

ALEXANDRO GOMES FACCO

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO GEOESPACIAL DOS COMPONENTES DO
BALANÇO HÍDRICO PARA PLANTIOS DE EUCALIPTO EM ÁREAS DE
RELEVO ONDULADO.**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2004**

ALEXANDRO GOMES FACCO

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO GEOESPACIAL DOS COMPONENTES DO
BALANÇO HÍDRICO PARA PLANTIOS DE EUCALIPTO EM ÁREAS DE
RELEVO ONDULADO.**

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

APROVADA: 26/04/2004

Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Conselheiro)

Dr. Fernando Palha Leite
(Conselheiro)

Prof. Nairam Feliz de Barros
(Conselheiro)

Dr. Romualdo Maestri
(Conselheiro)

Prof. Aristides Ribeiro
(Orientador)

Ao meu amado Senhor Jesus, por ter me amado primeiro e por ser um amigo fiel. A Ele dou toda honra de tudo que tenho feito, pois sei que sem ele nada conseguiria fazer.

À minha amada esposa Tânea, pela compreensão, amor e dedicação.

Aos meus pais Albertino e Edite, aos quais, de forma muito especial, dedico esta conquista tão importante.

Aos meus irmãos Werley e Vânea, pela amizade e ajuda.

Aos meus sogros Xisto e Selma, por torcerem por mim.

Ao meu melhor amigo Jair, porque mesmo distante sempre se fez perto para me ajudar e apoiar.

Aos meus pastores Marcos e Luciene, pelas orações e apoio.

Aos irmãos e amigos da igreja Batista Nacional de Viçosa, pelo apoio espiritual.

AGRADECIMENTOS

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

Ao professor Aristides Ribeiro, pela excelência na orientação e por desde o princípio acreditar em minha pessoa.

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 possível a realização deste trabalho.

Ao Fernando Palha Leite, por acreditar na pesquisa como base do desenvolvimento, e por não medir esforços para colocar em prática o trabalho proposto.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores Gilberto Sedyama, Paulo Hamakawa, e Maria José Hatem, pelas valiosas críticas e ensinamentos.

Ao Marcos Santana, pelo grande auxílio na parte computacional deste trabalho, e por se propor a ajudar-me sempre.

A Marcos Cicarini, Rinaldo Félix, Maria Assis, Felipe Carneiro, Henrique Mosqueira, Wesley, Welliam, Rogério e José Luiz pela grande colaboração técnica, imprescindível para a execução deste trabalho.

Aos amigos Renata, Gustavo, Marcelo e Angélica por me fazerem sentir parte dessa família.

A todas as pessoas com os quais convivi em Viçosa, pela amizade e acolhimento, em especial ao Ricardo e minha à turma de Engenharia de Agrimensura.

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

BIOGRAFIA

ALEXANDRO GOMES FACCO, filho de Albertino da Penha Facco e Edite Gomes Facco, natural de Cariacica, Espírito Santo, nasceu no dia 22 de abril de 1978.

De novembro de 1998 à dezembro 2002 foi bolsista de iniciação científica pela FAPEMIG. Em 10 de maio de 2002 graduou-se em Engenharia de Agrimensura pela Universidade Federal de Viçosa. Iniciou, em abril de 2002, o Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de tese em março de 2004.

ÍNDICE

		Página
	LISTA DE FIGURAS	ix
	LISTA DE QUADROS	xiv
	LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
	RESUMO	xxi
	ABSTRACT	xxiii
1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Balanço Hídrico.	3
2.1.1	Precipitação.	4
2.1.2	Evapotranspiração.	6
2.1.2.1	Interceptação pela cobertura vegetal.	9
2.1.2.3	Saldo de radiação solar.	10
2.1.3	Infiltração de água no solo.	11
2.1.4	Escoamento superficial.	12
3	MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1	Área Experimental.	14
3.2	Período de Estudo.	17
3.3	Sistema de Geoespacialização.	18
3.3.1	Balanço Hídrico.	20
3.3.1.1	Determinação do armazenamento de água no solo.	21

		Página
3.3.1.2	Determinação da interceptação da água da chuva pelo	21
3.3.1.3	dossel.	
	Determinação da interceptação da água da chuva pela	24
3.3.1.4	serapilheira.	
3.3.1.5	Determinação da Evapotranspiração	26
	Determinação do Escoamento Superficial e Infiltração da	33
	água no solo e Percolação Profunda.	
4		
	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1		
4.2	Saldo de Radiação	37
4.3	Transpiração Real	50
4.4	Interceptação da água da chuva pela cobertura vegetal	60
4.5	Escoamento superficial	62
	Aporte de água das camadas mais profundas para a	63
4.6	camada útil do solo	
4.7	Excesso hídrico mínimo	67
	Disponibilidade mínima de água no solo e déficit hídrico	71
	máximo	
5		
	CONCLUSÕES	75
6		
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
7		
	APÊNDICES	82

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 01	Varição da taxa energética, para um mesmo fluxo radiante, considerando a superfície plana e inclinada.	11
Figura 02	Localização e topografia da micro-bacia do rio Doce.	15
Figura 03	Espacialização do tipo cobertura vegetal e data de plantio dos eucaliptos na micro-bacia.	15
Figura 04	Classes de inclinações (I) e orientações das encostas (II) na micro-bacia.	16
Figura 05	Histograma de distribuição de frequência das inclinações e orientações das encostas, em função das áreas com plantio de 1998 (I), e de 1999 (II).	16
Figura 06	Comparação da variação mensal dos elementos meteorológicos durante o período de estudo, com dados normais da estação meteorológica, localizada próximo ao local da pesquisa. (a) Temperatura média mensal (°C), (b) precipitação pluvial total mensal em (mm) e (c) umidade relativa média mensal em (%).	17
Figura 07	Fluxograma das etapas do desenvolvimento para determinação do armazenamento da água no solo.	19
Figura 08	Representação dos componentes do balanço hídrico.	20
Figura 09	Esquema ilustrativo da interceptação do dossel da água da chuva - modelo Rutter.	23

	Página
Figura 10	Esquema ilustrativo do modelo de interceptação da chuva pela serapilheira. 25
Figura 11	Modelo tridimensional da representação da influência da posição solar no sombreamento da micro-bacia em 23 de setembro, (a) 8 horas, (b) 12 horas, e (c) 16 horas. 38
Figura 12	Modelo tridimensional da representação da influência da posição solar no sombreamento da micro-bacia em 22 de dezembro, (a) 8 horas, (b) 12 horas, e (c) 16 horas. 39
Figura 13	Modelo tridimensional da representação da influência da posição solar no sombreamento da micro-bacia em 22 de junho, (a) 8 horas, (b) 12 horas, e (c) 16 horas. 40
Figura 14	Variação mensal dos totais médios da irradiância solar global (Rg) medida pela manhã (RgM) e pela tarde (RgT), de cada dia na estação meteorológica, durante o período de estudo, dada em MJm ⁻² . 41
Figura 15	Espacialização da média mensal do saldo de radiação diária, dado em MJm ⁻² d ⁻¹ , para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2001. 42
Figura 16	Espacialização da média mensal do saldo de radiação diária, dado em MJm ⁻² d ⁻¹ , para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2002. 43
Figura 17	Histograma de frequência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Rn estimado considerando a topografia original e o Rn considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2001, nas áreas com plantios de 3 anos de idade (1998). 46
Figura 18	Histograma de frequência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Rn estimado considerando a topografia original e o Rn considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2001, nas áreas com plantios de 2 anos de idade (1999). 47

	Página	
Figura 19	Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Rn estimado considerando a topografia original e o Rn considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2002 nas áreas com plantios de 4 anos de idade (1998).	48
Figura 20	Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Rn estimado considerando a topografia original e o Rn considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2002 nas áreas com plantios de 3 anos de idade (1999).	49
Figura 21	Varição média mensal da resistência do dossel da planta, em sm^{-1} , no período de estudo, para plantas de 2, 3 e 4 anos de idade.	50
Figura 22	Espacialização da média mensal da Tr diária, dado em mm, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2001.	54
Figura 23	Espacialização da média mensal da Tr diária, dado em mm, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2002.	55
Figura 24	Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Tr estimado considerando a topografia original e o Tr considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2001 nas áreas com plantios de 3 anos de idade (1998).	56

	Página	
Figura 25	Histograma de frequência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Tr estimado considerando a topografia original e o Tr considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2001 nas áreas com plantios de 2 anos de idade (1999).	57
Figura 26	Histograma de frequência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Tr estimado considerando a topografia original e o Tr considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2002 nas áreas com plantios de 4 anos de idade (1998).	58
Figura 27	Histograma de frequência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Tr estimado considerando a topografia original e o Tr considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2002 nas áreas com plantios de 3 anos de idade (1999).	59
Figura 28	Espacialização dos totais mensais dos aportes de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo (mm), nos meses de janeiro a dezembro do ano de 2001.	65
Figura 29	Espacialização dos totais mensais dos aportes de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo (mm), nos meses de janeiro a dezembro do ano de 2002.	66
Figura 30	Espacialização do total mensal do excesso hídrico mínimo, dado em mm, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2001.	69
Figura 31	Espacialização do total mensal do excesso hídrico mínimo, dado em mm, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2002.	70

	Página
Figura 32	73
Variação diária da disponibilidade mínima de água no solo (a), e déficit hídrico (b), nos anos de 2001 e 2002, para diferentes orientações das encostas, nas áreas com plantios de 1999, dada em mm d^{-1} .	
Figura 33	74
Variação diária da disponibilidade mínima de água no solo (a), e déficit hídrico (b), nos anos de 2001 e 2002, para diferentes orientações das encostas, nas áreas com plantios de 1998, dada em mm d^{-1} .	

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 01	61
Total mensal interceptado pela cobertura vegetal (ICV), dado em mm, para os plantios com idade de 2 e 3 anos, respectivo valor percentual da interceptação (%) em relação ao total mensal precipitado (Pi) dado em mm, e as durações totais dos eventos de chuva (D) dado em horas.	
Quadro 02	62
Total mensal interceptado pela cobertura vegetal (ICV), dado em mm, para os plantios com idade de 3 e 4 anos, respectivo valor percentual da interceptação (%) em relação ao total mensal precipitado (Pi), dado em mm, e as durações totais dos eventos de chuva (D), dado em horas.	
Quadro 03	83
Variação média mensal no ano de 2001 do desvio padrão do saldo de radiação diário para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1998, dado em $MJm^{-2}d^{-1}$.	
Quadro 04	83
Variação média mensal no ano de 2001 do desvio padrão do saldo de radiação diário para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1999, dado em $MJm^{-2}d^{-1}$.	
Quadro 05	84
Variação média mensal no ano de 2002 do desvio padrão do saldo de radiação diário para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1998, dado em $MJm^{-2}d^{-1}$.	

	Página	
Quadro 06	Varição média mensal no ano de 2002 do desvio padrão do saldo de radiação diário para diferentes inclinações e orientações de rampas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1999, dado em $MJm^{-2}d^{-1}$.	84
Quadro 07	Varição média mensal no ano de 2001 do desvio padrão Tr diária para diferentes inclinações e orientações de rampas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1998, dado em mmd^{-1} .	85
Quadro 08	Varição média mensal no ano de 2001 do desvio padrão Tr diária para diferentes inclinações e orientações de rampas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1999, dado em mmd^{-1} .	85
Quadro 09	Varição média mensal no ano de 2002 do desvio padrão Tr diária para diferentes inclinações e orientações de rampas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1998, dado em mmd^{-1} .	86
Quadro 10	Varição média mensal no ano de 2002 do desvio padrão Tr diária para diferentes inclinações e orientações de rampas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1999, dado em mmd^{-1} .	86
Quadro 11	Varição mensal da transpiração real (Tr, $mm\ d^{-1}$), saldo de radiação (Rn, $Mjm^{-2}d^{-1}$), resistência do dossel (Rc, sm^{-1}) para eucaliptos com idades de 2 a 4 anos, temperatura média (tmed, oC), déficit de pressão de vapor (DPV, kpa), balanço de ondas longas e radiação global (Bol e Rg, $mjm^{-2}d^{-1}$), velocidade do vento (Vv, ms^{-1}) e umidade relativa (UR, %) em condições de superfície plana nos dois anos estudados.	87

LISTA DE SÍMBOLOS

α - albedo da cultura.

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

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

ΔARM - Variação do armazenamento (mm).

A, B e C Parâmetro de multiplicação da equação 38.

Az - Azimute da superfície (graus).

b - Taxa do volume do aumento de drenagem (mm h^{-1}).

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

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

C - Quantidade de água armazenada pelo dossel (mm).

CAD - Capacidade de água disponível (mm).

CC - Capacidade de campo (mm).

CRM - Capacidade de retenção da serapilheira (mm).

Cwa - Clima temperado chuvoso mesotérmico.

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

C_t - Quantidade de água armazenada pelo tronco (mm).

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

δ - Declinação solar (graus).

D - Irradiação solar difusa ($\text{MJ m}^2 \text{ h}^{-1}$).

da - Densidade aparente do solo (g cm^{-3}).

dr - Distância relativa terra-sol considerada (adm).

DPV - Déficit de pressão de vapor (kPa).

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

D – Taxa de drenagem de água do dossel (mm h^{-1}).

d_s = taxa de gotejamento (mm h^{-1});

D_s – Taxa de drenagem quando $C = S$ (mm h^{-1}).

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

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

ϕ - Latitude (graus).

e – Constante de ajuste da evaporação potencial do tronco em função da evaporação potencial do dossel (adm).

e_a - Pressão parcial de vapor (kPa).

E_s = taxa de evaporação da serapilheira (mm h^{-1}).

e_s - Pressão de vapor de saturação (kPa).

E_d - Taxa de evaporação das partes molhadas do dossel (mm h^{-1});

E_p - Taxa de evaporação quando toda o dossel está molhado (mm h^{-1});

E_{pt} - Taxa de evaporação potencial do tronco (mm h^{-1});

E_t - Taxa de evaporação quando todo o tronco está molhado (mm h^{-1});

ES - Escoamento superficial total (mm).

G - Fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

H - Ângulo horário (rad).

h_p - Altura da planta (m).

i - Inclinação das encostas (graus).

I - Infiltração acumulada (mm).

i_m - Intensidade máxima média de precipitação (mm h^{-1}).

i_i - Intensidade instantânea de precipitação (mm h^{-1}).

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

ICV - Interceptação da água pela cobertura vegetal (mm).

Idp - Idade da planta (anos).

Id - Irradiação solar direta à superfície plana ($\text{MJ m}^2 \text{h}^{-1}$).

I_{ds} - Interceptação de água da chuva pelo dossel (mm).

I_m - Interceptação de água da chuva pela manta orgânica (mm).

I_n - Irradiação solar direta normal a superfície plana ($\text{MJ m}^2 \text{h}^{-1}$).

k - Constante de Von Kármán (0,41).

K_s - Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}).

LE - Fluxo de calor latente de evaporação ($\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

L_{emp} - Lâmina de água empossada pela superfície do solo (mm).

M e MT – Parâmetros adimensionais.

n - Dia do ano (1-365).

ρ = coeficiente de precipitação livre (adm);

P_{atm} - Pressão atmosférica (kPa).

P_p - Percolação de água no solo (mm).

PSR - Profundidade do sistema radicular da planta (cm).

P_i - Precipitação pluvial incidente ou total (mm).

PMP - Ponto de murcha permanente (mm).

ρ_t = coeficiente de escoamento pelo tronco (adm);

γ - Coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

λ - Calor latente de evaporação (MJ kg^{-1}).

R_a - Radiação incidente no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

R_n - Radiação líquida ou saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

R_{PAR} - Radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

RR - Rugosidade randômica (mm).

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 = quantidade de água armazenada na serapilheira (mm);

S - Inclinação do terreno (%).

S_t – Capacidade de armazenamento pelo tronco (mm).

t - Tempo (min).

T_k - Temperatura absoluta (K).

T_{kv} - Temperatura virtual (K).

t_{med} - Temperatura média do ar ($^{\circ}C$).

Tr – Transpiração real ($mm\ d^{-1}$).

U_z - Velocidade do vento a altura z_m ($m\ s^{-1}$).

UR - Umidade relativa do ar (%).

V_i - Velocidade de infiltração ($mm\ h^{-1}$).

Z - ângulo zenital (graus).

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).

θ_i , - Umidade do solo no dia i ($cm^3\ cm^{-3}$).

θ_s , - Umidade de saturação do solo, ($cm^3\ cm^{-3}$).

RESUMO

FACCO, Alexandro Gomes, M.S., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2004.

Modelagem e simulação geoespacial dos componentes do balanço hídrico para plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado.

Orientador: Aristides Ribeiro. Conselheiros: Gilberto Chohaku Sedyama e Fernando Palha Leite.

Este trabalho tem como objetivo geral estimar o balanço hídrico do solo, levando em consideração a redistribuição de água e de energia solar em função da exposição do terreno em plantios florestais de eucalipto. Especificamente, visa desenvolver um sistema computacional capaz de estimar os diferentes componentes do balanço hídrico do solo para diferentes áreas de plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado, e determinar a influência da topografia no saldo de radiação e, conseqüentemente, na evapotranspiração. O estudo foi realizado em uma micro-bacia hidrográfica do rio Doce, com área de 364 ha, pertencente à empresa “Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA)”, que possui eucaliptos plantados nos anos de 1998 e 1999. A micro-bacia está localizada no município de Belo Oriente, região do Vale do Rio Doce, estado de Minas Gerais,

com coordenadas geográficas centrais de latitude 19° 21' S e longitude 42° 15' O. A topografia é de plana a forte ondulada, com altitude média de 248 m e inclinação média de 21%. As encostas têm orientações predominantes com faces voltadas para sul e sudeste. O modelo de balanço de água no solo para determinado dia foi descrito pelo armazenamento de água no solo no dia anterior, somando-se os componentes de entrada (precipitação, escoamento superficial) e componentes de saída (interceptação da água da chuva pelo dossel, interceptação de água pela serapilheira, evapotranspiração, escoamento superficial e percolação profunda). Verificou-se existir influências das diferentes inclinações e orientações das encostas nos totais diários de evapotranspiração. De uma forma geral, este fato está relacionado com a maior ou menor disponibilidade de energia para o processo de mudança de fase da água, que depende da face de exposição do terreno e da elevação solar. A interceptação da água da chuva pela cobertura vegetal variou em função da idade da planta, do total precipitado e da distribuição da precipitação. Ao determinar a disponibilidade de água na camada útil do solo, verificou-se existir importantes contribuições de água proveniente das camadas inferiores a camada útil do solo. No ano de 2001, nas áreas com plantios de 2 anos de idade, foram registrados valores médios de aporte mínimo de água das camadas mais profundas para camada útil do solo, de 261 mm, e nas áreas com plantios de 3 anos de idade, 242 mm. Neste ano ainda, ocorreram excessos médios de 192 mm nas áreas com plantios de 2 anos de idade e de 148 mm nas áreas com plantios de 3 anos. Em nenhum dia, dos 2 anos de estudos, foi registrado escoamento superficial. Verifica-se, portanto ser importante, em regiões de relevo ondulado, fazer a correção espacialmente da intensidade de fluxo da irradiância solar medida no piranômetro. Embora muitos parâmetros usados para a determinação do balanço hídrico precisem ser melhorados, para as condições de plantio de eucalipto, este estudo propõe uma excelente perspectiva para estimar a disponibilidade de água e energia para planta e, conseqüentemente, a influência destes fatores no seu desenvolvimento.

ABSTRACT

FACCO, Alexandro Gomes, M.S., Universidade Federal de Viçosa, April 2004.

Geospace modelling and simulation of water balance components for eucalypt plantations in areas with undulated relief. Adviser: Aristides Ribeiro. Committee members: Gilberto Chohaku Sedyama, and Fernando Palha Leite.

The Overall goal of this study was to estimate of the soil water balance in consideration of water and solar energy redistribution on account of the terrain exposition function in forest eucalypt culture; specific objective was the development of a computer system that would be able to estimate the different components of the soil water balance for different eucalypt culture areas with an undulated relief and to determine the topographic influence on the radiation balance and, consequently, on evapotranspiration. The study was carried out in the Rio Doce micro-watershed, covering a 364 ha area of the company “Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA)” with eucalypt cultures planted in 1998 and 1999. The micro-watershed lies in the county of Belo Oriente, Vale do Rio Doce region , State of Minas Gerais (center at 19° 21’ S latitude and 42° 15’ W longitude). The topography is plain to strongly undulate, at a mean height of 248 m and with a mean slope of 21%. Predominantly, the ramp surfaces face South and Southeast. The soil water balance model determined any particular day as follows: soil water storage of the previous day plus the entry (precipitation and runoff) and minus the

escape components (rainwater interception by the canopy and organic layer, evapotranspiration, runoff, and profound drainage). Influence of the different inclinations and ramp orientations on the daily total of evapotranspiration was confirmed. In general, this fact is related to the higher or lower energy availability for the process of change of the water phase, which depends on the face of terrain exposition and solar elevation. Rain water interception by the plant coverage varied according to plant age, total precipitation, and precipitation distribution. At determining the water availability in the root soil layer, important contributions of water through inferior layers were observed. In 2001, areas with 2 year-old cultures received mean values of minimum water input from the deepest to the useful soil layer of 216 mm, while areas with 3-year-old cultures received 242 mm. In the same year, mean excesses of 192 mm occurred in the areas with two-year-old cultures and 148 mm in the areas with three-year-old cultures. Runoff was not registered once in the two study years. Therefore, it can affirm that in regions of undulate relief, a spatial correction of the solar radiation intensity measured by a pyranometer would be important. Though many parameters used to determine the water balance need improvement for the conditions of eucalypt culture, this study proposes an excellent perspective to estimate water and energy availability to the plant and, consequently, the influence of these factors on its development.

1. INTRODUÇÃO

A controvérsia sobre o efeito ambiental e social dos plantios de eucalipto em larga escala, tem sido dominante em diversos países. Um dos principais focos dessa discussão é o aspecto hidrológico, ou seja, especialmente no que se refere à demanda de água pelas plantações de eucalipto, levando à crença de que elas secam o solo. Nos últimos anos, iniciaram-se esforços para investigar esta questão e, caso isso seja verificado, deve se conhecer também em que magnitude isso ocorre (MAESTRI, 2003; SACRAMENTO NETO, 2001 e NEVES, 2000).

A disponibilidade hídrica é um dos fatores mais importantes na determinação da produtividade dos plantios florestais, uma vez que fatores adversos, como os nutricionais e fitossanitários, podem ser controlados pelo uso de um manejo adequado. Para plantios comerciais, o controle de deficiência hídrica pelo uso da prática da irrigação torna-se inviável, devido ao alto custo de sua implantação, condução, e devido à alta derivação de água exigida. No entanto, a prática da irrigação vem sendo feita em pequenas áreas, em empresas florestais para fins experimentais.

Trabalhos realizados com objetivo de determinar a disponibilidade hídrica no solo para a cultura de eucalipto têm tratado o assunto de forma pontual e sem

considerar a topografia em relação aos fatores energéticos e em relação à redistribuição da água. O crescente desenvolvimento de sistemas de informações geográficas aplicado à hidrologia tem favorecido uma representação matemática dos processos envolvidos no mundo real, em que os componentes do balanço hídrico são estimados espacialmente, buscando simular suas interações com a topologia da área em estudo.

Este estudo teve como objetivo geral estimar o balanço hídrico do solo levando em consideração a redistribuição de água e energia solar em função da exposição do terreno em plantios florestais de eucalipto. Especificamente, visou desenvolver um sistema computacional para estimar os componentes do balanço hídrico do solo para plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado e determinar a influência da topografia no saldo de radiação e na evapotranspiração.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Balanço Hídrico

O balanço hídrico de uma bacia hidrográfica quantifica os fluxos de água, ou seja, contabiliza as entradas e saídas de água, na unidade física em questão, num determinado intervalo de tempo. O cálculo do balanço hídrico é importante para fins de planejamento regional e, ou, implantação de uma política de gerenciamento dos recursos hídricos. Este balanço é condicionado fundamentalmente pelo estado físico da atmosfera e pela natureza da superfície do solo, podendo ser verificado déficit ou excesso hídrico, no local considerado, com variações intra e interanuais.

O conhecimento da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento de uma cultura é de suma importância na determinação do potencial produtivo da região. Conhecer profundamente os processos de perda de água e os componentes que atuam, de forma efetiva, no balanço de água para realização de um manejo adequado poderá ser de grande importância na diminuição da perda de produtividade. Portanto, somente a partir do conhecimento básico das características edafoclimática para o eucalipto será possível fazer um zoneamento agroclimático consistente para a cultura, permitindo assim, conhecer o potencial de diferentes regiões.

O modelo de balanço de água no solo para determinado dia pode ser descrito pelo armazenamento de água no solo no dia anterior, somados com os componentes de entrada (precipitação, escoamento superficial e sub-superficial e pelo fluxo ascendente no perfil do solo) e aos componentes de saída (interceptação da água da chuva pelo dossel, interceptação de água pela serapilheira, evapotranspiração, escoamento superficial e percolação profunda). A eficiência do armazenamento é definida pela relação entre o volume de água armazenado na camada útil do solo, e o volume necessário ou requerido nesta camada pela planta, dando indicativo da adequação do reabastecimento hídrico dessa camada.

2.1.1 Precipitação

A precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos que mais contribui, diretamente, para o bom desenvolvimento de qualquer cultura não irrigada. A precipitação é importante por vários motivos, dentre eles, o transporte de nutrientes minerais no solo e o processo de termorregulação, (importante, por exemplo, para as reações bioquímicas tais como fotossíntese). A água disponível para a planta garante que os estômatos permaneçam abertos por mais tempo, favorecendo a absorção do gás carbônico, matéria prima para biossíntese.

A precipitação é um elemento climático indispensável no estudo do regime hidrológico de uma região. Sua formação é primordialmente influenciada pela umidade, mas outros elementos são de grande importância, como temperatura do ar, presença de núcleos higroscópios ou partículas sólidas na atmosfera. Para que ocorra precipitação pluvial, o ar úmido contido na parte mais baixa da atmosfera é aquecido, tornando-se mais leve e sofrendo uma ascensão. Ao ascender o ar aumenta seu volume e se esfria na ordem aproximada de 1º C a cada 100 m até atingir a saturação. A partir deste nível, em condições favoráveis, e havendo partículas higroscópicas, o vapor de água se condensa formando minúsculas gotas em torno da partícula higroscópica. Estas gotas permanecem suspensas até atingir massa suficiente para romper a resistência exercida pelo ar.

Segundo COSTA e LANÇA (2001), as precipitações pluviais, ditas leves, possuem gotas com diâmetros médios de 0,5 mm e sua velocidade de queda é de $2,0 \text{ m s}^{-1}$; as precipitações pluviais ditas fortes, ou seja, com intensidade média de 15 a 20 mmh^{-1} , apresentam gotas com diâmetros médios de 3,0 mm e uma velocidade de queda de $8,0 \text{ ms}^{-1}$.

As precipitações pluviais podem ser classificadas de acordo com o movimento vertical do ar, sendo ciclônicas ou frontais, convectivas e orográficas. As precipitações pluviais ciclônicas ou frontais estão relacionadas aos movimentos das massas de ar de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão, provocadas pelo aquecimento desigual da superfície terrestre. A precipitação provém da subida do ar quente sobre o ar frio na zona de contato entre duas massas de ar de características diferentes. Se o ar frio é substituído por ar quente é conhecida como frente quente; por outro lado se o ar quente é substituído por ar frio, a frente é fria, ambas são de longa duração e apresentam intensidades que variam de baixa a moderada, espalhando-se por grandes áreas. As precipitações pluviais convectivas são comuns em regiões tropicais, e resultam do aquecimento desigual da superfície terrestre. A ascensão rápida de camadas de ar superaquecido dá origem a uma brusca condensação. São chuvas de grande intensidade e curta duração, cobrindo pequenas áreas. Já as precipitações pluviais classificadas como orográficas são causadas por barreiras de montanhas, que provocam o desvio mecânico na vertical (ascendente) das correntes aéreas de ar quente e úmido.

