



Simulação da produtividade do eucalipto sob diferentes condições de disponibilidade hídrica na região Centro-Leste de Minas Gerais

Maria Emília Borges Alves^{1(*)}, Everardo Chartuni Mantovani², Júlio César Lima Neves², Gilberto Chohaku Sedyama² e Helton Maycon Lourenço³

¹Embrapa Cerrados. Rodovia BR 020, km 18, CEP 73310-970 Planaltina, DF. E-mail: maria.emilia@embrapa.br

²Universidade Federal de Viçosa. Av. P. H. Rolfs, s/n - Campus Universitário, CEP 36.570-900 Viçosa, MG. E-mails: mantovani.everardo@gmail.com, julio_n2003@yahoo.com.br e g.sedyama@ufv.br

³VERACEL Celulose S/A. Eunápolis, BA. E-mail: helton.lourenco@veracel.com.br

(*)Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 29 de novembro de 2018

Aceito em 26 de fevereiro de 2020

Termos para indexação:

IRRIPLUS

3-PG,

necessidades hídricas

florestas plantadas

Eucalyptus

RESUMO

O estabelecimento das relações entre consumo de água pela cultura do eucalipto e a disponibilidade de água no solo pode contribuir na predição do potencial produtivo dos plantios florestais, gerar informações para o manejo da cultura e a definição de regiões favoráveis ao seu plantio, além de oferecer subsídios para estudos de viabilidade do uso da irrigação. O objetivo deste trabalho foi simular as necessidades hídricas da cultura do eucalipto e estimar sua produtividade, visando estabelecer uma relação entre produtividade e quantidade de água aplicada, utilizando como referência dados de clima, solo e da cultura observados em um ciclo de crescimento de eucalipto plantado na área experimental localizada na região Centro-Leste de estado de Minas Gerais. As variáveis avaliadas, altura total (Ht), diâmetro a altura do peito (DAP), volume (V) e incremento médio anual (IMA), apresentaram incremento positivo e linear com o aumento da disponibilidade hídrica, apresentando ganhos relativos proporcionais ao acréscimo nas lâminas aplicadas.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

No Brasil, 95,8% das áreas de florestas plantadas para fins comerciais são dedicadas ao cultivo de eucalipto e pinus. Em 2017, as áreas de eucalipto somaram 7,4 milhões de hectares, o que representa 75,2% do total nacional. Minas Gerais detém a maior área de espécies florestais plantadas do Brasil, com quase 2 milhões de hectares, sendo a quase totalidade de eucalipto (IBGE, 2018).

As distintas condições climáticas, às quais a cultura está exposta nas diversas regiões em que é feito seu cultivo, influenciam na sua produtividade e duração do ciclo. Neste contexto, a baixa disponibilidade de água é identificada como um dos fatores que mais limitam a produtividade nas florestas plantadas de eucalipto (Correia et al., 2014; Stape et al., 2010; Villar et al., 2011).

Desta forma, a quantificação do uso da água nas plantações é uma parte importante do processo de tomada de

decisão ao selecionar novas áreas de plantação e, para otimizar o manejo dessas plantações, é fundamental a utilização de modelos que prevejam com precisão seu crescimento e uso da água, acoplando o crescimento do estande e o balanço hídrico do solo da floresta (Almeida & Sands, 2016).

Uma alternativa para quantificar esse potencial produtivo associado à disponibilidade hídrica tem sido a utilização de modelos de crescimento baseados em processos. Nesse sentido, o surgimento do modelo 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*) (Landsberg & Waring, 1997) – em essência, um modelo de eficiência de uso de radiação solar e da água, e de repartição de carbono – contribuiu e vem contribuindo como uma ferramenta de pesquisa e de manejo de florestas plantadas (Almeida & Sands, 2016) e já foi avaliado para várias espécies, em condições climáticas e locais bastante diferentes (Feikema et al., 2010).

A determinação das necessidades hídricas das culturas levam em conta clima, modelos de exploração e intensidade de cultivo, meio ambiente, disponibilidade de água, fertilidade do solo, métodos e práticas de cultivo e regas (Dorenbos; Pruitt, 1977). O software IRRIPPLUS®, desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA-UFV), é um software agroeducacional de gerenciamento da irrigação voltado ao treinamento de técnicos e futuros técnicos com uma política de solução para o grave problema associado a falta de manejo de irrigação (IRRIPPLUS, 2019). Utilizado para fins acadêmicos, o IRRIPPLUS® vem sendo aplicado em diversos trabalhos técnicos-científicos na áreas de manejo da irrigação (Cordeiro, 2006; Mudrik, 2005; Nunes et al., 2006; Mantovani et al., 2006; Vicente et al., 2015; Venancio et al., 2016, 2019).

As pesquisas sobre as necessidades hídricas do eucalipto são, ainda, incipientes. A despeito dos vários trabalhos existentes, correlacionando produtividade do eucalipto com disponibilidade de água (Tonello & Teixeira Filho, 2007; Stape et al., 2004a, 2004b, 2008, 2010; Tomazello Filho, 2006; Silva, 2006; Souza et al., 2006; Correia et al., 2014; Valadares et al., 2014; Binkley et al, 2017), são poucos os que estabelecem uma curva da produtividade em função de diversas lâminas aplicadas. A maioria estabelece resultados comparando parcelas irrigadas e não irrigadas, o que limita a sugestão de esquemas adequados de manejo. Estes trabalhos evidenciam a influência positiva de um maior suprimento hídrico à cultura do eucalipto.

O objetivo deste trabalho foi simular as necessidades hídricas da cultura do eucalipto cultivada na região Centro-Leste de Minas Gerais por meio do software IRRIPPLUS® e estimar sua produtividade por meio do modelo 3-PG, estabelecendo uma relação entre o suprimento de água e a produtividade da cultura, permitindo estabelecer uma curva de variação da produtividade em função da quantidade de água aplicada ao longo de um ciclo produtivo completo.

Material e métodos

Foram realizadas simulações das necessidades hídricas por meio do software IRRIPPLUS® e os resultados obtidos destas simulações foram utilizados como dados de entrada do modelo de crescimento 3-PG, por meio do qual foram estimadas as produtividades da cultura sob as diversas condições de disponibilidade hídrica.

Para a realização das simulações das necessidades hídricas e da produtividade da cultura do eucalipto utilizaram-se como referência dados de clima, solo e da cultura observados em um ciclo de crescimento de eucalipto plantado na área experimental instalada em área pertencente à empresa Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA S.A.), localizada na bacia hidrográfica do Rio Doce, na região Centro-Leste de estado de Minas Gerais.

