de corte, mostraram conversão menor de biomassa aérea em lenho. DEBELL et al. (1997) afirmam que o consórcio de eucalipto com outras culturas proporciona um ganho maior de biomassa que o “stand” representado pelo plantio simples testado. Foi observado também, crescimento individual mais expressivo do eucalipto sob condições de plantio consorciado.

A conciliação das exigências de determinado plantio de eucalipto quanto às

condições de clima, solo, espaçamento entre plantas, disponibilidade de água, topografia, nutrientes, juntamente com o manejo adequado da cultura, deve ser feita de forma planejada para cada região o que acarretará em um maior crescimento e ganho de biomassa em um menor espaço de tempo e, conseqüentemente, proporcionará um maior ganho na produtividade final.

2.3. Importância da Radiação Solar.

O balanço de radiação em uma determinada superfície consiste na contabilização da energia radiante recebida e perdida pela superfície. Seu estudo é muito importante haja vista sua influência sobre o comportamento de vários elementos meteorológicos assim como, nas trocas de energia e massa, como é o caso do vapor d'água, ou seja, na evapotranspiração das culturas, (ALVES e AZEVEDO, 1997).

O balanço de radiação solar em ecossistema de florestas nativas e plantadas e em ecossistemas agrícolas, é de fundamental importância nos estudos energéticos regionais e no entendimento das relações genótipo-ambiente, os quais determinarão a produtividade de determinado ecossistema (MONTEITH, 1973; ROSEMBERG et al., 1983).

A evapotranspiração é controlada pela energia que é absorvida pela planta e pelo solo. Analisando a quantidade de energia que chega acima e abaixo do dossel, pode-se determinar a quantidade de energia que é absorvida tanto pela planta quanto pelo solo, ao longo de todo o seu ciclo de vida. Esse entendimento permite determinar a quantidade de água evapotranspirada e se haverá

necessidade de reposição ou retirada de água nesta cultura.

O saldo de radiação solar é contabilizado pela diferença entre o saldo de radiação de ondas curtas e ondas longas. O primeiro é totalmente dependente do albedo da superfície, pois quanto maior o albedo menor é a quantidade de energia que é retida pela superfície. O segundo é dependente dos constituintes atmosféricos como nuvens, vapor d'água, CO₂ dentre outros, que absorvem parte dessa radiação. O saldo de radiação ou a energia que é absorvida pela superfície é utilizado para aquecer (calor sensível) o ar, folhas e solo. É utilizada também para o processo de evapotranspiração (calor latente). Uma parte, cerca de 50 % dessa energia, chamada de radiação fotossinteticamente ativa, é de vital importância para os vegetais que a utiliza para realizar o processo de fotossíntese.

Aubertin e Peters (1961) e Campbell et al. (1981), citados por TEIXEIRA et al. (1997), observaram que o espaçamento entre as plantas e a população de plantas afetaram as quantidades relativas de energia absorvidas pelas plantas e pelo solo. OLIVER e SENE (1992) constataram que o fluxo de calor sensível gerado pela superfície do solo tem grande contribuição no balanço de energia e na transpiração dos vegetais.

Uma certa quantidade da radiação solar que atinge a superfície vegetada é refletida (albedo) que pode ser influenciada pelo espaçamento entre plantas, idade da cultura. Essa quantidade de radiação refletida é representada, no balanço de radiação, pelo coeficiente de reflexão que é dado pela razão entre os fluxos de radiação de ondas curtas, refletida e incidente à superfície (SARAIVA et al., 1997).

Geralmente, a reflectância das culturas varia desde valores mínimos, nos primeiros subperíodos de desenvolvimento, onde a cobertura do solo pelo dossel das plantas é bem pequena, até atingir valores máximos, quando a cultura alcança seu completo desenvolvimento vegetativo. Assim, além da variação diurna causada pela elevação solar; condições de umidade do ar e do solo; nebulosidade e tipo de nuvens, a reflectância depende também do percentual de cobertura de solo pela vegetação e do estágio fenológico da cultura (LEITÃO e AZEVEDO, 1990).

A intensidade dos fluxos de energia entre os vegetais e o meio ambiente depende dos níveis de radiação no exterior da copa, enquanto que, nas camadas inferiores da folhagem esses níveis são afetados pela absorção da radiação pelas folhas, sendo largamente influenciados pelo sistema de condução e manejo cultural que são empregados (SMART, 1985).

Uma pequena quantidade da radiação solar que chega à superfície, mas que constitui vital importância para os vegetais, é a radiação fotossinteticamente ativa, conhecida como radiação PAR, que é utilizada pela planta para realização da fotossíntese. Ela se situa, no espectro solar, na banda visível onde o comprimento de onda varia de 0,4 a 0,7 μm , aproximadamente. Os vegetais possuem um sistema fotorreceptor foliar que absorve essa parte da radiação solar e convertem em energia química, na forma de carboidratos, através do processo da fotossíntese (BALDINI, 1988). Segundo SMART (1985), a radiação fotossinteticamente ativa é fortemente absorvida pelo dossel vegetativo, fato relevante para o processo fotossintético. O crescimento das plantas é altamente influenciado pela quantidade de radiação fotossinteticamente ativa, absorvida

pelas folhas, e pela eficiência com que estas usam a radiação para a produção de carboidratos (NAMBIAR e BROW, 1997). Através do conhecimento da radiação fotossinteticamente ativa, é possível se estabelecer cálculos previsivos de eficiência fotossintética, ponto de saturação de luz, troca de CO₂, produção de matéria seca e outros componentes de rendimento para inúmeras espécies (SCHAFFER e ANDERSEN, 1994).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização, Clima e Solo da Área Experimental.

A área de estudo está localizada no município de Belo Oriente, Estado de Minas Gerais, situado a: 19° 18' 23" de latitude Sul , 42° 22' 46" de longitude Oeste e 366 m de altitude. A referida área é de propriedade da Celulose Nipo-Brasileira SA. (CENIBRA), que possui, atualmente, uma área plantada de aproximadamente 100.000 ha na região, com plantios clonais de eucalipto (Figura 01).

A região possui clima do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, temperado chuvoso-mesotérmico, com precipitação média anual de 1.163 mm, temperatura média anual de 25,2 °C, temperatura máxima média de 31,5 °C, mínima média de 19,1 °C e umidade relativa média de 65,2. Os valores, citados anteriormente, referem-se às médias de dezesseis anos de dados coletados na região pela Empresa.

O estudo foi conduzido em dois povoamentos clonais de eucalipto com

idades de 1 e 2 anos, e no espaçamento de 4,0 x 2,5 e 3,0 x 2,5 m, situados em duas posições topográficas, baixada e encosta, respectivamente, e o solo é classificado como Cambissolo Háplico, textura média, e Latossolo Amarelo, textura muito argilosa, no plantio de 1 ano, nas áreas de baixada e encosta, respectivamente. No plantio de 2 anos de idade, o solo é um Cambissolo Háplico, textura muito argilosa ou argilosa, em ambas as áreas, baixada e encosta.



Figura 01. Vista da área experimento (plantio de 1 ano), no município de Belo Oriente, MG.

3.2. Esquema Experimental.

Escolheu-se o clone “57”, um híbrido, desenvolvido pela Florestas Rio Doce (FRD), denominado genericamente de híbrido Rio Claro (*E. urophylla* com *E.*

grandis), tendo em vista que é plantado em grande escala nas áreas de produção da empresa nos últimos anos, uma vez que vem apresentando uma boa produtividade nesta região.

Para o estudo foi utilizada uma área de, aproximadamente, 11.000 m². Esta área foi dividida em quatro parcelas, sendo duas parcelas no plantio com um ano, e duas no plantio de dois anos de idade, uma em cada posição topográfica. Cada parcela foi subdividida em três sub-parcelas, com 100 árvores cada.

3.3. Período do Estudo.

Os dados foram coletados no período entre outubro de 2000 a março de 2001, compreendendo a transição do período seco para o período chuvoso.

3.4. Balanço de Água no Solo.

Para a realização do balanço de água no solo foi utilizada a equação descrita a seguir.

$$\Delta ARM = ARM_i - ARM_{i-1} = P_i - I_d - I_m - ET - p + A_c \quad (1)$$

em que, ΔA é a variação do armazenamento de água no solo, A_i é o armazenamento de água do dia atual, A_{i-1} é o armazenamento do dia anterior, R_i é a precipitação pluvial total do dia, I_d é o total interceptado de água da chuva pelo dossel, I_m é a quantidade de água interceptada pela serapilheira, ET é a evapotranspiração, p é a percolação de água no solo e A_c é a ascensão capilar, todas essas expressas em milímetros (mm).

3.4.1. Interceptação da Água da Chuva pelo Dossel (I_d).

Para a quantificação da precipitação pluvial total foram instalados 2 coletores de água da chuva, um em cima de uma torre de 14 m de altura (PI) e outro a 1,20 m de altura do solo em uma área aberta, nas duas épocas de plantio (Figura 02).

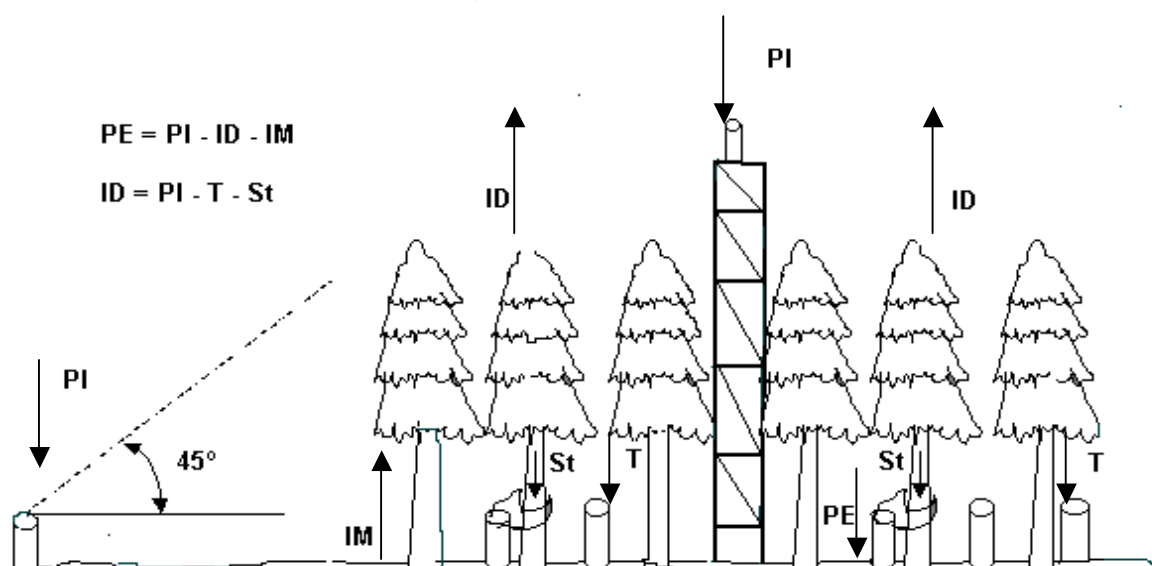


Figura 02. Esquema de coleta dos componentes do processo de interceptação da água da chuva no plantio de eucalipto.

Na figura, PE é a precipitação pluvial efetiva (mm), PI é a precipitação pluvial incidente ou total (mm), ID é a interceptação da água da chuva pelo dossel (mm), IM é a interceptação da água da chuva pela serapilheira (mm), depositada sobre o solo, T é a precipitação interna (mm) e St é o escoamento da água da chuva pelos troncos (mm).

Para quantificar a água pluvial que goteja das folhas e galhos (precipitação

interna), Figura 03, no plantio de 1998, foram instalados 40 coletores, com área de coleta conhecida, sendo 20 na encosta e 20 na baixada. Os coletores foram distribuídos, dentro do plantio, em uma área circular de 521,5 m². Esta área foi dividida por 8 diagonais com 10 m de extensão cada, a partir do centro do círculo. As diagonais foram subdivididas em 20 partes, devidamente demarcadas, correspondendo aos pontos de instalação dos coletores, ou seja, a área circular possuía 160 pontos de amostragem para coleta de água da chuva. A cada evento de chuva foi feita a troca dos coletores para um novo posicionamento, determinado, aleatoriamente, por meio de sorteio. Este critério foi utilizado para obter melhor distribuição da amostragem. A coleta de água foi feita às 9:00 horas, sempre que fosse verificado evento de chuva no dia anterior.



Figura 03. Vista dos coletores de precipitação interna (T_r) no plantio de 2 anos de idade.

A quantidade de água interceptada foi obtida pela diferença entre precipitação pluvial total média, medida na torre, e a soma da precipitação interna média com a quantidade média de água escoada pelos troncos.