Além de se conhecer o total anual das precipitações pluviais, é de grande importância também conhecer a distribuição destes eventos durante o ano, pois somente o conhecimento do total precipitação não é suficiente para indicar se o solo atingiu ou não, o nível satisfatório armazenamento de água. Muitas vezes, mesmo sendo os totais de chuva anuais maiores que a média histórica, as precipitações ocorrem concentradas em poucos dias, favorecendo a ocorrência de escoamento superficial e drenagem da água pelo solo. E, por outro lado, pode ocorrer que em outros meses do mesmo ano não haja precipitação suficiente, fazendo com que haja deficiência de água no solo.

A variabilidade espacial da precipitação influencia no escoamento superficial. CHAUBEY et al. (1999) afirmam que o padrão de variação espacial da precipitação pode ser obtido usando informações provenientes de uma rede de medições de chuvas ou dados de precipitação obtidos de radares meteorológicos. PRUSKI et al. (1997) desenvolveram um procedimento para regionalização dos parâmetros das equações de chuvas intensas para amplas áreas. A partir deste trabalho e de um banco de dados em que se conhecia, para diversas localidades do país, a relação entre intensidade, duração e frequência de precipitação, desenvolveram o software PLÚVIO 1.3 no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (www.ufv.br/dea/gprh/pluvio). Este software fornece os valores dos parâmetros da equação de chuvas intensas a partir da localidade ou das coordenadas geográficas do local.

2.1.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração diz respeito à transpiração realizada pela planta, evaporação direta da água do solo e da água depositada na superfície da planta. Esses processos são controlados pela energia solar absorvida pelo sistema solo-planta, e pelas condições atmosféricas (déficit de pressão de vapor e velocidade do vento).

A condutância estomática é um parâmetro fisiológico por meio do qual as plantas controlam as trocas gasosas, incluindo a transpiração. A superfície das folhas é geralmente envolvida por uma membrana, relativamente impermeável ao vapor d'água e ao gás carbônico, que possui minúsculos orifícios denominados estômatos. Estes orifícios são os órgãos da folha que permite as trocas gasosas e são muito sensíveis, e sua abertura ou seu fechamento depende de fatores como luz, temperatura, umidade do solo, potencial de água na folha, déficit de pressão de vapor do ar e estado nutricional da folha. O controle estomático determina a demanda transpirativa a que as folhas estão potencialmente sujeitas e, portanto, determina a taxa de crescimento (JARVIS e MCNAUGHTON 1986; LIMA, 1996; RADERSMA e RIDDER, 1996). SACRAMENTO NETO (2000) desenvolveu modelos para estimativa da condutância estomática para plantios jovens de

Eucalyptus grandis, sendo que os valores encontrados foram maiores do que a estimativa realizada pelo modelo proposto por MIELKE et al (1999), desenvolvido para plantios adultos.

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 pelo saldo de radiação e pelo 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 com maior abertura apenas quando déficit de pressão de vapor atmosférico é menor. LEUNING (1990) e DYE e OLBRICH (1993) verificaram que a condutância estomática em plantas de *E. grandis* é muito sensível ao déficit de pressão de vapor.

Outra variável biofísica, importante na estimativa da evapotranspiração do eucalipto, é o índice de área foliar (IAF), pois quanto maior o IAF, menor será a resistência ao transporte de vapor d'água, devido ao maior número de estômatos. Segundo LANG e MCMURTRIE (1992), o IAF está diretamente relacionado com a produtividade e a evapotranspiração de ecossistemas florestais. A quantificação e variação do IAF ao longo do ciclo produtivo do eucalipto são de grande importância, pois torna-se viável sua utilização como variável de entrada em modelos hidrológicos e de crescimento. XAVIER et. al (2002) apresentam a variação do IAF para plantios de diversos clones de eucalipto com idades de 15 a 78 meses, obtendo valores médios de $3,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para plantios jovens e $2,2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ em plantios mais velhos. Estes autores desenvolveram ainda modelos para estimativa do IAF em função da idade.

ALMEIDA e SOARES (2003) compararam o uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e em mata atlântica, na costa oeste do Brasil, e concluíram, considerando o ciclo de crescimento com sendo cerca de sete anos, que o eucalipto pode consumir menos água que a mata nativa na região

estudada. Nos anos em que a precipitação estava próxima a média histórica, ocorreram equilíbrios da evapotranspiração para os dois ecossistemas. E nos anos em que a precipitação foi inferior a média histórica, a mata atlântica apresentou taxas de evapotranspiração superiores às do eucalipto. SACRAMENTO NETO (2000) observou, para plantios de um e dois anos, taxas médias de evapotranspiração real (ET_r) aproximadamente iguais 5,0 e 1,4 mm d⁻¹, nos períodos úmidos e secos do ano, respectivamente. NEVES (2000) determinou para plantios adultos, com 10 anos de idade, ET_r aproximada de 5,7 e 2,3 mm d⁻¹, nos períodos úmidos e secos do ano, respectivamente.

2.1.2.1 Intercepção pela cobertura vegetal

Nem toda água precipitada na forma de chuva pode ser considerada na recarga do solo. Uma parte fica interceptada pela cobertura do solo e retorna para a atmosfera. A água da chuva ao atingir o dossel das árvores, perfaz dois caminhos até atingir a superfície do solo. Uma parte da água escoia pelas folhas e galhos, que nada mais é do que uma lavagem no dossel, que é mais conhecida como precipitação interna. Outra parte da água escoia pelo tronco das árvores. Os dois caminhos são primordiais na distribuição de nutrientes em ambientes florestais, principalmente quando esses ecossistemas estão situados nos trópicos, onde a água de precipitação é a principal fonte natural de nutrientes (BALIEIRO, 1999).

Segundo BALIEIRO (1999), o índice de área foliar, o tipo de chuva, o formato da copa das árvores, e o espaçamento de plantio são fatores que influenciam na quantidade de água da chuva que atinge o solo. A arquitetura da copa influencia na capacidade de interceptação da precipitação por espécies arbóreas. LEITE (1996) verificou em cultura de eucalipto, no município de Santa Bárbara – MG, uma tendência para decréscimo linear da precipitação interna quando havia maior densidade populacional, tendência esta influenciada pela maior interceptação da chuva nas parcelas onde a área útil inicial por planta era menor, ou seja, nos plantios mais adensados. LIMA (1996) apresenta uma lista comparativa de resultados experimentais relativos à capacidade de

armazenamento de água pelo dossel de diversas espécies florestais. Para algumas espécies de eucalipto, verificou-se que esta capacidade varia entre 0,2 e 2,0 mm, predominando valores inferiores a 0,5 mm. Este valores são de 0,2 a 2,0 mm, para florestas temperadas, e de 0,8 mm, para floresta amazônica. SACRAMENTO NETO (2001) realizou estudos em plantios jovens de eucalipto na região do Vale do Rio Doce, MG, e verificou que a interceptação pelo dossel da precipitação incidente foi na ordem de 5,7 e 13,6 % nos plantios de 1 e 2 anos de idade, respectivamente.

A serapilheira ou manta orgânica depositada na superfície é fundamental na nutrição e para a estrutura do solo de ecossistemas florestais. Esse material protege o solo da ação direta da radiação solar, reduzindo a evaporação, mantendo o solo mais úmido e favorecendo a ação de microorganismos decompositores da matéria orgânica. A serapilheira minimiza ou evita a compactação do solo e o escoamento superficial da água das chuvas, favorecendo a sua infiltração e melhorando a recarga do perfil. Recentemente, SACRAMENTO NETO (2001) verificou que a interceptação pela serapilheira contribui significativamente, para a atenuação da infiltração da água no solo em plantios jovens de eucalipto. Segundo o autor, cerca de 1,5% da água da chuva é interceptada, o que corresponde a 25,0% da interceptação do dossel na idade de dois anos. Embora o dossel se estenda por toda a área de terreno, nesta idade de plantio, verificam-se muitas aberturas, o que permite uma boa disponibilidade de radiação solar ao nível do solo. Verifica-se também que, embora reduzida em relação ao topo do dossel, a velocidade do vento se mantém favorável ao processo evaporativo. Estes dois fatores devem explicar a contribuição deste componente do balanço hídrico, devendo ser investigado para outras idades, plantios e espécies florestais. A quantidade de água interceptada pela serapilheira depende de suas características físicas tais como espessura, estado de decomposição e teor de umidade em que se encontra no momento de um evento de chuva. SOUZA et. al (2003) desenvolveram um modelo tipo tanque capaz de estimar a interceptação da água da chuva pela serapilheira, dossel e tronco.

2.1.2.2 Saldo de radiação solar

O saldo de radiação solar é toda energia absorvida pela superfície subtraída pela energia que foi emitida pela mesma. A irradiação solar global (R_g) é a quantidade de energia que chega a superfície da terra na forma de radiação de ondas curtas, após sofrer interações com a atmosfera. A R_g é composta por dois componentes, o direto e o difuso. A irradiância solar direta compreende a radiação que vem diretamente do disco solar. Em dias de céu descoberto, esta componente é muito maior do que a difusa, exceto nos horários em que a altitude solar é muito baixa. A irradiância solar difusa diz respeito a uma parte da irradiância solar global que é espalhada pelos constituintes da atmosfera e chega à superfície em todas as direções. Segundo IQBAL (1978), a irradiação difusa num dado instante depende, principalmente, da altitude e da latitude do local, da declinação solar e do ângulo de elevação, do índice de turbidez da atmosfera, da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera e da nebulosidade. A nebulosidade, associada ao tipo de nuvem, são os principais fatores que afetam a irradiância solar difusa à superfície terrestre. IQBAL (1983) relata que em condições de céu descoberto, e na ausência de partículas sólidas em suspensão, aproximadamente metade da radiação solar difusa retorna ao espaço; e somente outra parte é enviada na direção da superfície terrestre.

LIMA (1996) desenvolveu um modelo matemático para estimar a irradiação solar difusa horária para o município de Viçosa. Este modelo foi baseado em metodologia adotada por Orgill e Hollands para Toronto, Canadá, e por Erbs nos Estados Unidos, para os mesmos fins. Os resultados obtidos para Viçosa, MG foram bem confiáveis, apresentado coeficientes de determinação de até 85,74% quando usado o modelo desenvolvido por Lima, e 83,35 % para o modelo proposto por Erbs usando sem nenhum ajuste para Viçosa.

O balanço de ondas longas (BOL) corresponde ao saldo de energia entre radiação emitida pelo sistema solo-planta-atmosfera e a contra-radiação atmosférica. A contra-radiação depende, basicamente, da temperatura do ar, da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera e da cobertura de nuvens. A radiação emitida pelo sistema solo-planta-atmosfera depende da temperatura do solo e da sua emissividade (VIANELLO, et al., 2002). A literatura não apresenta

modelos matemáticos para estimativa do balanço de ondas longas em plantios de eucaliptos.

A maior parte da energia que é absorvida pela superfície é de ondas curtas. Normalmente, o tratamento da disponibilidade de energia em relação à radiação solar global, segundo modelos de balanço hídrico, considera os terrenos como planos, gerando distorções em regiões com terrenos de relevo ondulado. Isso se deve ao posicionamento do sensor na vertical. Para corrigir este componente em regiões de relevo ondulado, faz-se necessário o uso da lei dos co-senos, baseado no grau de inclinação da face de exposição do terreno. A figura 01 apresenta a comparação entre a influência da irradiância solar para uma superfície plana e para outra, inclinada. Observa-se que para um mesmo fluxo de energia radiante, a área de incidência é proporcional a inclinação, o que acarreta em uma densidade de fluxo radiante maior na condição ortogonal quando comparado com o terreno inclinado.

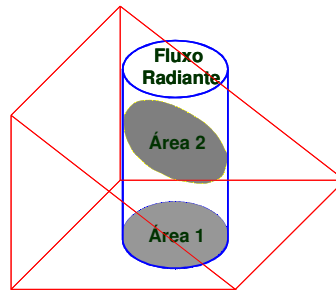


Figura 01 – Variação da taxa energética, para um mesmo fluxo radiante, considerando a superfície plana e inclinada.

2.1.3 Infiltração de água no solo

COSTA e LANÇA (2001) afirmam que infiltração é o processo pelo qual a água penetra no solo e se move para baixo, em direção ao lençol freático, devido à ação da gravidade e ao potencial capilar. A água que infiltra enche o volume útil do solo movimentando-se através do seu espaço poroso por meio da percolação e, eventualmente, atinge uma zona totalmente saturada, formando o lençol freático.

PRUSKI et al. (1997) definem a capacidade de infiltração como sendo a quantidade máxima de água que pode infiltrar no solo, em um dado intervalo de tempo, sendo expressa, comumente, em mm h^{-1} . No início de uma precipitação, a capacidade de infiltração apresenta uma maior magnitude, e diminui, progressivamente, com o transcorrer da chuva até atingir um valor, aproximadamente constante. A velocidade de infiltração da água no solo pode ser definida como a lâmina de água que atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo. Semelhantemente à capacidade de infiltração, a velocidade é maior no início do processo de infiltração, principalmente quando o solo está inicialmente seco, mas tende a decrescer com o tempo, aproximando-se assintoticamente de um valor constante, denominado velocidade de infiltração básica da água no solo. Portanto, o conhecimento das intensidades das precipitações nos diferentes eventos são importantes na estimativa da infiltração da água no solo, e conseqüentemente, no escoamento superficial, pois em precipitações cuja intensidade for superior à velocidade de infiltração, a lâmina infiltrada será menor do que nas infiltrações ocorridas por precipitações com intensidades inferiores à velocidade de infiltração.

Segundo BRANDÃO et al. (2003), a textura e a estrutura do solo são características que influenciam expressivamente a movimentação da água no solo, uma vez que determinam a quantidade de macro poros presentes em seu perfil. Os macro poros são importantes por determinarem a condutividade hidráulica do solo. A umidade inicial do solo é outro aspecto físico do solo muito importante, pois para um mesmo solo, a capacidade de infiltração será tanto maior quanto mais seco estiver o solo inicialmente. Quanto maior for a diferença da carga hidráulica entre dois pontos considerados, maior deverá ser a velocidade de infiltração. A velocidade de infiltração aumenta com a temperatura da água, devido à diminuição da viscosidade da água.

2.1.4 Escoamento superficial

VILLELA e MATOS (1979) definem escoamento superficial como sendo o excesso de água que ocorre logo após uma chuva intensa e que se desloca

livremente pela superfície do terreno. Para que ocorra escoamento superficial é necessário, primeiramente, que a intensidade da precipitação seja maior que a velocidade de infiltração. Segundo COSTA e LANÇA (2001), o escoamento superficial é influenciado por três tipos de parâmetros: meteorológicos, fisiográficos e antrópicos. Os parâmetros climatológicos são dados pelo vapor de água existente na atmosfera, temperatura, ventos e pressão atmosférica. Os parâmetros fisiográficos são dados pela área, forma e topografia da bacia hidrográfica, pela geologia, vegetação e capacidade de infiltração dos solos. Os parâmetros antrópicos são dados pela irrigação e drenagem de terras, pela canalização ou "retificação" de rios, derivação da água, barragens ou diques, uso do solo e desmatamento.

ALVES da SILVA (2002) desenvolveu modelo para determinação do escoamento superficial relativo à precipitação em uma bacia hidrográfica. Levou em consideração a redistribuição da água em função do modelo digital de elevação da bacia, rede de drenagem e tipo e cobertura do solo. Este modelo resultou no software Hidrobacia, desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (www.ufv.br/dea/gprh/hidrobacia).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área Experimental

O estudo foi realizado em uma micro-bacia hidrográfica do rio Doce localizada no município de Belo Oriente, região do Vale do Rio Doce, estado de Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são latitude 19° 21' S e longitude 42° 15' O (Figura 02). Tal área pertence à empresa “Celulose Nipo-Brasileira S.A (CENIBRA)”, com eucaliptos plantados nos anos de 1998 e 1999 (Figura 03). A topografia da região estudada é de plano a forte ondulado com altitude média de 248 m, com inclinação média das encostas de 21%, e orientações predominantes com face voltadas para sul e sudeste (Figuras 04 e 05). Sua área de drenagem é de aproximadamente 364 ha, com solos mediantemente profundos, argilosos e com baixadas férteis. A capacidade de campo do solo é de 40% e o ponto de murcha permanente de 21%. Estudo realizado por SOUZA et. al. (2003), classificou o clima, segundo classificação de Köppen, Aw, tropical chuvoso de savana, ou seja inverno seco e chuvas máximas no verão, precipitação média anual de 1163 mm, temperatura média anual de 25 °C e umidade relativa média anual de 65 %. A figura 06 apresenta a comparação dos dados de precipitação, temperatura e umidade relativa ocorridos no três anos de estudo, com as médias normais para a estação meteorológica localizada a 8 km do local da pesquisa.

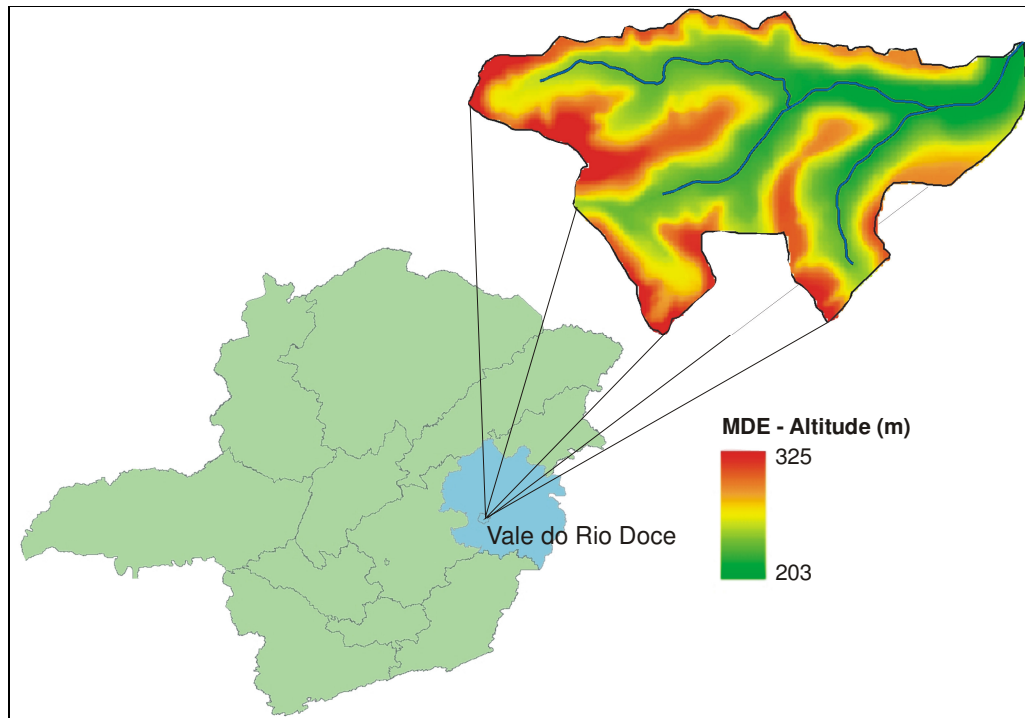


Figura 02 – Localização e topografia da micro-bacia do rio Doce.

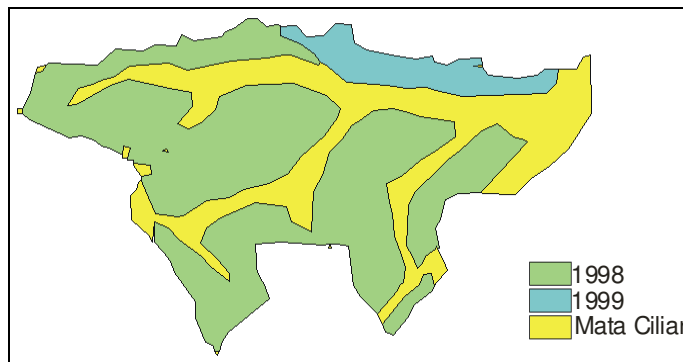


Figura 03 – Espacialização do tipo de cobertura vegetal e data de plantio dos eucaliptos na micro-bacia.

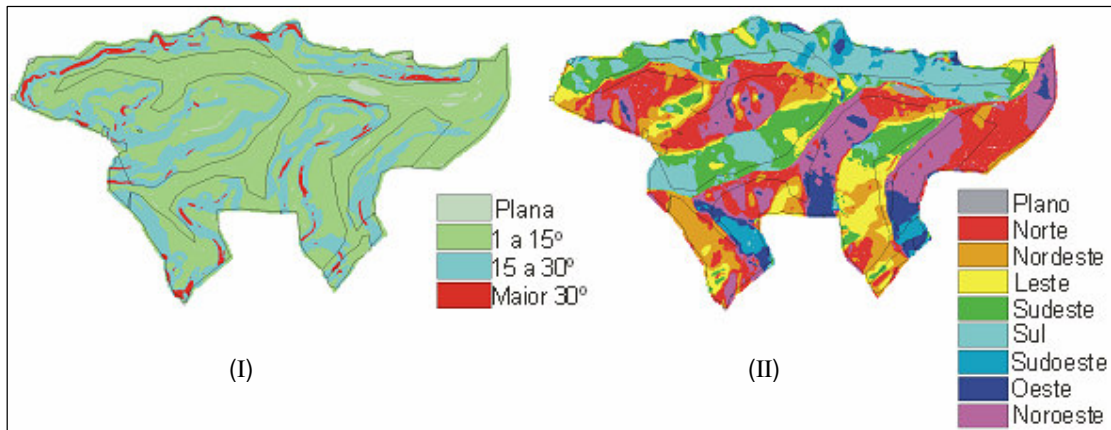


Figura 04 – Classes de inclinações (I) e orientações das encostas (II) na micro-bacia.

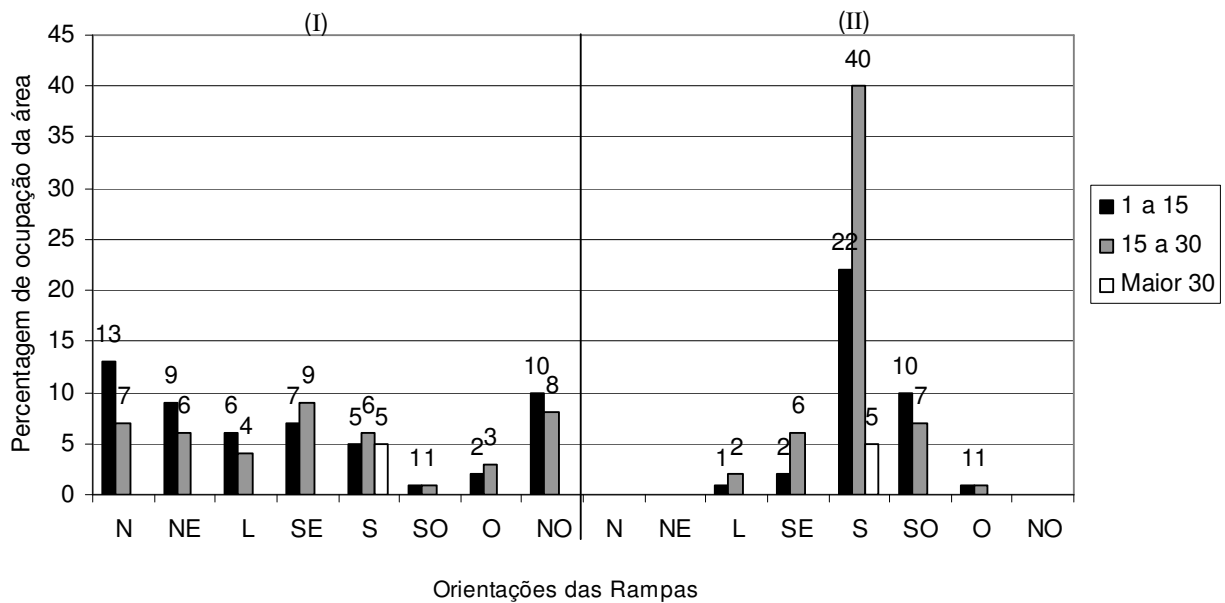


Figura 05 – Histograma de distribuição de frequência das inclinações e orientações das encostas, em função das áreas com plantio de 1998 (I), e de 1999 (II).

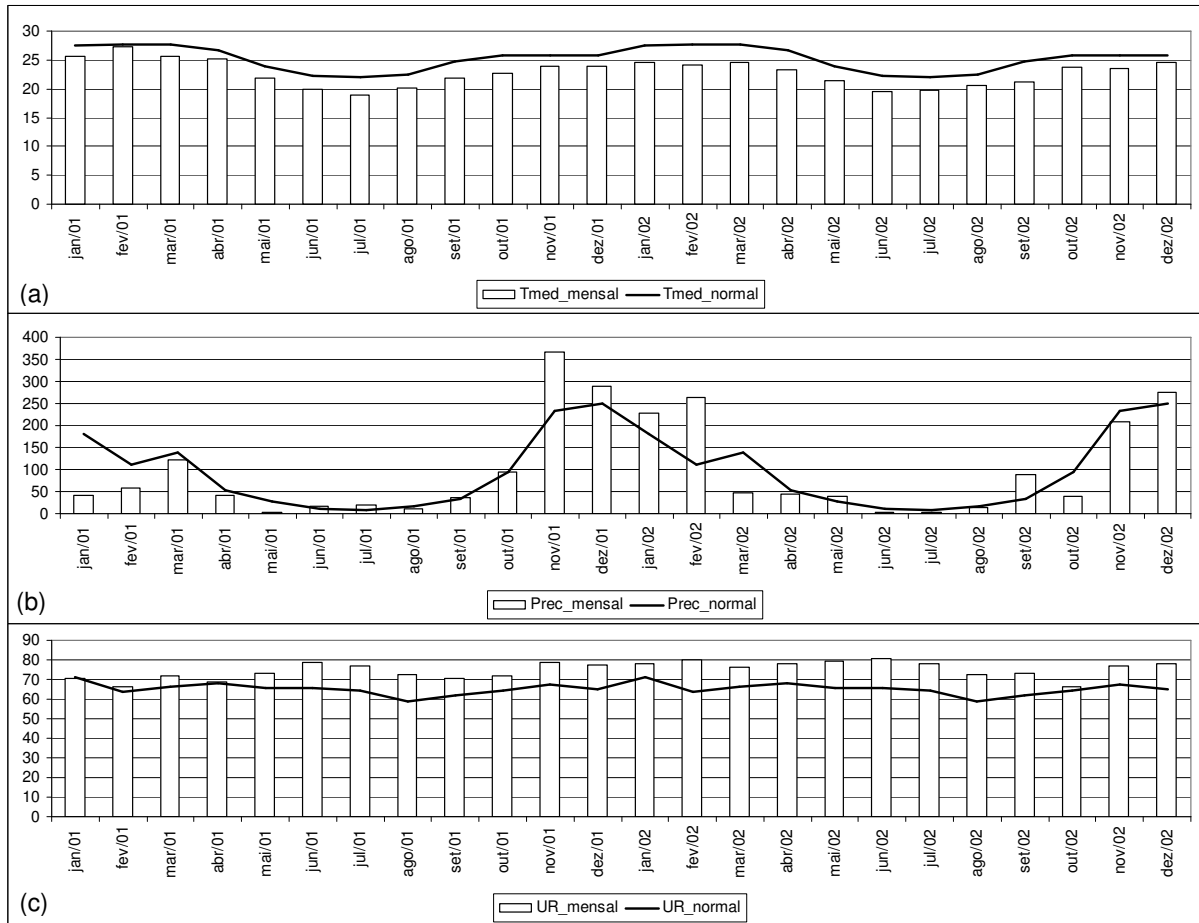


Figura 06 – Comparação da variação mensal dos elementos meteorológicos durante o período de estudo, com dados normais da estação meteorológica, localizada próximo ao local da pesquisa. (a) Temperatura média mensal (°C), (b) precipitação pluvial total mensal em (mm) e (c) umidade relativa média mensal em (%).

3.2 Período de Estudo

O período de estudo para regionalização do balaço hídrico foi entre 01 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2002. Os dados meteorológicos utilizados nas estimativas dos componentes do balanço hídrico, foram coletados em escala horária na estação meteorológica automática localizada, a 8 km da micro-bacia, com atitude de 324 m.