Dados observados

O experimento foi conduzido e seus resultados apresentados por Silva (2006) e por Lourenço (2009). As características da área experimental e de condução do experimento são descritas a seguir.

Características da área experimental

A área experimental foi instalada no município de Santana do Paraíso, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais, localizado a 19°18'23"S, 42°22'46"W e 220 m de altitude.

A precipitação média anual da região é de 1.200 mm, a temperatura média anual de 25,2 °C e a umidade relativa média de 65,2%. Os dados meteorológicos da área experimental foram obtidos por meio de uma estação meteorológica instalada na região de Belo Oriente, próxima ao experimento, a 240 m de altitude, e consistiram de dados diários de precipitação pluvial, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa do ar, radiação solar global e velocidade do vento, para o período de outubro de 2001 a junho de 2008, período de condução do experimento. Foram realizadas análises químicas e físicas (Tabela 1) em amostras de solos coletadas nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm antes da instalação do experimento. Para a determinação da capacidade de retenção de água (Tabela 2) foram determinadas as umidades na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PM) em cada horizonte do perfil do solo (Claessen, 1997)

Os tratamentos corresponderam a três níveis de aplicação de água ao solo, NI = não irrigado (controle), IR = irrigado com 100% da demanda de irrigação e IR-2/3 = irrigado com 2/3 da demanda de irrigação, ocupando uma área total aproximada de 5,5 ha. No entanto, para o tratamento IR-2/3, houve apenas avaliação das variáveis de produtividade da cultura ao final do ciclo. A demanda de irrigação foi estimada a partir da evapotranspiração

Tabela 1. Caracterização física e química do solo da área experimental, situada no município de Santana do Paraíso, MG, na região Centro-Leste de MG.

Característica	Profundidade (cm)		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Análise textural (%)			
-Areia grossa	17,10	16,30	21,80
-Areia fina	11,50	10,70	12,90
-Silte	6,00	6,70	6,90
-Argila	65,40	66,60	58,40
Argila dispersa em água (%)	17,80	3,40	45,10
pH em água	4,52	4,44	4,48
P (mg/dm ³) ^{1/}	1,76	1,24	1,10
K (mg/dm ³) ^{1/}	30,50	14,20	11,20
Ca ²⁺ (cmolc/dm ³) ^{2/}	0,45	0,17	0,11
Mg ²⁺ (cmolc/dm ³) ^{2/}	0,14	0,09	0,08
Na (mg/dm ³) ^{2/}	5,00	3,60	3,00
Al ³⁺ (cmolc/dm ³) ^{2/}	0,96	0,92	0,74
S (mg/dm ³) ^{3/}	54,50	118,50	149,30
Zn (mg/dm ³) ^{1/}	0,52	0,27	0,11
Cu (mg/dm ³) ^{1/}	2,09	2,35	2,15
Fe (mg/dm ³) ^{1/}	59,80	50,40	42,40
Mn (mg/dm ³) ^{1/}	39,10	16,90	12,50
B(mg/dm ³) ^{4/}	0,28	0,20	0,14
SB (cmolc/dm ³)	0,69	0,31	0,23
t (cmolc/dm ³)	1,65	1,24	0,97
m (%)	62,20	70,30	70,60
M.O. (dag/dm ³)	1,80	1,17	0,94

pH = relação 1:2,5; ^{1/}Extrator Mehlich-1; ^{2/}Extrator KCl 1mol/L; ^{3/} Extrator Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg/L de P, em ácido acético 2 mol/L (Chesnin & Yien, 1950); ^{4/} Extrator água quente; SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺; t = SB + Al³⁺; m = 100 Al³⁺ / t; M.O. = 1,724 x C.O. (EMBRAPA, 1997).

Tabela 2. Retenção de água do perfil do solo da área experimental, situada no município de Santana do Paraíso, MG, na região Centro-Leste de MG.

Horizonte	Profundidade		CC ¹	PM ¹	Água disponível
	Inicial	Final			
	cm		m ³ /m ³		
A	0	10	0,272	0,191	0,081
AB	10	20	0,290	0,208	0,082
Bi1	20	90	0,351	0,248	0,103
Bi2	90	145	0,324	0,235	0,089
C	145	>	0,319	0,231	0,088

¹ Unidades do solo na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PM).

de referência - ET_o, determinada pelo método padrão de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), sendo considerada a demanda máxima de 5 mm.dia⁻¹ no período de maior evapotranspiração.

Foi instalado o sistema de irrigação por gotejamento, nas parcelas correspondentes ao tratamento IR, constando

de gotejadores autocompensantes, com vazão de 2,3 l.h⁻¹ e espaçamento de 0,75 m entre emissores.

Realizou-se o plantio em 17/10/2001. O espaçamento de plantio foi de 3 x 3,33 m, composto por plantas oriundas de quatro materiais genéticos clonais de eucalipto: três clones de *Eucalyptus grandis* (57, 129 e 2719) e um híbrido clonal de *E. grandis* x *E. urophylla*, "urograndis" (1215).

Após o plantio, realizaram-se as adubações de implantação e as adubações de manutenção ao longo do ciclo da cultura. No tratamento irrigado foram aplicados, por meio de fertirrigação, a partir de 28/08/02, fertilizações adicionais calculadas em função da curva estimada de demanda de nutrientes (N, P, K, S e micronutrientes) para plantios de eucalipto com produtividade de 360 m³.ha⁻¹ de tronco aos 6 anos. As fertirrigações eram realizadas três vezes por semana, coincidindo com as irrigações, e a quantidade aplicada de cada nutriente por fertirrigação realizada está descrita na Tabela 3. Salienta-se que as quantidades de nutrientes aplicadas visaram o suprimento nutricional ótimo para a cultura, de forma que a mesma não sofreu ao longo do seu ciclo nenhuma restrição nutricional.

Variáveis medidas

Visando a determinação da massa de matéria seca dos diferentes componentes da parte aérea, nas parcelas correspondentes aos tratamentos, foram abatidas: uma árvore com DAP em torno da média, nas idades de 12, 24 e 36 meses, para cada material genético (Silva, 2006) e cinco árvores para cada material genético, na idade de 81 meses (Loureiro, 2009). Após o abate, as árvores foram submetidas à cubagem rigorosa e seus componentes (folhas, galhos, casca e lenho) separados e pesados (matéria fresca). Para a estimativa da massa de matéria seca desses componentes, após homogeneização, foi retirada uma amostra que foi pesada (matéria fresca) e posta a secar em estufa de circulação forçada a 65 °C, até peso constante. A partir do peso de matéria fresca total de cada compartimento e o peso da matéria seca de cada amostra, foi estimado o peso da matéria seca total dos respectivos compartimentos, para cada árvore abatida.