No plantio de 1999 a altura dos galhos estava muito próxima ao solo, e foi necessário utilizar coletores tipo calhas (Figura 04), que foram instalados ao nível do solo. Esses coletores foram constituídos de 7 calhas de 1,25 m de comprimento e 5 cm de abertura, feitas em tubos de PVC de 75 mm de diâmetro, apoiadas, nas extremidades, em 2 barras de madeira moldadas (Figura 04). A água coletada foi conduzida por mangueiras plásticas, e armazenada em galões plásticos enterrados no solo. A dimensão e disposição de cada coletor permitiram

amostrar um quadrante da área entre quatro árvores. Foram instalados 4 coletores em cada topografia, totalizando 8 coletores. A quantidade de água da chuva interceptada foi obtida pela diferença entre a precipitação pluvial total média e a soma da lâmina de água média obtida pelos coletores com a quantidade média de água escoada pelos troncos.

Para avaliar a quantidade da água escoada pelos troncos, “stemflow”, foram selecionadas cinco árvores de diâmetro médio, por idade e posição topográfica, nas quais confeccionaram-se os coletores, que foram moldados, em forma de calhas, em espiral, em torno dos troncos, utilizando-se uma massa à base de poliuretano (BALIEIRO, 1999), (Figura 05). A água, recolhida nessas calhas, foi conduzida por mangueiras e armazenada em galões. A quantidade de água foi medida sempre às 09:00 horas do dia posterior a um evento de chuva.



Figura 04. Vista dos coletores de precipitação interna (T_r) no plantio de 1 ano de idade.



Figura 05. Vista dos coletores de água da chuva escoada pelos troncos (S_t) e de precipitação interna (T_r) no plantio de 2 anos de idade.

3.4.2. Interceptação de Água da Chuva pela Serapilheira (I_m).

A interceptação da água da chuva pela serapilheira foi determinada somente no plantio de 1998, pois no de 1999 a quantidade de material sobre o solo era incipiente. Inicialmente, foi determinada a capacidade máxima de retenção de água pela manta, para fazer o acompanhamento do total de chuva que pode ficar retido na serapilheira sem atingir o solo por ocasião de um evento. Para isso, no início da noite, pequenas áreas com serapilheira, nas duas posições topográficas, foram molhadas, abundantemente, e cobertas com plástico para evitar a evaporação. Na antemanhã do dia seguinte, foram retiradas amostras de manta (pressupondo que todo o excesso de água tenha sido escoado devido a ação gravitacional), utilizando-se um gabarito quadrado com 0,5 m de lado. As amostras foram pesadas e secas em estufa a 65 °C, por 72 horas. A capacidade de retenção de água da serapilheira foi obtida pela diferença entre a massa úmida e a massa seca da amostra. Foram retiradas 6 amostras por sub-parcela, totalizando 36 amostras.

Foi, também, realizado o acompanhamento do conteúdo de água na serapilheira, ao longo do período estudado. Para isso, nos mesmos dias em que foram feitas as determinações da umidade do solo, foram coletadas amostras de serapilheira. As amostras, depois de retiradas com o auxílio do gabarito, descrito anteriormente, foram pesadas e secas em estufa. Pela diferença de massa observada, foi possível o acompanhamento da variação do armazenamento de água na manta. Foram coletadas 6 amostras em cada sub-parcela, totalizando 36 amostras em cada dia de coleta.

3.4.3. Determinação da Evapotranspiração.

Para a estimativa da evapotranspiração foi utilizado o modelo de Penman-Monteith, de 1965, o qual inclui os componentes aerodinâmicos e do balanço de energia.

$$LE = \frac{\Delta(R_n - S) + r_a C_p (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + g(1 + r_c / r_a)} \quad (2)$$

em que, LE é o fluxo de calor latente de evaporação ($\text{kJ m}^2 \text{s}^{-1}$); Δ é a declividade da curva de pressão de saturação de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), R_n é a radiação líquida ($\text{kJ m}^2 \text{s}^{-1}$), S é o fluxo de calor no solo ($\text{kJ m}^2 \text{s}^{-1}$), que em valores médios diário foi considerado como zero; r_a é a densidade do ar (kg m^{-3}); g é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); C_p é o calor específico do ar ($\text{kJ kg}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$), $e_s - e_a$ é o déficit de pressão de vapor (kPa); r_a e r_c são as resistências aerodinâmicas e da cultura, respectivamente, dadas em (s m^{-1}).

Os dados meteorológicos, necessários aos cálculos do saldo de radiação, e_s , e_a , C_p , r_a e D , foram obtidos de estação meteorológica automática, instalada a 5 km de distância da área experimental, a qual obtém dados horários com transmissão em tempo real.

Para obter a resistência aerodinâmica (r_a), foi utilizada equação descrita por Brutsant, citado por (ALLEN et al., 1991):

$$r_a = \frac{\ln\left[\frac{z_m - d}{z_{0m}}\right] \ln\left[\frac{z_h - d}{z_{0h}}\right]}{k^2 U_z} \quad (3)$$

em que, z_m é a altura em que será medida a velocidade do vento (m), d é o deslocamento do plano zero do perfil do vento (m), z_{0m} é o parâmetro de

rugosidade para momentum (m), k é a constante de von Karman (0,41), U_z é a velocidade do vento medida à altura z_m ($s\ m^{-1}$), z_h é a altura da medida da umidade do ar, z_{oh} é o parâmetro de rugosidade para calor sensível e vapor d'água (m).

Para obter a resistência da cultura (r_c), foram realizadas medições da condutância estomática utilizando-se um porômetro marca Delta T, modelo AP4. Foram realizadas duas campanhas de coleta de dados, sendo uma no mês de novembro de 2000 e outra em janeiro de 2001. Cada campanha teve 4 dias de duração, 2 dias para cada idade de plantio, sendo realizadas medições das 08 às 18:00 horas.

O acesso às folhas do dossel para essa medição foi feito com a utilização de uma torre de 14 metros de altura, instalada em cada parcela de plantio. As torres foram instaladas no meio de 4 árvores médias, permitindo o acesso a cada uma delas. Foram feitas medidas em 3 estratos (inferior, médio e superior) no plantio de 1999 e em 2 estratos (inferior e superior) no plantio de 1998. Isso se justifica pelo fato do plantio de 1999 apresentar galhos e folhas em toda a extensão do tronco, enquanto que o plantio de 1998 apresenta a menor extensão de copa, com galhos e folhas apenas na parte alta do dossel.

De posse dos dados de resistência estomática, foram gerados modelos de resistência para a cultura em função do déficit de saturação de vapor, da radiação fotossinteticamente ativa e da temperatura do ar, em condições distintas de pluviosidade. Os modelos foram gerados usando-se regressões lineares múltiplas, e sendo sua utilização posterior dependente das condições de umidade do solo, ou seja, quando a umidade do solo era maior utilizava-se o modelo

gerado para o mês chuvoso (novembro/2000), quando a umidade do solo era menor utilizava-se o modelo gerado para o mês seco (janeiro/2001).

Os parâmetros da equação de Penman-Monteith foram calculados através das seguintes expressões matemáticas:

Pressão de Vapor de Saturação (e_a), em kPa,

$$e_a = 0,6108 \exp \frac{17,27T}{T + 237,3} \quad (4)$$

em que,

T = temperatura média diária, dada em °C.

Pressão Parcial de Vapor (e_d), em kPa,

$$e_d = \frac{e_a UR}{100} \quad (5)$$

em que,

UR = umidade relativa média diária, dada em %.

Déficit de Pressão de Vapor (DPV), em kPa,

$$DPV = e_a - e_d \quad (6)$$

Declividade da Curva de Saturação (Δ), em kPa °C⁻¹,

$$\Delta = \frac{4098e_a}{(T + 237,3)^2} \quad (7)$$

Calor Latente de Evaporação (λ), em MJ kg⁻¹,

$$\lambda = 2,501(2,361 \times 10^{-3})T \quad (8)$$

Constante Psicrométrica (γ), em kPa °C⁻¹,

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} \quad (9)$$

em que,

P = pressão atmosférica dada, em kPa.

Calor Específico do Ar Úmido (C_p), em MJ kg K⁻¹,

$$C_p = \frac{1005}{10^6} \quad (10)$$

Temperatura Absoluta (T_k), em K,

$$T_k = 273,16 + T \quad (11)$$

Temperatura Virtual (T_{kv}), em K,

$$T_{kv} = T_k \left(1 - 0,378 \frac{e_d}{P} \right)^{-1} \quad (12)$$

Densidade Absoluta do Ar (ρ_a), em kg m⁻³,

$$\rho_a = 3,486 \frac{P}{T_{kv}} \quad (13)$$

Saldo de Radiação de Ondas Curtas (B_{oc}), em MJ m⁻² d⁻¹,

$$B_{oc} = (1 - \alpha) R_i \quad (14)$$

em que,

α = albedo, 0,23 e 0,27, medido nos plantios de 1 e 2 anos,

respectivamente; e

R_i = radiação incidente na superfície dada, em MJ m⁻² d⁻¹,

Declinação Solar (δ), em graus

$$\delta = 23,45 \text{Sen} \left(\frac{360}{365} (284 + j) \right) \quad (15)$$

em que,

j = dia juliano

Ângulo Horário (H), em radianos,

$$H = \arccos(-\tan f \tan d) \quad (16)$$

em que,

ϕ = latitude dada, em graus.

Duração Total do Fotoperíodo (N), em horas,

$$N = \frac{2H}{15} \quad (17)$$

Distância Relativa Terra-Sol (D), que é adimensional,

$$D = 1 + 0,33 \cos \frac{2\pi}{365} j \quad (18)$$

Radiação Solar Incidente no Topo da Atmosfera (R_a), MJ m⁻² d⁻¹,

$$R_a = 37,586D(H \sin f \sin d + \cos f \cos d \sin H) \quad (19)$$

Saldo de Radiação de Ondas Longas (Bol), em MJ m⁻² d⁻¹,

$$Bol = 4,8989 \times 10^9 T^4 (0,09 \sqrt{e_a} - 0,56) (0,1 + 0,9n / N) \quad (20)$$

em que,

T = temperatura do ar dada, em K,

Saldo de Radiação (R_n), em MJ m⁻² d⁻¹,

$$R_n = Boc + Bol \quad (21)$$

Adotou-se que o valor da radiação fotossinteticamente ativa era de 50% da radiação líquida (R_n)

Para a determinação do IAF foi utilizado o método destrutivo. Duas árvores médias, em cada parcela, foram derrubadas para extração de suas folhas. Após homogeneização e separação de uma amostra das folhas de cada árvore derrubada, foi determinado o IAF das amostras, utilizando um medidor de área

DELTA T Instruments com sistema óptico de leitura. O IAF total de cada árvore foi obtido pela correlação da massa das amostras de folhas e a massa total das folhas de cada árvore.

3.5. Determinação da Umidade de Solo.

Para o monitoramento da água no solo, durante o período de estudo, foi utilizada uma sonda de neutrons modelo 503 DR-HIDROPROBE, CPN INTERNATIONAL INC, MARTINEZ CALIFORNIA EUA. A calibração da sonda foi realizada pelo método de campo, onde 8 tubos de alumínio, de 1m de comprimento cada, foram instalados para a obtenção da curva de calibração da sonda. Esta curva correlaciona a contagem de neutrons atenuados com as medidas de umidade em diferentes profundidades do solo, nas diferentes áreas de estudo. Duas calibrações foram feitas, com leituras a 30, 45, 60 e 75cm de profundidade.

Para a realização das sondagens foram instalados tubos de acesso de alumínio, com 2 m de comprimento e 45 mm de diâmetro interno. Nas áreas experimentais dos plantios de 1998 e 1999, foram distribuídos 2 tubos de acesso para a sonda em cada sub-parcela e nas diferentes posições topográficas, ou seja, baixada e encosta, totalizando 24 tubos. As leituras da sonda foram feitas duas vezes por semana, preferencialmente, nas segundas e quintas feiras, a 30, 60, 90, 120, 150 e 170 cm de profundidade. A partir do conteúdo de água no solo pode-se calcular o quanto de água foi perdido para a atmosfera.

O conteúdo de umidade na camada superficial foi obtido

concomitantemente com as sondagens, pelo método gravimétrico, em que foram tiradas 6 amostras de solo, por parcela, da camada de 0 a 15 cm de profundidade, as quais, foram pesadas e colocadas para secar em estufa à 105⁰C por 72 horas. As medidas de umidade permitiram o acompanhamento da variação do armazenamento de água no solo por todo o período de estudo. A variação do armazenamento de água no solo foi utilizada na calibração do modelo de balanço hídrico utilizado, descrito no item 3.4.

3.6. Avaliação do Crescimento.

Foram feitas medições para a determinação de índices de crescimento. Foram medidos os diâmetros dos caules de árvores das diferentes parcelas, à altura aproximada de 1,30 m (DAP), nos meses de setembro de 2000 a janeiro de 2001. Medidas das alturas das árvores das diferentes parcelas foram, também, obtidas no mesmo intervalo de tempo. A biomassa, da parte aérea e raízes, foi determinada no início do período experimental. Para isso, duas árvores médias, por parcela, foram derrubadas. A parte aérea foi toda pesada, tronco, galhos, folhas, casca para quantificar a sua massa. As raízes foram quantificadas, por amostragem, pelo método da escavação, cujo procedimento foi escavar um quarto da área de solo de uma árvore até a profundidade de 1,50 m. As raízes foram separadas do solo, retirado na escavação, por meio de catação e quantificadas por diâmetros, fina (ϕ inferior a 2 mm), média (ϕ superior a 2 e inferior a 5 mm) e grossa (ϕ superior a 5 mm) para diferentes camadas do solo (0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-150 cm de profundidade). As raízes

foram pesadas e posteriormente colocadas em estufa para secagem para determinação da quantidade de matéria seca da mesma. Após a quantificação das raízes retiradas da amostra de solo, foi feita a quantificação total de raízes para a área total de cada planta através de regra de três simples.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado por amostragem das folhas de cada árvore derrubada, após homogeneização do material coletado nas duas idades e posições topográficas. Estas medidas foram úteis para o acompanhamento da bioconversão da floresta e permitiu determinar a eficiência do uso da água pela cultura do eucalipto.