3.3 Sistema de Geoespacialização

O sistema computacional tem como base um modelo digital de elevação hidrologicamente consistente, com resolução de 16 m, de forma a possibilitar a geoespacialização da eficiência do uso da água em diferentes posições topográficas. Essa ferramenta permite uma visão da hidrologia em nível de micro-escala, sendo possível entender a implicação do plantio de eucalipto na disponibilidade dos recursos hídricos na micro-bacias em estudo. A implementação do sistema foi feita utilizando a linguagem de programação do software “Visual Basic 6.0”, que é processado no sistema de informações geográficas ArcGis 8.1 (ESRI) por meio de comandos automatizados (macros). Os cálculos dos componentes energéticos, escoamento superficial e infiltração foram realizados em escala horária e integrados dia a dia. Os demais componentes do balanço hídrico foram calculados na escala diária.

A estrutura do sistema desenvolvido pode ser visualizada no fluxograma mostrado na Figura 07. Com base no modelo digital do terreno (MDT) georeferenciado, que envolve o modelo digital de elevação (MDE) e cobertura vegetal. Juntamente com dados meteorológicos em escala horária, foram estimados os componentes do balanço hídrico. A partir do MDE foram determinadas altitudes, sombreamentos, inclinações, orientações das encostas para cada célula. Associando os sombreamentos, inclinações e orientações das encostas aos dados meteorológicos, calculou-se o saldo de radiação (R_n) em cada célula, em escala horária, e integrado dia a dia. A partir do R_n diário e outros dados meteorológicos foi estimada a transpiração real. Nos dias em que ocorreram precipitações pluviais, foram calculadas as interceptações pela cobertura vegetal (ICV), as percolações profundas (Pp), escoamentos superficiais (Es) e finalmente o armazenamento de água no solo disponível para planta.

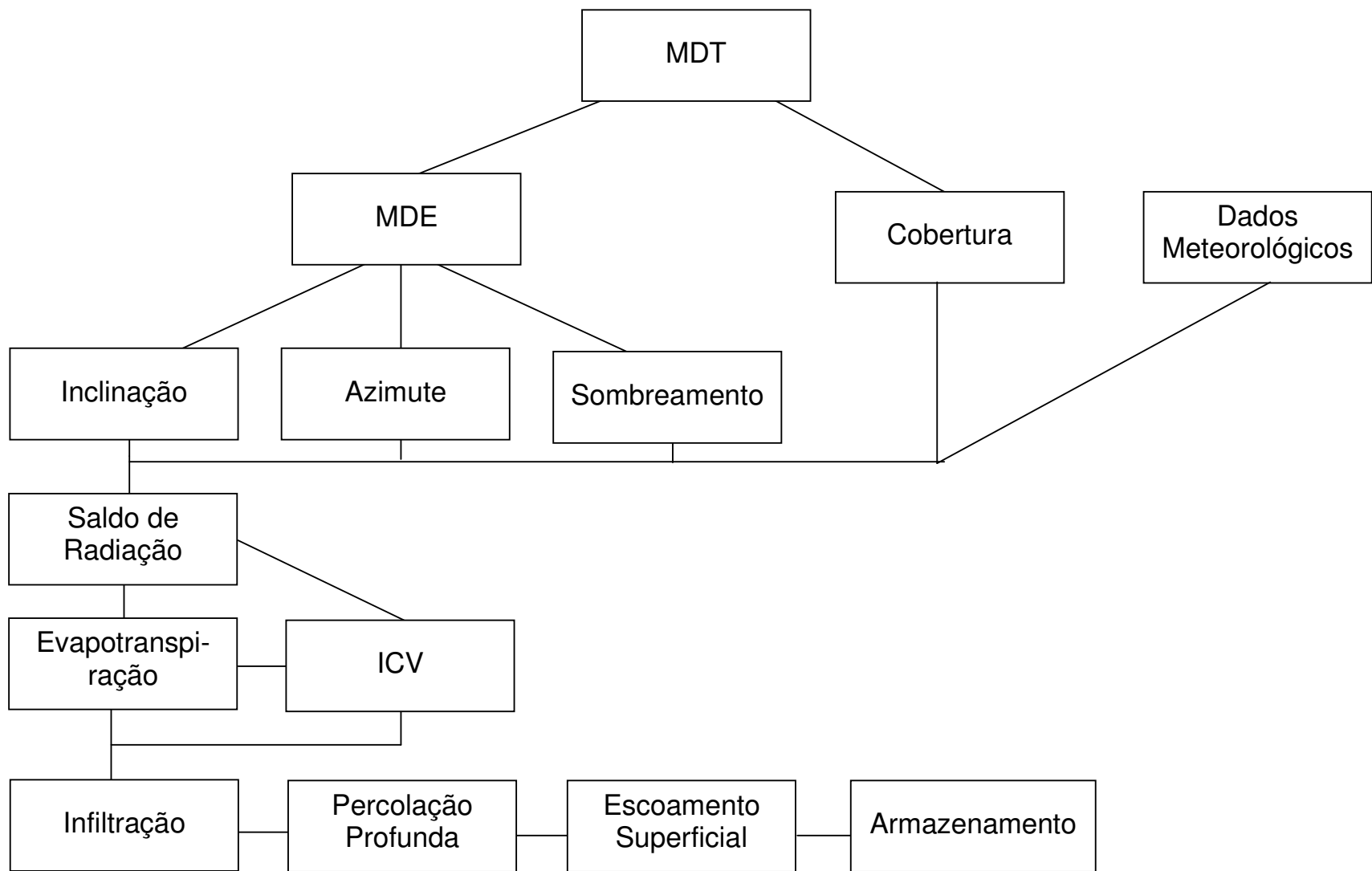


Figura 07 – Fluxograma das etapas do desenvolvimento para determinação do armazenamento da água no solo.

3.3.1 Balanço Hídrico

A variação do armazenamento de água no solo é descrita pela equação 2 e a Figura 08 apresenta a representação dos componentes do balanço hídrico na micro-bacia em estudo.

$$ARM_i = ARM_{i-1} + P_i - Id_{si} - Is_i - Et_i - Esc_i - Pp_i \quad (2)$$

em que,

ARM_i = armazenamento de água do dia i (mm);

ARM_{i-1} = armazenamento de água do dia anterior (mm);

P_i = precipitação pluvial total do dia i (mm);

Id_{si} = total interceptado de água da chuva pelo dossel do dia i (mm);

Is_i = quantidade de água interceptada pela serapilheira do dia i (mm);

ET_i = evapotranspiração do dia i (mm);

Esc_i = escoamento superficial do dia i (mm);

Pp_i = percolação na camada útil do solo onde se encontram as raízes no dia i (mm).

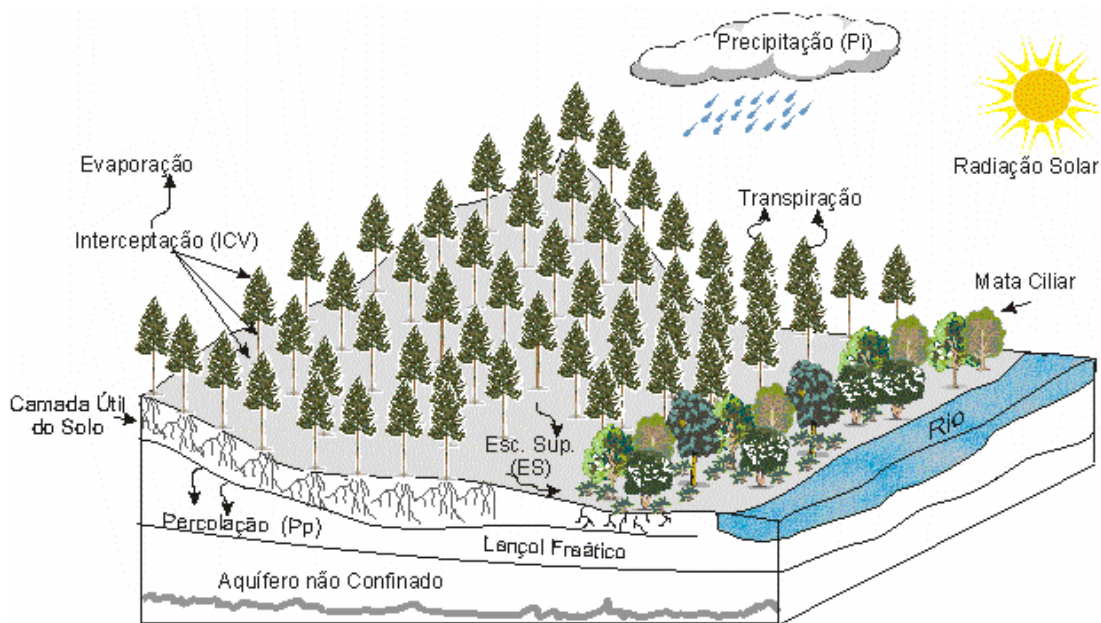


Figura 08 – Representação dos componentes do balanço hídrico.

O cálculo do balanço hídrico iniciou-se a partir do dia primeiro de janeiro, data esta em que a precipitação acumulada foi suficiente para atingir a capacidade máxima de água disponível (CAD) no solo.

3.3.1.1 Determinação do armazenamento de água no solo

O armazenamento de água foi estimado para a camada útil do solo. Esta camada varia em função do estágio de desenvolvimento das plantas. Definida a profundidade do sistema radicular, obteve-se o volume de controle e a quantidade máxima de água, possível de ser retirada pelas plantas. A capacidade máxima de água disponível (CAD) foi determinada baseando-se em análises das características físicas dos solos, profundidade do sistema radicular (PSR), realizadas pela empresa nas áreas de plantio para cada talhão. Para o cálculo do CAD foi utilizado o modelo matemático desenvolvido por MAESTRI (2003), ajustado a uma base de dados de amostragem coletados em plantios na região de Aracruz – ES, a fim de determinar a profundidade do sistema radicular (PSR) sendo expressa em centímetros.

$$PSR = 287,31 \cdot (1 - e^{-0,19483 \cdot Idp})^{1,02190} \quad r^2 = 66,2 \quad (3)$$

em que,

Idp = Idade da planta (anos).

$$CAD = 0,1 \cdot (CC - PM) \cdot da \cdot PSR \quad (4)$$

em que,

CC = capacidade de campo (%);

PM = ponto de murcha (%);

da = densidade do solo ($g\ cm^{-3}$).

3.3.1.2 Determinação da interceptação da água da chuva pelo dossel

Os valores da interceptação da água da chuva pelo dossel do eucalipto (Id) foram estimados pela parametrização desenvolvida por SOUZA et al (2002) para plantios com idade de 2 anos, com base no modelo de RUTTER et al. (1971, 1975). O modelo surgiu como sendo o mais adequado para descrever o processo de interceptação. O modelo foi descrito por GASH (1979) como o método mais

confiável para estimar os valores interceptados. O modelo requer o conhecimento sobre a estrutura do dossel, conforme apresentado no diagrama conceitual (Figura 09). Este modelo considera que o total de chuva incidente em uma comunidade de plantas é distribuído em três partes: 1) uma parte atinge diretamente o solo pelos espaços abertos, sem interagir com o dossel; 2) outra parte incide sobre as folhas e galhos, e tendo atingido a capacidade máxima de estoque, inicia-se a drenagem; 3) outra atinge os troncos, e obtendo-se a capacidade máxima de estoque, inicia-se a drenagem. Durante, e após as chuvas, a água depositada sobre o dossel (folhas, galhos e troncos) sofre evaporação, que foi estimada pela equação de Penman-Monteith, considerando-se nula a resistência superficial ao transporte de vapor. Um fator de depleção da taxa evaporativa, em função da quantidade armazenada, também foi considerado.

O modelo de Rutter é uma adaptação da equação do balanço hídrico, expresso pela equação (5), em que para o dossel tem-se:

$$(1-p-pt) \int P dt = \int D dt + \int E dt + \delta Cc \quad (5)$$

em que:

p = coeficiente de precipitação livre (%);

pt = coeficiente de escoamento pelo tronco (mm);

P = precipitação incidente (mm);

E = taxa de evaporação das partes molhadas do dossel (mm h^{-1});

Cc = quantidade de água armazenada pelo dossel (mm); e

D = drenagem do dossel (mm).

Para o dossel, quando a quantidade de água armazenada é maior que a capacidade de armazenamento (S), isto é $C \geq S$, a taxa de evaporação é calculada pela equação de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965), aplicada para a vegetação molhada, considerando a inexistência de resistência estomática. Porém, quando a quantidade de água armazenada no dossel for menor que a capacidade de armazenamento, isto é $C < S$, a taxa de evaporação será dada por

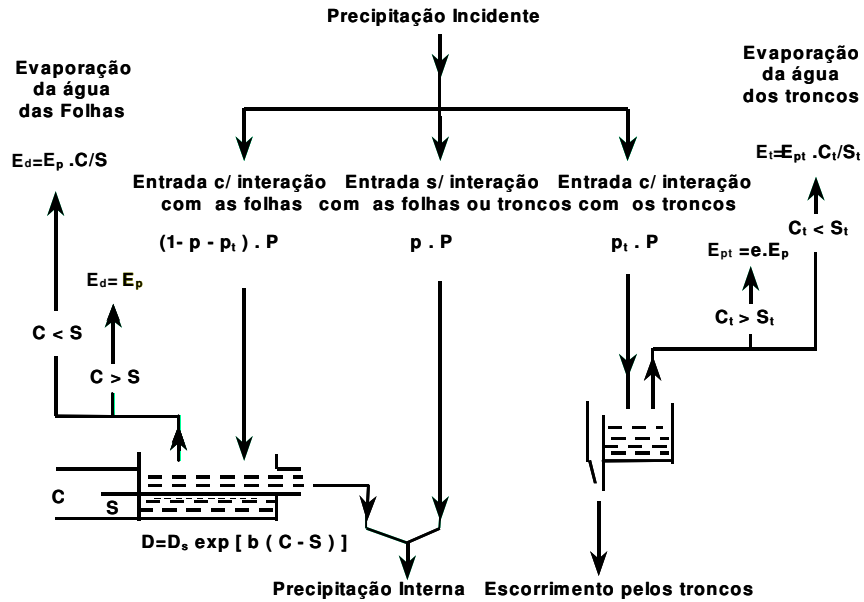


Figura 09 – Esquema ilustrativo da interceptação do dossel da água da chuva - modelo Rutter.

$$E = E_p \frac{C}{S} \quad (6)$$

em que,

E = taxa de evaporação das partes molhadas do dossel (mm h^{-1});

E_p = evaporação potencial do dossel (mm h^{-1});

C = quantidade de água armazenada pelo dossel (mm); e

S = capacidade de armazenamento do dossel (mm).

Para estimar a drenagem do dossel (D), a seguinte equação é utilizada:

$$D = D_s \exp[b(C - S)] \quad (7)$$

em que,

D_s = taxa de drenagem quando $C = S$ (mm h^{-1}); e

b = taxa do aumento de drenagem (mm h^{-1}).

A expressão anterior somente é válida quando $C \geq S$; se $C < S$, a drenagem será zero.

A interceptação horária (I) é calculada em milímetros, somando-se os totais perdidos por evaporação pelo dossel (I_d) e pelos troncos (I_t). A I representa a diferença entre a precipitação efetiva e a incidente. Então, a quantidade de água armazenada no dossel C , é dada pela seguinte equação:

$$\frac{dC}{dt} = (1 - p_t - p)P - C \frac{E_t}{S} - D_s \exp[b(C - S)], \quad (8)$$

e para os troncos, tem-se

$$\frac{dC_t}{dt} = p_t P - E_t - \frac{dTe}{dt} \quad (9)$$

O modelo de RUTTER requer certos parâmetros morfológicos da vegetação, tais como: capacidade de armazenamento do dossel e dos troncos, coeficiente de precipitação livre, coeficiente de escoamento dos troncos, taxa de aumento de drenagem, comprimento de rugosidade e deslocamento no plano zero. Estes parâmetros foram obtidos por intermédio de regressões lineares usando os dados disponibilizados por SOUZA et al (2002).

3.3.1.3 Determinação da interceptação da água da chuva pela serapilheira.

Para modelar a água da chuva interceptada pela serapilheira, usou-se um modelo desenvolvido por SOUZA et al. (2002) baseado no modelo de RUTTER et al. (1975). Este modelo é do “tipo tanque”. Conforme a figura 10, a quantidade interceptada é dada pela diferença entre a umidade real da serapilheira em relação a sua capacidade máxima de retenção da manta, adicionada à quantidade de água evaporada, no intervalo de tempo considerado (HACHIMO et al., 2001). Para estimar a quantidade de água evaporada é utilizado a mesma

lógica do modelo de RUTTER, em que a equação de Penman-Monteith considera nula a resistência superficial ao transporte de vapor.

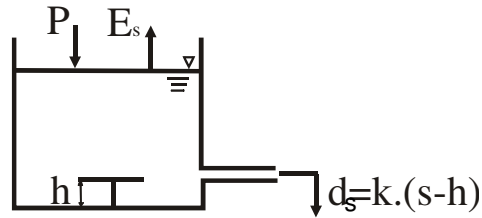


Figura 10 – Esquema ilustrativo do modelo de interceptação da chuva pela serapilheira.

No modelo do tanque, o parâmetro h se refere capacidade de armazenamento do dossel, e é suposto não variar durante os eventos da chuva. Num tempo arbitrário t , durante os períodos em que está chovendo, a equação do contrapeso da água para o tanque do dossel é descrita como se segue:

$$\frac{ds}{dt} = P_i - d_s - E_s \quad (10)$$

Onde s é a quantidade de água armazenada na serapilheira (mm); P_i é a intensidade de chuva (mm h^{-1}); d_s é a taxa de gotejamento (mm h^{-1}) e E_s é a taxa de evaporação no tanque (mm h^{-1}). O gotejamento é descrito como uma função de s .

$$\text{Se: } 0 \leq s \leq h, \text{ então } d=0; \quad (11)$$

ou

$$\text{se: } (s > h), \text{ então } d = k.(s - h). \quad (12)$$

Aqui k é um parâmetro para o gotejamento. A taxa da evaporação E_s é descrito como um produto da taxa da evaporação potencial (E_p) e a capacidade do armazenamento s da água.

$$E_s = \alpha^* . E_p . \frac{s}{h} \quad (13)$$

$$\alpha^* = \frac{\alpha . h}{E_p} \Rightarrow E = \alpha . s$$

E_p é avaliado pela equação de Penman com dados micro-meteorológicos; α é definido pela equação que se segue:

$$\alpha = \alpha^* \cdot \frac{E_p}{h} \quad (14)$$

3.3.1.4 Determinação da Evapotranspiração.

Para a estimativa da evapotranspiração utilizou-se o modelo Penman – Monteith, 1965, o qual inclui os componentes aerodinâmicos e os do balanço de energia, dado a seguir:

$$LE = \frac{\Delta(R_n - S) + \rho_a C_p (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)} \quad (15)$$

em que ,

- LE = fluxo de calor latente de evaporação ($\text{kJ m}^2 \text{s}^{-1}$);
- Δ = declividade da curva de pressão de saturação de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);
- Rn = saldo de radiação ($\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$);
- S = fluxo de calor no solo ($\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$);
- ρ_a = densidade absoluta do ar (kg m^{-3});
- γ = coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);
- c_p = calor específico do ar seco ($\text{kJ kg}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$);
- ($e_s - e_a$) = déficit de pressão de vapor (kPa);
- r_a = resistência aerodinâmica (s m^{-1});
- r_c = resistência dossel da planta (s m^{-1}).

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

A resistência aerodinâmica (r_a) foi obtida utilizando equação de ALLEN et al. (1991), descrita a seguir:

$$r_a = \frac{\ln\left[\frac{Z_m - d}{Z_{0m}}\right] \ln\left[\frac{Z_h - d}{Z_{0h}}\right]}{k^2 U_z} \quad (16)$$

em que,

Z_m = altura que de medição da velocidade do vento (m);

d = deslocamento do plano zero do perfil do vento (m);

Z_{0m} = parâmetro de rugosidade para momentum (m);

k = Constante de Von Kármán (0,41);

U_z = Velocidade do vento a uma altura Z ($m s^{-1}$);

Z_h = altura da medida da umidade do ar (m);

Z_{0h} = parâmetro de rugosidade para calor sensível e vapor d'água (m).

A altura média de uma planta (h_p) foi estimada com base em um modelo matemático gerado a partir de dados coletados pela Cenibra S.A., na região de Rio Doce, para plantas de 1 a 7 anos de idade, conforme equação a seguir:

$$h_p = -0,2085 + 7,2478I_{dp} - 0,5306 \cdot I_{dp}^2 \quad (r^2 = 85,16\%) \quad (17)$$

Para estimativas da resistência estomática foi usado o modelo proposto por MIELKE (1999), em experimentos realizados em plantas adultas no município de Aracruz – ES. Este modelo leva em consideração o período seco e úmido do ano.

$$r_c = \frac{r_e}{IAF} \quad (18)$$

em que,

r_e = resistência estomática ($s m^{-1}$).

Resistência estomática:

$$r_e' = \frac{1}{-0,024 + 0,00008 \cdot R_{par} - 0,156 \cdot DPV + 0,129 \cdot \Psi_{pd} + 0,016 \cdot T} \quad (19)$$

$$r_e = \frac{120,26 \cdot r_e' \cdot P_{atm}}{273,15 + t_{med}} \quad (20)$$

em que,

r_e' = resistência estomática ($mol m^{-1} s^{-1}$);

DPV = déficit de pressão de vapor (kPa);

R_{par} = radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

T = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

P_{atm} = pressão atmosférica local (KPa);

Ψ_{pd} = potencial hídrico foliar (MPa)

Foram adotados valores para Ψ_{pd} , variando de -0.6 no verão a -1.3 no inverno, (MIELKE, 1999) e -0.9 nas outras estações.

Desenvolveu-se um modelo matemático para estimativa da radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para a área de estudo a partir de dados meteorológicos horários de radiação global (W m^{-2}) e de radiação fotossinteticamente ativa, obtidos na estação meteorológica próxima a área de estudo.

$$R_{par} = -3,1783 + 1,9987 R_g \quad (r^2 = 99 \%) \quad (21)$$

A temperatura média diária sofreu um ajuste em função da altitude de cada célula da micro-bacia. Para este fim, foi considerada a atmosfera com razão adiabática seca, e aplicou-se uma variação de $0,7^{\circ}\text{C}$ da temperatura medida a cada 100 metros de entre altitude da estação meteorológica e a altitude da célula (VIANELLO, et al. , 2002).

$$t_{med} = t_{est} + \frac{(Z_{estação} - Z_{terreno_{i,j}}) \cdot 0,7}{100} \quad (22)$$

em que,

t_{med} = Temperatura média na micro-bacia ($^{\circ}\text{C}$);

t_{est} = Temperatura média da estação meteorológica ($^{\circ}\text{C}$);

$Z_{terreno_{i,j}}$ = altitude do terreno (m); e

$Z_{estação}$ = altitude da estação meteorológica (m).

O cálculo da pressão de vapor de saturação (e_a), em kPa, foi obtido pela seguinte equação:

$$e_a = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 t_{med}}{t_{med} + 237,3}\right) \quad (23)$$

A pressão parcial de vapor (e_d), em kPa, foi calculada usando a equação 24,

$$e_d = \frac{e_a UR}{100} \quad (24)$$

em que,

UR = umidade relativa média diária, dada em %.

Determinou-se o déficit de pressão de vapor (DPV), em kPa, pela diferença entre a pressão de saturação (e_a) e pressão parcial de vapor (e_d), equação 25.

$$DPV = e_a - e_d \quad (25)$$

A declividade da curva de saturação (δ), em kPa °C⁻¹, foi estimada da seguinte maneira:

$$\delta = \frac{4098e_a}{(T + 237,3)^2} \quad (26)$$

O cálculo do calor latente de Evaporação (λ), em MJ kg⁻¹, é dado pela equação abaixo:

$$\lambda = 2,501(2,361 \times 10^{-3}) t_{med} \quad (27)$$

O coeficiente psicrométrico (γ), em kPa °C⁻¹, pela equação a seguir:

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P_{atm}}{\lambda} \quad (28)$$

O calor específico do ar úmido (C_p), igual a 1005×10^{-6} MJ kg K⁻¹, e a temperatura absoluta (T_k), em K, é calculada pela equação 29.

$$T_k = 273,16 + t_{med} \quad (29)$$

A temperatura virtual (T_{kv}), em K, usada no cálculo da densidade absoluta do ar (ρ), dada em kg m⁻³, é estimada pela equação 30.

$$T_{kv} = T_k \left(1 - 0,378 \frac{e_d}{P_{atm}} \right)^{-1} \quad (30)$$

$$\rho = 3,486 \frac{P_{atm}}{T_{kv}} \quad (31)$$

O saldo de radiação foi calculado em escala horária considerando a topologia da micro-bacia em estudo e foram obtidos totais diários pela soma dos valores horários. Foram consideradas tanto as inclinações e as orientações das encostas quanto o sombreamento para os cálculos da energia diária em cada célula. O saldo de radiação foi estimado pelas equações de 32 a 53, citadas a seguir:

Irradiância solar global

$$R_g = I_n \cos(\theta) \cdot Somb + D \quad (32)$$

em que,

Rg = irradiação solar global (MJm⁻²h⁻¹);

Somb = Área com sombreamento (Booleano);

In = irradiância solar direta normal à superfície (MJm⁻²h⁻¹);

D = irradiância solar difusa (MJm⁻²h⁻¹) e

θ = ângulo vertical de incidência dos raios solares diretos.

$$I_n = \frac{I_d}{\cos(z)} \quad (33)$$

em que,

I_d = irradiância direta para superfície plana (MJm⁻²h⁻¹), e

Cos(z) = co-seno do ângulo zenital (graus).

$$\cos(z) = \sin(\phi) \times \sin(\delta) + \cos(\phi) \times \cos(\delta) \times \cos(h) \quad (34)$$

em que,

φ = latitude (graus);

δ = declinação solar (graus);

h = ângulo horário (graus).

$$\delta = 23,45 \times \text{Sen}\left(\frac{360}{365}(284 + n)\right) \quad (35)$$

em que,

n = dia do ano (0 – 365)

A estimativa da radiação solar difusa horária foi feita por meio do modelo matemático proposto por LIMA (1996) desenvolvido para o município de Viçosa MG. Este modelo é uma combinação de equações lineares e não-lineares cúbicas, considerando diferentes intervalos da relação radiação global e radiação no topo da atmosfera (R_o).

$$M = \frac{I_d}{R_g}, \quad M_T = \frac{R_g}{R_o} \quad (36), (37)$$

$$M = 1 - 0,221 \cdot M_T, \quad \text{para } M_T \leq 0,20 \quad (38)$$

$$M = 0,798 + 2,442 \cdot M_T - 9,634 \cdot M_T^2 + 6,9381 \cdot M_T^3, \quad \text{para } 0,20 > M_T \leq 0,80 \quad (39)$$

$$M = 0,135, \quad \text{para } M_T > 0,80 \quad (40)$$

Radiação Solar Incidente no Topo da Atmosfera (R_a) em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$:

$$R_a = \frac{12(60)}{\pi} \cdot 0,082 \cdot dr [(\omega_2 - \omega_1) \cdot \text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\phi) + \cos(\phi) \cdot \cos(\phi) \cdot (\text{sen}(\omega_2) - \text{sen}(\omega_1))] \quad (41)$$

em que,

dr = distância relativa Terra-Sol ;

ω_1 = ângulo da hora solar no início do período (rad);

ω_2 = ângulo da hora solar no fim do período (rad);

$$\omega_1 = \omega - \frac{\pi}{24} \quad (42)$$

$$\omega_1 = \omega + \frac{\pi}{24} \quad (43)$$

em que,

ω = o ângulo horário solar médio (rad)

$$\omega = \frac{\pi}{12} [(t + 0,06667 \cdot (L_z - L_m) + S_c) - 12] \quad (44)$$

$$t = \text{hora} + 0,5 \quad (45)$$

em que,

L_z = longitude do meridiano central e

L_m = longitude do local.

Distância Relativa Terra-Sol, que é adimensional:

$$dr = 1 + 0,33 \cos\left(\frac{2\pi}{365} n\right) \quad (46)$$

Ângulo vertical de incidência dos raios solares diretos (θ);

$$\text{Cos}(\theta) = A \times \text{Cos}(h) + B \times \text{Sen}(h) + C \quad (47)$$

$$A = \text{Cos}(\phi) \times \text{Cos}(\delta) \times \text{Cos}(i) + \text{Sen}(i) \times \text{Cos}(Az) \times \text{Cos}(\delta) \times \text{Sen}(\phi) \quad (49)$$

$$B = \text{Sen}(i) \times \text{Cos}(\delta) \times \text{Sen}(a) \quad (40)$$

$$C = \text{Sen}(\phi) \times \text{Sen}(\delta) \times \text{Cos}(i) - \text{Sen}(i) \times \text{Cos}(Az) \times \text{Sen}(\delta) \times \text{Cos}(\phi) \quad (50)$$

em que,

θ = ângulo de incidência dos raios solares diretos (graus);

h = ângulo horário (graus);

A, B e C = parâmetros de simplificação da equação;

Az = azimute ou orientação da superfície (graus);

i = inclinação da superfície (graus).