Dados simulados

Simulação das necessidades hídricas da cultura

A simulação das necessidades hídricas da cultura foi realizada por meio do software IRRIPPLUS^o, que leva em consi-

Tabela 3. Quantidade dos nutrientes minerais aplicados em cada fertirrigação realizada na área experimental, Santana do Paraíso, MG, na região Centro-Leste de MG, no período de out./2001 a jun./2008.

kg/ha/aplicação					g/ha/aplicação			
N	P	K	Ca	Mg	B	Zn	Cu	Mo
4,3	0,3	5,0	1,6	0,11	78	72	39	6,5

deração no cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c) e recomendação da lâmina de irrigação, cadastros da cultura e do equipamento de irrigação, resultados de análises físico-hídricas do solo e informações meteorológicas diárias.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi determinada utilizando a equação-padrão de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) e a ET_c foi calculada por meio da equação 1.

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_s \times K_l \quad (1)$$

em que ET_c é evapotranspiração da cultura, adimensional; ET_o , evapotranspiração de referência, adimensional; K_c , coeficiente da cultura, de acordo com o estágio de desenvolvimento, adimensional; K_s , coeficiente de estresse, em função da variação de umidade no solo, (0 a 1), adimensional; e K_l , coeficiente de localização, em função da porcentagem de área molhada e sombreada (0,2 a 1,0).

Os cadastros de cultura constaram de fases de crescimento da cultura, duração das fases em dias, K_c para cada fase correspondente (Tabela 4), definidos a partir de observações e informações pessoais de técnicos da área, porcentagem de área sombreada pela cultura em cada fase e profundidade do sistema radicular nessas mesmas fases. O modelo utilizado para o cálculo do coeficiente de estresse hídrico (K_s) foi o logarítmico (Bernardo et al., 2006). Para a análise da evapotranspiração da cultura foram utilizados valores de K_l associados à porcentagem de área molhada ou sombreada (P), utilizando-se o maior valor dentre esses, através de metodologia proposta por Fereres em 1981 (Villalobos & Fereres, 1990).

Para a recomendação da lâmina de irrigação, o programa realiza um balanço de água no solo, definindo-se a lâmina de irrigação em função do déficit de água no solo e da eficiência de irrigação. Para essas análises foi utilizada uma ferramenta interna do software, denominada Simulação, que possibilitou a criação de cenários reais em nível de campo para a determinação das lâminas de irrigação necessárias para a reposição da ET_c . Foi atribuído um turno

Tabela 4. Duração das fases de crescimento da cultura do eucalipto e valores de K_c utilizados nas simulações das necessidades hídricas da cultura do eucalipto.

Fase de crescimento	Duração da fase ¹ (dias)	K_c
Inicial	180	0,70
Desenvolvimento	185	0,70
Média	1920	1,00
Final	153	1,00

¹A definição da duração das fases de crescimento seguiram as condições propostas no Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998) associadas às características da cultura do eucalipto no presente estudo, considerando assim: Fase Inicial: do plantio até alcançar 10% de cobertura do solo. Fase de Desenvolvimento: de 10% de cobertura do solo até fechamento do dossel ou até o IAF (índice de área foliar) atingir o valor igual a 3. Fase Média: fechamento do dossel ou IAF = 3 até início da senescência. Fase Final: início da senescência até a colheita/corte ou completa senescência.

de rega de dois dias para as análises, por ser aquele que mais se aproximava ao manejo aplicado na condução do experimento. Assim, fixou-se esta lâmina simulada como sendo aquela que supriria 100% das necessidades hídricas da cultura e, a partir desta, criou-se cenários de disponibilidade hídrica equivalentes a 2/3 e 1/2 da lâmina simulada.

Estimativa da produtividade da cultura

Para a estimativa da produtividade da cultura utilizou-se o modelo 3-PG parametrizado e calibrado por Silva (2006) e ajustado com índices propostos por Borges (2009) para que atendessem às condições de sequeiro e às características inerentes a região em estudo, encontrando valores de biomassa da parte aérea (BPA) que se correlacionem melhor aos dados observados e, por sua vez, proporcionar uma estimativa mais coerente das demais variáveis. Este ajuste vem permitir que se estime a produtividade da cultura em condições de sequeiro com maior acurácia, de forma que o ganho proporcionado pelas diversas lâminas de irrigação simuladas em relação ao tratamento não irrigado, pudesse ser determinado com segurança.

Levou-se em conta, portanto, que as estimativas obtidas pelo modelo são coerentes com dados de crescimento florestal medidos na região, sendo feitas simulações, considerando cenários diferenciados quanto à disponibilidade de água. Foram considerados os seguintes cenários: (a) Não irrigado (NI): tratamento controle, somente precipitação; (b) Irrigado (IR): correspondente à lâmina de irrigação real aplicada no tratamento IR ao longo do experimento; (c) Irrigado 2/3 (IR-2/3): correspondente à lâmina de irrigação real aplicada no tratamento IR-2/3 ao longo do experimento; (d) Irriplus 100% (IRRI): correspondente à lâmina de irrigação recomendada pelo software IRRIPLUS[®]; (e) Irriplus 2/3 (IRRI-2/3): correspondente a 2/3 da lâmina de irrigação recomendada pelo software IRRIPLUS[®]; (f) Irriplus 1/2 (IRRI- 1/2): correspondente a 1/2 da lâmina de irrigação recomendada pelo software IRRIPLUS[®].

Tendo em vista que o experimento foi conduzido sob condições ótimas de fertilidade do solo, o parâmetro FR, utilizado no modelo 3-PG para definir a taxa de fertilidade do solo, foi assumido como 1, valor que representa uma situação onde não há limitação ao crescimento por motivos nutricionais. As variáveis estimadas foram biomassa da parte aérea (BPA), altura total (Ht), diâmetro a altura do peito (DAP), volume (V) e incremento médio anual (IMA).

A fim de se estabelecer uma comparação entre os valores observados e simulados, procedeu-se uma análise de correlação entre estes valores, utilizando como referência os dados de BPA pelo fato de haver dados observados (medidos), desta variável, disponíveis ao longo do ciclo da cultura. A análise da correlação baseou-se na estimativa dos valores a e b de ajustes, pelo procedimento dos mínimos

quadrados – regressão linear simples, e na determinação do índice de concordância, d , proposto por Willmott (1981) (Equação 2).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (2)$$

em que P é predição, dados simulados; O , observação, dados observados; \bar{O} , média dos dados observados.