A distribuição percentual de biomassa de raízes finas e médias foi estimada para as diferentes camadas de solo. Para conhecer a contribuição de cada camada de solo na transpiração foi levado em consideração um fator de ponderação baseado na distribuição percentual de raízes finas e médias e o armazenamento de água por camada. Isso se justifica uma vez que, por unidade de massa, a superfície específica de raízes finas é, aproximadamente, nove vezes maior que as raízes médias. Assim, a contribuição das diferentes camadas na transpiração, em uma primeira aproximação, foi estimada com base no fator de ponderação, da seguinte forma:

$$T_{i,j} = ET_i . Kt_{i,j} \quad (22)$$

em que,

$T_{i,j}$ = evapotranspiração no dia i, na camada de solo j;

ET = evapotranspiração total no dia i; e

$Kt_{i,j}$ = fator de ponderação no dia i, na camada j; sendo

$$Kt_{i,j} = \frac{Kr_j}{\sum_{j=1}^n Kr_j} \cdot \frac{Ks_{i,j}}{\sum_{j=1}^n Ks_{i,j}}. \quad (23)$$

em que,

Kr_j = coeficiente de contribuição das raízes na camada j;

$Ks_{i,j}$ = coeficiente de contribuição do solo no dia i, na camada j.

$$Kr_j = \frac{(0,9 \cdot prf_j)}{100} + \frac{(0,1 \cdot prm_j)}{100} \quad (24)$$

em que,

prf_j = percentual de raízes finas na camada j; e

prm_j = percentual de raízes média na camada j.

$$Ks_{i,j} = \frac{(q_{i,j} - qPMP_j)}{(qCC_j - qPMP_j)} \quad (25)$$

em que,

$\theta_{i,j}$ = umidade do solo no dia i, na camada j;

θPMP_j = umidade do ponto de murchamento permanente na camada j;

θCC_j = umidade da capacidade de campo na camada j;

Para avaliar a eficiência de uso da água (EUA) pela cultura do eucalipto utilizou-se medidas de altura e diâmetro médios das árvores, dos meses de outubro de 2000 até janeiro de 2001. Foi feita uma relação dessas medidas com a evapotranspiração, onde se pode avaliar o consumo de água da planta para a produção de volume de madeira por hectare de solo plantado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Precipitação Pluvial Incidente.

Os totais de chuva diários e a distribuição dos eventos, ao longo do período de estudo entre as duas áreas experimentais, apresentaram valores próximos, embora tenham sido verificadas variações entre elas (Figura 06). O total de chuva, para todo o período estudado, foi 852,1 e 917,1 mm, para os plantios de 1 e de 2 anos de idade, respectivamente. A proximidade dos valores totais de chuva, observados entre as áreas experimentais, pode ser explicada pela pequena distância entre os plantios estudados, cerca de 7 km. A pequena variação das alturas pluviais, verificadas entre os plantios, é uma característica das chuvas na região que, na grande maioria dos eventos, é de origem convectiva, ou seja, a chuva é formada pelo aquecimento diferenciado das superfícies e a precipitação acaba ocorrendo em uma área pequena da região.

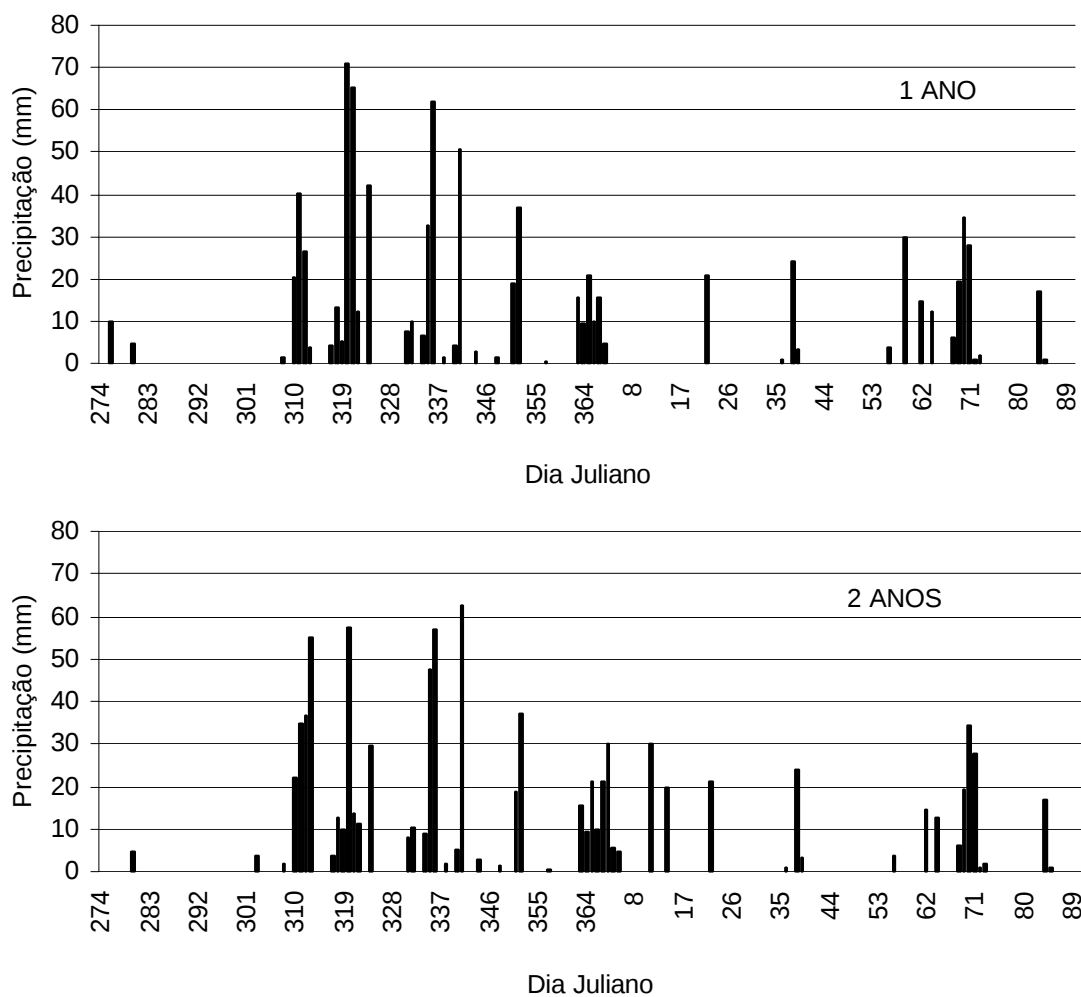


Figura 06. Distribuição dos totais diários de chuva, em mm, durante o período de estudo, na área experimental dos plantios de 1 e 2 anos, na região de Belo Oriente - MG.

O período de estudo apresentou totais de chuva um pouco abaixo dos valores médios (Quadro 01), observando-se totais 15,6 e 9,1 % menores para os plantios 1999 e 1998, respectivamente. Ainda, segundo os dados médios, a época mais chuvosa do período estudado situou-se entre os meses de novembro e março. Dentre esses, embora os totais de chuva nas áreas de estudo em dezembro e março tenham se mantido próximo aos médios, nos demais meses verificaram-se algumas anomalias, positivas, como foi o caso do mês de novembro, que atingiu altura pluvial média, entre os dois plantios, 38,5 % superior ao valor esperado.

Nos meses de outubro e fevereiro as anomalias foram negativas. Em outubro, verificaram-se totais de chuva 84,5 e 89,8 % inferiores à média, para a região, respectivamente nos plantios de 1 e 2 anos de idade. Em fevereiro os totais de chuva foram 43,7 e 70,7 % inferiores aos totais médios, nos plantios de 1 e 2 anos, respectivamente. No mês de janeiro, no plantio de 2 anos a altura pluviométrica ficou próxima ao valor da média, no entanto, a altura pluvial no plantio de 1 ano foi 71,6 % inferior à média. As anomalias nessa região, nesse período, podem ter sido ocasionadas pela persistência do sistema de alta pressão do Atlântico Sul sobre o continente, o que minimiza os movimentos convectivos e desloca as frentes frias rapidamente para o oceano, inibindo assim a formação de nebulosidade. Esses sistemas provocaram anomalias negativas de precipitação superiores a 100 mm na região (CLIMANÁLISE, 2001; 2002). Além disso, o fenômeno La Niña, que nesses meses, teve forte atuação, podendo ter contribuído para um aumento ou redução nos índices pluviométricos para essa região.

Quadro 01. Totais mensais de chuva para as áreas experimentais e totais médios para a região (média de 16 anos)

MÊS	PLANTIO 1999	PLANTIO 1998	MÉDIA (16 ANOS)
-----mm-----			
OUT	14,8	8,8	95,4
NOV	329,6	316,5	233,2
DEZ	258,2	281,3	249,9
JAN	51,0	142,0	179,7
FEV	62,5	32,5	111,1
MAR	136,0	136,0	140,3
TOTAL	852,1	917,1	1009,6

4.2. Interceptação da Água da Chuva.

4.2.1. Interceptação pelo Dossel.

A maior proporção da precipitação pluvial incidente passou pelo dossel das árvores constituindo a precipitação interna. No plantio 1998, essa via correspondeu a 92,4% e no de 1999, 84,7% da precipitação incidente. Por outro lado, o escoamento pelo tronco não apresenta tendência clara quanto à diferenciação nas contribuições entre as duas idades de plantios. A maior precipitação interna observada no plantio 1998, em relação ao plantio 1999, resulta de uma menor interceptação de água pelo dossel neste primeiro plantio, observando-se uma contribuição média, respectivamente para o plantio de 1 e 2 anos, de 5,7 e 13,6 % da precipitação incidente (Quadro 02). A maior contribuição

na interceptação verificada no plantio 1999 não pode ser explicada pela diferença no IAF, já que não foi verificada relação entre este índice e a interceptação nas duas idades.

Quadro 02. Totais acumulados de chuva (P_t), precipitação interna (T_r), água de chuva escoada pelos troncos (S_t), interceptação da água da chuva pelo dossel (I_d), Índice de área foliar (IAF) e suas respectivas porcentagens em relação a P_t , durante o período de estudo, em plantação de eucalipto de diferentes idades (1 e 2 anos) e posições topográficas (TOP) de baixada (BX) e encosta (EC)

Idade	TOP	P_t (mm)	T_r (mm)	T_r (%)	S_t (mm)	S_t (%)	I_d (mm)	I_d (%)	IAF
1 Ano	BX	852,1	735,5	86,3	16,4	1,9	100,2	11,8	4,17
	EC	852,1	706,9	83,0	14,8	1,7	130,4	15,3	3,22
2 Anos	BX	917,1	849,4	92,6	13,3	1,5	54,4	5,9	3,45
	EC	917,1	844,3	92,1	22,1	2,4	50,7	5,5	4,12

A diferença observada nas interceptações entre os plantios parece estar relacionada com a arquitetura do dossel. Isso se justifica uma vez que, o plantio 1999, embora não cubra totalmente o solo, apresenta sobreposição dos galhos que se estendem por todo o tronco. Esse fato deve conferir maior eficiência na retenção de água no plantio 1999, em relação ao plantio 1998, pois este último apresenta copa somente no terço mais alto das árvores, com muitos espaços abertos. A diferença na interceptação do dossel entre as duas posições topográficas estudadas é pequena e, provavelmente, decorrentes da semelhança e diferenças do IAF das plantas com as diferenças nos IAFs. Era de se esperar para a posição topográfica de baixada, no plantio de dois anos, um IAF maior, porém, no final do período chuvoso, anterior ao início deste trabalho, essa área foi

afetada, rigorosamente, pela Seca de Ponteira do Eucalipto do Vale do Rio Doce (SPEVRD) que é uma doença que provoca elevada desgalha das plantas, fato que pode ter contribuído para um menor valor de IAF na posição de baixada do plantio 1998.

A metodologia empregada para medir a precipitação interna (T_r), para o plantio 1999, mostrou-se bastante eficiente, tendo apresentado valores máximos de coeficiente de variação em torno de 5,0% (Quadro 03). Por outro lado, a metodologia empregada para medir a precipitação interna (T_r) para o plantio 1998 apresentou valores de coeficiente de variação de até 23,8%. Essa variação decorreu da arquitetura da copa em plantios mais velhos que direciona o gotejamento para pontos definidos, como observado no campo. Maior variabilidade neste tipo de avaliação foi também registrada em outros trabalhos (LLOYD e MAQUES, 1988; RUTTER et al.1971). Para reduzir o coeficiente de variação na precipitação interna em plantio fechados tem-se que aumentar o período de coleta de dados e o número de coletores. No caso particular deste estudo, a alta frequência temporal de coleta e alta rotatividade no posicionamento dos coletores empregados, pode ter contribuído para minimizar os efeitos da variação.