O balanço de ondas curtas (Boc) é dado pela equação a seguir:

$$\text{Boc} = R_g (1 - \alpha) \quad (51)$$

Boc = balanço de ondas curtas ($\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$);

α = albedo da superfície (%).

Foram adotados valores de albedo variando em função da idade e do período seco e úmido do ano. Estes valores foram baseando em dados coletados nas áreas de plantio da Cenibra S.A., sendo de 0,22, 0,22 e 0,21 no período seco, e de 0,16, 0,16 e 0,15 no período chuvoso, para plantas com idades de 2, 3 e 4 respectivamente.

O balanço de ondas longas (Bol) para plantios de eucalipto foi estimado por modelo matemático desenvolvido utilizando dados dos componentes do balanço de ondas longas, coletados com sensor Kipp Zonen CNR1, durante seis meses, em plantios de eucalipto na região de Aracruz, ES. Este modelo espelhou-se no modelo proposto por Brunt, onde a temperatura é em °C e foi acrescentado um fator de multiplicação.

$$Bol = 9,5035 \times 10^{-5} \cdot t_{med}^4 \cdot (0,09 \cdot \sqrt{e} - 0,56) + 0,456 \quad (r^2 = 89\%) \quad (52)$$

em que,

e = pressão parcial de vapor (mmHg).

Finalmente, o saldo de radiação (Rn), em MJ m⁻² d⁻¹, é dado pela seguinte equação:

$$R_n = Boc + Bol \quad (53)$$

3.4.1.5 Determinação do Escoamento Superficial, da Infiltração da água no solo, e da Percolação Profunda.

O primeiro passo para se determinar a lâmina escoada foi gerar uma representação da intensidade da chuva em função do tempo. Como os dados de precipitação são horários, partiu-se do princípio que, se ocorresse chuva numa determinada hora (h), sem recorrência na hora subsequente (h+1), sua duração seria 30 minutos. Caso tenha ocorrido chuva na hora subsequente (h+1), a duração seria de 60 minutos, referente à chuva na hora (h) mais 30 ou 60 minutos da chuva da hora (h+1), e assim, até que não houvesse seqüência horária das chuvas. Os cálculos da infiltração e do escoamento superficial foram realizados considerando como sendo uma única chuva diária todas as chuvas ocorridas no dia. Sua duração e quantidade são iguais ao somatório das chuvas ocorridas durante o dia.

A intensidade máxima média é dada dividindo-se o do total precipitado pela duração da precipitação (td, h), conforme equação a seguir:

$$i_m = \frac{PT}{td} \quad (54)$$

A intensidade de precipitação instantânea foi obtida com equação a baixo, onde os parâmetros da equação de chuvas intensas, para a área de estudo, foram obtidos pelo software PLUVIO 1.3.

$$i_i = i_m \left(1 - \frac{c \cdot tc}{tc + b} \right) \quad (55)$$

em que;

tc = tempo do início ao fim da chuva (min).

A fim de obter o período de retorno (TR, anos) foi usada a equação para chuvas intensas, onde os parâmetros da equação foram obtidos pelo software PLUVIO 1.3.

$$TR = \left(\frac{i_m \cdot (td + b)^c}{K} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (56)$$

a = 0,251; b = 0,934; c = 29,198 e K = 2832,023

Considerou-se que toda precipitação foi interceptada pela cobertura vegetal até o momento em que o total precipitado igualou-se a interceptação potencial para cada planta. A duração da interceptação pela seguinte equação:

$$\int_0^{t_{cv}} i_i \cdot dt = ICV \quad (57)$$

i_i = Intensidade de precipitação (mm h^{-1}).

Quando toda lâmina interceptável pela cobertura vegetal foi preenchida, iniciou-se a infiltração. Neste instante, a velocidade de infiltração passa ser controlada pela intensidade de precipitação. Esta condição foi mantida até que a intensidade de precipitação igualou-se à velocidade de infiltração (VI), que é

determinada pela equação de Green-Ampt, apresentada por Larson (ALVES DA SILVA, 2002).

$$VI = K_s \cdot \left(1 + \frac{(\theta_s - \theta_i) \cdot S_w}{I} \right) \quad (58)$$

em que,

K_s = condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1});

θ_s = umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_i = umidade inicial do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

S_w = potencial matricial médio da frente de umedecimento do solo (mm.c.a);

I = infiltração acumulada (mm)

O tempo gasto para iniciar o empoçamento da água na superfície ($t_{i(\text{emp})}$) é dado pela seguinte equação, por meio de interações:

$$i_i = VI$$

$$\frac{K \cdot TR^a}{(t_{i(\text{emp})} + b)^c} \left(1 - \frac{c \cdot t_{i(\text{emp})}}{t_{i(\text{emp})} + b} \right) = K_s \left[1 + \frac{(\theta_s - \theta_i) \cdot S_w}{\frac{t_{i(\text{emp})}}{60} \frac{K \cdot TR^a}{(t_{i(\text{emp})} + b)^c} - ICV} \right] \quad (59)$$

A partir deste momento, iniciou-se o empoçamento da água na superfície do solo. A quantidade de água que fica empoçada até o início do escoamento superficial varia em função rugosidade da superfície do solo, conforme a equação a seguir:

$$L_{\text{emp}} = 112 RR + 3,100 RR^2 - 1,2 RR S \quad (60)$$

em que,

RR = rugosidade randômica (mm);

S = declividade do terreno (%).

O valor da rugosidade randômica é de 0,00635 para o tipo de superfície da bacia em estudo. O tempo necessário para que toda superfície seja preenchida é dado pelas seguintes equações:

$$L_{\text{emp}} = \int_{t_{i(\text{emp})}}^{t_{f(\text{emp})}} i_i \cdot dt - \int_{t_{i(\text{emp})}}^{t_{f(\text{emp})}} VI \cdot dt \quad (61)$$

ou

$$L_{emp} = \frac{KTR^a}{60} \left[\frac{t_{f(emp)}}{(t_{f(emp)} + b)^c} - \frac{t_{i(emp)}}{(t_{i(emp)} + b)^c} \right] - K_s \frac{(t_{f(emp)} - t_{i(emp)})}{60} \cdot \left\{ 1 + \frac{S_w(\theta_s - \theta_i)}{\frac{KTR}{60} \frac{t_{f(emp)}}{(t_{f(emp)} + b)^c} - I_{CV} - L_{emp}} \right\} \quad (62)$$

Substituindo adequadamente os valores na equação, a única incógnita é $t_{f(emp)}$, ou por interações chega-se ao valor de $t_{f(emp)}$. A infiltração acumulada será dada pela equação

$$I = \int_{t_{icv}}^{t_{i(emp)}} i_i \cdot dt + \int_{t_{i(emp)}}^{t_{f(emp)}} VI \cdot dt \quad (63)$$

A percolação na camada útil do solo foi obtida pela seguinte equação:

$$P_p = I - (CC - \theta_i) \cdot PSR \cdot 10 \quad (64)$$

em que ,

P_p = percolação profunda (mm);

CC = capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); e

PSR = profundidade do sistema radicular (cm).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Saldo de Radiação

Devido à localização geográfica da micro-bacia, o sol se posiciona ao norte a maior parte do ano, ficando ao sul apenas 70 dias do ano, entre os dias 16 de novembro a 24 de janeiro. As Figuras 11, 12 e 13, apresentam modelos tridimensionais da bacia em estudo, onde se percebe a influência do posicionamento do sol no sombreamento da bacia para os dias de equinócios (23 de setembro e 21 de março), solstício de verão do hemisfério sul (22 de dezembro) e solstício de inverno (22 de junho), respectivamente. Observa-se que no dia de solstício de verão, o relevo não proporcionou muitas áreas sombreadas, porque neste dia, o centro do sol, em seu movimento aparente, culminou ao meio dia (tempo solar verdadeiro) à, aproximadamente, 4º ao sul da bacia. As maiores elevações do sol são verificadas neste período do ano, o que garante maior disponibilidade de energia, atingindo valores máximos nos dias 16 de novembro e 24 de janeiro, quando a declinação solar é igual à latitude do local. A partir do dia 24 de janeiro o centro do sol, em seu movimento aparente, culmina ao meio-dia (tempo solar verdadeiro), sempre ao norte da micro-bacia, tendo seu maior distanciamento no dia de solstício de inverno para o hemisfério sul (21 de junho). A partir desta data tem sua passagem aparente, durante os dias, cada vez menos ao norte até o dia 16 de novembro.

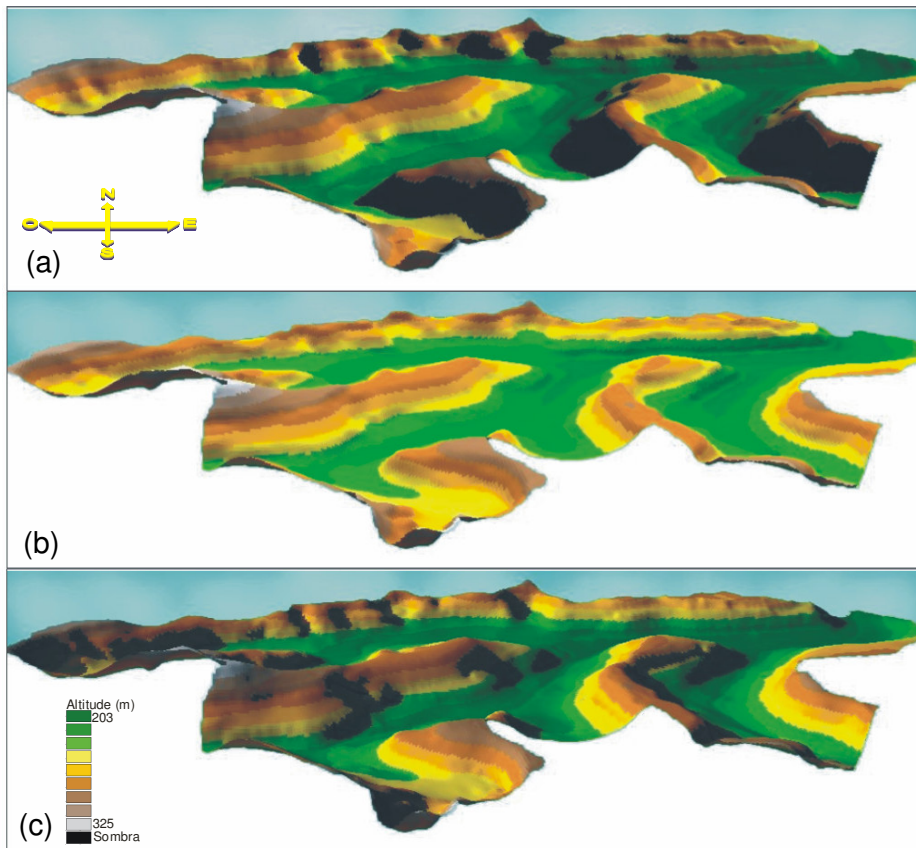


Figura 11 – Modelo tridimensional da representação da influência da posição solar no sombreamento da micro-bacia em 23 de setembro, (a) 8 horas, (b) 12 horas, e (c) 16 horas.

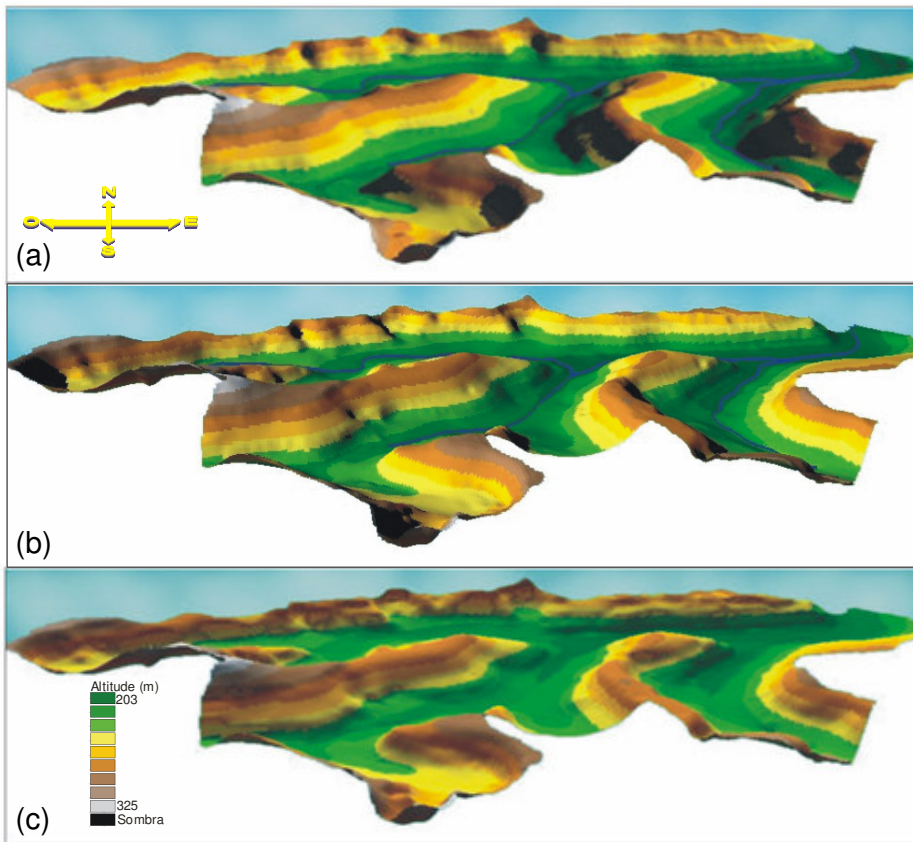


Figura 12 – Modelo tridimensional da representação da influência da posição solar no sombreamento da micro-bacia em 22 de dezembro, (a) 8 horas, (b) 12 horas, e (c) 16 horas.

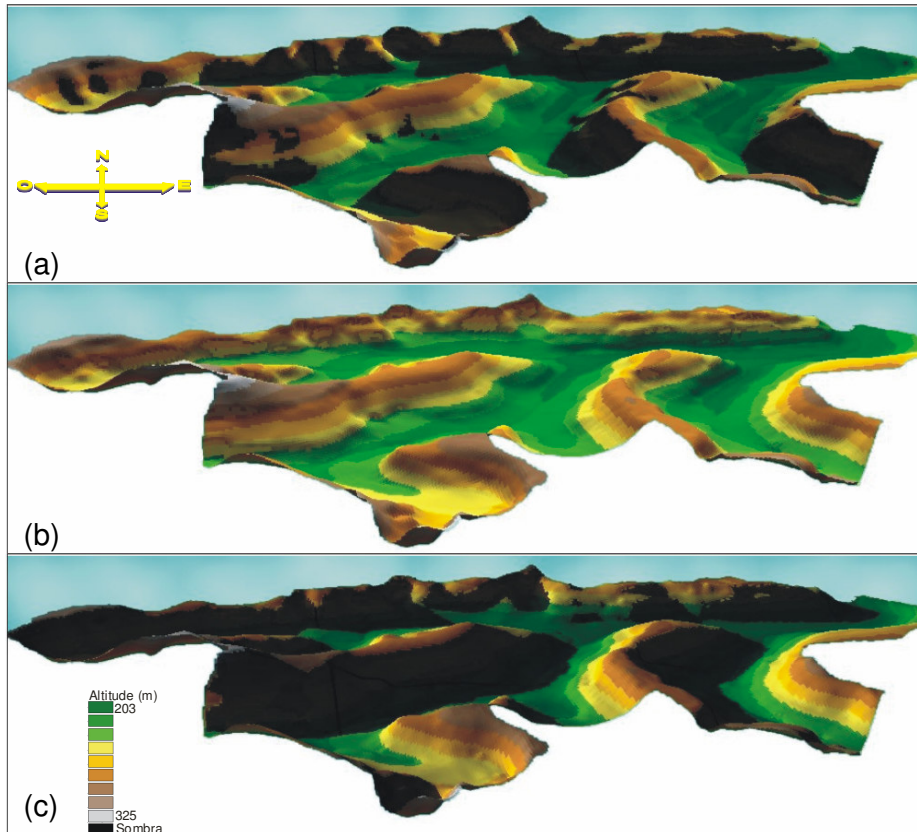


Figura 13 – Modelo tridimensional da representação da influência da posição solar no sombreamento da micro-bacia em 22 de junho, (a) 8 horas, (b) 12 horas, e (c) 16 horas.

Desde que não haja obstrução do fluxo radiante no período do ano em que o sol está ao norte da micro-bacia, as encostas com faces de exposição orientadas para o norte, com inclinação igual à diferença entre a declinação solar e a latitude do local terão a maior taxa energética. As encostas voltadas para o sul, com inclinação igual à diferença entre a declinação solar e a latitude do local terão as menores taxas energéticas.

De forma geral, a topografia da micro-bacia teve importante influência no saldo de radiação. Nos dias em que o sol encontrava-se mais ao norte da bacia, foram verificadas as maiores amplitudes desta influência no saldo de radiação que quando comparadas às estimativas feitas para uma superfície plana. A Figura 14 apresenta a variação média mensal da radiação solar global, medida na estação meteorológica, pela manhã e pela tarde de cada dia, durante os 2 anos estudados. Verifica-se de forma geral, exceto nos meses de março, abril e maio

de 2001, que a radiação global (Rg) ocorrida pela tarde foi superior as Rg ocorridas pela manhã.

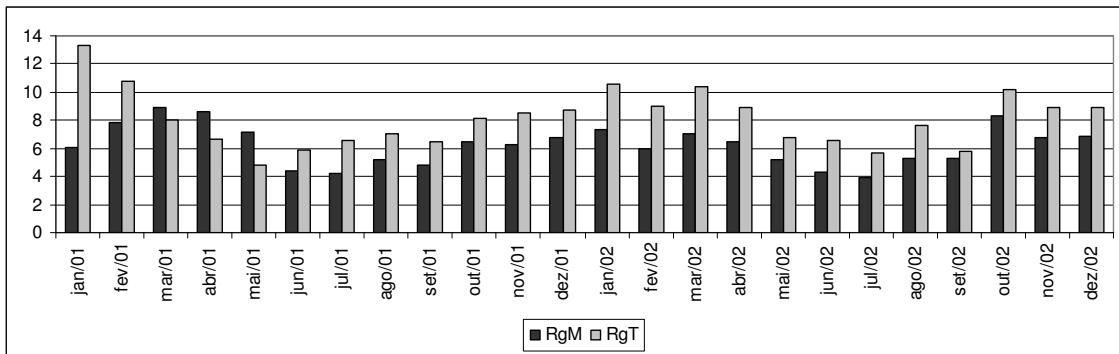


Figura 14 – Variação mensal dos totais médios da irradiância solar global (Rg) medida pela manhã (RgM) e pela tarde (RgT), de cada dia na estação meteorológica, durante o período de estudo, dada em MJm⁻².

As figuras 15 e 16 apresentam a variação mensal do saldo de radiação (Rn) para os anos de 2001 e 2002, respectivamente. Verifica-se que nos meses de janeiro, fevereiro, junho e setembro de 2001 foram estimados valores de Rn superiores aos estimados nos mesmos meses para o ano de 2002. Entretanto, os meses de março, abril, maio, junho, outubro e dezembro apresentaram valores superiores de Rn estimado para os mesmos meses no ano de 2001. Os meses de agosto e novembro apresentaram valores semelhantes entre si. Estas variações estão fortemente ligadas às durações das precipitações ocorridas nos 2 anos. No mês de janeiro de 2001, por exemplo, ocorreram precipitações durante 12 horas, enquanto que janeiro de 2002, foram 89 horas com ocorrência de precipitações.

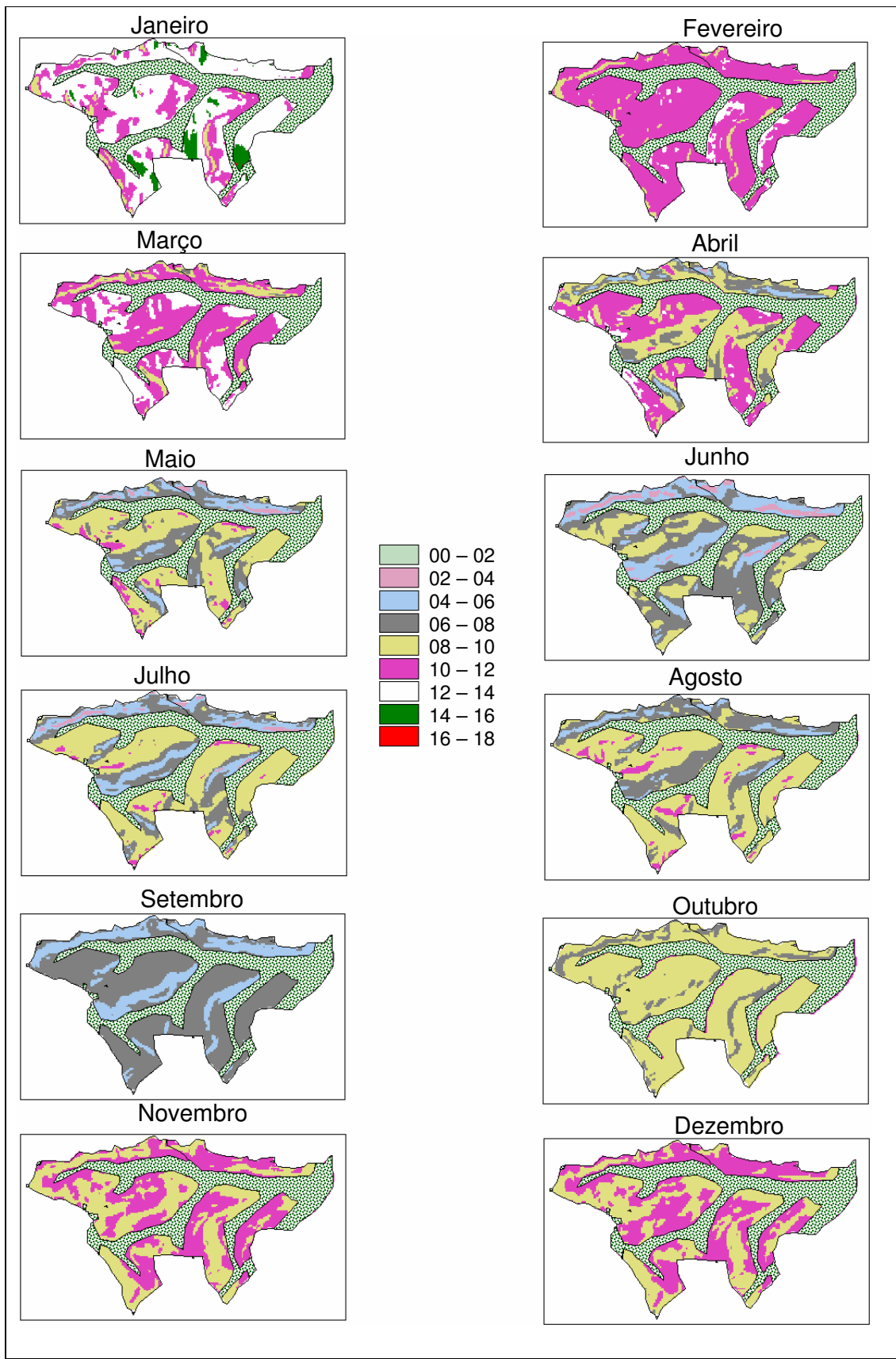


Figura 15 – Espacialização da média mensal do saldo de radiação diária, dado em MJm⁻²d⁻¹, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2001.

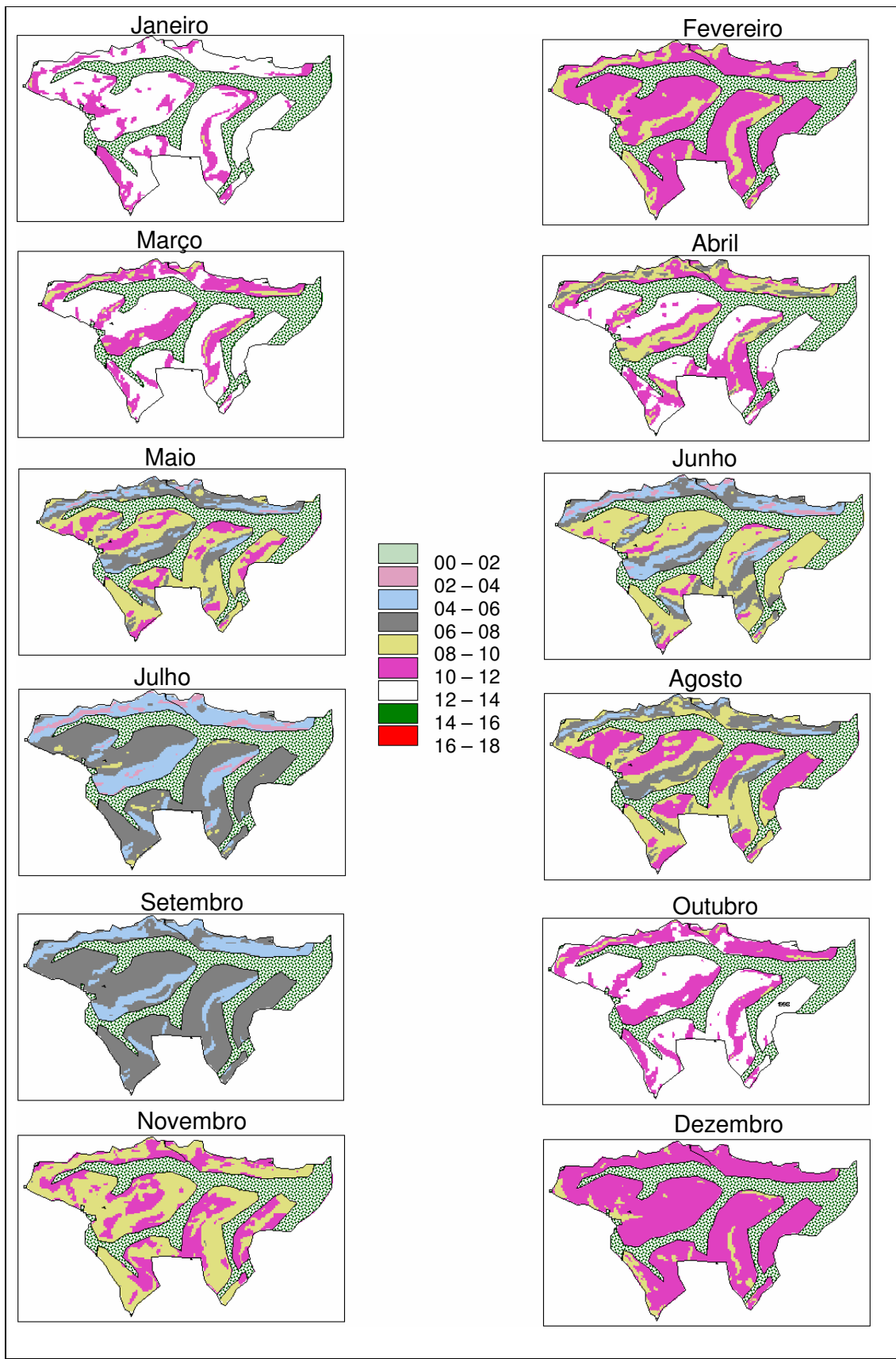


Figura 16 – Espacialização da média mensal do saldo de radiação diária, dado em MJm⁻²d⁻¹, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2002.