Resultados e discussão

Simulação das necessidades hídricas

A lâmina de irrigação requerida para suprir 100% das necessidades da cultura foi estimada por meio do software IRRIPPLUS[®] e, a partir deste valor, estabeleceram-se os cenários IRRI, IRRI-2/3 e IRRI-1/2 utilizados para a simulação da produtividade no modelo 3-PG. Na Figura 1, são mostradas a lâmina real aplicada (IR) e a lâmina estimada pelo modelo IRRIPPLUS[®] ($IRRI$), em base mensal.

Observa-se que a lâmina aplicada foi inferior à recomendada, sendo que, ao final do ciclo, a lâmina real aplicada foi de 4.114,7 mm, enquanto que a lâmina estimada pelo IRRIPPLUS[®] foi de 6.374,0 mm. Ainda que o tratamento IR tenha-se baseado nos valores de ET_c , o manejo da irrigação do experimento teve como premissa fixar seu valor máximo em 5 mm dia⁻¹, o que provavelmente contribuiu para que os valores aplicados tenham ficado abaixo daque-

les recomendados pelo IRRIPPLUS[®]. Além disto, no manejo praticado na condução do experimento, houve meses em que não foi realizada irrigação ou, se realizada, foram aplicadas lâminas muito baixas, possivelmente apenas para a aplicação de fertilizantes, mesmo tendo sido registrados, no mês respectivo, elevados valores de ET .

É importante destacar que, mesmo que a lâmina real aplicada tenha sido inferior à recomendada, a cultura respondeu a este incremento no suprimento de água, como foi observado pelo aumento na produção de biomassa apresentado na Figura 2. Desta forma, sendo esperada uma resposta ainda maior caso tivesse sido aplicada uma lâmina estimada pelo modelo.

Estimativa da produtividade da cultura

A produtividade da cultura foi estimada pelo modelo 3-PG (Landsberg & Waring, 1997) parametrizado e calibrado para a região Centro-Leste de Minas Gerais, conforme Silva (2006) e Borges (2009). Foram estimadas as variáveis DAP , Ht , V e IMA para os cenários NI , IR , $IR-2/3$, $IRRI$, $IRRI-2/3$ e $IRRI-1/2$ (Figura 3). As lâminas totais aplicadas em cada um destes cenários e o ganho relativo dos valores finais destas variáveis, estimados para os tratamentos irrigados comparados ao NI , são apresentados na Tabela 5.

De acordo com Stape et al. (2004c), o modelo 3-PG capta as variações interanuais na precipitação, observada nas curvas geradas para o tratamento NI , quando a cultura esteve somente sob o efeito das precipitações, no que diz respeito ao suprimento hídrico. Para este tratamento, as cur-

Figura 1. Lâmina de irrigação aplicada (IR) e lâmina de irrigação estimada pelo IRRIPPLUS[®] ($IRRI$), evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura (ET_c), mensais, calculadas para a cultura do eucalipto e para as condições meteorológicas observadas no local do experimento, no município de Santana do Paraíso, MG, região Centro-Leste de MG, no período de out./2001 a jun./2008.

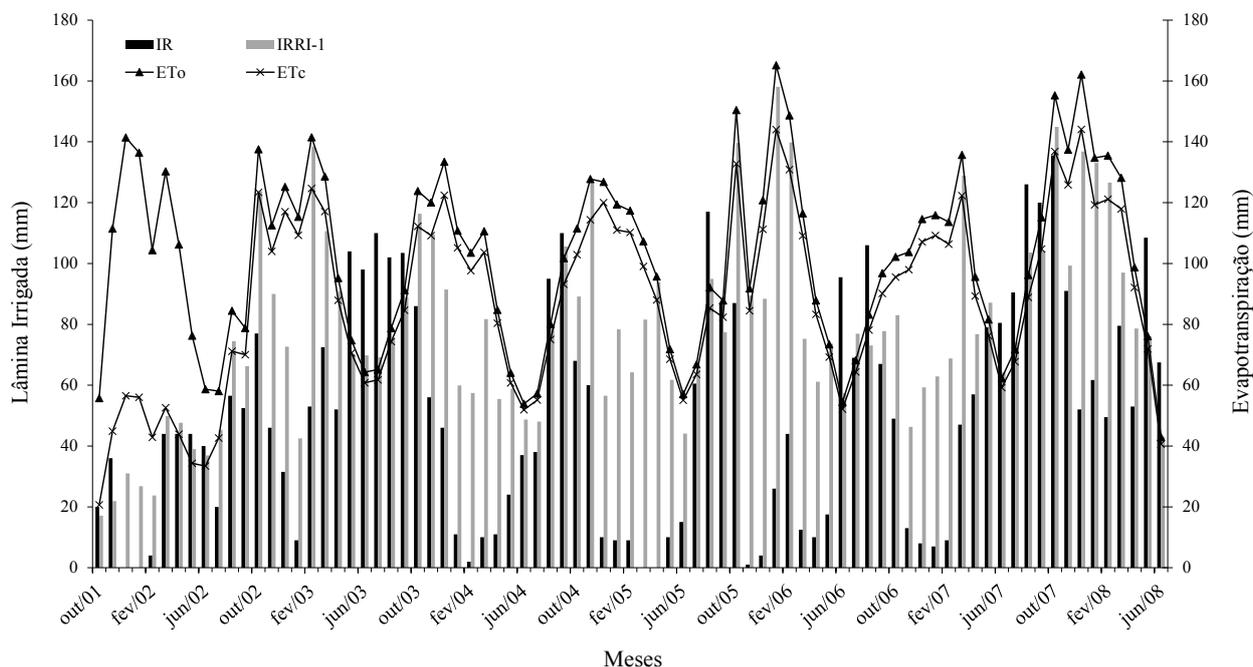
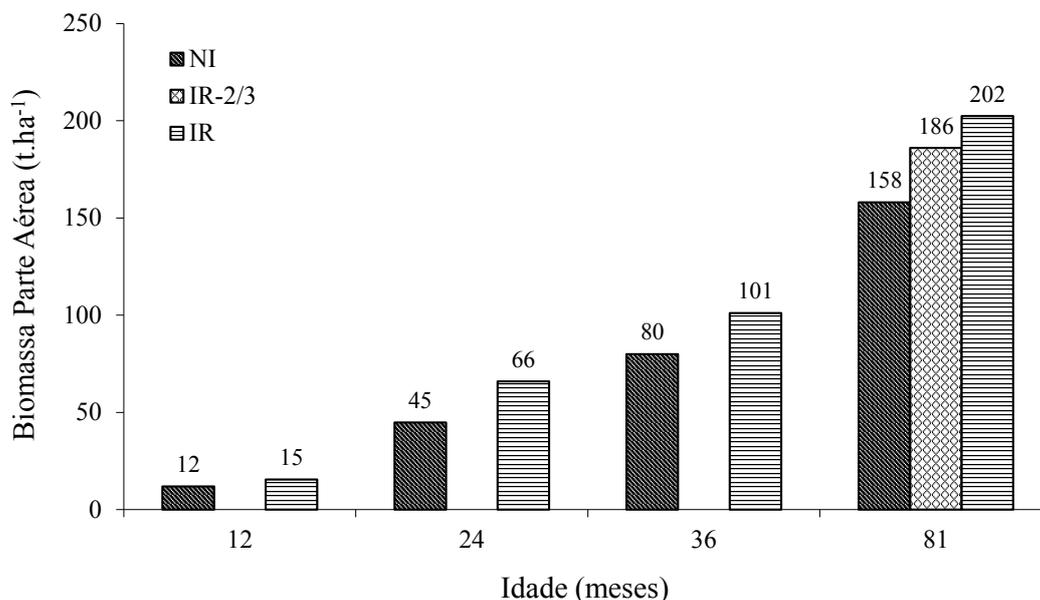