Quadro 03. Desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV) e amplitude de variação dos coeficientes de variação (Ampl. CV) da precipitação interna e escoamento pelo tronco, em plantações de eucalipto com diferentes idades e duas posições topográficas (TOP), de baixada (BX) e encosta (EC)

Idade	TOP	Precipitação Interna			Escoamento do Tronco		
		s	CV	Ampl. CV	s	CV	Ampl.CV
		(mm)	(%)	(%)	(mm)	(%)	(%)
1 Ano	BX	0,65	5,0	1,8 a 10,8	0,33	5,2	8,0 a 2,5
	EC	0,46	4,3	1,2 a 10,5	0,30	5,6	1,9 a 11,8
2 Anos	BX	3,20	19,9	6,6 a 39,1	0,39	5,0	3,1 a 6,9
	EC	3,60	23,8	8,5 a 35,8	0,41	3,6	2,6 a 5,3

A metodologia empregada para medir o escoamento do tronco (S_t) para os plantios estudados mostrou-se bastante eficiente, tendo apresentado valores máximo de coeficiente de variação em torno de 12% (Quadro 03).

A capacidade de retenção máxima da água de chuva pelo dossel (CRD), nos plantios estudados foi determinada por regressão linear entre os valores obtidos para a precipitação interna e para precipitação total incidente, sendo o coeficiente linear das equações geradas. A capacidade de retenção máxima, obtida para o plantio de 1 ano, não diferiu muito entre as duas posições topográficas, sendo de 0,53 mm para a baixada e de 0,48 mm na encosta. A magnitude da variação observada nas capacidades de retenção da chuva pelo dossel das topografias estudadas no plantio de 1 ano, não explica a maior interceptação observada na encosta. O plantio de 2 anos por sua vez apresentou capacidades de retenção do dossel menores, 0,24 mm para a baixada e 0,10 mm

para a encosta. Embora, nessa idade de plantio, a diferença na capacidade de retenção do dossel entre as topografias seja de duas vezes, o total interceptado pelo dossel entre elas não diferiu muito (Quadro 02), indicando que esta variação também não explica a diferença observada. As diferenças no total de água interceptado, entre as duas idades de plantio, no entanto, podem ser explicadas pela maior capacidade de retenção do dossel, verificada no plantio de 1 ano em relação ao de 2 anos.

A partir dos dados medidos de precipitação interna (T_r) e escoamento de água da chuva pelos troncos (S_t) foram gerados, através de regressões lineares, modelos que estimassem T_r e S_t (Quadro 04) para cada plantio e posição topográfica, levando em consideração como dado de entrada a precipitação incidente, tendo sido verificado, de forma geral, uma boa aproximação entre os dados medidos em campo e os estimados.

Quadro 04. Equações de regressão para a estimativa da precipitação interna (T_r) e da água da chuva escoada pelos troncos (S_t), em mm, em função das alturas pluviais (P_t) nas diferentes idades de plantio e posições topográficas (TOP) de baixada (BX) e encosta (EC), na região de Belo Oriente – MG.

IDADE	TOP	MODELO	R ²
Precipitação Interna			
1 Ano	BX	$T_r = 0,0017 P_t^2 + 0,8024 P_t - 0,0445$	0,98
	EC	$T_r = 0,0010 P_t^2 + 0,8034 P_t - 0,2279$	0,99
2 Anos	BX	$T_r = -0,0003 P_t^2 + 0,9488 P_t - 0,2357$	0,99
	EC	$T_r = 0,0004 P_t^2 + 0,9099 P_t - 0,0535$	0,99
Escoamento de Água pelos Troncos			
1 Ano	BX	$S_t = 0,00020 P_t^2 + 0,0136 P_t - 0,0184$	0,99
	EC	$S_t = 0,00010 P_t^2 + 0,0153 P_t - 0,0335$	0,99
2 Anos	BX	$S_t = 0,00010 P_t^2 + 0,0104 P_t - 0,0162$	0,99
	EC	$S_t = 0,00004 P_t^2 + 0,0239 P_t - 0,0177$	0,99

4.2.2. Interceptação pela Serapilheira (Manta).

A capacidade de retenção máxima de água pela serapilheira (CRM) no plantio de dois anos variou de 1,11 mm, para a baixada, a 1,12 mm na encosta (Figura 07). A variação em torno desses valores foi baixa, sendo, respectivamente, de 3,64 e 2,67%. A capacidade de retenção máxima da manta foi maior que a capacidade de retenção máxima do dossel, o que pode estar

relacionado com a disponibilidade de energia, condições aerodinâmicas (vento, turbulência) e o estado de decomposição da manta. Em geral, ao longo do período de estudo, a umidade real da manta esteve abaixo da sua capacidade máxima de retenção, sendo os valores médios observados de 0,86 e 0,90 mm, respectivamente, para os plantios de baixada e encosta (Figura 07). As exceções foram observadas nos dias julianos 324, 332 e 338, quando a umidade da manta foi maior que a capacidade de retenção, indicando saturação. Este excesso é drenado ou infiltrado no solo, e ocorreram no mês mais chuvoso, quando se observaram os picos de chuva.

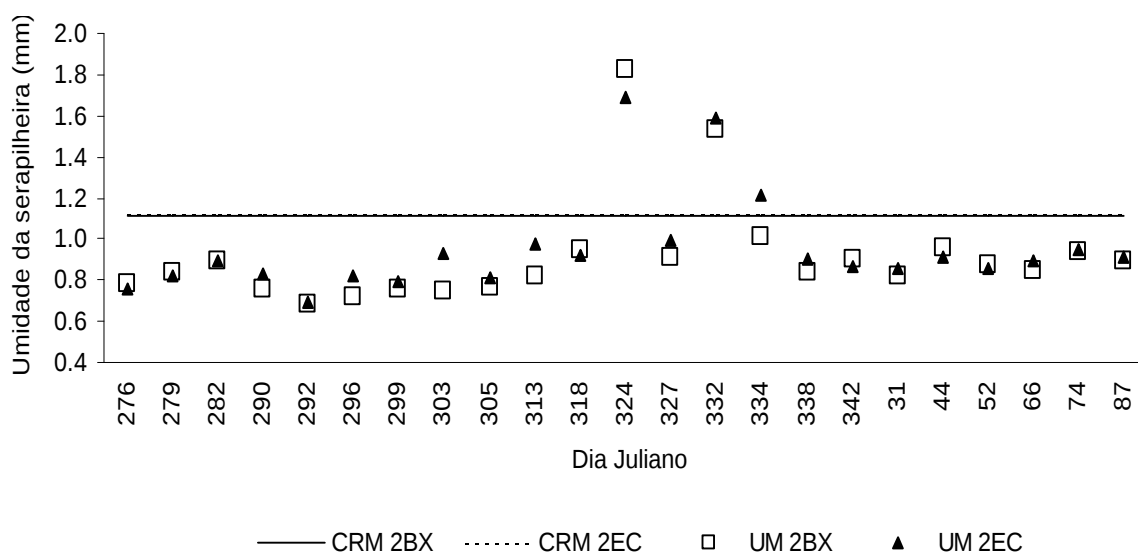


Figura 07. Variação da umidade da serapilheira no plantio de 2 anos baixada (quadrado) e encosta (triângulo) no período de estudo. As linhas representam as capacidades de retenção da manta para os plantios de dois anos, baixada, (linha cheia), e encosta (linha pontilhada).

A interceptação da água da chuva pela serapilheira foi de 15,8 mm no plantio de baixada e 10,6 mm no de encosta, o que corresponde a 1,73 e 1,16% da precipitação incidente (P_t). A maior interceptação de água pela serapilheira, observada no plantio de baixada, pode ser explicada pela menor umidade da serapilheira nessa posição topográfica, durante quase todo o período estudado. A maior umidade da serapilheira, observada na posição de encosta, pode estar relacionada com o maior IAF, observado nessa posição topográfica, o que minimiza a disponibilidade de radiação solar para evaporação (maior extinção da radiação solar), bem como, com a inclinação do terreno, que pode contribuir para uma menor exposição deste aos raios solares.

Embora o total de água interceptado pela serapilheira, encontrado para esta idade de plantio, seja menor quando comparado ao total de água interceptado pelo dossel, à medida que o acúmulo de serapilheira aumente com o passar da idade este componente pode vir a ter uma importância maior no balanço hídrico do solo. Estudos desta natureza, para plantios de eucalipto, são raros na literatura, e devem ser aprimorados para melhor calibração da estimativa do uso de água nesses plantios.

Neste estudo não foi contabilizada a evaporação da água interceptada pela manta durante os eventos das chuvas e período de drenagem da água retida acima da CRM. Embora se acredite que a contribuição da evaporação seja pequena, sua ocorrência pode superestimar a precipitação efetiva (PE).

4.3. Transpiração do Dossel e a Contribuição de cada Camada do Perfil de Solo.

Os valores, de condutância estomática, encontrados para o eucalipto, em idade inicial de desenvolvimento, neste trabalho, mostraram-se maiores que os encontrados por MIELKE et al. (2000), que estudaram a mesma espécie em idade adulta, chegando a ser duas vezes maiores. Isso já era esperado uma vez que a maior velocidade de crescimento verificada em plantios jovem induzem maior consumo de água. Valores de condutância semelhantes, embora menores, foram encontrados por KALLARACKAL e SOMEN (1997) que estudaram *Eucalyptus grandis* com 4 anos de idade, mais uma vez mostrando a coerência dos dados aqui levantados.

O Quadro 05 mostra os modelos de resistência do dossel, obtidos a partir do inverso da condutância estomática multiplicada pelo IAF, gerado através de regressões lineares múltiplas, utilizando como variáveis dependentes o déficit de saturação de vapor de água da atmosfera, a radiação fotossinteticamente ativa e a temperatura do ar. Pode-se verificar que o ajuste do modelo de resistência do dossel foi bom, haja vista, que o ajuste conseguido nesse estudo foi melhor que os encontrados por MIELKE et al., 2000 e ROBERTS et al., 1990.

Quadro 05. Equações de regressão para a estimativa da resistência do dossel (r_c) em $s\ m^{-1}$, em função do déficit de pressão de vapor (DPV), em kPa, da radiação solar global (RAD) em $W\ m^{-2}$, de acordo com as idades e posições topográficas (TOP)

Idade	TOP	Modelo	R^2
1 ano	BX	$r_c = 81,4374 + 1,9711\ DPV - 0,1491\ RAD$	0,76
1 ano	EC	$r_c = 75,3844 + 2,7193\ DPV - 0,1517\ RAD$	0,76
2 anos	BX	$r_c = 43,9011 + 5,4526\ DPV - 0,1268\ RAD$	0,77
2 anos	EC	$r_c = 36,8376 + 4,7776\ DPV - 0,1115\ RAD$	0,77

As figuras 8 a 11 mostram, para os plantios estudados, as variações da transpiração total diária estimada pelo modelo de Penman-Monteith para as diferentes camadas de solo, bem como, as respectivas variações do armazenamento de água. Verifica-se uma maior transpiração no plantio 1998 em relação ao plantio 1999, sendo que, os valores totais máximos diários chegam próximos a 8,6 mm. No plantio 1999 os valores máximos ficam próximos a 7,8 mm. Os menores valores de transpiração, para todos os plantios estudados, foram verificados no início do período de estudo (dias julianos 274 e 311), coincidindo com o fim da estação seca do ano de 2000. De maneira geral, nesse período, o armazenamento de água no solo esteve próximo ao ponto de murcha permanente, especialmente nos plantios 1999, conferindo a estes uma menor capacidade transpirativa (Quadro 06). Este fato pode ser explicado por este plantio ter menor disponibilidade de água no solo (Figura 09). Os plantios 1998 receberam maior contribuição de água da camada 15 a 45 cm no total de água transpirada (Quadro 07), apesar da concentração de raízes, totais e finas, nessa

camada praticamente não diferir da camada superficial (0 a 15cm). Uma vez que a distribuição de raízes não explica a maior contribuição da camada 15 a 45 cm no total transpirado este fato está relacionado a maior disponibilidade de água nessa camada em relação à camada superficial.