Nos dois anos de estudo, o mês de janeiro foi o que apresentou os maiores valores de Rn, sendo que em janeiro de 2001, as superfícies com encostas voltadas para oeste e com inclinações mais suaves apresentaram valores entre 14 e 18 MJ m⁻²d⁻¹. Os meses de maio, junho e julho, foram os que apresentam os menores valores de Rn. Normalmente, o valor do Rn é inferior nos demais meses do ano, em regiões localizadas no hemisfério sul do planeta, devido à posição do sol, que está ao norte do hemisfério sul em sua trajetória aparente. Entretanto, a topografia da micro-bacia favoreceu o aumento das diferenças entre os ganhos e as perdas do Rn. As regiões com encostas voltadas para o sul e com maiores inclinações foram as que obtiveram os menores valores, enquanto as regiões com encostas voltadas para o norte e com inclinações maiores obtiveram os maiores valores de Rn.

Para mostrar a importância da inclinação e da face de exposição original do terreno na estimativa do saldo de radiação, as Figuras 17 a 20 apresentam as diferenças (ganhos e perdas) entre o Rn estimado considerando a topografia original e o Rn considerando a superfície como plana, para os dois anos estudados (2001 e 2002), e para as duas datas de plantios (1998 e 1999). Os meses de abril a setembro apresentaram as maiores diferenças entre as duas condições de topografia (original e plana), para todas as idades e anos estudados. As encostas com orientações para o norte, nordeste e noroeste, apresentaram aumentos do Rn em relação à estimativa para superfície plana, pelo fato de que, nesta época do ano, o sol, em seu movimento aparente, encontra-se ao norte da micro-bacia. Entretanto, as encostas com orientações para o sul, sudeste e sudoeste, apresentaram perdas de Rn quando comparadas as condições de topografia original e as de topografia plana. As encostas com orientações voltadas para o leste apresentaram comportamentos diferentes das encostas voltadas para o oeste, pelo fato de a radiação solar global, registrada no período da tarde, ter sido superior à radiação solar global, registrada pela manhã.

A inclinação das encostas influenciou na magnitude das diferenças de ganho e perda de Rn. Quanto maiores as inclinações das encostas voltadas para o norte, noroeste e nordeste, maiores foram as variações, atingindo valores percentuais de aumento do Rn de até 40%, no mês de julho de 2001, nas áreas com plantio de 1998 (figura 17). Seguindo comportamento inverso, as encostas voltadas para sul e com maiores inclinações apresentaram as maiores reduções, atingindo valores de até 70%, no mês de maio de 2001, nas áreas com plantio de

1999. Estes resultados seguem a mesma tendência dos resultados obtidos por ALVES (1981) quando estimou a irradiância solar global para superfícies inclinadas no município de Viçosa MG.

Nos meses de outubro a março, a orientação da face das encostas não influenciou de forma significativa os valores de R_n . O fator que mais os influenciou foi a inclinação das encostas. Nota-se que, quanto maior a inclinação, maiores foram as diferença dos ganhos e perdas de R_n , chegando à valores máximos de 25% em dezembro e janeiro, meses em que a trajetória aparente do sol atingiu a maior elevação em relação à localização da micro bacia.

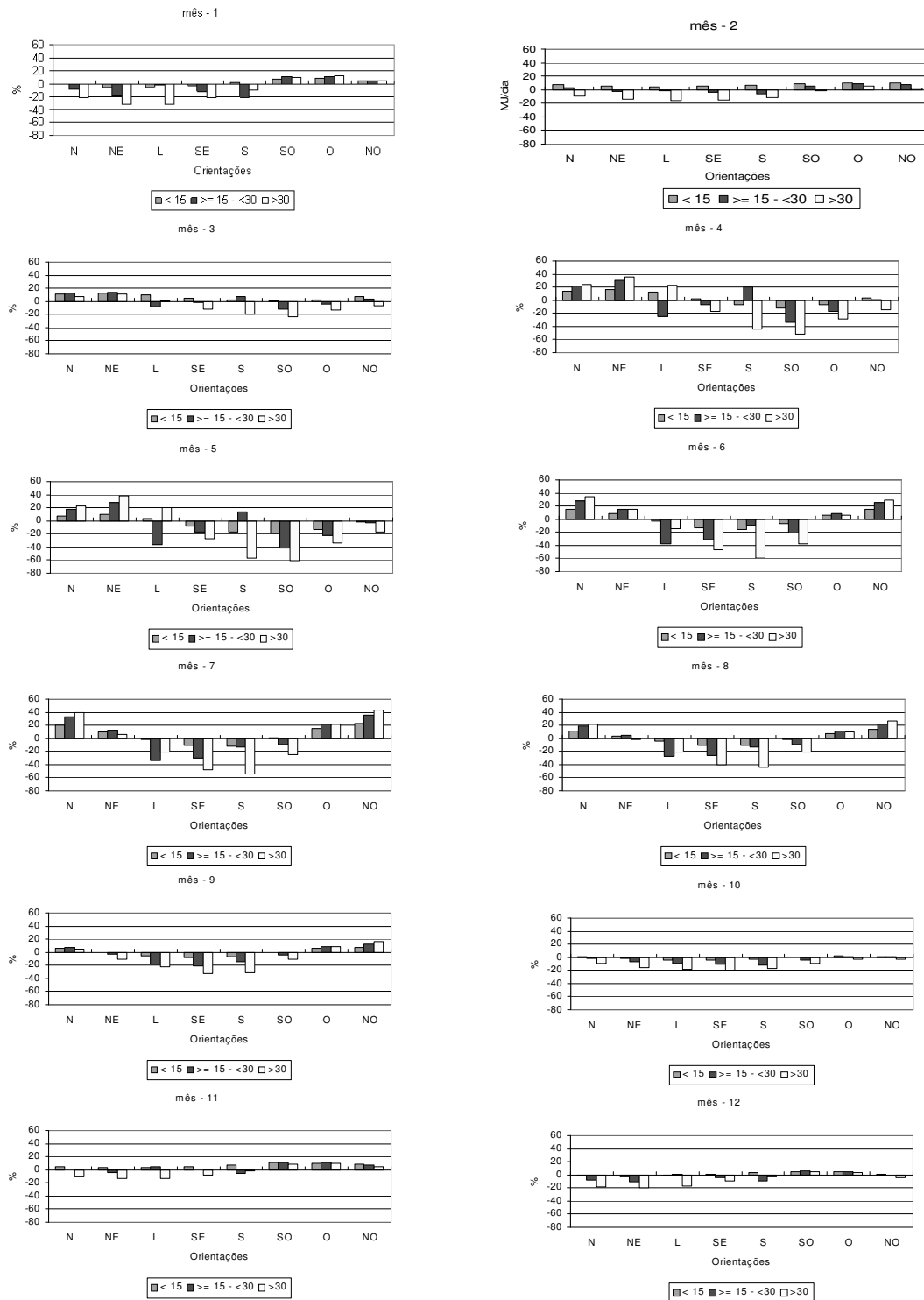


Figura 17 – Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Rn estimado considerando a topografia original e o Rn considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2001, nas áreas com plantios de 3 anos de idade (1998).

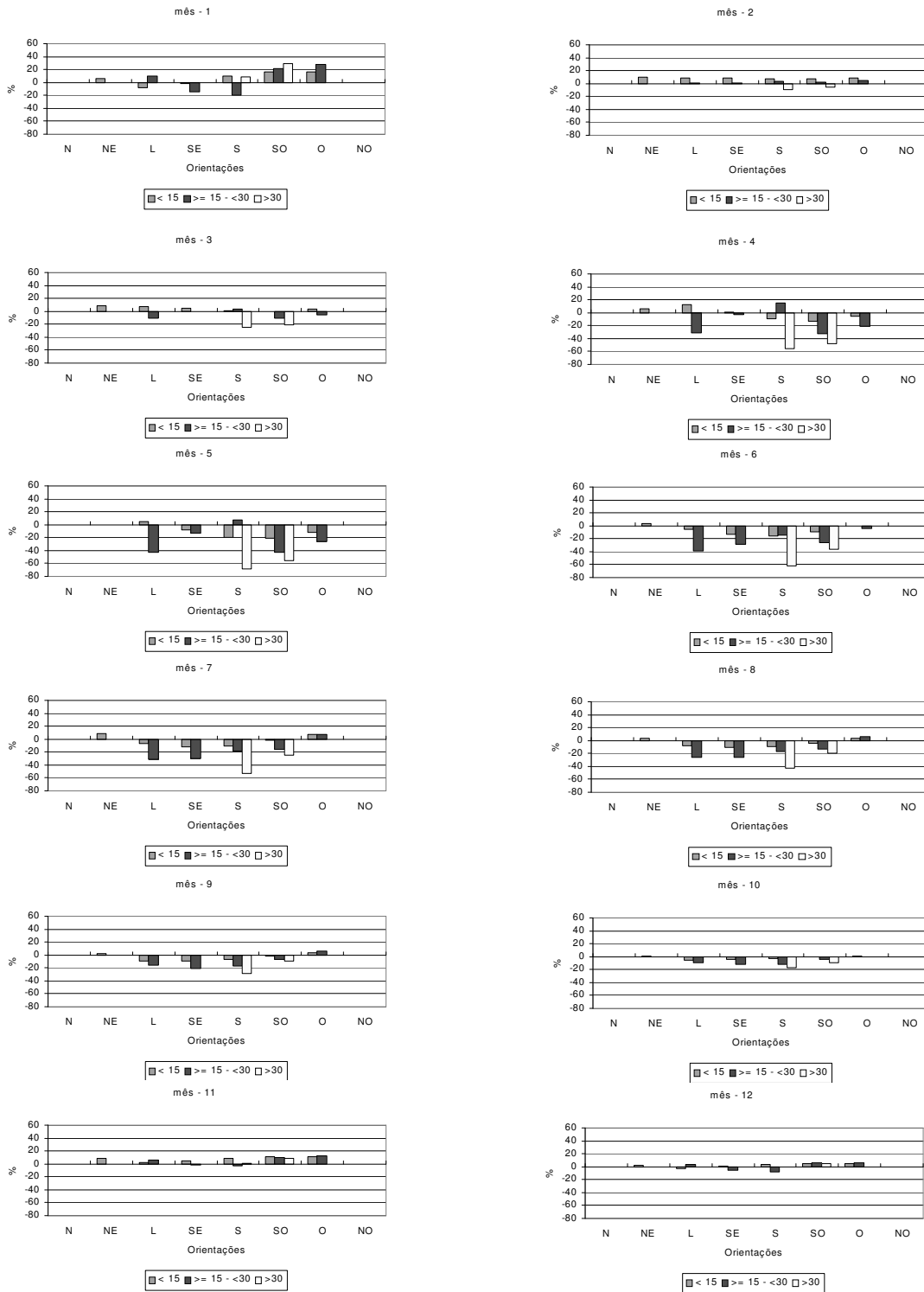


Figura 18 – Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Rn estimado considerando a topografia original e o Rn considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes, meses do ano de 2001, nas áreas com plantios de 2 anos de idade (1999).

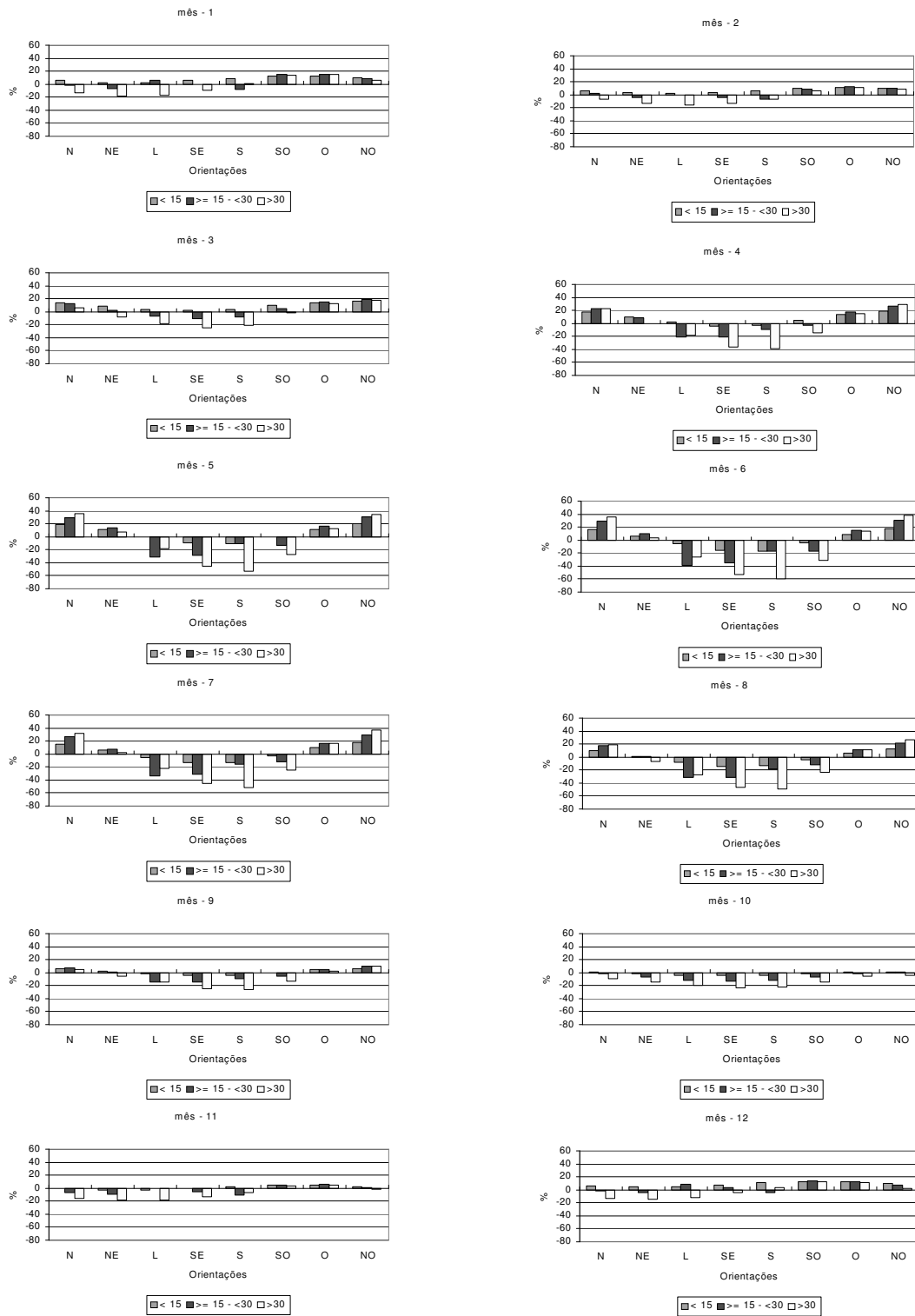


Figura 19 – Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Rn estimado considerando a topografia original e o Rn considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2002 nas áreas com plantios de 4 anos de idade (1998).

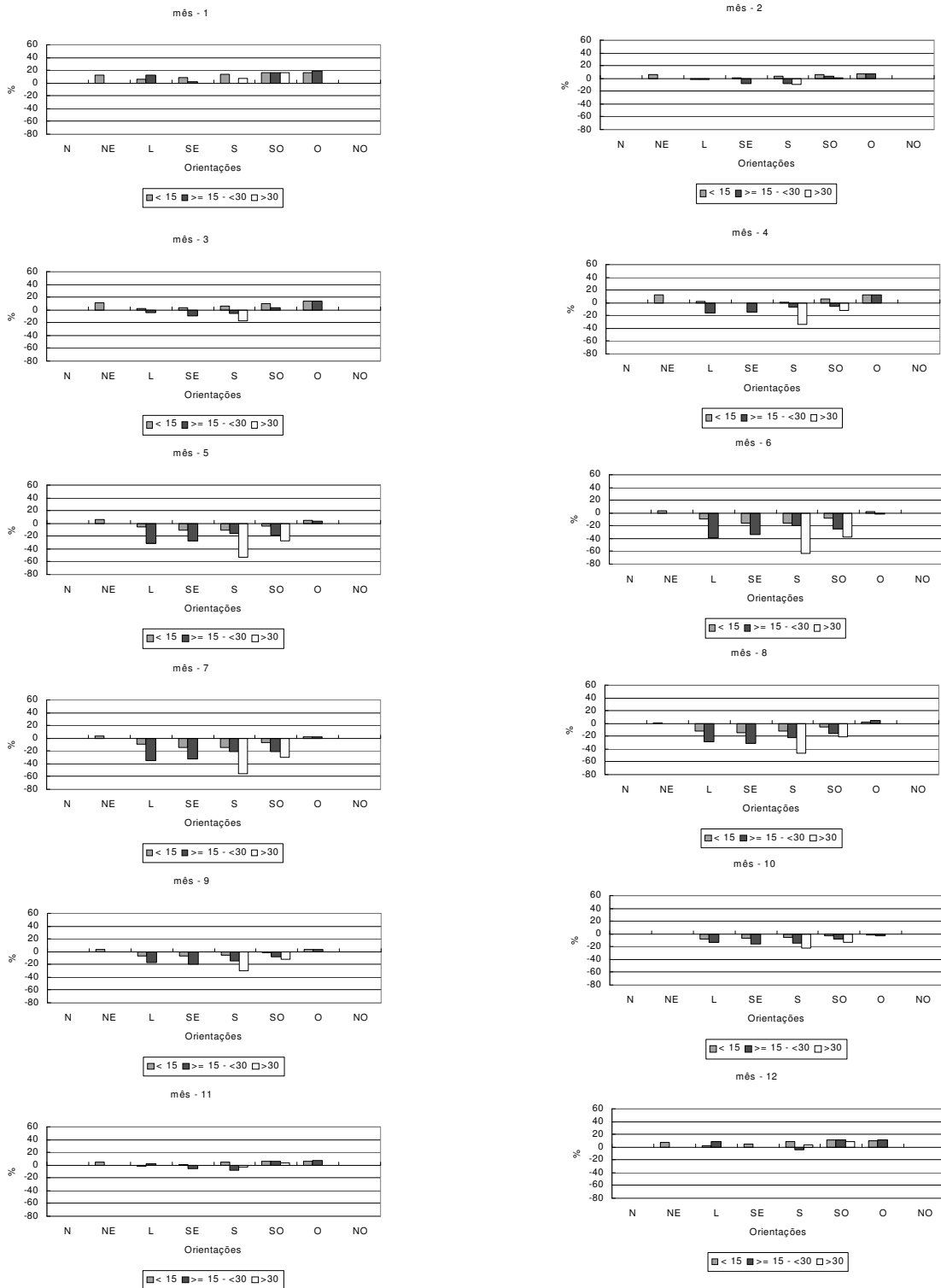


Figura 20 – Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Rn estimado considerando a topografia original e o Rn considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2002 nas áreas com plantios de 3 anos de idade (1999).

4.2 Transpiração Real

Seguindo as mesmas tendências do saldo de radiação, a transpiração real (Tr) foi influenciada, com maior ou menor magnitude, pela topografia, de acordo com a época do ano (Figuras 22 e 23). Além da variação da radiação solar em função da topografia, outro componente que influenciou nos resultados das lâminas reais transpiradas foi a resistência do dossel da planta (Rc). O modelo que estima a Rc depende da temperatura, da radiação fotossinteticamente ativa, do déficit de pressão de vapor e do potencial hídrico foliar. A temperatura e a radiação fotossinteticamente ativa influenciam de forma inversamente proporcional a Rc, enquanto o déficit de pressão de vapor atua de forma direta. A Figura 21 apresenta a variação da Rc nos plantios de 2 a 4 anos, no período de estudo. Observa-se que, no ano de 2001 os valores de Rc foram 1% maiores que os do ano seguinte. Isto ocorreu devido a diferença do déficit de pressão de vapor, que em 2002 foi 11% menor que em 2001. Deve-se entender que em 2001, os plantios realizados em 1998 estão com 3 anos de idade e que os de 1999 com 2 anos e em 2002 os plantios de 1998 estão com 4 anos e que os de 1999 com 3 anos de idade.

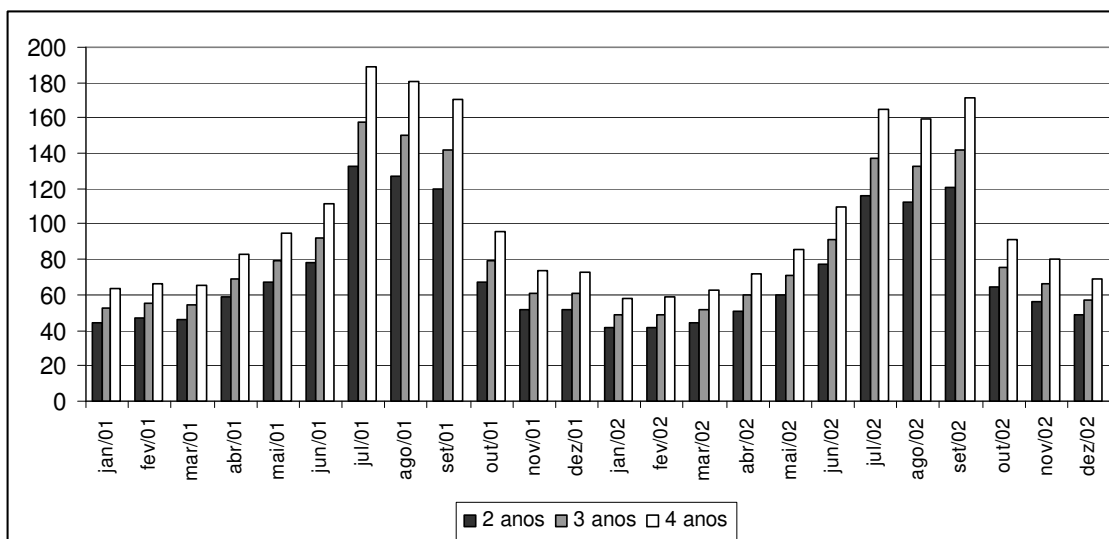


Figura 21 – Variação média mensal da resistência do dossel da planta, em sm^{-1} , no período de estudo, para plantas de 2, 3 e 4 anos de idade.

A variação mensal da resistência da cultura seguiu uma tendência semelhante ao serem analisados aos dados obtidos em campo, onde as maiores

Rc são encontradas nos períodos secos do ano, e os menores valores nos úmidos, devido à fixação do potencial hídrico da folha, para os dois períodos. Observa-se que nos períodos úmidos não ocorreram variações significativas entre os dois anos, apesar de, no ano de 2001 a Rc ter sido maior do que em 2002. Ainda no período úmido, nos plantios de 2 anos as estimativas de Rc foram inferiores a 50 sm^{-1} ; em plantios com 4 anos de idade, as Rc estimadas foram de aproximadamente, 70 sm^{-1} . Já nos períodos secos, as amplitudes das Rc foram muito maiores entre as idades dos plantios, aproximando-se de 97 s m^{-1} para plantios de 2 anos e chegando a valores superiores a 132 s m^{-1} para plantas de 4 anos de idade o que representa cerca de 42% de diferença entre as duas idades. Como a resistência do dossel da planta é igual a razão da resistência estomática pelo índice de área foliar, a variação de Rc entre as diferentes idades seguiu a mesma proporção da variação do índice de área foliar nas diferentes idades de plantio.

No ano de 2001, as lâminas diárias médias de transpiração foram aproximadamente, 14% maiores que as de 2002. Foram verificados totais anuais de 1184 mm em 2001, nos plantio com dois anos de idade, e de 1228 mm, nos plantios com três anos de idade. Em 2002, os valores médios foram de 1057 mm nos plantios com três anos de idade, e de 1094 mm nos plantios com quatro anos de idade. Isso pode ser explicado pelos maiores valores de Rn observado em 2001, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro. Outro fator importante que auxilia na explicação desse fato, foi a maior resistência do dossel, observada em 2002, ano em que os plantios encontravam-se com três e quatro anos de idade e, portanto, menores índices de área foliar (IAF) 3,21 e 2,67 m m^{-1} , respectivamente. Em 2001, os plantios tinham dois e três anos de idade com IAF de 3,79 e 3,21 mm^{-1} respectivamente. Portanto menor resistência do dossel. Fatores como albedo e balanço de ondas longas praticamente não influenciaram na diferença inter-anual do total transpirado por terem apresentados valores muito próximo. Apesar de o valor da Rc ter aumentado com a idade, nos dois anos a transpiração foi maior nos plantios de 1998 (três anos, em 2001; e quatro anos, em 2002) do que nos de 1999 (dois anos, em 2001; e três anos, 2002) pelo fato de as áreas com plantios de 1999, terem sido mais influenciadas por sombreamento de uma encosta para a outra, fazendo com que o Rn, nas áreas com plantio de 1999 fossem menores que os observados nas áreas com plantios de 1998.

Os meses de janeiro e fevereiro foram os que apresentam as maiores lâminas evapotranspiradas. No ano de 2001, em especial, as lâminas atingiram 8 mmd^{-1} . Estas lâminas são coincidentes com as mesmas áreas onde foram encontrados os maiores valores de R_n (Figura 22). Nos meses da estação seca (março a outubro), foram estimadas as menores lâminas, principalmente nas áreas com plantios de 1999, ao norte da micro-bacia, onde predominam encostas voltadas para o sul e inclinações de 15° a 30° . No mês de julho de 2002, quase em toda esta área a lâmina média transpirada real estimada não ultrapassou 2 mmd^{-1} (Figura 29). SACRAMENTO NETO (2000) observou, para plantios de um e dois anos, taxas médias de transpiração real, aproximadamente igual a 5 e $1,4 \text{ mm d}^{-1}$, nos períodos úmidos e secos do ano, respectivamente. NEVES (2000) determinou para plantios adultos com 10 anos de idade, T_r aproximada de 5,7 e $2,3 \text{ mm d}^{-1}$ nos períodos úmidos e secos do ano, respectivamente.

Quando comparadas a transpiração real estimada considerando a topografia da micro-bacia, e esta, considerada plana, a tendência foi semelhante ao encontrado para o R_n . Os meses de outubro a março apresentaram as maiores diferenças de ganhos. As encostas com faces voltadas para o norte, nordeste e noroeste apresentaram ganhos em relação à superfície plana, os quais variaram em função das inclinações. Quanto maiores as inclinações, maiores eram os ganhos. Para as encostas com face voltadas para o sul, sudeste e sudoeste ocorreram perdas. Essas perdas foram maiores quando as superfícies eram mais inclinadas. Nos outros meses, a variação da T_r não foi muito diferente, considerando a topografia original e a plana.

Em 2001, nas áreas com plantios de 1998, observa-se que os meses de outubro a março não sofreram grandes variações da transpiração para as duas condições, principalmente nos meses de outubro a dezembro, em que a variação foi de 10 a -10%. Já nos meses de abril a setembro, a topografia da micro-bacia ocasionou variações bastante significativas, sendo que no mês de julho a variação foi aproximadamente 40% para as encostas voltadas para o norte, e -20% para as encostas voltadas para o sul. Nas áreas com plantios de 1999, apesar de não possuir encostas voltadas em todas as direções, o comportamento foi semelhante às áreas com plantios de 1998.

No ano de 2002, como era esperado, a distribuição das variações em função das inclinações e orientações seguiu o mesmo comportamento do saldo de radiação e da T_r de 2001, porém com amplitudes diferentes. Nas áreas com

plantios de 1998 nota-se, nos meses de janeiro a março e outubro a dezembro, apenas reduções da transpiração. Estas reduções foram de 30% para encostas voltadas para o norte a leste em janeiro. Nos meses de abril a setembro, as encostas voltadas para o norte sofreram aumentos de até 40%, em julho, e as encostas voltadas para o sul, reduções de até 55%, em maio.