Figura 2. Biomassa da parte aérea observada ao longo do ciclo produtivo da cultura do eucalipto em reposta à aplicação controlada de água, no período de out/2001 a jun/2008, no município de Santana do Paraíso, MG, região Centro-Leste de MG. NI = controle (sem irrigação); IR = irrigado; IR-2/3 = irrigado com 2/3 da lâmina aplicada no tratamento IR. Adaptado de Silva (2006) e Lourenço (2009).



vas de todas as variáveis simuladas apresentam oscilações, mais evidentes na curva do IMA (Figura 3D), que vão sendo atenuadas nas outras curvas à medida que aumenta a lâmina de irrigação aplicada. Neste contexto, evidenciam-se dois aspectos: primeiro, a sensibilidade do modelo com relação às variações no suprimento de água, bem retratada na Figura 4. Como modelos como o 3-PG são frequentemente usados para prever o crescimento das plantações e o uso da água, e é imperativo que eles forneçam previsões confiáveis do balanço hídrico das plantas e do solo (Almeida & Sands, 2016). E, como segundo aspecto, a confirmação de que, com a irrigação e consequente redução nos eventos de déficit hídrico, a cultura apresentou crescimento mais homogêneo ao longo do ciclo, garantindo maiores produ-

tividades ao final.

No que tange à comparação entre as lâminas realmente aplicadas e aquelas estimadas pelo IRRIPPLUS[®], observa-se, na Tabela 4, que a lâmina aplicada no tratamento IR foi equivalente a 2/3 da lâmina sugerida (IRRI-2/3). O mesmo se verificou entre as lâminas aplicadas em IR-2/3 e IRRI-1/2, tendo sido constatadas respostas também equivalentes nos valores das variáveis estimadas, sob estas condições.

Observou-se aumento gradual dos valores das variáveis simuladas à medida em que se aumentou a lâmina aplicada, dando destaque, no presente trabalho, às variáveis IMA e BPA (Figura 5). A partir dos resultados obtidos verificou-se que a irrigação teve efeitos positivos sobre a produtividade do eucalipto. Portanto, para região estudada, houve

Tabela 5. Lâmina total aplicada em cada cenário testado, diâmetro a altura do peito (DAP), altura total da planta (Ht), volume (V) e incremento médio anual (IMA) estimados e seu ganho relativo devido ao incremento na lâmina aplicada, para o município de Santana do Paraíso, MG, região Centro-Leste de MG, no período de out./2001 a jun./2008.

Variável	Cenários de disponibilidade de água					
	NI	IR-2/3	IR	IRRI	IRRI-2/3	IRRI-1/2
Lâmina total	Lâmina (mm)/Incremento (%) ¹					
(Prec + Irri)	8645	11548/25	12760/32	15017/42	12894/33	11832/27
	Valor estimado/Ganho relativo (%) ²					
BPA (m ³ .ha ⁻¹)	154,5	179,2/14	200,6/23	234,3/34	201,4/23	179,2/14
DAP (cm)	17,6	19,2/8	20,0/12	21,3/17	20,0/12	19,1/8
Ht (m)	25,6	31,6/19	33,1/23	35,9/29	33,4/23	31,5/19
V (m ³ .ha ⁻¹)	262,0	318,7/18	355,9/26	416,2/37	357,4/27	317,8/18
IMA Max (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	40,7	48,1/15	53,6/24	63,9/36	54,4/25	48,6/16

¹ Incremento na lâmina aplicada em relação ao tratamento NI.

² Ganho percentual dos valores da variável estimada em relação a estimativa feita para o tratamento NI.

Figura 3. Diâmetro à altura do peito (DAP), cm (A), volume (V), m³ ha⁻¹ (B), altura total da planta (Ht), m (C), incremento médio anual (IMA), m³ ha⁻¹ por ano (D), estimado pelo 3-PG ao longo do ciclo produtivo da cultura do eucalipto sob seis diferentes cenários de disponibilidade de água, no período de out/2001 a jun/2008, para região Centro-Leste de MG. Cenários: NI = sem irrigação; IR-2/3 = 2/3 da lâmina de irrigação real aplicada; IR = lâmina de irrigação real aplicada; IRR1 = lâmina de irrigação recomendada pelo IRRIPLUS; IRR1-2/3 = 2/3 da lâmina de irrigação recomendada pelo IRRIPLUS; IRR1-1/2 = 1/2 da lâmina de irrigação recomendada pelo IRRIPLUS.