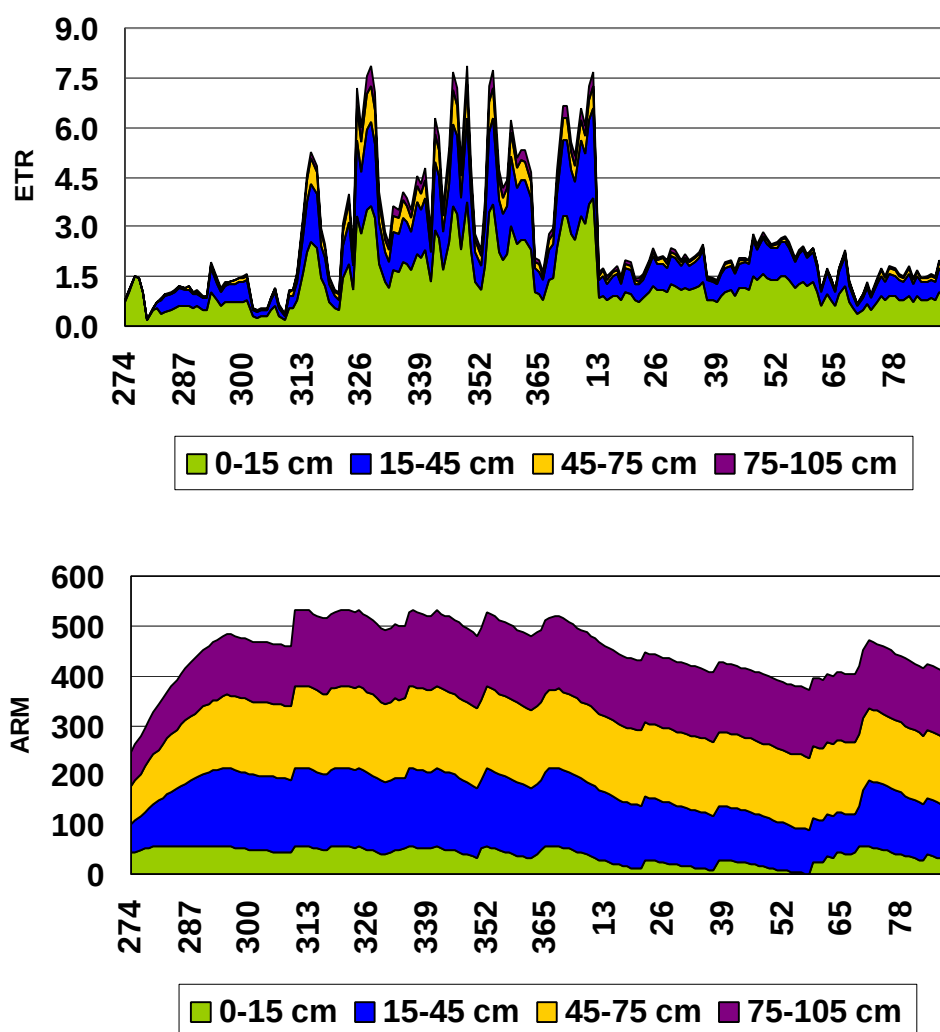


Figura 08. Evapotranspiração real (ETR, em mm/dia) e água armazenada no solo (ARM, em mm), estimadas por modelo de balanço hídrico, em camadas do perfil do solo, sob plantios clonais de eucalipto de 1 ano de idade, na posição topográfica de baixada, durante o período que vai de outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.

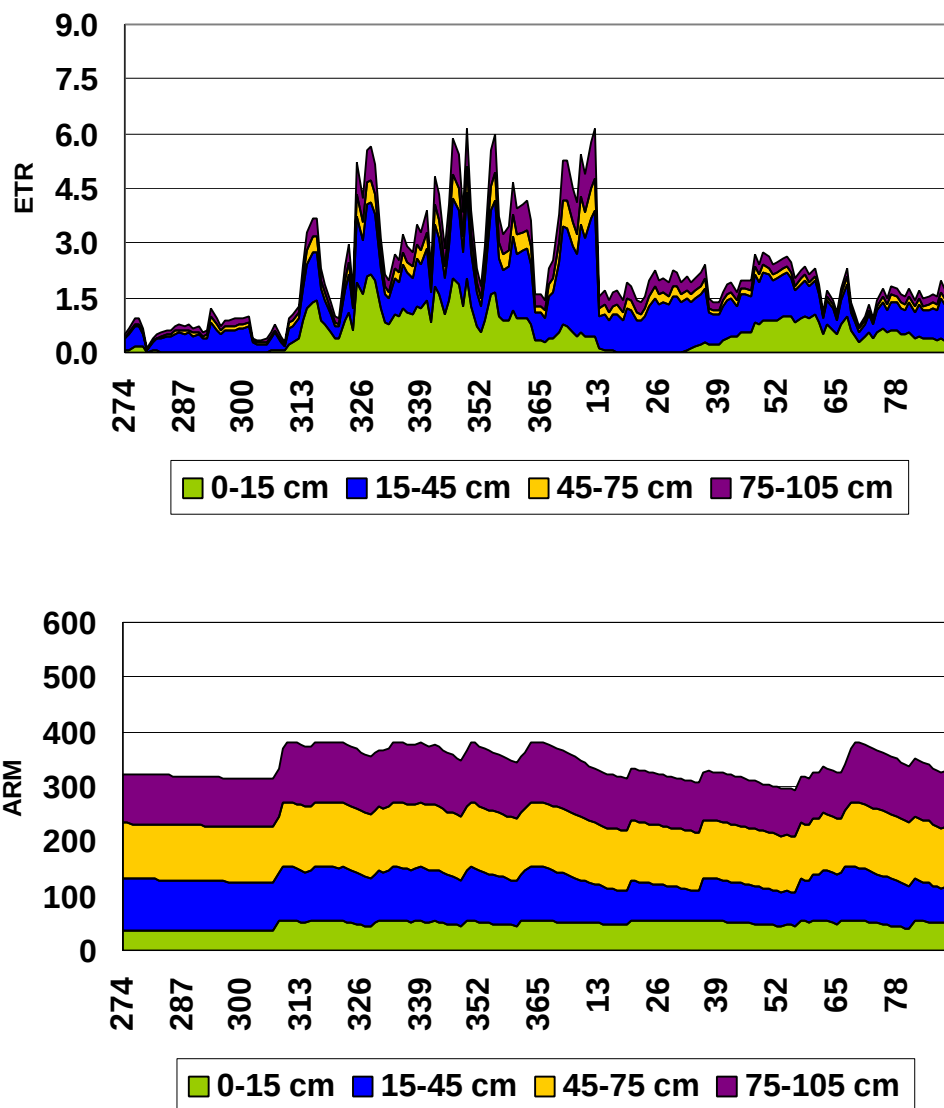


Figura 09. Evapotranspiração real (ETR, em mm/dia) e água armazenada no solo (ARM, em mm) estimadas por modelo de balanço hídrico, em camadas do perfil do solo sob plantios clonais de eucalipto de 1 ano de idade, na posição topográfica de encosta durante o período que vai de outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.

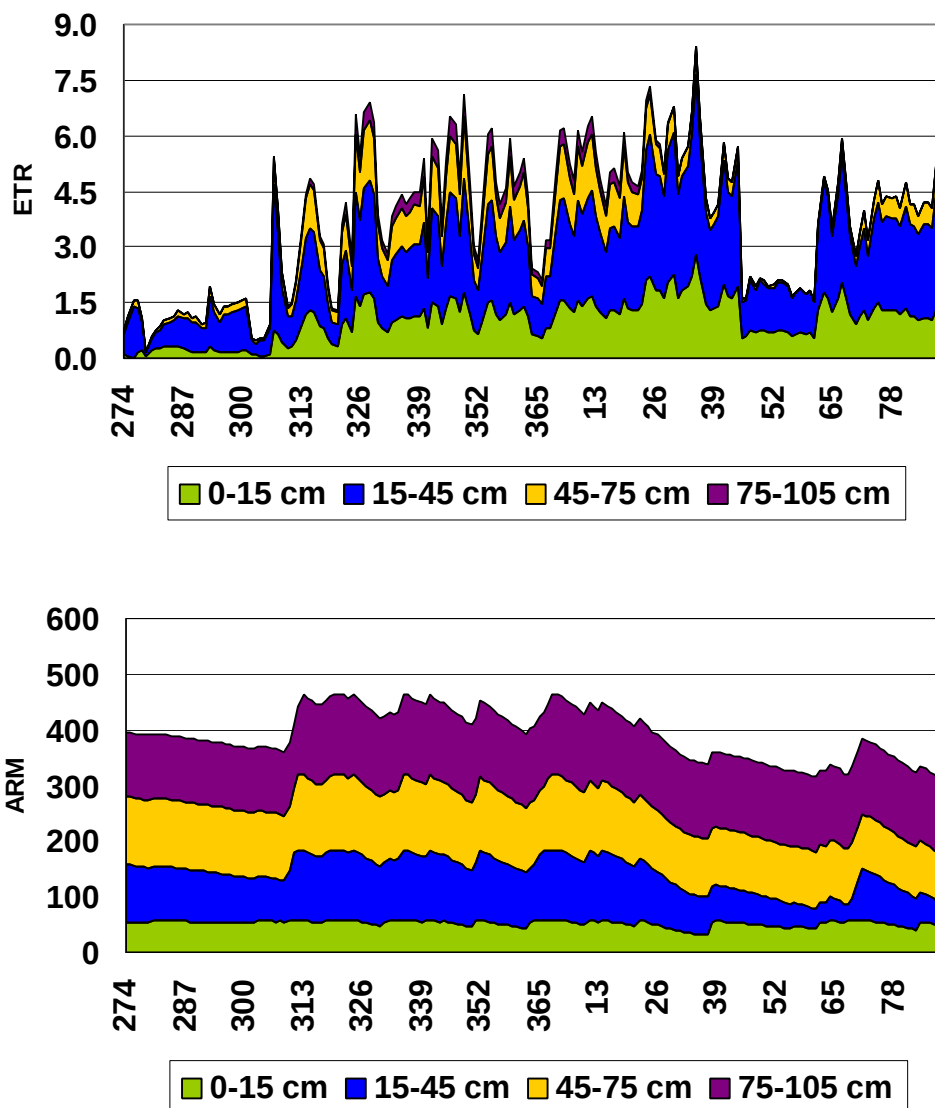


Figura 10. Evapotranspiração real (ETR, em mm/dia) e água armazenada no solo (ARM, em mm) estimadas por modelo de balanço hídrico, em camadas do perfil do solo sob plantios clonais de eucalipto de 2 anos de idade, na posição topográfica de baixada durante o período que vai de outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.

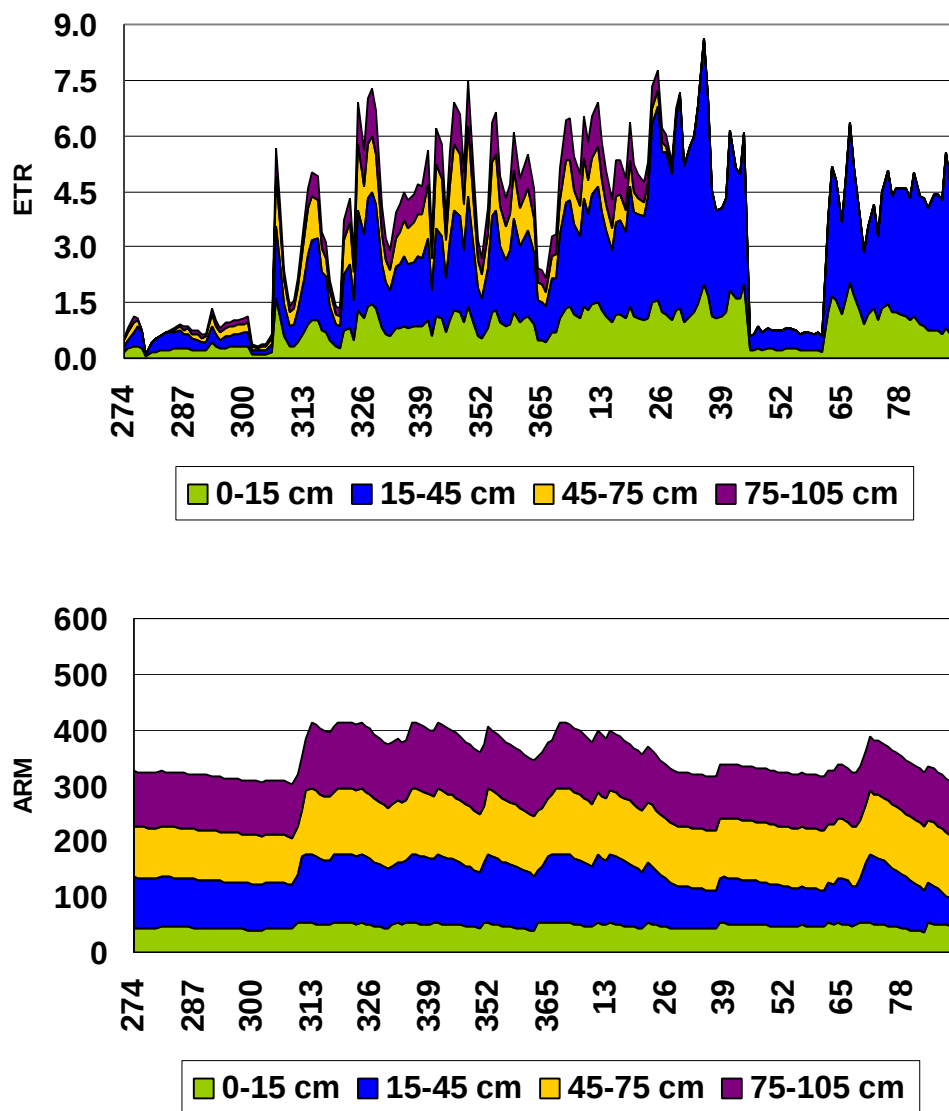


Figura 11. Evapotranspiração real (ETR, em mm/dia) e água armazenada no solo (ARM, em mm) estimadas por modelo de balanço hídrico, em camadas do perfil do solo sob plantios clonais de eucalipto de 2 anos de idade, na posição topográfica de encosta durante o período que vai de outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.