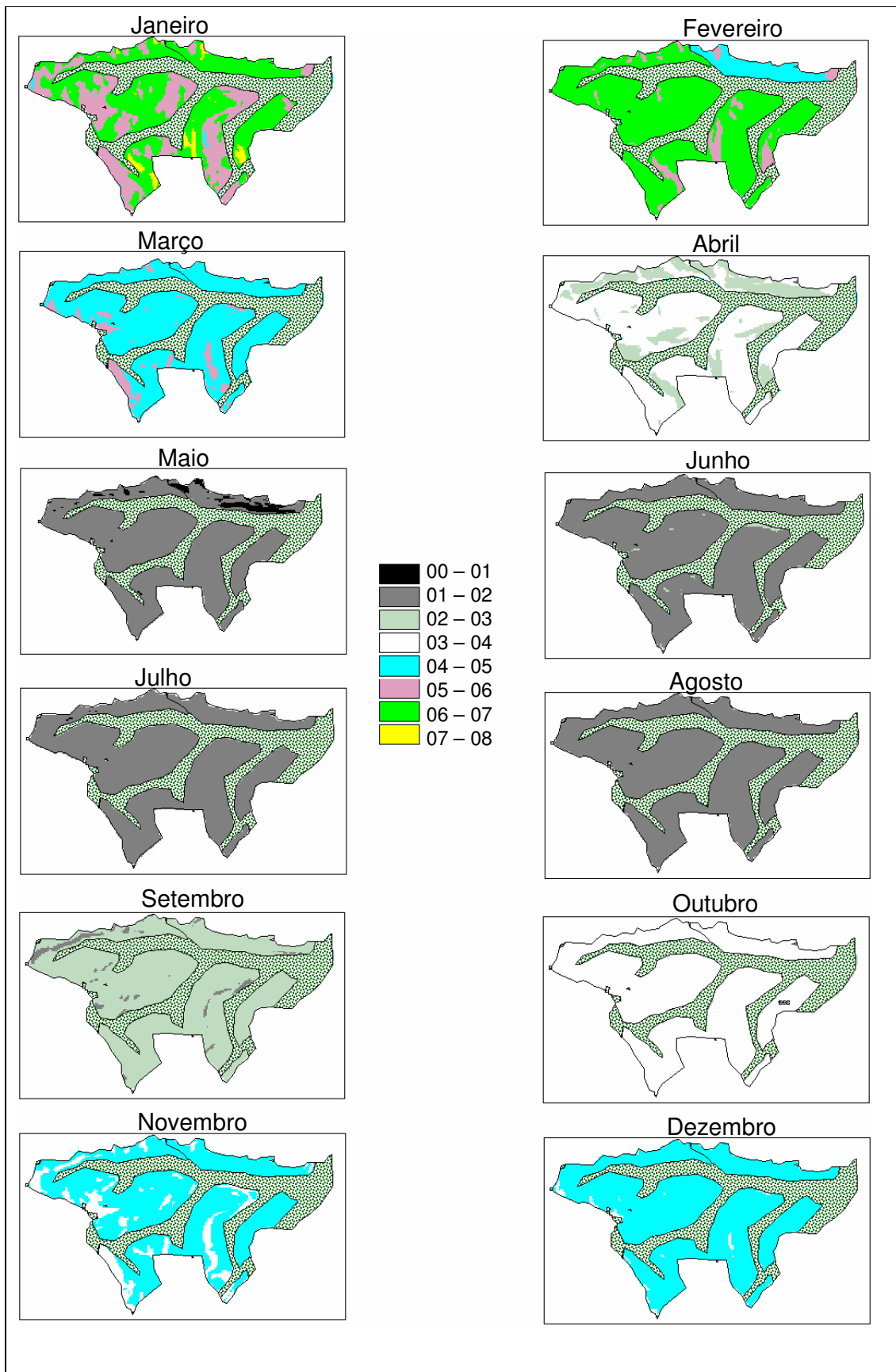


Figura 22 – Espacialização da média mensal da Tr diária, dado em mm, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2001.

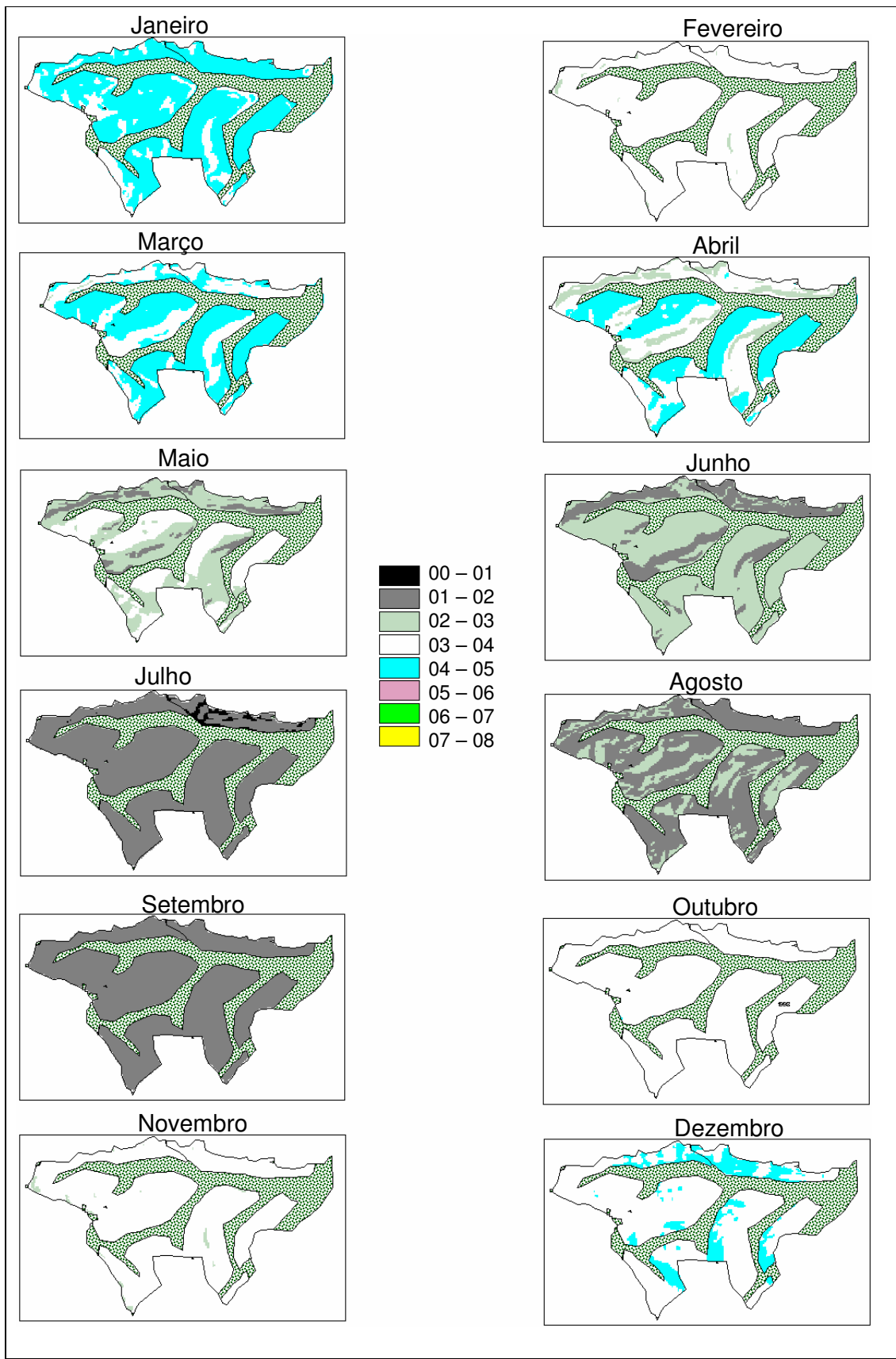


Figura 23 – Espacialização da média mensal da Tr diária, dado em mm, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2002.

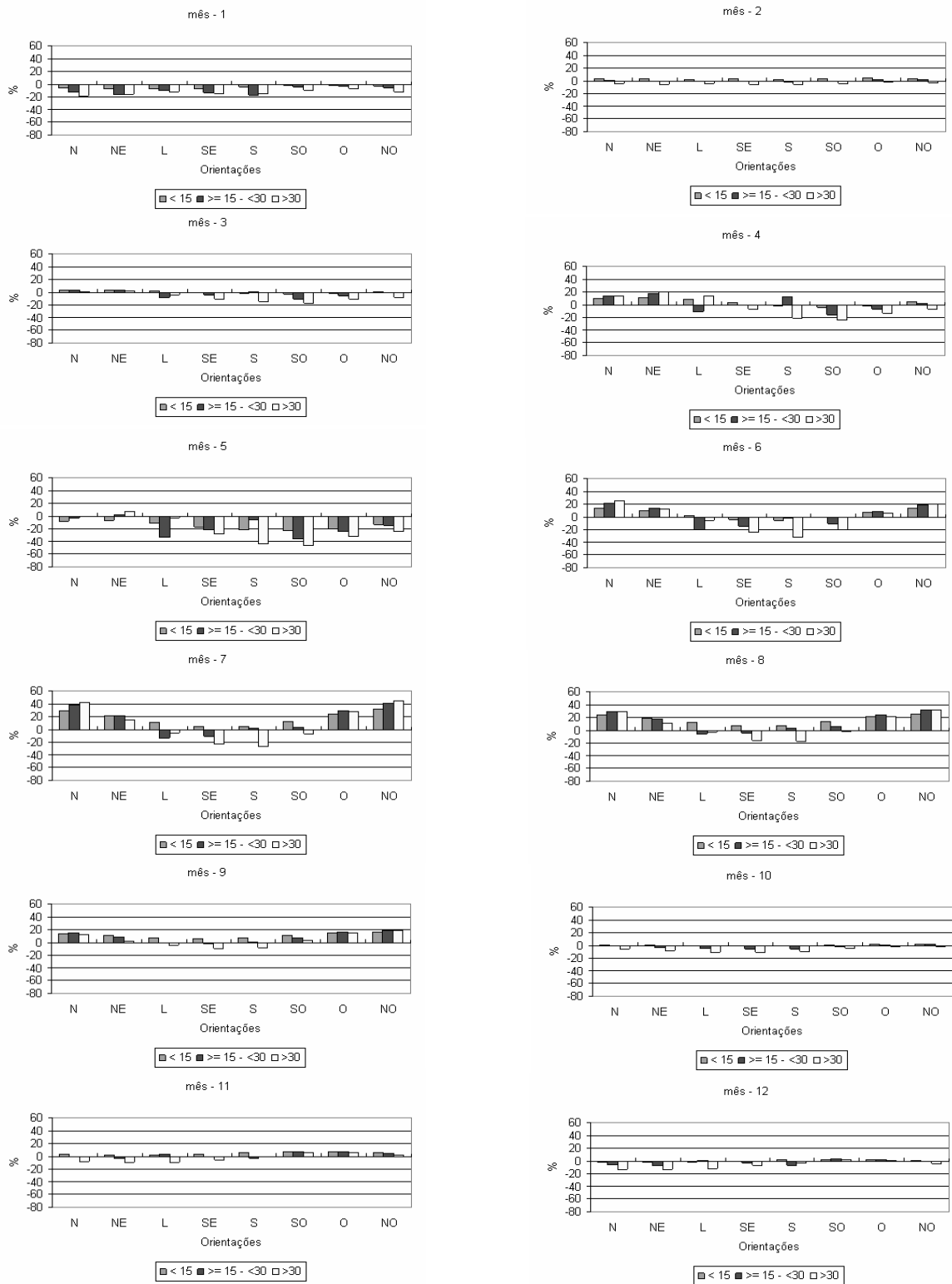


Figura 24 – Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Tr estimado considerando a topografia original e o Tr considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2001 nas áreas com plantios de 3 anos de idade (1998).

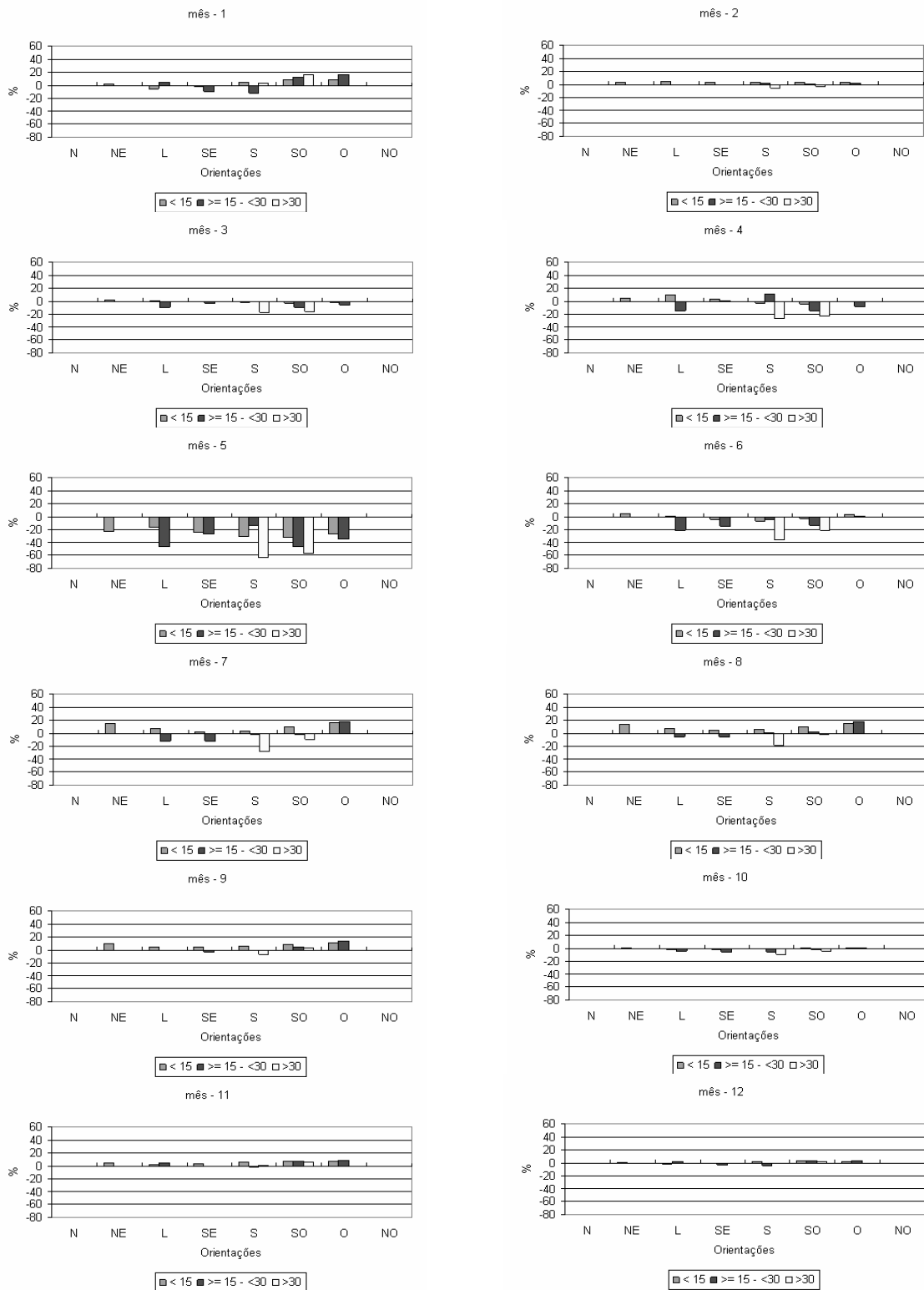


Figura 25 – Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Tr estimado considerando a topografia original e o Tr considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2001 nas áreas com plantios de 2 anos de idade (1999).

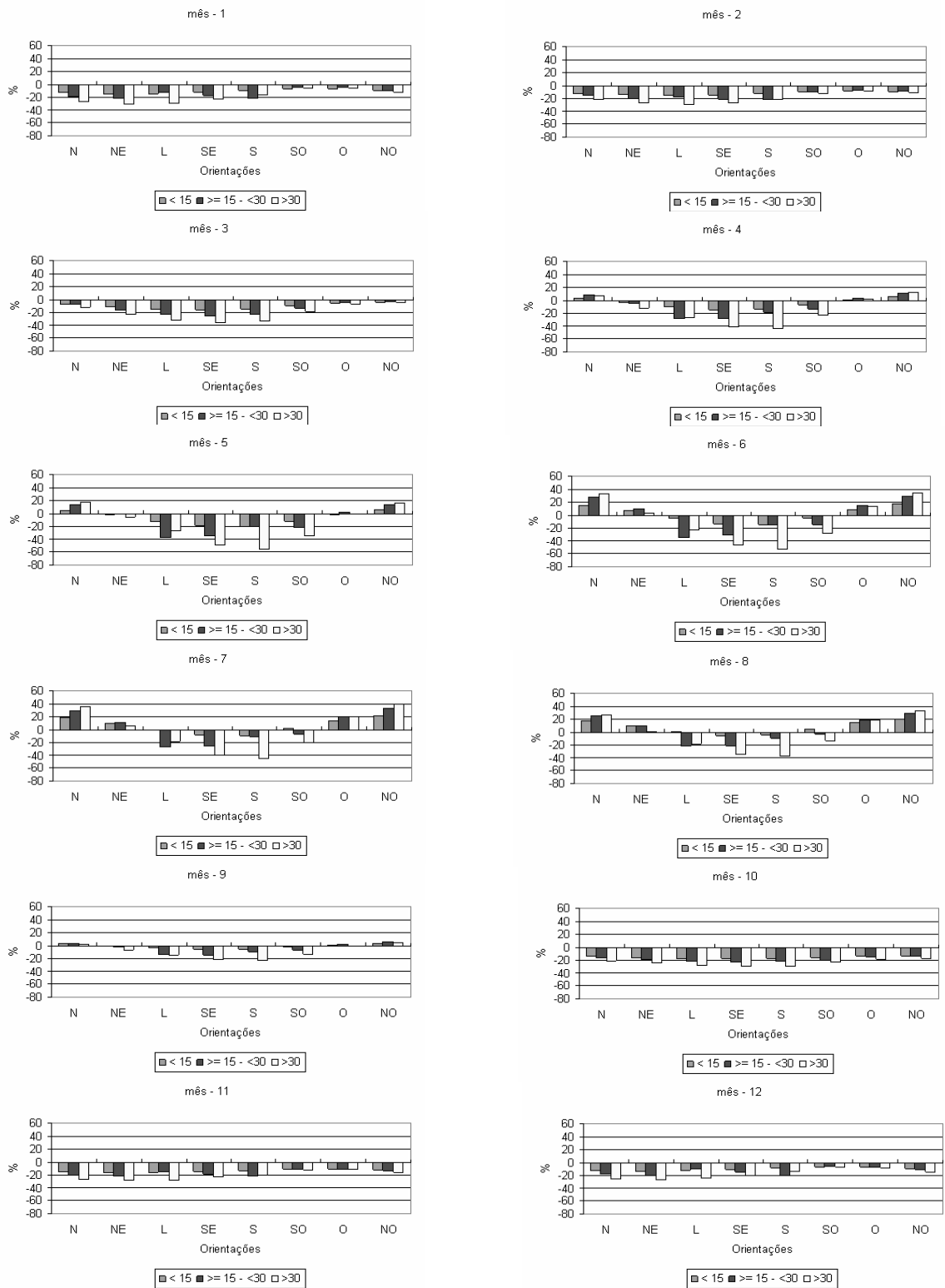


Figura 26 – Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Tr estimado considerando a topografia original e o Tr considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2002 nas áreas com plantios de 4 anos de idade (1998).

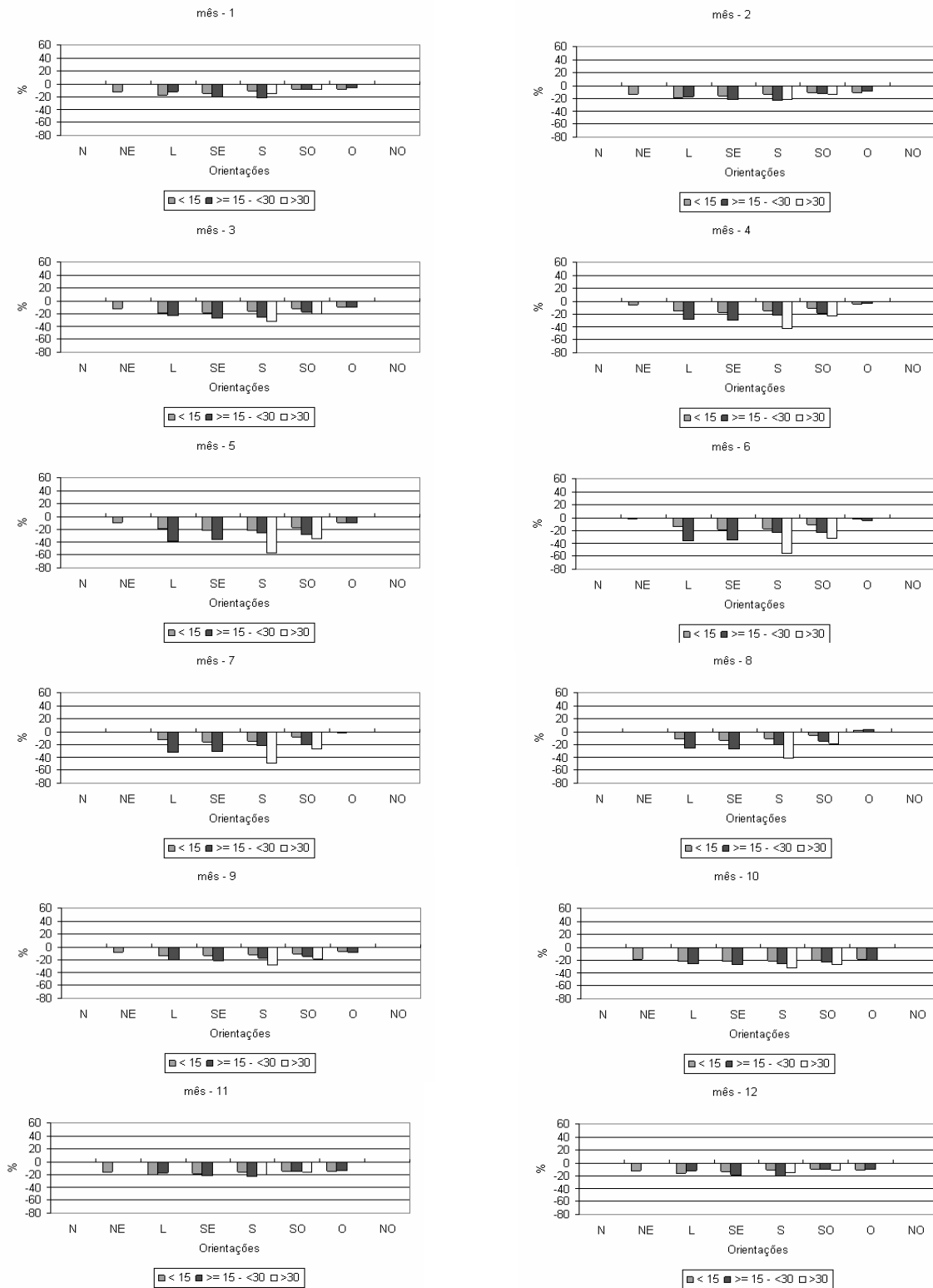


Figura 27 – Histograma de freqüência das diferenças (ganhos e perdas) entre o Tr estimado considerando a topografia original e o Tr considerando a superfície como plana, para diferentes classes de graus de inclinações e diferentes faces de exposição do terreno. Aqui são apresentadas as variações entre os diferentes meses do ano de 2002 nas áreas com plantios de 3 anos de idade (1999).

4.3 Intercepção da água da chuva pela cobertura vegetal

As lâminas totais mensais interceptadas pela cobertura vegetal (ICV), que incluem intercepções pelo dossel, tronco e manta, variaram basicamente em função da idade da planta, do total precipitado e da duração das chuvas ocorridas no mês. Os quadros 01 e 02 apresentam a intercepção da precipitação pela cobertura vegetal nos diferentes plantios nos anos de 2001 e 2002. Deve-se entender que em 2001, os plantios realizados em 1998 e 1999 possuíam idades de 3 e 2 anos, respectivamente; em 2002, 3 e 4 anos de idade. Em 2001, a ICV foi de 131 e de 151 mm nos plantios de 2 e de 3 anos de idade, o que representa aproximadamente 12 e 14% do total precipitado no ano. As maiores lâminas interceptadas ocorreram em 2002, totalizando 210 e 267 mm para os plantios de 3 e 4 anos de idade, o que representa 17 e 22% do total precipitado, respectivamente. Como foram consideradas as mesmas capacidades de retenção pelo dossel, tronco e manta nas 3 idades de plantio, a variação da intercepção é explicada principalmente pela altura da planta, já que o índice de área foliar sofreu redução com o aumento da idade. Nos plantios mais velhos (4 anos de idade), as plantas são maiores do que as mais jovens, 2 e 3 anos de idade, resultando então, em menores resistências aerodinâmicas e, conseqüentemente, maior evaporação da água contida no dossel. SACRAMENTO NETO (2000) e SOUZA et. al. (2002) encontraram intercepção da precipitação pluvial pela cobertura vegetal em plantios de 1 e 2 anos de idade de aproximadamente 13% do total precipitado. LEITE (1996) verificou intercepções em plantios de 3 anos variando entre 17,6 e 21,0 %.

A variação mensal da ICV, no ano de 2001, foi influenciada tanto pela a quantidade quanto pelas durações dos eventos de precipitações. Observa-se que apesar de no mês de março ter ocorrido um total de precipitação igual a 123 mm, e de no mês de outubro 93 mm, os dois meses apresentaram ICV muito próximos 17 e 15 mm, o que pode ser explicado pela diferença da duração das precipitações. Em março, a duração foi de 33 horas, e em outubro, foi de 70 horas, o que favoreceu maior evaporação da água interceptada neste mês. Nos plantios de 3 anos de idade o comportamento entre os meses foi semelhante, um valor um pouco maior que o observado para os plantios de 2 anos, valor que representa 14% o total precipitado.

Quadro 01 – Total mensal interceptado pela cobertura vegetal (ICV), dado em mm, para os plantios com idade de 2 e 3 anos, respectivo valor percentual da interceptação (%) em relação ao total mensal precipitado (Pi) dado em mm, e as durações totais dos eventos de chuva (D) dado em horas.

Mês	2 ANOS		3 ANOS		Pi (mm)	D (h)
	ICV (mm)	(%)	ICV (mm)	(%)		
Janeiro	6	19	7	22	31	12
Fevereiro	7	12	9	15	59	18
Março	17	14	22	18	123	33
Abril	8	20	10	25	41	18
Maio	2	86	2	90	3	4
Junho	5	28	5	30	17	15
Julho	4	19	4	20	19	15
agosto	5	49	5	51	10	17
Setembro	6	17	7	19	37	26
Outubro	15	16	17	18	96	70
Novembro	24	7	26	8	337	120
Dezembro	31	11	37	13	279	134
Total	131		151		1051	482
Média		12		14		

No ano de 2002, nos plantios com 3 e 4 anos, a ICV média anual para as duas idades foi de 17 e 22%, respectivamente (Quadro 02). Mais uma vez pode-se observar a importância da duração da precipitação no total interceptado pela cobertura vegetal. Em janeiro e fevereiro precipitaram, respectivamente, 224 e 250 mm e as durações das precipitações foram de 89 e 76 horas, o que resultou em ICV de 40 e 35 mm nos plantios de 3 anos de idade. Ou seja, apesar de ter precipitado 26 mm a mais no mês de fevereiro, a ICV, no mês de janeiro, foi maior 5 mm. Nos plantios de 4 anos as ICV's foram de 51 e 44 mm, apresentando, portanto, uma diferença de 7 mm.

Quadro 02 – Total mensal interceptado pela cobertura vegetal (ICV), dado em mm, para os plantios com idade de 3 e 4 anos, respectivo valor percentual da interceptação (%) em relação ao total mensal precipitado (Pi), dado em mm, e as durações totais dos eventos de chuva (D), dado em horas.

Mês	3 ANOS		4 ANOS		Pi	Duração
	ICV (mm)	ICV/Pi (%)	ICV (mm)	ICV/Pi (%)	Total (mm)	Pi (h)
Janeiro	40	18	51	23	224	89
Fevereiro	35	14	44	18	250	76
Março	8	17	10	20	49	21
Abril	3	6	3	7	44	9
Maio	4	11	6	15	38	16
Junho	2	100	2	100	2	6
Julho	2	100	2	100	2	6
agosto	7	49	8	54	15	21
Setembro	18	20	23	26	89	50
Outubro	15	39	19	50	37	18
Novembro	27	13	36	17	208	83
Dezembro	49	18	64	23	274	114
Total	210		267		1231	509
Média		17		22		

4.4 Escoamento superficial

O escoamento superficial (ES) é um componente do balanço hídrico de estimativa complexa devido à falta de dados precisos referentes às intensidades de precipitações. A utilização de dados horários de precipitações, principalmente quando as chuvas eram convectivas, acarretou possíveis reduções nas intensidades. Como relatado anteriormente, partiu-se do princípio de que se ocorresse chuva numa determinada hora (h) sem recorrência na hora subsequente (h+1), sua duração seria 30 minutos. Caso tivesse ocorrido chuva na hora subsequente (h+1), a duração seria de 60 minutos, referente à chuva na hora (h) mais 30 ou 60 minutos da chuva da hora (h+1), e assim, até que não houvesse seqüência horária das chuvas. Em nenhum momento, ou dia, durante o período estudado foi contabilizado escoamento superficial, o que foi coerente com o que ALVES DA SILVA (2002) encontrou ao aplicar a metodologia de chuvas intensas para determinar o ES em uma micro-bacia coberta com capim rasteiro na região de Viçosa MG. Em contato pessoal com o pesquisador da Cenibra S.A, Dr. Fernando Palha Leite, foram encontrados valores semelhantes de ES em estudos em plantios de eucalipto com condições de solos e topografia semelhantes, na região de Ipatinga, MG.