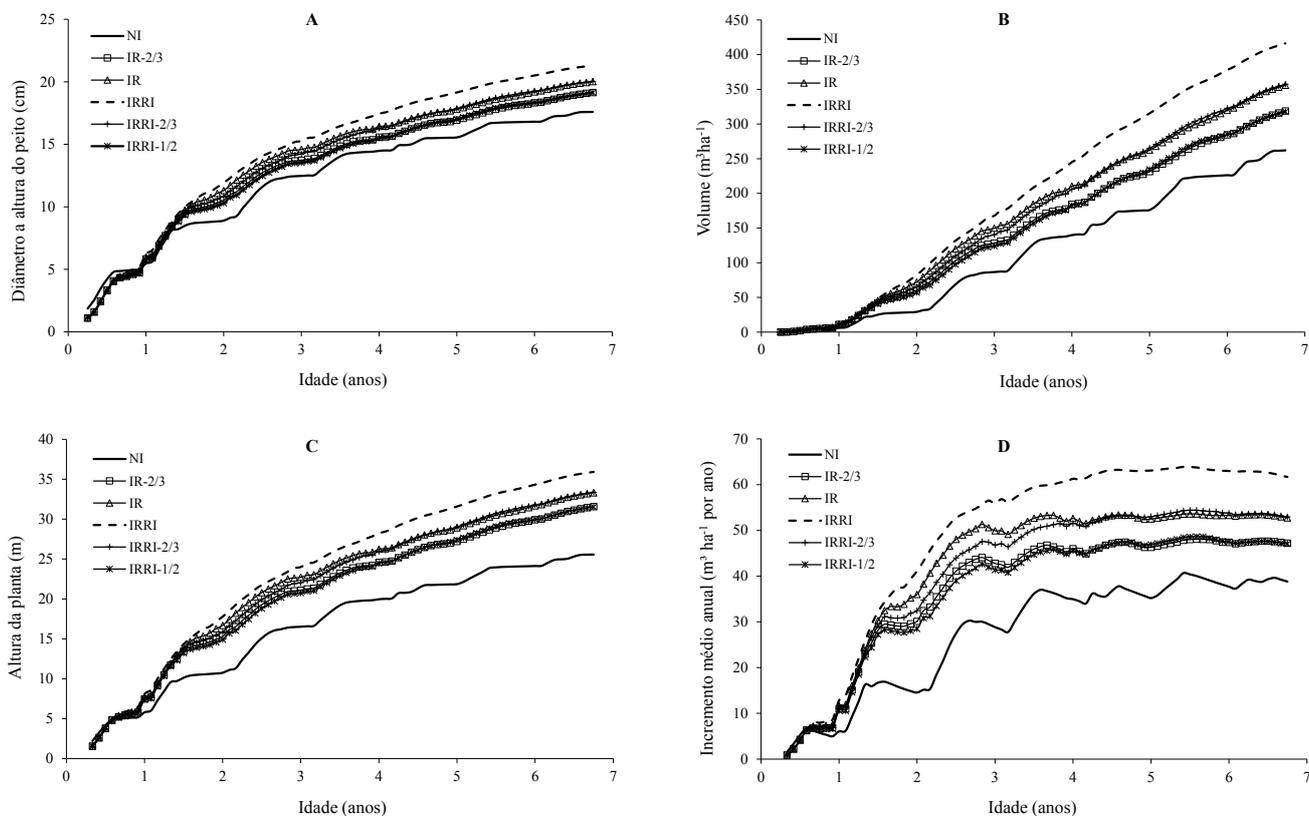


Figura 4. Incremento médio anual (IMA), em m³.ha⁻¹ por ano, estimado pelo 3-PG ao longo do ciclo produtivo da cultura do eucalipto sob tratamento NI (sem irrigação) e precipitações mensais ocorridas, no município de Santana do Paraíso, MG, região Centro-Leste de MG, no período de out./2001 a jun./2008.

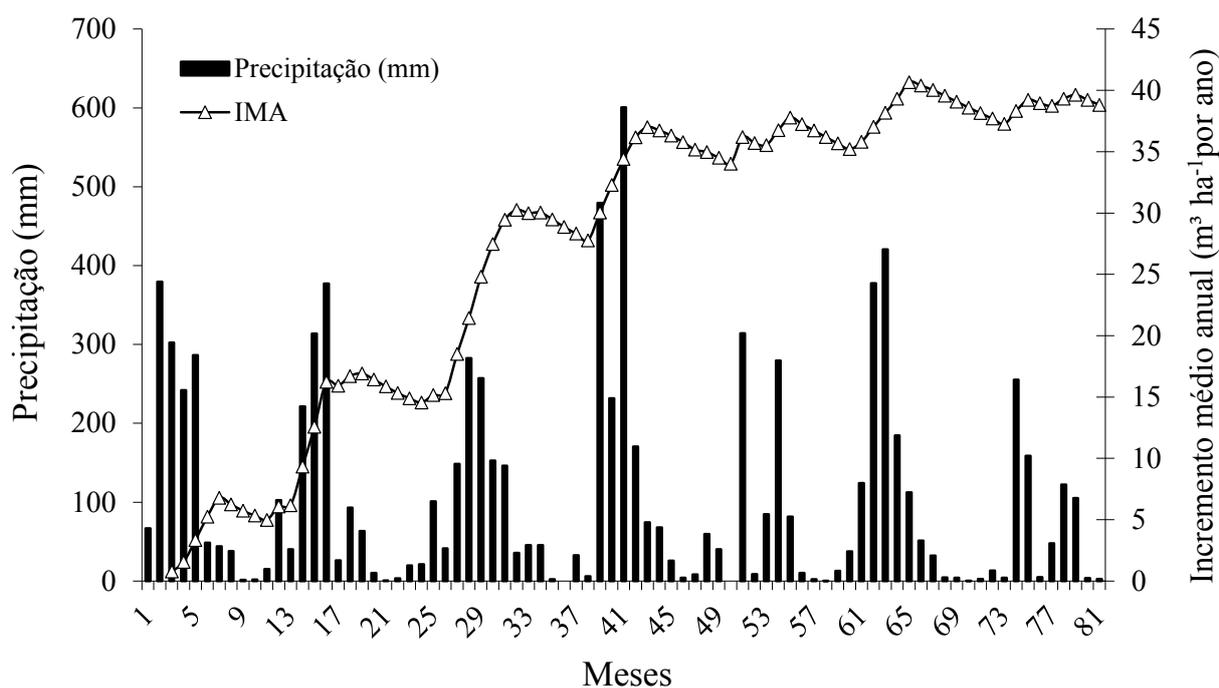
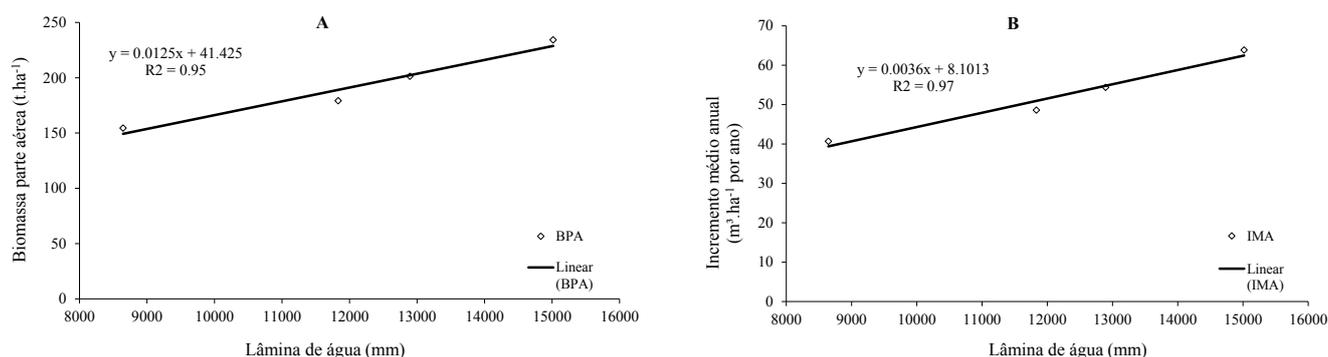