Quadro 06. Valores de ponto de murcha permanente (PMP), à tensão de 1500 kPa, capacidade de campo (CC), à tensão de 30 kPa, e capacidade de água disponível (CAD) no solo nos plantios de 1 e 2 anos de idade e nas diferentes posições topográficas (TOP) na região de Belo Oriente – MG

IDADE	TOP	PMP	CC	CAD
-----mm-----				
1 ANO	BX	377,1	547,9	170,8
1 ANO	EC	284,1	394,6	110,4
2 ANOS	BX	374,3	511,3	136,9
2 ANOS	EC	364,8	435,0	70,2

A contribuição da camada superficial (0 a 15 cm) na transpiração foi maior no plantio 1999 baixada (Quadro 07), sendo este fato explicado pela maior concentração de raízes, de maneira geral, e maior porcentagem de raízes finas encontradas nesta camada (Quadro 08) em relação aos outros plantios. Embora o plantio 1999 encosta também apresente maior concentração de raízes total e finas na camada de 0 a 15 cm (Quadro 08), a contribuição desta camada no total transpirado é menor, quando comparada com o plantio 1999 baixada (Quadro 07).

Quadro 07. Evapotranspiração total (ET) e as respectivas contribuições percentuais de cada camada do perfil do solo nos plantios de 1 e 2 anos de idade, nas diferentes posições topográficas (TOP), durante o período de outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG

Idades	TOP	ET (mm)	0-15 cm (%)	15-45 cm (%)	45-75 cm (%)	75-105 cm (%)
1	BX	487.07	50.5	34.4	9.9	5.3
	EC	401.43	25.4	46.9	11.2	16.5
2	BX	675.92	27.6	51.5	17.0	3.9
	EC	672.08	22.7	54.9	12.5	9.9

Quadro 08. Distribuição percentual de raízes, médias (RM) e finas (RF), nas camadas de solo e peso total das raízes, em grama por árvore (g/arv), no plantio de 1 e 2 anos de idade, nas duas posições topográficas (TOP), na região de Belo Oriente – MG

Idades	TOP	0-15 cm		15-45 cm		45-75 cm		75-105 cm		TOTAL
		RF	RM	RF	RM	RF	RM	RF	RM	(g/arv)
1 ANO	BX	33,90	26,65	11,11	14,28	5,51	2,64	3,13	2,78	904,5
	EC	30,06	14,84	12,86	15,17	4,16	6,95	6,33	9,63	1072,1
2 ANOS	BX	18,93	21,04	16,03	19,20	8,73	8,79	3,23	4,07	2718,5
	EC	16,03	15,90	16,61	16,54	12,44	8,44	7,09	6,94	1625,8

4.4. Modelo de Balanço Hídrico.

As Figuras 12 e 13 apresentam os valores estimados e observados do balanço hídrico para as duas idades e as duas topografias dos plantios estudados. Esses valores mostraram boa semelhança, conforme indicado pelos valores de R^2 e coeficiente angular (Figuras 12 e 13), embora fossem mais altos para o plantio 1999, cujos coeficientes de determinação chegaram a 0,93 e coeficientes angulares das retas próximos a 1. Neves (2000), utilizando metodologia semelhante, verificou ajustes semelhantes, para eucalipto “urograndis” adulto, para região de Aracruz, Espírito Santo.

O ajuste do modelo para o plantio 1998, embora menor que o encontrado para o plantio 1999, foi razoável, apresentando coeficientes de determinação de até 0,89 e coeficiente angular próximo a 0,90 (Figura 13). No plantio de baixada 1999, diferentemente dos outros plantios, foi observado no início do estudo (dias julianos 274 a 292) um aumento no armazenamento de água do solo, sem, contudo, ter sido verificado eventos de chuva. Este fato pode ser explicado pela ocorrência de ascensão capilar, por esse plantio estar localizado a aproximadamente 900 m de um curso de água. Para o ajuste desse incremento de água no solo, nesse plantio, foi introduzida, no modelo de balanço hídrico, uma relação exponencial negativa.

Deve ser destacado que a análise de regressão linear do plantio 1999 baixada, para verificação do ajuste do modelo de balanço hídrico, não contemplou o período compreendido entre os dias julianos 274 a 292, devido à ascensão capilar, citada anteriormente, fato que melhoraria a correlação. De maneira geral,

seria possível melhorar o ajuste dos modelos de balanços hídricos desenvolvidos, caso fossem incorporados componentes tais como: 1) troca de água entre a camada com presença de raízes e a abaixo dela, levando em consideração o potencial de água no solo; 2) velocidade de infiltração da água da chuva e o escoamento superficial, principalmente nos plantio de encosta; 3) melhor ajuste na extinção da energia solar pelo dossel, através de uma melhor parametrização de sua variação sazonal; e 4) um ajuste melhor no termo aerodinâmico da equação de Penman-Monteith em plantios cujo dossel não cobre boa parte do solo, como é o caso do plantio 1999.

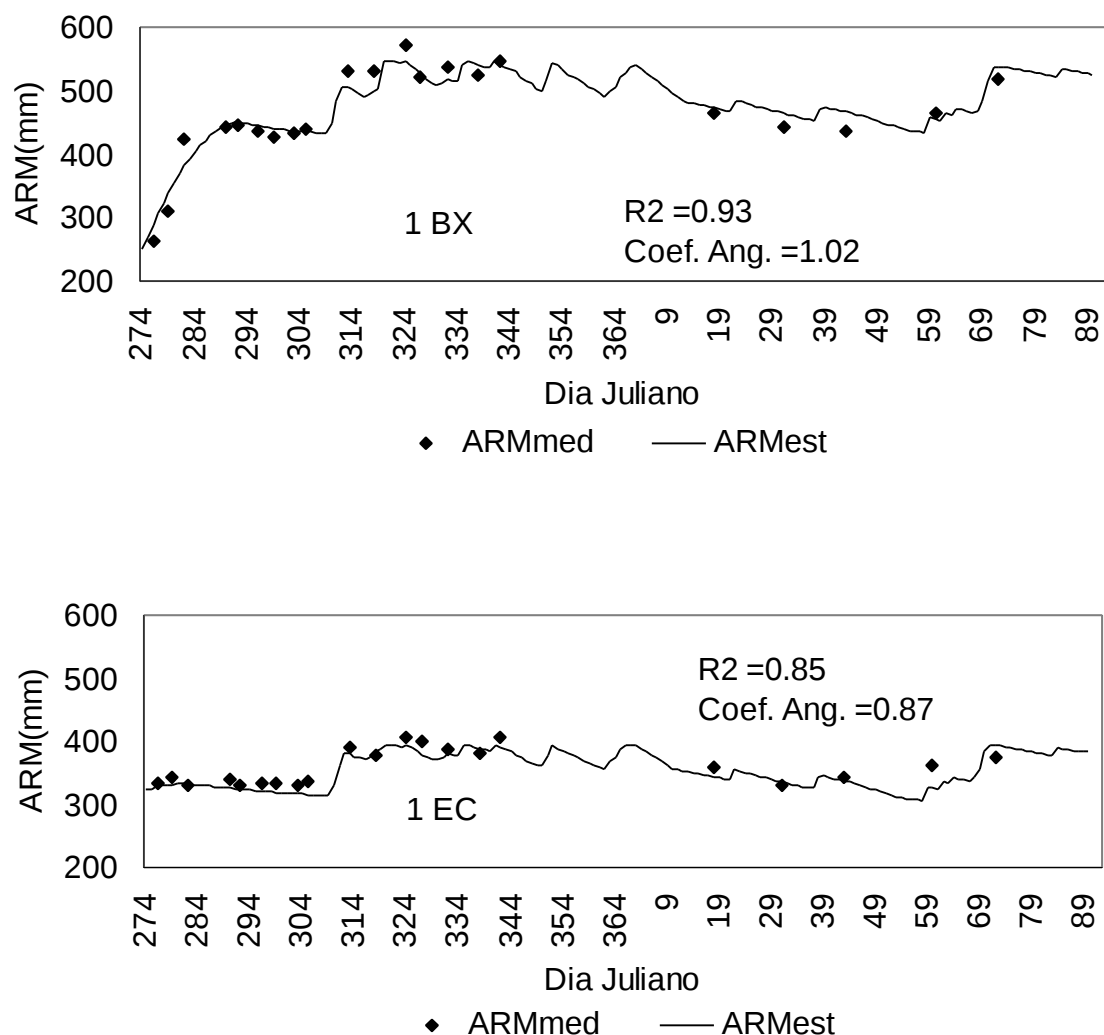


Figura 12. Variação do armazenamento de água no solo medido (ARMmed) por atenuação de neutrons e estimado (ARMest) por modelo de balanço hídrico, todos em mm, num perfil de solo de 0 a 105 cm, em plantios clonais de eucalipto de 1 ano de idade, nas posições topográficas de baixada (BX) e encosta (EC), no período outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.

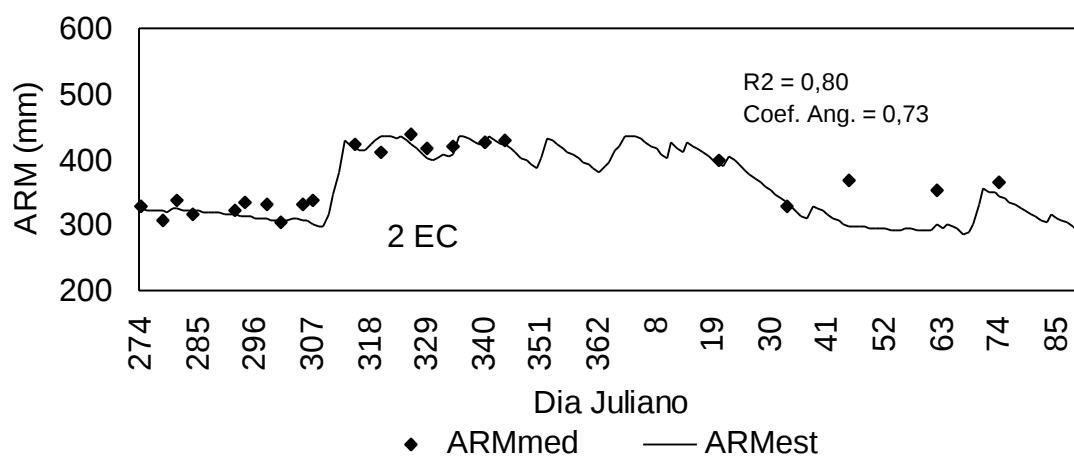
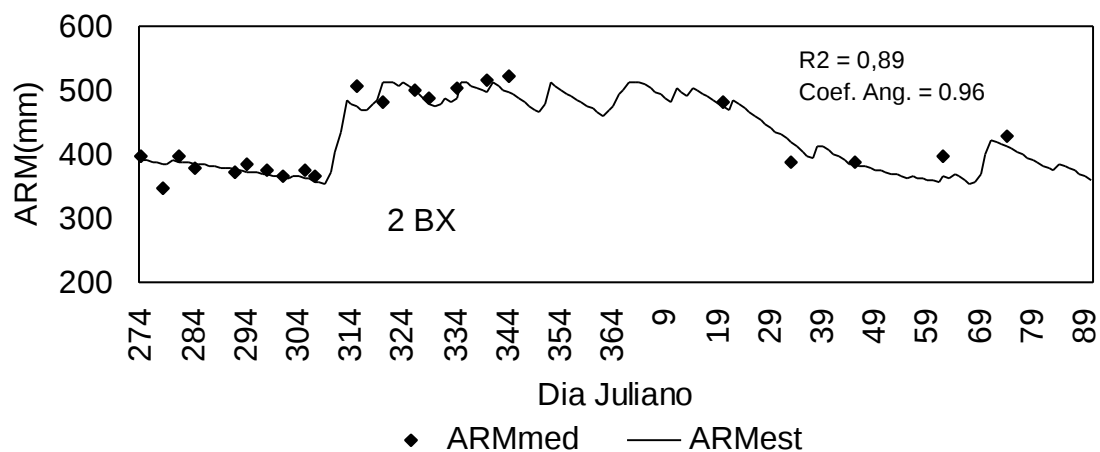


Figura 13. Variação do armazenamento de água no solo medido (ARMmed) por atenuação de neutrons e estimado (ARMest) por modelo de balanço hídrico, todos em mm, num perfil de solo de 0 a 105 cm em plantios clonais de eucalipto de 2 anos de idade, nas posições topográficas de baixada (BX) e encosta (EC), no período outubro de 2000 a março de 2001, na região de Belo Oriente – MG.