4.5 Aporte de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo

Para a estimativa da água disponível no solo, foram inicialmente calculados os componentes de entrada e saída do balanço hídrico. Iniciou-se o balanço a partir da data em que se verificou a capacidade máxima de água no solo sendo contabilizadas as entradas dadas pelos totais precipitados (precipitação efetiva) descontando a interceptação pela cobertura vegetal. As saídas foram calculadas pela transpiração, escoamento superficial e drenagem profunda. Foi considerada a evaporação do solo como parte da interceptação da serapilheira, uma vez que é bastante reduzida. A utilização do modelo de MIELKE (1999) para a estimativa da condutância estomática possibilita obter a transpiração real para os plantios de eucalipto.

Ao proceder o cálculo do balanço hídrico no período de estudo, verificou-se que já no início da época seca, o armazenamento de água no solo se encontrava abaixo do ponto de murcha permanente, denotando uma contribuição das camadas do solo, inferior à zona das raízes. SACRAMENTO NETO (2001) verificou que a contribuição subsuperficial para zona das raízes, em plantios de 1 e 2 anos, foi de até 100 mm no período de 30 dias na época seca. Por meio de comunicação pessoal, Ribeiro menciona que o nível do lençol freático varia entre 40 cm e 3 metros de profundidade, entre períodos úmido e seco na área estudada, dados este baseados em experimentos na região.

Uma vez que não é possível, neste momento, estimar precisamente o aporte de água das camadas do solo, localizadas abaixo da zona das raízes, esta contribuição deve ser entendida como volume mínimo, pois partiu-se do princípio de que para haver contribuições a umidade do solo deveria estar no ponto de murcha permanente. Considerou-se também que a profundidade do lençol freático era a mesma para toda a bacia, ou seja, tanto nas encostas quanto nas baixadas, o lençol apresentava a mesma profundidade e conseqüentemente a profundidade do sistema radicular.

O aporte foi maior no ano de 2001 do que em 2002. Em 2001, nas áreas com plantio de 2 anos de idade, o aporte foi de até 302 mm e nos locais com encostas mais inclinadas apresentaram valores menores do que locais mais planos. Nos plantios de 3 anos de idade, o aporte foi de até 310 mm, e nos locais com encostas voltadas para o sul e maiores inclinações, os valores foram

menores que os outros locais. No ano de 2002, a contribuição foi de até 65 mm nos plantios com 3 anos de idade e de até 83 mm nas áreas com plantios de 4 anos. Semelhantemente, as encostas com orientações voltadas para o sul e mais inclinadas apresentaram menores aportes. Este fato é explicado pelas áreas que possuem encostas voltadas para o sul e maiores inclinações apresentaram menores transpirações. A variação da contribuição da água no subsolo entre os dois anos é justificada pelo fato de que no ano de 2001 ter ocorrido menos chuva que em 2002, e também por ter sido verificado acréscimo da profundidade do sistema radicular com a idade, aumentando assim a capacidade de retenção de água no solo.

No ano de 2001, o aporte de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo (AACP) iniciou-se em março, nas áreas com plantios de 3 anos de idade sendo, verificados AACP de até 10 mm. Nos plantios de 2 anos de idade não foram verificados AACP. Pelas condições adotadas na metodologia para determinação do balanço hídrico, nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, a umidade do solo permaneceu, em todos os dias, acima da umidade referente ao ponto de murcha permanente, resultando não necessariamente, ocorrência de AACP. De março até o mês de novembro foi verificado aportes de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo, sendo que o maior valor foi observado no mês de maio. Predominando nas áreas de plantio de 3 anos classe de 40 a 50 mm e nas áreas com plantios de 2 anos predominaram-se classes de 20 a 30 mm e de 30 a 40 mm. (Figura 28).

No ano de 2002 só foi observado aporte mínimo de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo nos meses de agosto a outubro. O valor máximo observado neste ano foi em agosto, 30 a 40mm. As classes de AACP de predominaram nestes ano foi a de 20 a 30 mm nos plantios com 4 anos de idade e 0 nos plantios de 3 anos. Nos meses de janeiro a maio, novembro e dezembro, não houve AACP (Figura 29).

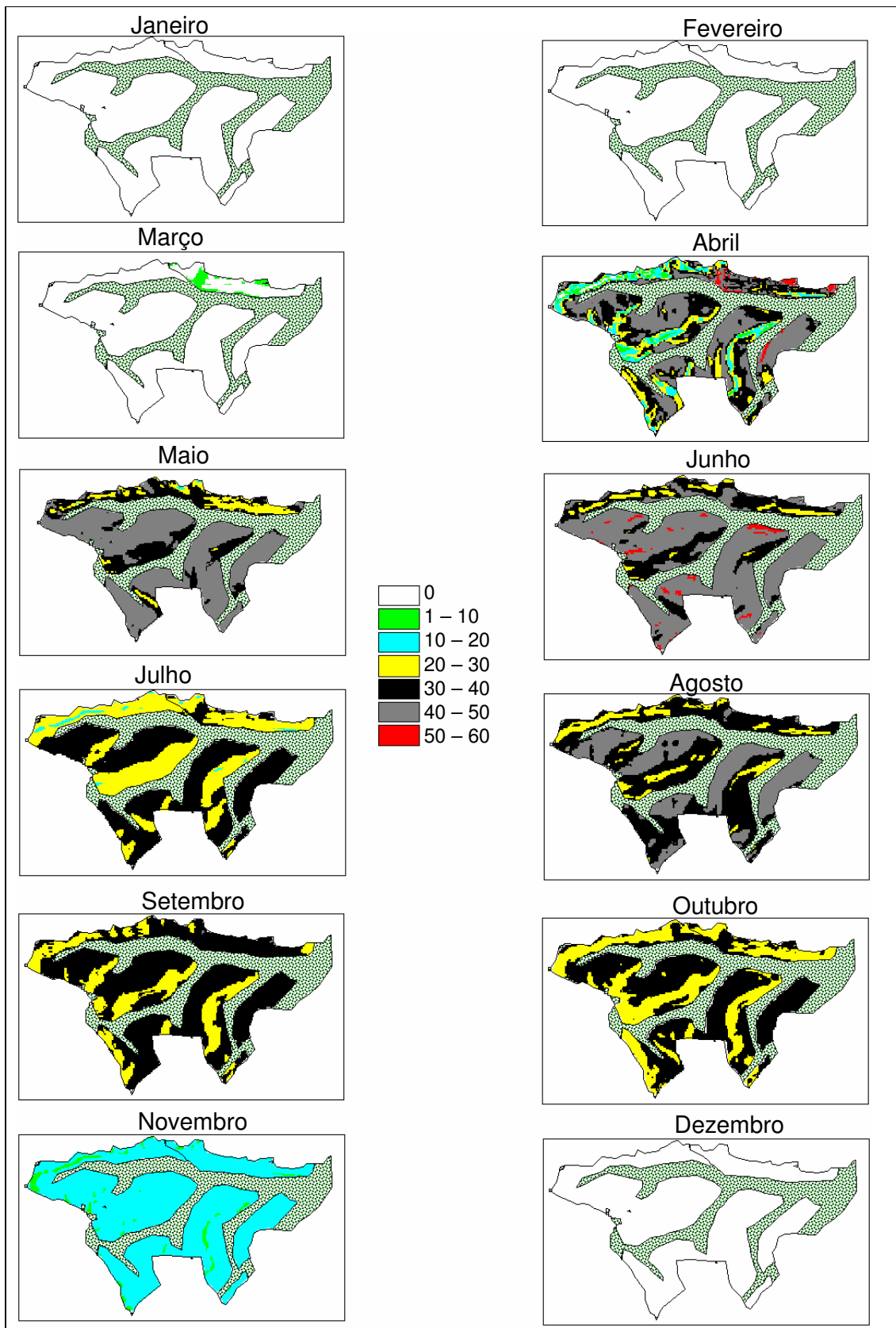


Figura 28 – Espacialização dos totais mensais dos aportes de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo (mm), nos meses de janeiro a dezembro do ano de 2001.

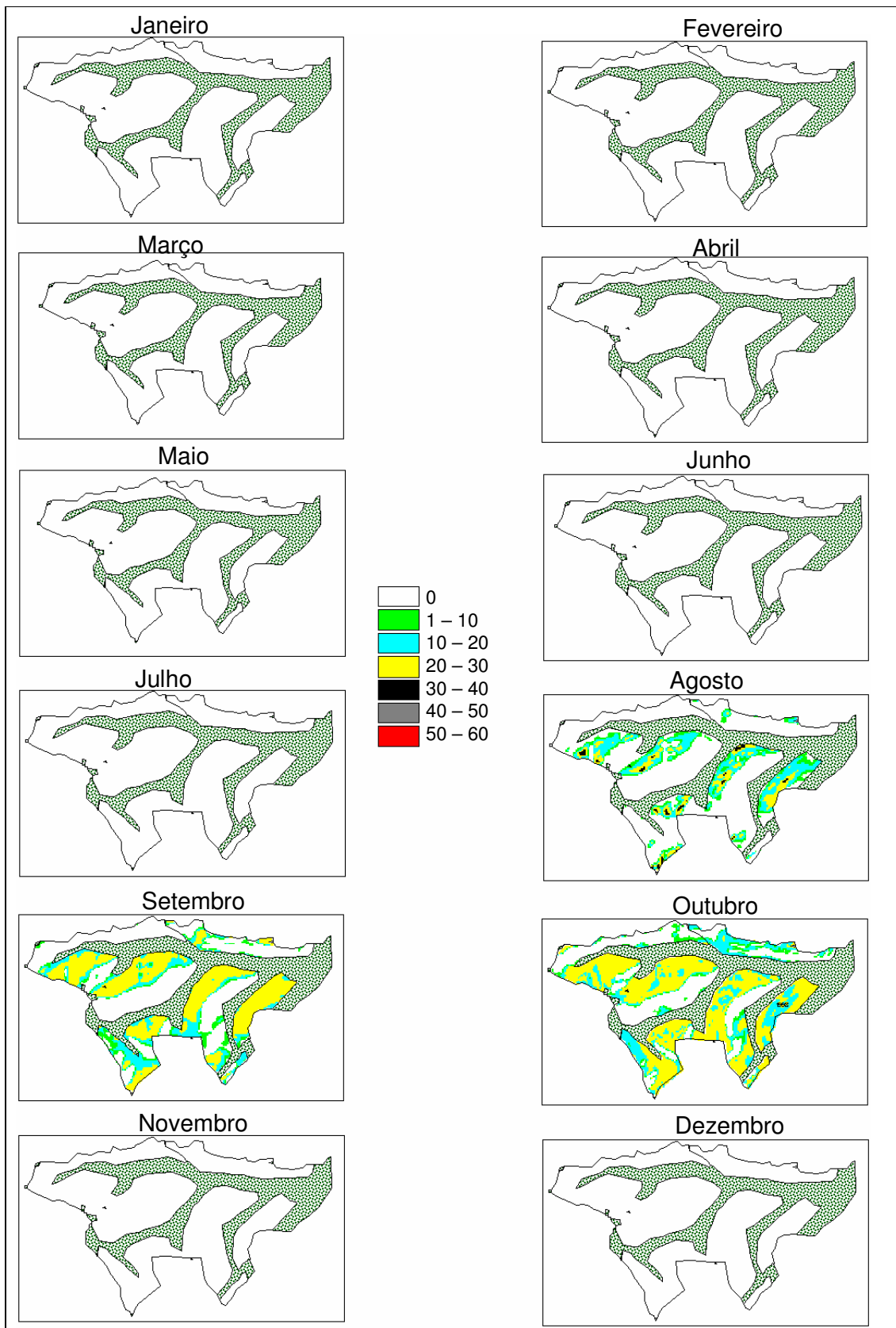


Figura 29 – Espacialização dos totais mensais dos aportes de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo (mm), nos meses de janeiro a dezembro do ano de 2002.

4.6 Excesso hídrico mínimo

O excesso hídrico (Eh) ocorreu quando a umidade do solo superou a umidade referente à capacidade de campo. Como não foram estimados os aportes de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo, o excesso é dito mínimo. Como era esperado, o excesso ocorreu somente em alguns meses da estação chuvosa. No ano de 2001 ocorreram excessos hídricos nos meses de janeiro e dezembro, perfazendo um total médio de 18 mm nas áreas com plantios de 2 anos de idade, e um total médio de 14 mm nas áreas com plantios com 3 anos. Esta diferença de Eh está relacionada na da variação profundidade do sistema radicular entre diferentes idades. Assim, os plantios de 3 anos de idade apresentavam maior capacidade de armazenamento de água e menores perdas por percolação profunda.

No mês de janeiro de 2001 (Figura 30), apesar de ter precipitado apenas 41 mm, as chuvas ocorreram no início do mês, período em que se iniciou o balanço hídrico com a umidade do solo na capacidade de campo. Assim, o Eh nos plantios de eucalipto não ultrapassaram a 20 mm. O total precipitado no mês de dezembro foram relativamente elevado, recarregando a umidade do solo à capacidade campo nos plantios de 2 anos de idade, e ocorrendo Eh. Em dezembro o Eh variou de 01 a 20 mm nos plantios de eucalipto com 2 anos de idade, nas áreas com plantios de 1998, não ocorreram Eh.

Em 2002 precipitou 147 mm mais que em 2001, resultando em excesso hídrico de 236 mm nas áreas com plantios com 3 anos de idade e de 190 mm nas áreas com plantios com 4 anos de idade. Somente ocorreu Eh nos meses de janeiro e fevereiro. No mês de janeiro predominou a classe de Eh de 100 a 120 mm nas áreas com plantios de 1999 e 40 a 60mm nas áreas com plantios de 1998. O maior Eh determinado para este ano foi em fevereiro, atingindo valores entre 140 a 160 mm, em pequenas parte das áreas com de plantio com de 1998 e 1999, (Figura 31), os demais meses não ocorreram excessos hídricos.

Devido a não determinação precisa do aporte de água das camadas do solo localizadas abaixo da zona das raízes, a comparação do resultado de Eh fica dificultada. Entretanto LIMA (1996) apresenta valores de percolação da água no

solo em plantios de eucalipto com 5 anos de idade no estado de Minas Gerais, para o período seco e úmido do ano, cujas precipitações ocorridas foram de 1022 e 99 mm, sendo os valores de Eh de 326 e 0 mm para o período úmido e seco, respectivamente. Os valores encontrados neste estudo foram pouco inferiores aos encontrados por LIMA (1996).

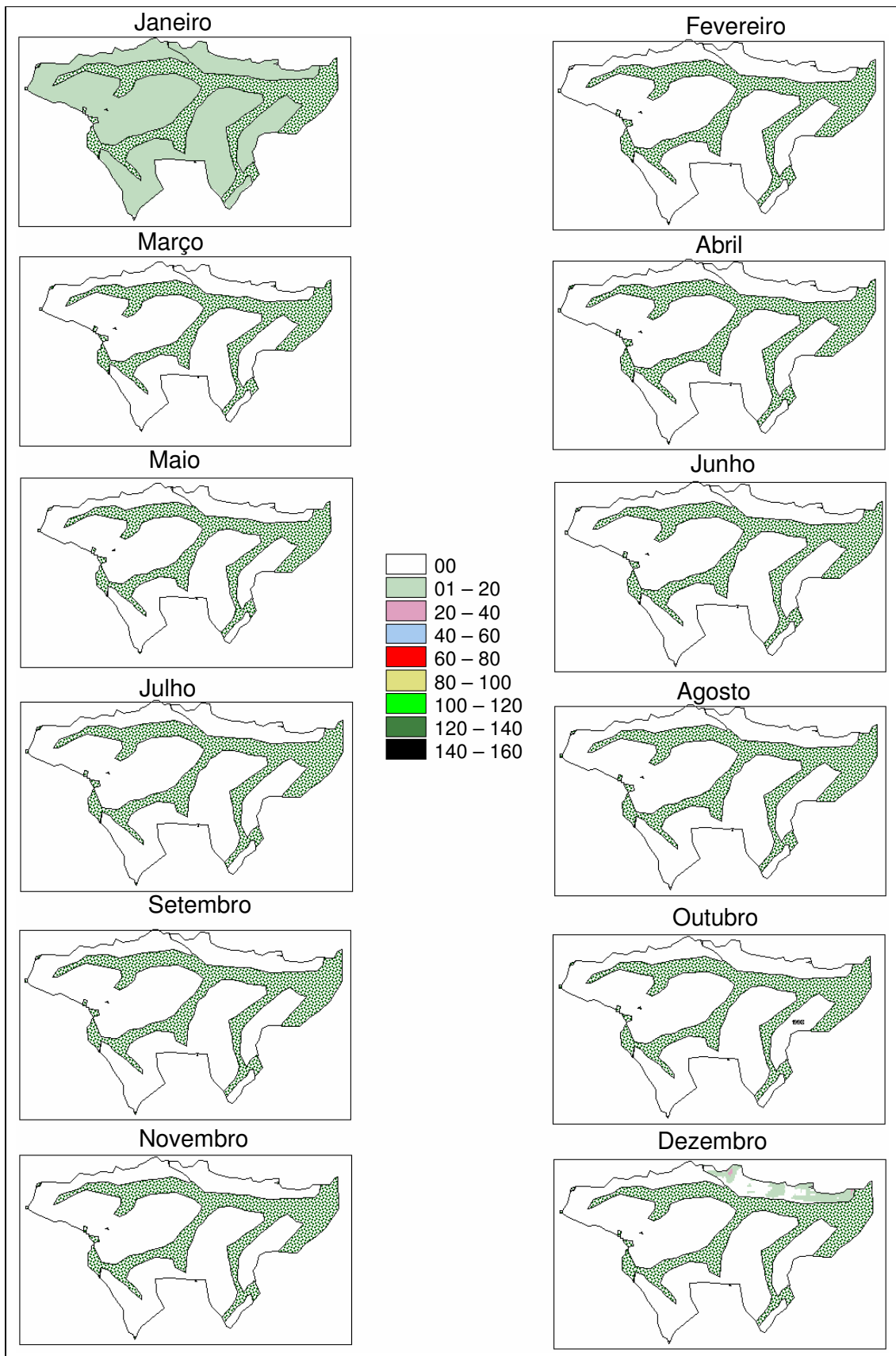


Figura 30 – Espacialização do total mensal do excesso hídrico mínimo, dado em mm, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2001.

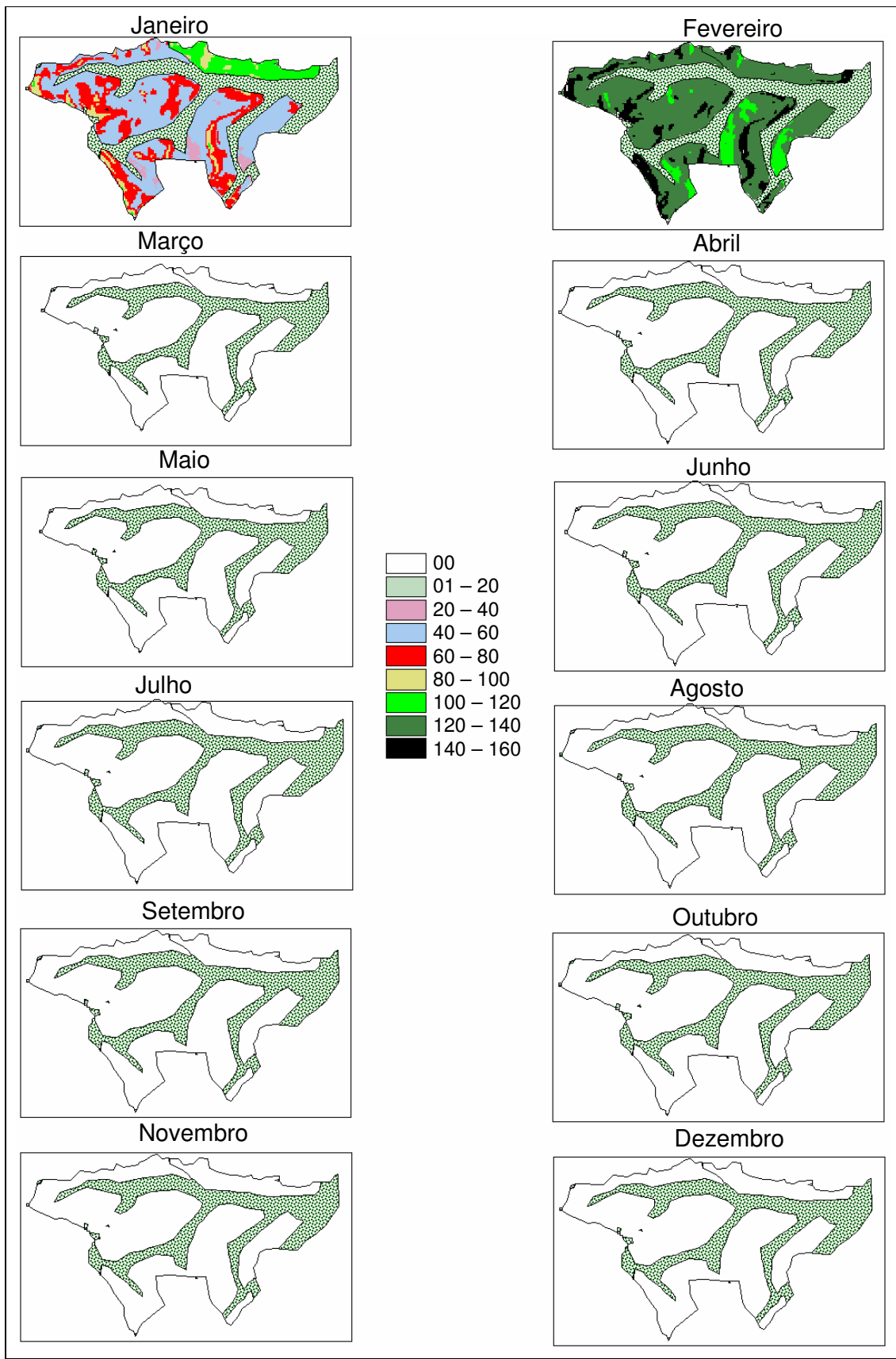


Figura 31 – Espacialização do total mensal do excesso hídrico mínimo, dado em mm, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2002.

4.7 Disponibilidade mínima de água no solo e déficit hídrico máximo

Conforme explicado anteriormente, foram verificadas contribuições de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo, e como estas contribuições ou aportes não foram computados precisamente, estabeleceu-se, portanto, que a umidade mínima do solo fosse igual à umidade referente ao ponto de murcha permanente. Sendo assim, a disponibilidade de água no solo (DAS) e o déficit hídrico (Dh), aqui apresentados, são mínimos e máximos, respectivamente. Caso fossem computados o total de contribuições de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo, certamente a umidade do solo não atingiria a umidade referente ao ponto de murcha permanente e haveria mais água disponível no solo para planta. Conseqüentemente, o déficit hídrico seria menor do que o registrado neste trabalho. Uma vez que não foi possível ajustar um modelo que simulasse adequadamente a evapotranspiração potencial, o déficit hídrico foi computado somente quando o armazenamento de água no solo foi inferior a 50% da CAD. As figuras 31 e 32 apresentam a variação diária da DAS e Dh ocorridos nos anos de 2001 e 2002, nas áreas com plantios de 1999 e 1998 respectivamente. Ou seja, a figura 32a apresenta a DAS nas áreas com plantio de 2 anos em 2001, e 3 anos em 2002. A figura 33a apresenta a variação diária da DAS nas áreas com plantios de 3 anos em 2001, e 4 anos em 2002.

Iniciou-se o balanço hídrico com a umidade do solo igual ao CAD. Esta umidade permaneceu igual nos três primeiros dias do ano, sendo que a partir do dia 3 do ano de 2001, a quantidade de água disponível para planta reduziu até atingir no dia 91 e plantios de 1999 o valor zero (Figura 32a). Praticamente, durante toda a estação seca do ano de 2001 a DAS foi igual à zero, nos dois plantios, sendo que a partir do dia 301, iniciam-se as chuvas e o solo começou aumentar a umidade, atingindo no dia 322, a CAD.

Em 2002, os plantios de 1998 e 1999, com 4 e 3 anos de idades respectivamente, possuem maior profundidade do sistema radicular, aumentando assim a CAD. Verifica-se neste ano que a DAS permaneceu por mais tempo igual ou próxima a CAD, devido ao maior número de precipitações observadas no início do ano. Observa-se também que neste ano, a umidade do solo permaneceu igual à umidade referente ao ponto de murcha permanente por menos tempo,

comparação a 2001. Isto devido à maior quantidade de precipitações e à maior capacidade de retenção da água na camada útil do solo. Do dia 71 a 260, verifica-se que as áreas com encostas voltadas para norte e oeste apresentaram os menores valores de DAS. Neste período do ano, o posicionamento aparente do sol encontrava-se ao norte da micro-bacia em estudo, favorecendo, portando, o aumento da radiação solar nas encostas voltadas para o norte. A radiação solar foi maior neste período no horário da tarde, nas encostas voltadas para o oeste tiveram maior radiação solar. Semelhantemente ao ano de 2001, a DAS em 2002 igualou-se a CAD no final do ano nos plantios de 1999. Nos plantios de 1998 a DAS ficou um pouco abaixo da CAD.

O comportamento do déficit hídrico nos anos de 2001 e 2002 foi justificado pelos mesmos fatores da DAS. Nas áreas de plantios de 1998 e 1999, o valor do déficit foi igual à metade da CAD a maior parte do ano de 2001. Somente entre os dias 1 a 25, e 320 a 365 não ocorreram Dh em 2001. Nos plantios de 1999, em 2002, o Dh iniciou-se no dia 120 nas áreas com encostas voltadas para o norte e oeste, e no dia 150 para as demais encostas. Nas encostas voltadas para o sul e leste, o Dh atingiu seu valor máximo, 50% da CAD, entre os dias 225 e 258, justamente por, nestas áreas, terem ocorrido os menores valores de evapotranspiração. Nas áreas com plantios de 1998 o Dh igualou-se a metade da CAD para as encostas voltadas para o norte e oeste, somente nos dias 240 a 265; para as áreas com encostas voltadas para o leste, nos dias 245 a 255; e para as áreas com encostas voltadas para o sul em nenhum dia o Dh igualou-se a metade da CAD.