Figura 5, Biomassa da parte aérea final (BPA) (A) e incremento médio anual máximo (IMA) (B) estimados pelo modelo 3-PG em função de diferentes lâminas de irrigação estimadas pelo software IRRIPPLUS®, para região Centro-Leste de MG, no período de out./2001 a jun./2008.



um ganho real, mesmo quando foi aplicada uma lâmina inferior àquela que seria recomendada. Ou seja, houve maior produtividade nos tratamentos IR quando comparados com NI, com um ganho relativo de 23% em BPA, ainda que a lâmina aplicada em IR devesse ser maior, considerando as condições meteorológicas, as exigências da cultura e as características do solo, conforme recomendado pelo IRRIPPLUS®. Os ganhos observados nas estimativas feitas pelo 3-PG, quando aplicada a lâmina IRRI, indicam que ainda há oportunidade para o crescimento e aumento da produtividade da cultura, lembrando que as simulações foram feitas sob condições nutricionais ótimas, tendo como limitação, ou fonte de variação, somente o suprimento de água.

Os resultados alcançados corroboram com Stape et al. (2010) que, em estudo desenvolvido em oito locais distribuídos na região sudeste do Brasil e sul do Estado da Bahia, constataram que os tratamentos irrigados refletiram significativos aumentos na produtividade das florestas. Tal constatação vem de encontro com os resultados de vários estudos que demonstraram fortes relações entre abastecimento de água (e uso) e produção de madeira para Eucalipto em todo o mundo (Hunter, 2001; Madeira et al., 2002; Stape et al., 2004a, 2004b, 2008, 2010; Valadares et al., 2014; Correia et al., 2014).

À medida que as áreas com florestas plantadas expandem, há uma clara demanda por uma melhor compreensão e capacidade de quantificar o uso da água pelas plantações e os efeitos do déficit hídrico no crescimento da floresta. O entendimento e a quantificação da disponibilidade de água nas diversas escalas permitem melhor gerenciamento da produção de madeira pelas florestas e dos recursos hídricos e ajudam a evitar possíveis conflitos causados pelo uso da água (Almeida & Sands, 2016).

Stape et al (2010) ressaltam que a irrigação em escala operacional pode ser improvável para a maioria das florestas, mas os ganhos da irrigação ressaltam o valor potencial do gerenciamento intensivo do balanço hídrico do local (incluindo seleção do local, preparação do local, planeja-

mento de estradas e controle da vegetação concorrente) e, talvez, para objetivos de melhoria genética.

Entretanto, devido as inúmeras dificuldades encontradas na condução de experimentos em plantios florestais, como a longa duração dos ciclos de plantio e a necessidade de áreas extensas para que se tenha uma boa representatividade dos eventos a serem avaliados, são poucos os trabalhos que testam diversas lâminas de irrigação, a maioria deles propõe tratamentos irrigados e não irrigados, conjugados a fertirrigação. Desta forma, obter informações confiáveis advindas de simulações pode trazer contribuições valiosas tanto para trabalhos de pesquisa como para auxiliar nas práticas relacionadas ao manejo dos plantios.

Conclusões

As variáveis avaliadas, *DAP*, *Ht*, *V* e *IMA*, apresentaram incremento positivo quando submetidas aos diferentes cenários de disponibilidade hídrica, respondendo linearmente ao acréscimo no suprimento de água, apresentando ganhos relativos proporcionais ao acréscimo nas lâminas de irrigação aplicadas.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo provimento de bolsas de doutorado da primeira autora, à empresa Celulose Nipo Brasileira (CE-NIBRA S.A.) pela disponibilização dos dados experimentais que propiciaram a realização deste estudo.

Referências

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).
- ALMEIDA, A. C., SANDS, P.J.. Improving the ability of 3-PG to model the water balance of forest plantations in contrasting environments. **Ecohydrology**, n.9, p.610– 630, 2016.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