4.5. Eficiência de uso de Água (EUA).

Durante o período de outubro de 2000 a janeiro de 2001 foi feita a análise da eficiência do uso de água para a cultura de eucalipto nas duas idades e duas posições topográficas estudadas (Figura 14). De maneira geral verifica-se uma maior EUA, durante os dois primeiros meses do estudo, outubro e novembro, que coincide com o final do período seco e início das chuvas na região. Porém, a partir do mês de dezembro até janeiro, quando o período de chuva está mais definido, nota-se a redução da eficiência do uso de água em todos os plantios, ou seja, foi verificada a diminuição da eficiência de conversão de água e nutriente em volume de madeira com a maior disponibilidade de água no solo, ocasionada pelas freqüentes chuvas, observadas nesse período.

De maneira geral, para todo o período estudado, a maior eficiência do uso da água foi encontrada para plantios de 2 anos de idade. Nesse plantio, os eucaliptos, nas duas posições topográficas, não tendem a apresentar EUA diferentes, uma vez que foram encontrados valores bastante próximos, 27,02 e 27,28 mm m⁻³ ha⁻¹, entre baixada e encosta respectivamente. Entretanto, foi verificada uma tendência no plantio de 1 ano, posição topográfica de baixada ser mais eficiente que o plantio de 1 ano encosta, onde foram encontrados valores, respectivamente, de 45,79 e 89,00 mm de água transpirado para m³ por ha de ganho de volume. A menor eficiência, dentre todos os plantios, durante os quatro meses analisados, foi verificada no plantio de 1 ano, na posição topográfica de encosta, e deve estar relacionada com um comprometimento maior no crescimento deste plantio, uma vez que nele foi observado a menor taxa de

evapotranspiração, menor disponibilidade de água no solo, chegando em alguns períodos a valores de armazenamento de água no solo muito próximos ao ponto de murcha permanente, bem como, com a inclinação do terreno, que pode reduzir a quantidade de energia solar incidente nesse plantio.

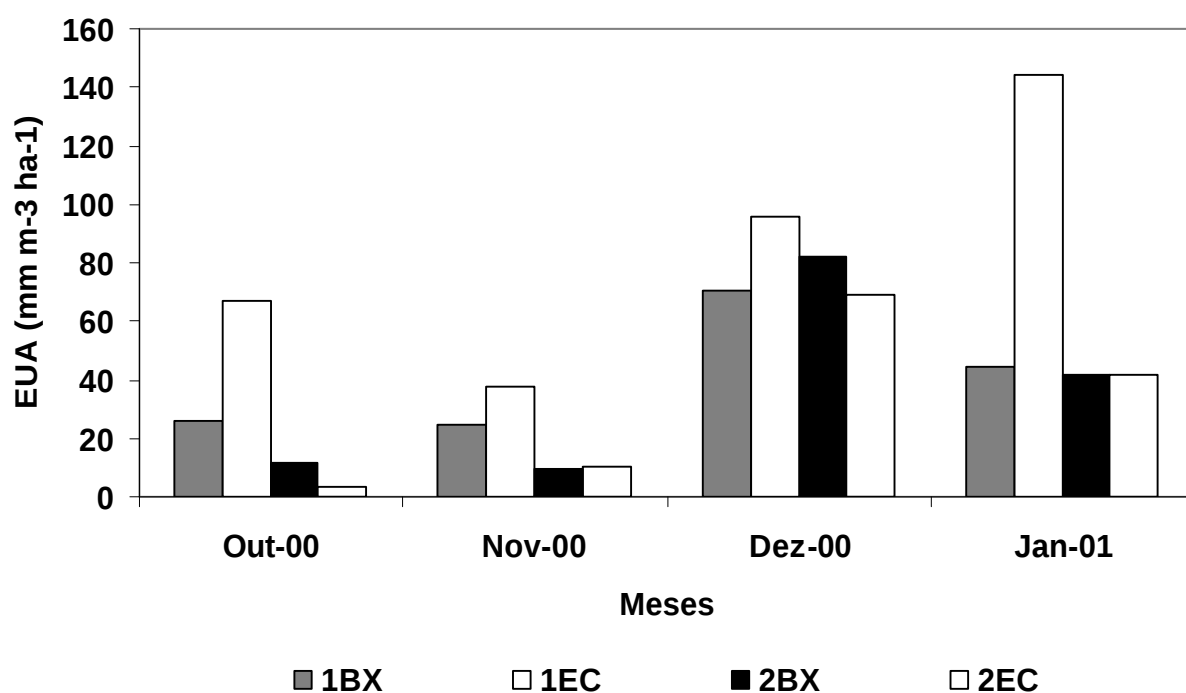


Figura 14. Variação mensal de eficiência de uso de água (EUA) em plantios de eucalipto de 1 e 2 anos de idade e em duas posições topográficas, baixada (BX) e encosta (EC), no período de outubro de 2000 a janeiro de 2001, na região de Belo Oriente – MG.

5. CONCLUSÕES

Do presente estudo, realizado com plantios clonais de eucalipto na região de Belo Oriente – MG., onde foram estudados os componentes do balanço hídrico, tiraram-se as seguintes conclusões:

1. O plantio de 1 ano de idade interceptou, em média, 138 % a mais, de água da chuva, que o plantio de 2 anos, em razão da diferença na arquitetura do dossel das árvores, entre as duas idades.
2. A contribuição da serapilheira na interceptação da água da chuva foi pequena (1,5%), mas da ordem de grandeza que a interceptação do dossel. Essa contribuição pode aumentar com o passar do tempo com o acúmulo e o estado de decomposição do material, e deve ser contabilizada no balanço hídrico.

3. A evapotranspiração real da cultura, em todo o período, foi maior no plantio de 2 anos devido a maior disponibilidade de água no solo nesse plantio, sendo que os totais transpirados atingiram valores de 675,9 e 672,1 mm, respectivamente, nas posições de baixada e encosta, para um total precipitado de 917,1 mm.
4. No estágio inicial de crescimento do eucalipto, a camada de solo compreendida entre 0 e 45 cm tem a maior contribuição na transferência de água do solo para a atmosfera via raízes, sendo responsável, em média, por 78,4% do total transpirado pela planta.
5. A maior eficiência do uso da água foi encontrada para plantios de 2 anos de idade. Nesse plantio, as diferentes topografias não tenderam a apresentar UEA diferentes, uma vez que foram encontrados valores bastante semelhantes, 27,02 e 27,28 mm m⁻³ ha⁻¹, entre baixada e encosta respectivamente. Entretanto, foi verificada uma tendência no plantio de 1 ano, baixada, ser menos eficiente que o plantio de 1 ano, encosta, onde foram encontrados valores , respectivamente de 27,15 e 67,39 mm m⁻³ ha⁻¹.
6. O modelo de balanço hídrico, adotado nesse trabalho, mostrou bom desempenho devido à satisfatória concordância entre a umidade do solo por ele estimado e a umidade medida pelo método de atenuação de nêutrons.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, J.V.; ANGELOCCI, L.R.; FOLEGATTI, M.V. e LEÃO, M.C.S. **A umidade do solo e a evaporação da água em um solo Bruno não cálcico não vegetado, em condições semi-áridas.** In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, X, Piracicaba-SP. Anais, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 596-598, 1997.
- ALLEN, R.G., HOWELL, T.A., PRUITT, W.O., WALKER, I.A. & JENSEN, M.E. **Proc. of the international Symposium on Lysimetry**, Amer.Soc. of Civil Eng. Irrig and Drain. Division, New York, 1991.
- ALMEIDA, A.C. de e SOARES, J.V. **Análise da influência da variabilidade hidrometeorológica interanual no crescimento de plantações de eucalipto.** Anais de conferência internacional IUFRO sobre silvicultura e melhoramento genético de eucaliptos, 1997.
- ALVES, A.V. e AZEVEDO, P.V. **Balanço de radiação num cultivo de melão.** In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, X, Piracicaba-SP. Anais, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 520-522, 1997.
- AL-SHA'LAN, S.A. e SALIH, A.M.A. Evapotranspiration estimates in extremely arid areas. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.113, n.4, p. 565-574, 1987.
- ANDRADE, G.C.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A. e BELLOTE, F.J. **Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*.** Bosque, v.16, n.1, p. 47-51, 1995.

- ASHTON, D.H. The root and shoot development of *Eucalyptus regnans* F. Muell: The species and its frost resistance. **Australian Journal of Botany**, 23:867-887, 1975.
- AUBERTIN, G.M. e PETERS, D.B. Net radiation determinations in a cornfield. **Agronomy Journal**, Madison, v.53, p. 269-272, 1961.
- BALEK, J. Hydrology and water resources in tropical Africa. **Elsevier**, Amsterdam, 208 pp., 1977.
- BALDINI, E. **Arboricoltura generale**. Editrice CLUEB, Bologna, 396p., 1988.
- BALDOCHI, D.D.; LUXMOORE, R.J. and HATFIELD, L.J. Discerning the forest from the trees: an assay on scaling canopy stomatal conductance. **Agriculture for meteorology**. 54:197-226, 1991.
- BALIEIRO, L.C. **Nutrientes na água de chuva e na biomassa na monocultura e consórcio de *Acacia mangium* Willd., *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. Viçosa-MG:UFV, 1999. 99p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- BARBIERI, V.; TERUEL, D.A.; SILVA, J.G. e SANTOS, R.M.N. **Balanço hídrico de Thornthwaite e Mather modificado para estimativas de deficiência nas culturas**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, X, Piracicaba-SP. Anais, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 587-589, 1997.
- BARLOW, E.W.R. **Water relations of the mature leaf**. In: DALE, J. E. e MILTHORPE, F.L. (eds.) The growth and functioning of leaves. Cambridge University Press, pp. 315-345, 1983.
- BARROS, N.F. **Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical**. Gainesville, Florida, University of Florida, 123p., 2000.
- BERNARDO, A.L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. Sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais**. Viçosa-MG: UFV, 102 p. 1995 Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- BIDNER-BARHAVA, N. and RAMATI, B. The tolerance of some species of *eucalyptus*, pinus and other forest trees to soil salinity and low soil moisture in the Negev. **Israel Journal Agric.**. Res. 17:65-76, 1967.
- BRINSON, M.N.; BRADSHAW, H.D.; HOLMES, R.N. e ELKINS JR., J.B. Litterfall, stemfall and throughfall nutrient fluxes na alluvial swamp forest. **Ecology**, v.6 n.4, p.827-835, 1980.

- CALDER, I.R. **Water use of eucalyptus – a review**. In: Calder, I.R.; Hall, R.L. and Adlard, P.G. (eds). Growth and water use of forest plantations. Wiley, New York, pp 167-179, 1992.
- CALDER, I.R. **Water use of eucalyptus – a review**. In: Calder, I.R.; Hall, R.L. and Adlard, P.G. (eds). Growth and water use of forest plantations, New York: John Wiley & Sons, p 270-289, 1992.
- CALDER, I.D. Water use of eucalypts – a review with special reference to south India. **Agricultural Water Management**. 11:333-342, 1986.
- CAMPBELL, R.B.; REICOSKY, D.C. e DOTY, C.W. Net radiation within a canopy of sweet corn during drought. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.23, p. 143-150, 1981.
- CHAMSHAMA, S.A.O. and HALL, J.B. Effects of site preparation and fertilizer application at planting of *eucalyptus tereticornis* at Morogoro, Tanzania. **For Ecol. Manage.**, 18:103-108, 1987.
- COHEN, Y.; ADAR, E.; DODY, A. and SCHILLER, G. Underground water use by *eucalyptus* trees in an arid climate. **Trees**, 11:356-362, 1997.
- CORNISH, P.M. e VERTESSY, R.A. forest age-induced changes in evapotranspiration and water yield in a eucalypt forest. **Journal of Hydrology**, 242:43-63, 2001.
- DEBELL, D.S.; COLE, T.C.G. e WHITESELL, C.D. Growth, development and yield in pure and mixed status of *Eucalyptus* and *Albizia*. **Forest Science**, v.43, n.2, p.286-298, 1997.
- DUNCAN, M.J. The impact of afforestation on small-catchment hydrology in Moutere Hills, Nelson, In: **seminar on Landuse in Relation to Water Quantity and Quality**. Nelson Catchment Board, Nelson, New Zealand, pp. 61-90, 1980.
- DYE, P.J. Development of generalized models of rainfall interception by *Eucalyptus grandis* and *Pinus patula* plantations. Contract report, For-Dea 623, to the **Department of Water Affairs and Forestry**, Pretoria. On file at CSIR Division of Forest Science and Technology, Pretoria, 1993.
- DYE, P.J. e OLBRICH, B.W. Estimating transpiration from 6-year-old *Eucalyptus grandis* trees: development of a canopy conductance model and comparison with independent sap flux measurements. **Plant Cell Environmental**, 16:45-53, 1993.