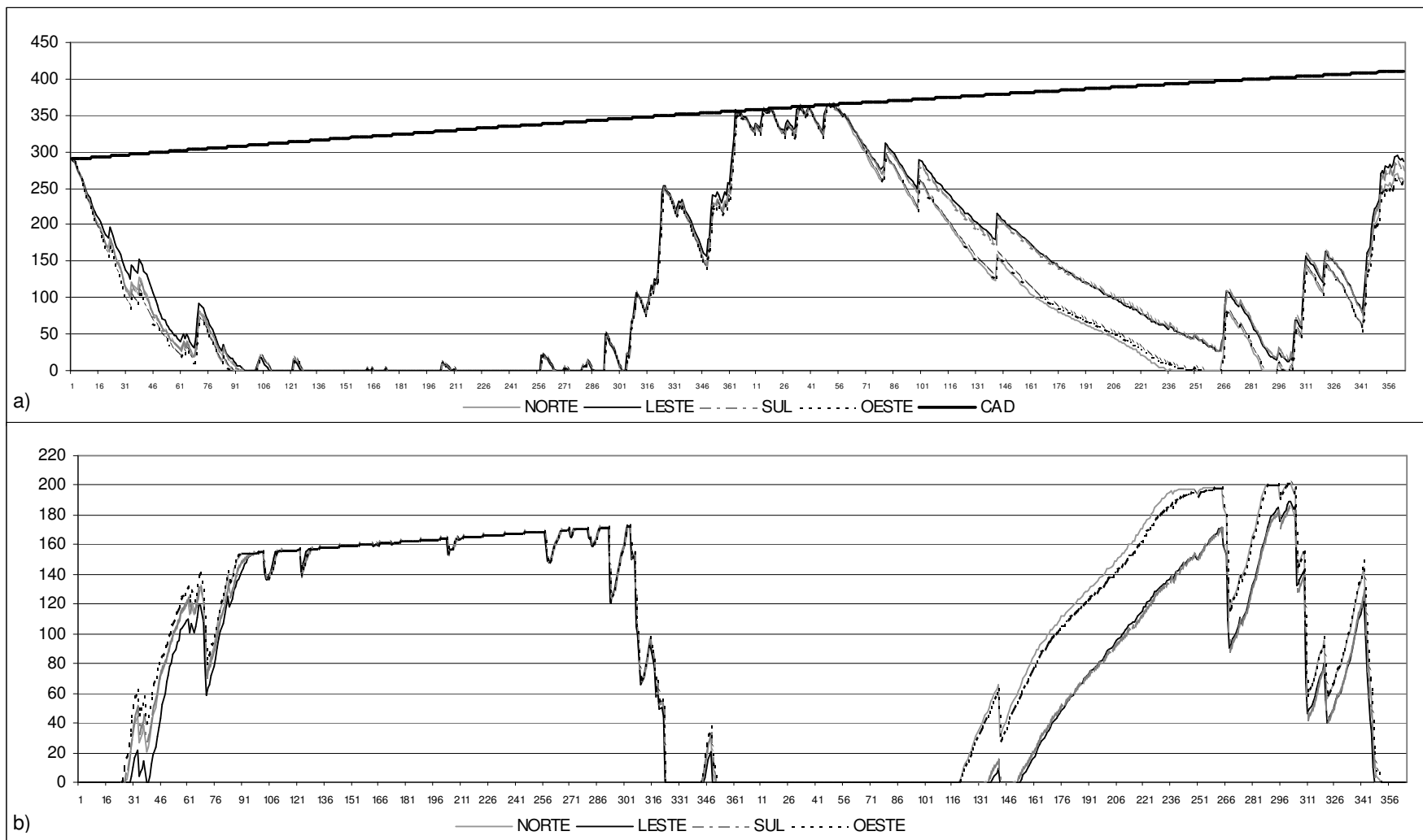


Figura 32 – Variação diária da disponibilidade mínima de água no solo (a), e déficit hídrico (b), nos anos de 2001 e 2002, para diferentes orientações das encostas, nas áreas com plantios de 1999, dada em mm d^{-1} .

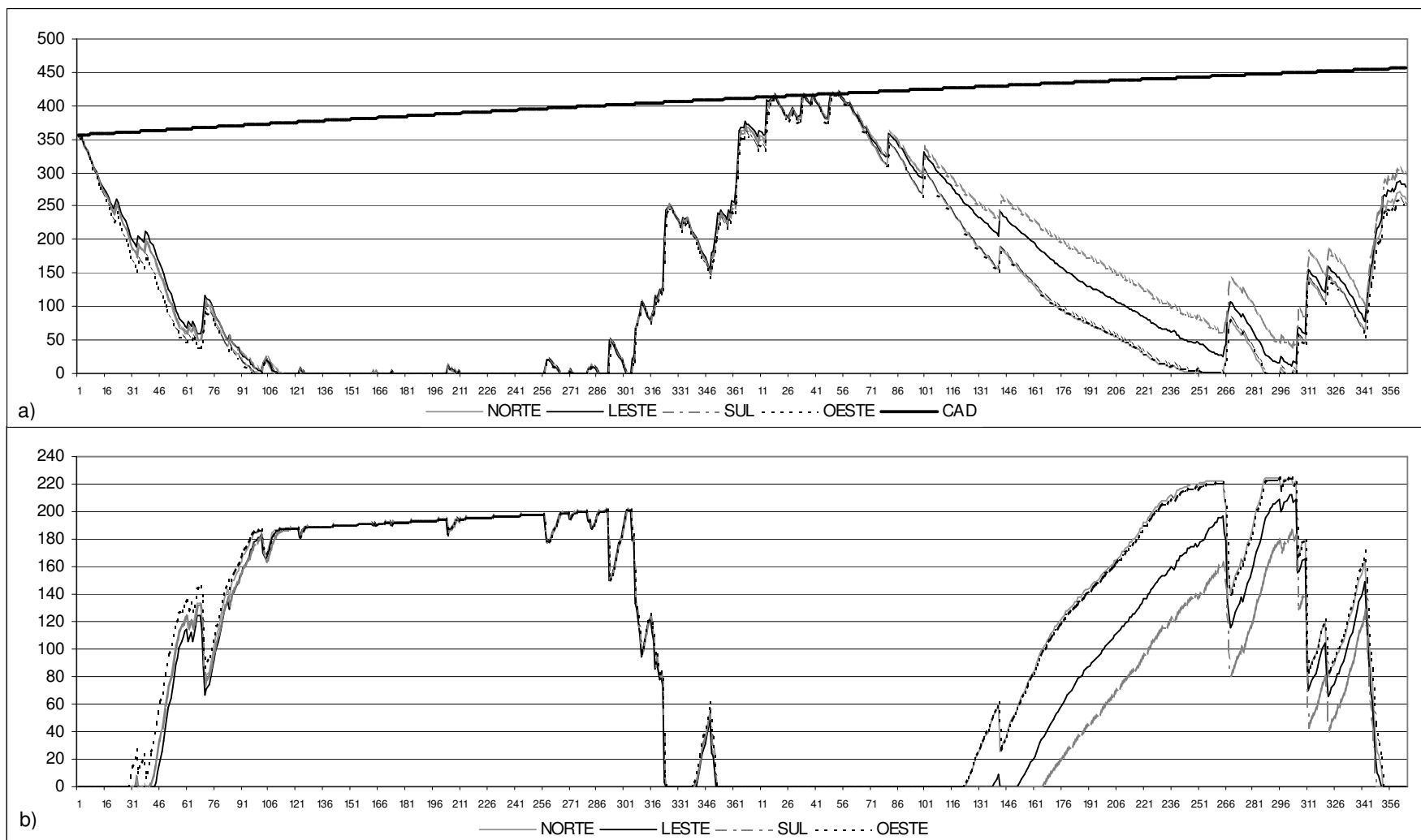


Figura 33 – Variação diária da disponibilidade mínima de água no solo (a), e déficit hídrico (b), nos anos de 2001 e 2002, para diferentes orientações das encostas, nas áreas com plantios de 1998, dada em mm d⁻¹.

5. CONCLUSÕES

Verificou-se existir importante influência das diferentes inclinações e orientações das encostas nos totais diários de evapotranspiração. De forma geral, este fato está relacionado com a maior ou menor disponibilidade de energia para o processo de mudança de fase da água. Tal processo depende da face de exposição do terreno. Devido à posição geográfica e às características da topografia da bacia, o saldo de radiação não sofreu grandes alterações no verão. Porém, no inverno, quando o sol está mais ao norte da micro-bacia, esta diferença chegou em até -50% para encostas voltadas para o sul e sofreu aumento de 20% regiões com encostas voltadas para o norte. Assim, verifica-se ser importante, nas regiões de relevo ondulado, fazer a correção espacial da intensidade de fluxo, a partir da irradiância solar medida no piranômetro. Quando se realiza a estimativa da transpiração pela planta em condições em que a topografia não é considerada, percebe-se que há maior transpiração nos plantios mais jovens. Porém ao considerar a topografia da micro-bacia e sua variação nos diferentes plantios, nas áreas com plantios de 2 anos foram verificados valores médios anuais de $3,3 \text{ mmd}^{-1}$ no ano de 2001, e, nas áreas com plantios de 3 anos de idade, a transpiração média foi de $3,4 \text{ mmd}^{-1}$. No ano de 2003 foram verificados nas áreas com plantios de 3 e 4 anos de idade $2,9$ e $3,0 \text{ mmd}^{-1}$.

A interceptação da água da chuva pela cobertura vegetal variou em função da idade da planta, do total precipitado e da distribuição da precipitação. A

interceptação da água das chuvas, nos plantios de 2 anos em 2001 foi de 12% do total precipitado; nas áreas com plantios de 3 anos, a interceptação foi de 14%. Em 2002, devido ao maior total e maior duração das precipitações e interceptações médias no ano nos plantios de 3 anos foi de 17%, e nos plantios com 4 anos de idade, foi de 21%. Como foram considerados as mesmas capacidades de retenção da água pelo dossel, tronco e serapilheira, nas diferentes idades de plantios, a interceptação foi influenciada basicamente pela diferença das alturas das plantas nas diferentes idades.

O aporte de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo é um componente do balanço hídrico que não pode ser desconsiderado para estudos balanço hídrico em escala diária, principalmente em áreas onde o lençol freático próxima-se da superfície. Neste estudo, a contribuição da água do subsolo influenciou na drenagem profunda, no déficit hídrico, no escoamento superficial e no armazenamento de água no solo. No ano de 2001, nas áreas com plantios de 2 anos de idades, foram registrados valores máximos de aporte de água das camadas mais profundas para a camada útil do solo de 302 mm, e nas áreas com plantios com 3 anos de idade, de 310 mm. Em 2002, por ter ocorrido maior precipitação, os valores foram de 65 mm nas áreas com plantios de 3 anos e de 83 mm, nos plantios com 4 anos de idade.

Nos dois anos estudados, ocorreram poucos meses com registro de excesso hídrico, no ano de 2001, por ter precipitado menos do que 2002, ocorreu excesso nos meses de janeiro e dezembro, totalizando valores médios de 18 mm nas áreas com plantios de 2 anos de idade, e 14 mm nos plantios de 3 anos de idade. No ano de 2002, verificaram-se maiores totais de precipitação, o que acarretou em maiores excessos. Nos plantios com 3 anos de idade, o excesso hídrico foi de 236 mm, e nas áreas com plantios com 4 anos de idade o excesso hídrico médio foi de 190 mm. Neste ano somente ocorreu excesso nos meses de janeiro fevereiro e dezembro.

A disponibilidade de água no solo para o ano de 2001, ficou próxima ou igual a zero, na maior parte do ano nas áreas com plantios de 1998 e 1999. Isto acarretou altos déficits hídricos, sendo que no início e final do ano, períodos em que as chuvas foram suficientes para reabastecer a umidade do solo, a disponibilidade água igualou-se a capacidade máxima de água no solo. No ano de 2002, as áreas com plantios de 1999, iniciaram e terminaram o ano com a disponibilidade água no solo

igual ou próxima à capacidade máxima de água no solo. Verifica-se também, neste plantio que na estação seca, as encostas com orientações voltadas para norte e oeste apresentaram os menores valores de disponibilidade de água, justamente pelo fato de ter ocorrido maior incidência de radiação solar nas áreas com estas orientações. Nos plantios de 1998, o comportamento foi semelhante ao do plantio de 1999, porém no final do ano, a disponibilidade de água no solo não atingiu a capacidade máxima. O déficit hídrico atingiu seu valor máximo em um período mais curto de tempo, em comparação a 2001.

O sistema computacional desenvolvido para realizar a estimativa balanço hídrico apresentou-se bastante eficiente apesar dos mapas digitais serem formados por matrizes de dimensões grandes, 125 linhas e 214 colunas. O processamento para as estimativas do Balanço hídrico, duravam em média 30 horas para cada ano, usando um micro-computador com um *gigabytes* de memória ram. A estimativa da evapotranspiração foi o componente do balanço hídrico que mais demorou, devido ao fato de que os componentes do saldo de radiação solar terem sido calculados em escala horária.

Este trabalho terá sua continuidade em novos estudos que serão desenvolvidos nas localidades de Belo Oriente e Cocais das estrelas, região do Vale do Rio Doce, MG. Os componentes do balanço hídrico serão pesquisados de forma mais minuciosa. Será acrescentada aos resultados aqui encontrados, valores de produtividade dos plantios de eucaliptos tanto nas áreas de relevo mais acentuados quanto nas áreas de relevo mais plano.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, - Aracruz ES, 1997.
- ALMEIDA, A.C. de e SOARES, J.V. **Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e florestas ombrófila densa (mata atlântica) na costa leste do Brasil.** Viçosa MG Revista Árvore, 27: n2: p. 421-427, 2003.
- ALVES, A. R. **Irradiação solar global em superfície de diferentes inclinações e azimutes, para Viçosa MG.** Viçosa-MG: UFV, 1981. 19p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, 1981.
- ALVES da SILVA, J. M. **Modelo Hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação.** Viçosa-MG: UFV, 2002. p 32 - 114. Dissertação (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- 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.
- 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.
- BONAN, G.B. **A land surface model (LSM version 1.0) for ecological, hydrological and atmospheric studies: technical description and user's guide.** NCAR/TN-417+STR, 150 p. 1996.

- BRANDÃO, V.S.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D., **Infiltração da água no solo**. 2ed. Editora da Universidade Federal de Viçosa, p. 16-17, 2003.
- CALDER, I.D. **Water use of eucalypts** – a review with special reference to south India. *Agricultural Water Management*. 11:333-342, 1986.
- COSTA, T.; LANÇA, R. **Hidrologia de Superfície**. Área Departamental de Engenharia Civil Núcleo de Hidráulica e Ambiente, Escola Superior de Tecnologia Universidade do Algarve, p. 29-39, 2001.
- CHAUBEY, I., HANN, C.T., GRUNWALD, S. SALISURY, J.M. **Uncertainty in the model parameters due to spatial variability of rainfall**. *Journal of Hydrology*. V. 220, p. 48-61, 1999.
- 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.
- 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.
- HASHINO, M.Ç YAO HUAXIA; YOSHIDA HIROMU. **Studies and evaluations on interception process during rainfall based on a tank model**. University of Tokushima, Tokushima, Japam, p. 770-856, 2001.
- JARVIS, P.G.; MCNAUGHTON, K.G.. **Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region**. *Advances in Ecological Research*, 15: 1-49, 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.
- LANG, A. R. G.; MCMURTRIE, R. E. **Total leaf areas of single trees of Eucalyptus grandis estimated from transmittances of the sun's beam**. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58: 79-92, 1992.
- 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.
- 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, . 301p.,1996
- LIMA, P.R.A; LEOPOLDO, P.R. **Retenção de água da chuva por mata ciliar na região central do estado de São Paulo**. *Revista Energia na Agricultura*. v14, n.3, p25-33. 1999.

- MAESTRI, R.. **Modelo de crescimento e produção implícito para povoamentos de híbridos naturais de *Eucalyptus grandis* baseado em variáveis ambientais e do povoamento.** Tese de Doutorado, UFPR, 35 p, 2003
- MIELKE, M.S.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F. de; PENCHEL, R.M. et al., **Stomata control of transpiration in the canopy a clonal *Eucalyptus grandis* plantation.** *Trees*, 13:152-160, 1999.
- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, **Indústria do eucalipto é responsável por 4% do PIB,** http://www.mct.gov.br/comunicacao/textos/default.asp?cod_tipo=1&cod_texto=2005, acesso 01/01/2003.
- MONTEITH, J.L. **Principles of environmental physics.** London: Edward Arnold,. 241 p, 1973.
- NEVES, J.C. **Produção e participação de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do estado do Espírito Santo.** Campos dos Goytacazes: UENF, 2000. p 9 - 191. Dissertação (Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000.
- NEVES, R.; LEITÃO, C.P.. **Modelação numérica da circulação da água no solo. O modelo Mohid..** Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. 28: 47p., 2000.
- PRUSK, F.F.; SILVA, D.D.; SANTOS, W.L. et al., **Infiltração de água no solo.** Viçosa, MG: DEA, UFV, P. 25-26, 1997.
- RADERSMA, S; RIDDER, N.. **Computed evapotranspiration of annual and perennial crops at different temporal and spatial scales using published parameter values.** *Agricultural Water Management*, 31:17-34, 1996.
- ROSEMBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERNA, S.B.. **Microclimate: the biological environment.** John Wiley & Sons, 495p., 1983.
- RUTTER, A.J.; KERSHAW, K.A.; ROBINS, P.C.; MORTON, A.J. **A predictive modelo of rainfall interception in forest. I.** Derivation of the model from observation in a plantation of Corsican pine. *Agric. Meteorol.* 9: 367-384, 1971.
- RUTTER, A.J.; ROBINS, P.C.; MORTON, A.J. **A predictive modelo of rainfall interception in forest. II.** Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *J. Appl. Ecol.* 12: 367-380, 1975.
- SACRAMENTO NETO, O.B. **Balanço hídrico em plantio jovens de eucalipto na região de Belo Oriente, Minas Gerais.** Tese de mestrado, UFV, 76 p., 2001.
- 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.

- SELLERS, P.J., Y. MINTZ, Y.C. SUD, AND A. DALCHER. A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models, **Journal of Atmospheric Science**, 43: 505-531. 1986.
- SILVEIRA, A.L.; LOUZADA, J.A.; BELTRAME, L.F. **Infiltração e armazenamento no solo**. TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade, p. 335-372, 1993.
- SOUZA, W. G.; RIBEIRO, A.; SANTANA, M.; **Modelagem e simulação da água da chuva interceptada pelo dossel vegetativo e serapilheira em plantios jovens de eucalipto em áreas de transição Cerrado - Mata Atlântica em Minas Gerais**. Simpósio Iniciação Científica – Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R.; **Meteorologia básica e aplicada**. Viçosa, MG: DEA, UFV, 1ed, P. 133-203, 2002.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora Magraw-hill do Brasil, 102 p., 1975
- XAVIER, A.C.; SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C. **Variação do índice área foliar em clones de eucalipto ao longo do seu ciclo de crescimento**. Viçosa MG Revista Árvore, 26: n. 4: p. 421-427, 2002.

7. APÊNDICES

Quadro 03 – Variação média mensal no ano de 2001 do desvio padrão do saldo de radiação diário para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1998, dado em MJm⁻²d⁻¹.

Incl. Azim.	1 - 15							15-30							>30									
	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO
JAN	0.5	0.5	0.7	0.6	0.4	0.7	0.8	0.5	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.3	0.1	0.8	1.1	0.5	0.3	0.9
FEV	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	0.2	0.2	0.2	0.1	0.4	0.2	0.5	0.1	0.4
MAR	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.2	0.3	0.2	0.7	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
ABR	0.5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.6	0.4	0.8	0.8	0.6	0.7	0.6	0.5	0.9	0.5	0.7	1.2	0.6	0.4	0.6	0.5
MAI	0.5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6	0.4	0.4	0.6	0.5	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.3	0.9	0.5	0.8	1.2	0.6	0.4	0.6	0.3
JUN	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.3	0.4	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.2	0.7	0.7	0.6	0.2	0.7	0.7	0.4
JUL	0.5	0.4	0.4	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.3	0.6	1.0	0.6	0.5	0.3	0.9	0.8	0.4
AGO	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.2	0.5	0.8	0.5	0.4	0.3	0.7	0.6	0.2
SET	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.5	0.3	0.4	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1
OUT	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
NOV	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2
DEZ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2

Quadro 04 – Variação média mensal no ano de 2001 do desvio padrão do saldo de radiação diário para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1999, dado em MJm⁻²d⁻¹.

Incl. Azim.	1 - 15							15-30							>30									
	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO
JAN	0.0	0.0	1.0	0.8	0.4	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.4	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.0	0.0
FEV	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0
MAR	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	0.2	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0
ABR	0.0	0.0	0.4	0.4	0.6	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.9	0.8	0.3	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.5	0.0	0.0
MAI	0.0	0.0	0.4	0.4	0.6	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.5	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.0	0.0
JUN	0.0	0.0	0.4	0.6	0.5	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.3	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	0.0	0.0
JUL	0.0	0.0	0.6	0.7	0.5	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.3	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.2	0.0	0.0
AGO	0.0	0.0	0.6	0.6	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.4	0.3	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	0.0	0.0
SET	0.0	0.0	0.4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0
OUT	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0
NOV	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0
DEZ	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0

Quadro 05 – Variação média mensal no ano de 2002 do desvio padrão do saldo de radiação diário para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1998, dado em MJm⁻²d⁻¹.

Incl. Azim.	1 - 15								15-30								>30							
	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO
JAN	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3
FEV	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.1
MAR	0.2	0.3	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.3	0.1	0.4	0.6	0.4	0.1	0.4	0.6	0.4	0.1
ABR	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.4	0.3	0.4	0.4	0.6	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.2	0.5	0.9	0.6	0.4	0.4	0.8	0.7	0.2
MAI	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	0.3	0.5	0.9	0.7	0.5	0.3	0.8	0.8	0.3
JUN	0.5	0.4	0.4	0.6	0.7	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	0.6	0.3	0.5	1.0	0.7	0.5	0.3	0.8	0.9	0.4
JUL	0.4	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	0.5	0.4	0.2	0.7	0.6	0.4
AGO	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.6	0.6	0.7	0.5	0.3	0.6	0.9	0.5	0.4	0.4	0.8	0.7	0.2
SET	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
OUT	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
NOV	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2
DEZ	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.2	0.3

Quadro 06 – Variação média mensal no ano de 2002 do desvio padrão do saldo de radiação diário para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1999, dado em MJm⁻²d⁻¹.

Incl. Azim.	1 - 15								15-30								>30							
	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO
JAN	0.0	0.0	0.5	0.4	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0
FEV	0.0	0.0	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0
MAR	0.0	0.0	0.6	0.6	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.5	0.3	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	0.0	0.0
ABR	0.0	0.0	0.7	0.8	0.5	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.8	0.6	0.3	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.2	0.0	0.0
MAI	0.0	0.0	0.6	0.7	0.5	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5	0.3	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.2	0.0	0.0
JUN	0.0	0.0	0.6	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5	0.3	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0
JUL	0.0	0.0	0.5	0.6	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	0.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.9	0.0	0.0
AGO	0.0	0.0	0.7	0.7	0.5	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.3	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.2	0.0	0.0
SET	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0
OUT	0.0	0.0	0.4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0
NOV	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0
DEZ	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0

Quadro 07 – Variação média mensal no ano de 2001 do desvio padrão Tr diária para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1998, dado em mmd^{-1} .

Incl. Azim.	1 - 15								15-30								>30							
	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO
JAN	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2
FEV	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
MAR	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ABR	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
MAI	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
JUN	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1
JUL	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.1
AGO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
SET	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0
OUT	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
NOV	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
DEZ	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1

Quadro 08 – Variação média mensal no ano de 2001 do desvio padrão Tr diária para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1999, dado em mm d^{-1} .

Incl. Azim.	1 - 15								15-30								>30							
	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO
JAN	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0
FEV	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
MAR	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
ABR	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0
MAI	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0
JUN	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0
JUL	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0
AGO	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0
SET	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
OUT	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
NOV	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
DEZ	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Quadro 09 – Variação média mensal no ano de 2002 do desvio padrão Tr diária para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1998, dado em mm d⁻¹.

Incl. Azim.	1 - 15								15-30								>30							
	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO
JAN	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
FEV	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
MAR	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0
ABR	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
MAI	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
JUN	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
JUL	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
AGO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0
SET	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
OUT	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
NOV	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
DEZ	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1

Quadro 10 – Variação média mensal no ano de 2002 do desvio padrão Tr diária para diferentes inclinações e orientações de encostas, nas áreas com plantio de eucalipto de 1999, dado em mmd⁻¹.

Incl. Azim.	1 - 15								15-30								>30							
	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO
JAN	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
FEV	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
MAR	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0
ABR	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0
MAI	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0
JUN	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0
JUL	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0
AGO	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0
SET	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
OUT	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
NOV	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
DEZ	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0

Quadro 11 – Variação mensal da transpiração real (Tr , mm d^{-1}), saldo de radiação (Rn , $\text{mjm}^{-2}\text{d}^{-1}$), resistência do dossel (Rc , s m^{-1}) para eucaliptos com idades de 2 a 4 anos, temperatura média (t_{med} , $^{\circ}\text{C}$), déficit de pressão de vapor (DPV, kpa), balanço de ondas longas e radiação global (Bol e Rg , $\text{Mj m}^{-2}\text{d}^{-1}$), velocidade do vento (Vv , m s^{-1}) e umidade relativa (UR, %) em condições de superfície plana nos dois anos estudados.

Idade Mês	2 anos			3 anos			4 anos			Temp	DPV	Bol	RG	Vv	UR
	Tr	Rn	RC	Tr	Rn	RC	Tr	Rn	RC						
jan/01	6.58	13.17	44.20	7.10	13.17	52.18	7.31	13.40	62.73	25.58	0.96	-4.86	23.12	1.79	70.88
fev/01	6.93	11.45	46.95	7.73	11.45	55.43	8.20	11.67	66.64	27.34	1.23	-6.03	22.41	1.80	66.44
mar/01	5.76	11.23	46.98	6.29	11.23	55.47	6.55	11.43	66.68	25.63	0.93	-4.73	20.46	1.65	71.92
abr/01	5.34	9.87	59.08	5.79	9.87	69.75	5.93	10.06	83.86	25.19	1.02	-4.99	19.05	1.59	68.57
mai/01	3.97	8.63	66.60	4.10	8.63	78.63	4.01	8.78	94.54	21.87	0.71	-3.24	15.22	1.68	72.93
jun/01	2.85	7.61	81.21	2.82	7.61	95.89	2.65	7.74	115.28	20.00	0.49	-2.25	12.64	1.53	79.04
jul/01	2.44	8.50	131.93	2.21	8.50	155.77	1.91	8.63	187.27	18.88	0.51	-1.95	13.40	1.65	76.70
ago/01	2.98	9.23	126.81	2.73	9.23	149.73	2.38	9.38	180.01	20.10	0.66	-2.56	15.11	1.80	72.20
set/01	3.13	7.33	117.18	3.07	7.33	138.35	2.86	7.46	166.33	21.75	0.78	-3.41	13.77	1.62	70.33
out/01	4.32	9.55	67.09	4.49	9.55	79.21	4.41	9.72	95.24	22.67	0.79	-3.70	16.98	1.45	72.05
nov/01	4.26	10.10	51.77	4.47	10.10	61.12	4.49	10.28	73.48	24.00	0.65	-3.64	17.62	1.29	78.71
dez/01	4.61	10.46	51.07	4.82	10.46	60.30	4.79	10.64	72.49	23.95	0.69	-3.76	18.24	1.54	77.20
jan/02	5.24	12.59	40.87	5.56	12.59	48.26	5.72	12.80	58.02	24.57	0.69	-3.76	20.97	1.37	78.03
fev/02	4.32	10.54	41.53	4.61	10.54	49.03	4.79	10.72	58.95	24.04	0.60	-3.44	17.93	1.19	80.28
mar/02	5.02	12.36	44.21	5.35	12.36	52.19	5.56	12.57	62.75	24.49	0.74	-3.92	20.87	1.11	75.92
abr/02	4.30	11.41	50.74	4.47	11.41	59.91	4.51	11.60	72.03	23.32	0.64	-3.42	19.01	1.00	77.81
mai/02	3.33	8.87	60.26	3.42	8.87	71.15	3.38	9.01	85.54	21.37	0.53	-2.70	14.82	1.14	79.12
jun/02	2.76	8.31	79.37	2.71	8.31	93.71	2.54	8.44	112.66	19.60	0.46	-2.07	13.30	1.00	79.91
jul/02	2.29	6.95	118.39	2.18	6.95	139.78	1.97	7.07	168.05	19.76	0.51	-2.20	11.74	1.11	77.79
ago/02	3.21	9.68	111.98	2.99	9.68	132.21	2.64	9.84	158.95	20.47	0.65	-2.68	15.85	1.57	72.90
set/02	2.95	7.29	116.01	2.87	7.29	136.97	2.64	7.42	164.67	21.16	0.70	-3.09	13.30	1.65	73.10
out/02	5.82	12.63	63.32	5.95	12.63	74.76	5.74	12.85	89.87	23.64	0.95	-4.43	21.87	1.90	67.47
nov/02	4.46	10.42	55.99	4.65	10.42	66.11	4.62	10.61	79.48	23.47	0.69	-3.62	18.01	1.50	76.75
dez/02	4.80	10.89	48.16	5.04	10.89	56.86	5.07	11.08	68.36	24.57	0.69	-3.83	18.87	1.53	78.25