- BORGES, J.S. **Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do Cerrado de Minas Gerais**. 2009. 77 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- BINKLEY, D., CAMPOE, O. C., ALVARES, C., CARNEIRO, R. L., CEGATTA, I., & STAPE, J. L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal Eucalyptus plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v.405, p.271-283, 2017.
- CLAESSEN, M.E.C. (Org.). **Manual de método de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997. 212p. (EmbrapaCNPq. Documentos, 1).
- CORDEIRO, E.A. **Diagnóstico e manejo da irrigação na cultura do mamoeiro na região Norte do Estado do Espírito Santo**. 2006. 100 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- CORREIA, B.; MARIJUAN-PINTÓ, M.; NEVES, L.; BROSSA, R.; DIAS, M.L.; COSTA, A.; CASTRO, B.B.; ARAÚJO, C.; SANTOS, C.; CHAVES, M.M.; PINTO, G. Water stress and recovery in the performance of two Eucalyptus globulus clones: physiological and biochemical profiles. **Physiologia Plantarum**, v.150, n.4, p.580-592, 2014.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).
- FEIKEMA, P.M., MORRIS, J.D., BEVERLY, C.R., COLLOPY, J.J., BAKER, T.G., LANE, P.N.J. Validation of plantation transpiration in south-eastern Australia estimated using the 3PG+ forest growth model. **Forest Ecology and Management**, n.260, p.663– 678, 2010.
- HUNTER, I. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertilizer, at 3 years of age, in southern India. **Forest Ecology and Management**, n. 144, p. 189-199, 2001.
- IBGE. **Pesquisa da Extração Vegetal e da Silvicultura 2017 (PEVS)**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/15f538e9095614fc3204f828b22fa714.pdf> Acesso em: 16 set. 2019.
- IRRIPLUS – IRRIPLUS Tecnologia e Manufatura LTDA. **SOFTWARES EDUCACIONAIS. SOFTWARES EDUCACIONAIS. 2019**. Disponível em: <<http://www.irriplus.com.br/software-educacionais>> Acesso em 22/09/2019.
- LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, n. 95, p. 209-228, 1997.
- LOURENÇO, H.M. **Crescimento e eficiência do uso de água e nutrientes em eucalipto fertirrigado**. 2009. 145 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MADEIRA, M.V.; FABIÃO, A.; PEREIRA, J.S.; ARAÚJO, M.C.; RIBEIRO, C. Changes in carbon stocks in Eucalyptus globulus Labill. plantations induced by different water and nutrient availability. **Forest Ecology and Management**, v.171, p.75–85, 2002.
- MANTOVANI, E.C.; VICENTE, M.R.; ALVES, M.E.B.; BOMFIM NETO, H. Irrigação como fator de qualidade do café. In: ZAMBOLIM, L. **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa: UFV, 2006. p. 117-165.
- MUDRIK, A.S. **Manejo da irrigação por gotejamento em cafeeiros nas condições edafoclimáticas do cerrado do triângulo mineiro**. 2005. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- NUNES, V.V.; BOMFIM NETO, H.; MANTOVANI, E.C.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, L.C.; SOUZA, A.F.; VICENTE, M.R. Incidência e severidade da cercosporiose em cafeeiros irrigados por gotejamento sob diferentes lâminas de irrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 8, 2006, Araguari. **Anais...** 2006. p. 89-93.
- SILVA, G.G.C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes**. 2006. 102 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SOUZA, M.J.H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H.G.; LEITE, F.P.; MINUZZI, R.B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 399-410, 2006.
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.; GOMES, A.N. Water use, water limitation, and water use efficiency in a *Eucalyptus* plantation. **Bosque: Valdivia, Chile**, v. 25, n. 2, p. 35-41, 2004a.
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Eucalyptus production and the supply, use and the efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 193, p. 17-31, 2004b.
- STAPE, J.L.; RYAN, M.G.; BINKLEY, D.; Testing the utility of the 3-PG model for growth of Eucalyptus grandis e urophylla with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, n. 193, p. 219-234, 2004c.
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 920-930, 2008.
- STAPE, J.L., BINKLEY, D., RYAN, M.G., FONSECA, S.R.L., TAKAHASHI, E.N., SILVA, C.R., HAKAMADA, S.R., FERREIRA, J.M., LIMA, A.M., GAVA, J.L., LEITE, F.P., SILVA, G., ANDRADE, H., ALVES, J.M.. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, n.259, v.9, p.1684-1694, 2010.
- TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de Eucalyptus grandis x urophylla**. 2006. 146 p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiróz, Piracicaba, SP.
- TONELLO, K.C.; TEIXEIRA FILHO, J. Respostas fisiológicas de dois clones de eucalipto submetidos a diferentes potenciais hídricos. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL, 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHI, 2007. p. 287-294.
- VALADARES, J.; PAULA, N.F.; PAULA, R.C. Physiological changes in eucalyptus hybrids under different irrigation regimes. **Ciência Agrônômica**, v.45, n.4, p.805-814, 2014.
- VENANCIO, L. P.; CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C. Demanda Hídrica Do Cafeeiro Conilon Irrigado Por Diferentes Sistemas De Irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 767–776, 2016.
- VENANCIO, L.P.; CUNHA, F.F.; MANTOVANI, E.C. Simulação da demanda hídrica do Panicum maximum cv. Mombaça em função da textura do solo e precipitação pluvial em Linhares-ES. **Revista Pensar Acadêmico**, v. 17, n. 1, p. 24-32, 2019.
- VICENTE, M. R., MANTOVANI, E. C., FERNANDES, A. L. T., DELAZARI, F. T., & FIGUEREDO, E. M.. Efeito de diferentes lâminas de irrigação nas variáveis de desenvolvimento e produção do cafeeiro irrigado por pivô central. **Irriga**, v.20, n.3, p.528-543, 2015.
- VILLALOBOS, F.J.; FERERES, E. Evaporation measurements beneath corn, cotton and sunflower canopies. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 1, p. 1153-1159, 1990.
- VILLAR, E., KLOPP, C., NOIROT, C., NOVAES, E., KIRST, M., PLOMION, C., & GION, J. M. RNA-Seq reveals genotype-specific molecular responses to water deficit in eucalyptus. **BMC Genomics**, v. 12, n. 538, p. 1-18, 2011.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p. 184-194, 1981.

REFERENCIAÇÃO

ALVES, M. E. B.; MANTOVANI, E. C.; NEVES, J. C. L.; SEDIYAMA, G. C.; LOURENÇO, H. M. Simulação da produtividade do eucalipto sob diferentes condições de disponibilidade hídrica na região Centro-Leste de Minas Gerais. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.26, n.2, p.327-336, dez 2018.



Eucalyptus yield simulation under different water availability conditions in the Center-East region of Minas Gerais

Maria Emília Borges Alves^{1(*)}, Everardo Chartuni Mantovani², Júlio César Lima Neves², Gilberto Chohaku Sedyama² e Helton Maycon Lourenço³

¹ Embrapa Cerrados. Rodovia BR 020, km 18, CEP 73310-970 Planaltina, DF, Brazil. E-mail: maria.emilia@embrapa.br

² Universidade Federal de Viçosa. Av. P. H. Rolfs, s/n - Campus Universitário, CEP 36.570-900 Viçosa, MG, Brazil. E-mails: mantovani.everardo@gmail.com, julio_n2003@yahoo.com.br and g.sedyama@ufv.br

³ VERACEL Celulose S/A. Eunápolis, BA, Brazil. E-mail: helton.lourenco@veracel.com.br

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 November 2018

Accepted 26 February 2020

Index terms:

IRRIPLUS

3-PG

water needs

planted forests

Eucalyptus

ABSTRACT

The relationships between eucalyptus crop water consumption and soil water availability can contribute to the prediction of the productive potential of forest plantations, generate information for crop management and the definition of favorable regions for its planting, besides offering subsidies for irrigation feasibility studies. The objective of this work was to simulate the water needs of eucalyptus crop and to estimate its productivity, aiming to establish a relationship between productivity and amount of water applied. The simulations used as reference data of climate, soil and culture observed in a eucalyptus growth cycle planted in the experimental area located in the Center-East region of Minas Gerais state. The variables evaluated, total height (Ht), diameter at breast height (DBH), volume (V) and mean annual increment (MAI), presented positive and linear increase with the increase of water availability, presenting relative gains proportional to the increase in applied irrigation depths.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

ALVES, M. E. B.; MANTOVANI, E. C.; NEVES, J. C. L.; SEDIYAMA, G. C.; LOURENÇO, H. M. Simulação da produtividade do eucalipto sob diferentes condições de disponibilidade hídrica na região Centro-Leste de Minas Gerais. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.26, n.2, p.327-336, dez 2018.