- DYE, P.J. and VERSFELD, D.B. Rainfall interception by *Eucalyptus grandis* canopies: a proposed modelling procedure for use in catchment water balance simulations. Contract report, For-Dea 623, to the **Department of Water Affairs and Forestry**, Pretoria. On file at CSIR Division of Forest Science and Technology, Pretoria, 1991.
- DYE, P.J. Estimating water use by *Eucalyptus grandis* with the Penman-Monteith equation. In: Swanson, R.H.; bernier, P.Y. e Woodward, P.D. (eds.). **Forest hydrology and watershed management**. Proceedings of the Vancouver Symposium, International Association of Hidrological Sciences Publication nº 167, Vancouver, pp 329-337, 1987.
- EASTHAM, J. e ROSE, C.W. The effects of tree spacing on evaporation from an agroforestry experiment. **Agricultural and Water Management**, 42(4):355-368, 1998b.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento de Solo – EMBRAPA-SPI. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. Brasília, DF, 204p., 1993.
- FRITSCHEN, L.J.; HSIA, J. e DORAISWAMY, P. Evapotranspiration of a Douglas-Fir determined with a weighing lysimeter. **Water Resources Research**, 13(1):145-148, 1977.
- GAMERO GUANDIQUE, M.E.; VILLA NOVA, N.A. e LIBARDI, P.L. **Determinação da evapotranspiração e do coeficiente de cultura (Kc) para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado através de vários métodos**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, X, Piracicaba-SP. Anais, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 617-619, 1997.
- GOMES, R.T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa-MG, UFV. 1994. 85p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- GRACE, D.D.U.OKALI e FASEHUN, F.E. Stomatal conductance of two tropical trees during the wet season in Nigeria. **Journal of Applied Ecology**, 19:659-670, 1982.
- GRANIER, A.; BIRON, P. e LEMOINE, D. Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stand. **Agricultural and Forest Meteorology**, 100:291-308, 2000.
- GRANIER, A. Evaluation of transpiration in a Douglas-Fir stand by means of sap flow measurements. **Tree Physiology**, 3:309-320, 1987.

- GRESPLAN, S.L. **Produção e eficiência nutricional de clones de eucalipto do Norte de Espírito Santo e suas relações com características do solo.** Viçosa-MG, UFV. 1997. 81p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- HARDING, R.J.; HALL, R.L.; SWAMINATH, M.H. and SRINIVASA MURTHY, K.V. The soil moisture regimes beneath forest and an agricultural crop in southern India – **Measurements and modelling.** 1998.
- HARR, R.D. e PRICE, K.R. Evapotranspiration from a greasewood cheatgrass community. **Water Resources Research**, 8(5):1199-1203, 1972.
- HAYDON, S.R.; BENYON, R.G. e LEWIS, R. Variation in sapwood area and throughfall with forest age in mountain ash (*Eucalyptus regnans* F.Muell.). **Journal of Hydrology**, 187:351-366, 1996.
- HILLEL, D. **Soil and water, physical principles and processes.** Academic, New York/London, 228p., 1971.
- HINCKLEY, T.M. and BRAATNE, J.H. **Stomata.** In: Wilkinson, R.E. (ed). Plant-environment interactions. Dekker, New York, pp 323-355, 1994.
- INCOLL, W.D. Root system investigation in stand of *Eucalyptus regnans*. **Forestry Technical Paper**, 27. Victoria Forest Commission, pp. 23-32, 1979.
- JARVIS, P.G. e MACNAUGHTON, K.G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. **Advances in Ecological Research**, Academic Press, vol.15, pp. 1-49, 1986.
- JONES, H.G. Plants and microclimate; **a quantitative approach to environmental plant physiology**, 2nd edn. Cambridge. 323 pp., 1986.
- KALLARACKAL, J. and SOMEN, C.K. An ecophysiological evaluation of the suitability of *Eucalyptus grandis* for planting in the tropics. **Forest Ecology and Management**, 95:53-61, 1997.
- KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, R.J.; PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woody plants.** San Diego, Academic Press, 1991. 657p.
- LANGFORD, K.J.; MORAN, R.J. and O'SHAUGHNESSY, P.J. The Coranderrk Experiment - The effects of roading and timber harvesting in a mature mountain ash forest on streamflow yield and quality. In: Preprints of Papers: **The First National Symposium on Forest Hydrology**, Melbourne, 11-13 May, 1982, O'LOUGHLIN, E.M. e BREN, L.J. (Eds.), The Inst. Eng. Aust., National Conference Publication No. 82/6, pp. 92-102.

- LEITÃO, M.M.V.R.; AZEVEDO, P.V. e COSTA, J.P.R. **Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do Nordeste do Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, VI, 1990, Salvador, BA. Anais I, Salvador: Sociedade Brasileira de Meteorologia, p. 27-32, 1990.
- LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SANS, L.M.A e FABRES, A.S. Relações hídricas em povoamento de eucalipto com diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, 23:673-697, 1999.
- LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. e FABRES, A.S. et. al., Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 22:419-426, 1998.
- LEITE, F.P. **Crescimento, relações hídricas, nutricionais e lumínicas em povoamento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais**. Viçosa-MG: UFV, 1996. 90p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- LE ROUX, D.; STOCK, W.D.; BOND, W.J. e MAPHANGA, D. Dry mass allocation, water use efficiency and $\delta^{13}\text{C}$ in clones of *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus nitens* grown under two irrigation regimes. **Tree Physiology**, 16:497-502, 1996.
- LEUNING, R. Modelling stomatal behavior and photosynthesis of *Eucalyptus grandis*. **Australian journal Plant Physiology**, 17:159-175, 1990.
- LIMA, W.P. **Impactos ambientais do eucalipto**. São Paulo, 2ed. Editora Universidade de São Paulo, 1996. 301p.
- LIMA, W.P. **Impactos ambientais do eucalipto**. São Paulo, Editora Universidade de São Paulo, 1993. 301p.
- LLOYD, C.R. e MARQUES, A. The measurement and modelling of rainfall interception by Amazonian Rain Forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, 43:277-294, 1988.
- MCNAUGHTON, K.G. and JARVIS, P.G. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. **Water deficits and plant growth**, 7:1-47, 1983.
- MIELKE, M.S.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F. de; PENCHEL, R.M. et al., Leaf gas exchange in a clonal eucalypt plantation as related to soil moisture, leaf water potential and microclimate variables. **Trees**, 14:263-270, 2000.

- MIELKE, M.S.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F. de; PENCHEL, R.M. et al. Stomatal control of transpiration in the canopy of clonal *Eucalyptus grandis* plantation. **Trees**, 13:152-160, 1999.
- MONTEITH, J.L. **Principles of environmental physics**. London: Edward Arnold, p. 241, 1973.
- MONTEITH, J.L., Evaporation and environment. The state and movement of water in living organisms. **Symposium of Society Experimental Biology**. Cambridge University Press, Cambridge, 19:205-234, 1965.
- NAMBIAR, E.K.S. e BROWN, A.G. **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forest**. Australian Centre for International Agriculture Research – ACIAR. p. 63-96, 1997.
- NEVES, J.C.L., **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. Campos dos Goytacazes-RJ: UENF, 191 p. 2000 Tese (Doutorado em Produção vegetal)-Universidade Estadual Norte Fluminense, 2000.
- OLIVER, H.R. e SENE, K.J. Energy and water balances of developing vines. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.61, n.2, p. 167-185, 1992.
- OPAKUNLE, J.S. Throughfall, stemfall and rainfall interception in a cacao plantation in south western Nigeria. **Tropical Ecology**, v.30, n.2, p.244-252, 1989.
- PECK, A.J. e WILLIAMSON, D.R. Effects of Forest clearing on groundwater. **Journal of Hydrology**, 94:47-65, 1987.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba:FEALQ, 183p., 1997.
- PEREIRA, J.S.; TENHUNEM, J.D. and LANGE, O.L. Stomata control of photosynthesis of *Eucalyptus globulus labill*. Trees under field conditions in Portugal. **J. Exp. Bot.** 38:1678, 1987.
- PEREIRA, J.S.; TENHUNEM, J.D.; LANGE, O.L.; BEYSHLAG, W.; MEYER, A. AND DAVID, M.M. Seasonal and diurnal patterns in leaf gas exchange of *Eucalyptus globulus* trees growing in Portugal. **Canadian Journal of Forest Research**, 16:177-184, 1986.
- POORE, M.E.D. and FRIES, C. The ecological effects of *Eucalyptus*. **FAO Forestry Paper No. 59**, FAO, Rome, 87 pp. 1985.

- PUTUHENA, W.M. and CORDERY, I. Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. **Agricultural and Forest Meteorology**, 100:59-72, 2000.
- RADERSMA, S. and RIDDER, N. de, Computed evapotranspiration of annual and perennial crops at different temporal and spatial scales using published parameter values. **Agricultural Water Management**, 31:17-34, 1996.
- RADIN, B.; BONO, L.; ROSA, L.M.G. e BERGAMASCHI, H. **Comportamento estomático do milho em diferentes disponibilidades de radiação solar e hídricas**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, X, Piracicaba-SP. Anais, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 608-610, 1997.
- ROBERTS, J.M. and ROSIER, P.T.W. Physiological studies in young *eucalyptus* stands in southern India and derived estimates of forest transpiration. **Agricultural Water Management**, 24:103-118, 1993.
- ROBERTS, J.M.; CABRAL, O.M.R.; AGUIAR, L.F. Stomatal and boundary layer conductances in an Amazonian "Terra firme" rain forest. **J. Appl. Ecol.**, 27:336-353. 1990.
- RUTTER, A.J., KERSHAW, K.A., ROBINS, P.C., MORTON, A.J. A predictive model of rainfall interception in forest, I. Derivation of the model from observations in a corsican pine. **Agric. Meteorol.**, n.9, p.367-384, 1971.
- SANSÍGOLO, C.A. **Medida da transpiração e biomassa de coníferas com água tritiada**. Dissertação de mestrado, ESALQ-USP. 53p., 1979.
- SARAIVA, F.A.M.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; TEIXEIRA, A.H.C. e SOARES, J.M. **Reflectância de um cultivo de videira européia**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, X, Piracicaba-SP. Anais, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 529-531, 1997.
- SCOTT, D.F. and LESCH, W. Streamflow response to afforestation with *Eucalyptus grandis* and *Pinus patula* and to felling in the Mokobulaan experimental catchments, South Africa. **Journal of Hydrology**, 199:360-377, 1997.
- SERRANO, L.E. **Respuestas ecofisiológicas a la sequía en *Eucalyptus globulus labill*: Relaciones hídricas y parámetros de intercambio gaseoso**. Ph.D. Thesis. Universidad Autonoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Madrid. 1992.
- SCHAFFER, B. e ANDERSEN, P.C. **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. 1. Temperate Crops. CRC Press, Florida, 358p., 1994.

- SCHAFFER, B. e ANDERSEN, P.C. **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. 2. Sub-tropical and tropical Crops. CRC Press, Florida, 310p., 1994.
- SMART, R.E. Principles of grapevine canopy management microclimate with implications for yield and quality. A review. **American Journal of Enology and Viticulture**. Lockford, California, v.36, n.3, p. 230-239, 1985.
- SOARES, J.V., ALMEIDA, A.C. de PENCHEL, R.M., **Balanço hídrico de plantações de eucalipto a partir da estimativa de transpiração pelo método de Penman-Monteith**. Conferência IUFRO sobre silvicultura e melhoramento de eucaliptos. Vol. 4:112-117, 1997.
- SOUZA, J.L. **Irradiância solar no litoral do Nordeste**: avaliação preliminar. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, X, Piracicaba-SP. Anais, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 457-459, 1997.
- TALSMA, T. e GARDNER, E.A. Soil water extraction by a mixed eucalypt forest during a drought period. **Australian Journal of Soil Research**, 24:25-32, 1986.
- TEIXEIRA, A.H.C.; LIMA FILHO, J.M.P. e SOARES, J.M. Saldo de radiação e índice de área foliar na cultura da videira, conduzida em um sistema de latada. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, X, Piracicaba-SP. Anais, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 523-525, 1997.
- TOMAS, A. Climatic changes in yield index and soil water trends in China. **Agricultural and Forest Meteorology**, 102:71-81, 2000.
- TYREE, M.T.; FLANAGAN, L.B. e ADAMSON, N. Response of trees to drought. NATO ASI Series, Vol G-16. Effects of atmospheric pollutants on forest, **Wetlands and Agricultural Ecosystems**. Hutchinson e Meema (eds.). Springer-Verlag, pp. 201-216, 1987.
- UBARANA, V.N. Observation and modelling of rainfall interception in two experimental sites of Amazonian forest. In: GASH, J.; NOBRE, C.^a; ROBERTS, J. e VICTORIA, R.L. ED. **Amazoniam Deforestation and Climate**. Chichester, John Wiley Press, 151-162, 1996.
- VALENTE, F.; DAVID, J.S. e GASH, J.H.C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forest in central Portugal using reformulated Rutter and GASH analytical models. **Journal of Hydrology**, 190:141-162, 1997.
- VERTESSY, R.A.; WATSON, F.G.R. e O'SULLIVAN, S.K. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forest. **Forest Ecology and Management**, 143:13-26, 2001.

VITAL, A.R.T.; LIMA, W.P. e CAMARGO, F.R.A. Efeitos do corte raso de plantações de *Eucalyptus* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba – SP. **Scientia Forestalis**. N.55, p. 5-16, 1999.

WONG, S.C.; COWAN, I.R. e FARQUHAR, G.D. Leaf conductance in relation to assimilation in *Eucalyptus pauciflora* Sieb. ex Spreng. **Plant Physiology**, 62:670-674, 1978.