

Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden

Hidrogel enables use of reduction of irrigation and improves the initial growth of *Eucalyptus dunnii* Maiden seedlings

Marcio Carlos Navroski¹, Maristela Machado Araujo², Claudimar Sidnei Fior³,
Fernando da Silva Cunha⁴, Álvaro Luís Pasquetti Berghetti⁵ e Mariane de Oliveira Pereira⁶

Resumo

O objetivo desse estudo foi analisar se o hidrogel permite redução do consumo de água de irrigação e a influência sobre o crescimento e a qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii*. Na semeadura foi adicionado o hidrogel (0; 3 e 6 g L⁻¹) ao substrato, os quais constituíram o fator "A" do esquema fatorial. Foi realizada análise das características físicas e químicas do substrato, conforme o tratamento. Quarenta dias após semeadura as mudas foram colocadas em área de pleno sol aplicando-se diferentes lâminas de irrigação (4; 8; 12; 16 e 20 mm dia⁻¹), constituindo o fator "B". O experimento foi realizado em delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições. Após 50 dias em pleno sol foi realizada avaliação de parâmetros morfológicos das mudas. O uso do hidrogel apresentou melhoria das características físicas e químicas do substrato. Na ausência do hidrogel, o maior desenvolvimento das mudas foi obtido com maiores lâminas de irrigação (16 e 20 mm dia⁻¹). O maior crescimento das mudas foi obtido com 3 g L⁻¹ de hidrogel e redução da irrigação (12 mm dia⁻¹). Com a utilização do hidrogel há possibilidade de reduzir as lâminas de irrigação, e conseqüentemente do uso da água, aumentando a qualidade das mudas.

Palavras-chave: Eucalipto, produção de mudas, manejo hídrico, polímero hidrorretentor.

Abstract

The objective of this study was to analyze if hydrogel allows a reduction in water consumption and irrigation and its influence on growth and quality of seedlings of *Eucalyptus dunnii*. The sowing was added to the hydrogel substrate (0, 3 and 6 g L⁻¹), which constituted the factor "A" factorial. Analysis was performed on physical and chemical characteristics of the substrate as treatment. Forty days after sowing the seedlings were placed in an area of full sun and applying different irrigation levels (4, 8, 12, 16 and 20 mm day⁻¹), constituting the factor "B". The experiment was conducted in a randomized block design with four replications. After 50 days in full sun evaluation was performed on the morphological parameters of the seedlings. The use of the hydrogel resulted in improved physical and chemical characteristics of the substrate. In the absence of hydrogel, the best development of seedlings was obtained with higher irrigation (16 and 20 mm day⁻¹). The highest growth was obtained with 3 g L⁻¹ hydrogel and reduced irrigation (12 mm day⁻¹). With the use of hydrogel it is possible to reduce the irrigation and water use, thereby increasing the quality of seedlings.

Keywords: *Eucalyptus*, seedling production, hydric management, polymer hidrorretentor.

INTRODUÇÃO

Para a produção de mudas de espécies florestais, destacando-se as do gênero *Eucalyptus*, uma irrigação adequada aliada a um substrato com

boa aeração e retenção de água são condições essenciais para a formação de mudas de qualidade. Se na irrigação houver excesso de água pode haver consumo desnecessário de água favorecendo a lixiviação de nutrientes, deteriora-

¹Professor do Departamento de Engenharia Florestal. UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina. Av. Luiz de Camoes, 2090 - CEP: 88520000 - Lages, SC. E-mail: marcio.navroski@udesc.br.

²Professor do Departamento de Engenharia Florestal. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. v. Roraima Camobi - CEP: 97105-900 - Santa Maria, RS. E-mail: araujo.maristela@gmail.com.

³Professor Adjunto do departamento de Horticultura e Silvicultura. UFRS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Caixa Postal: 15100 - CEP: 9150970 - Porto Alegre, RS. E-mail: csfior@ufrgs.br.

⁴Engenheiro Florestal. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. v. Roraima Camobi - CEP: 97105-900 - Santa Maria, RS. E-mail: fernando_berasm@yahoo.com.br.

⁵Graduando em Engenharia Florestal. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. v. Roraima Camobi - CEP: 97105-900 - Santa Maria, RS. E-mail: alvaro.berghetti@gmail.com.

⁶Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná. Caixa-postal: 33604211 - CEP: 80210-017 - Curitiba, PR. E-mail: maripereira.florestal@gmail.com.

ção de raízes e contribuir para aparecimento de doenças (PAIVA; GONÇALVES, 2001). Por outro lado, a irrigação insuficiente pode provocar a diminuição do crescimento e o desenvolvimento das plantas e até situações irreversíveis como a morte das mudas (LOPES, 2004). A redução de água na planta afeta diferentes órgãos de diversas formas, onde a consequência mais comum é a redução na taxa de crescimento e menor desenvolvimento foliar (FERREIRA et al., 1999).

A grande quantidade de água requerida para a prática da irrigação, o decréscimo de sua disponibilidade e o alto custo da energia necessária à aplicação têm aumentado o interesse pela racionalização, de forma a minimizar as perdas desse recurso (AZEVEDO, 1999).

Nos viveiros de mudas de espécies florestais, a irrigação por aspersão é o método mais utilizado, apesar de gerar grandes desperdícios, em razão de alguns fatores, tais como, o vento, a má distribuição dos microaspersores e os possíveis espaços vazios (AUGUSTO et al., 2007).

Pesquisas relacionadas ao déficit hídrico e a quantificação da necessidade de água que as espécies necessitam ainda são escassas. Na maioria dos viveiros do Brasil a irrigação ainda é realizada sem conhecimentos científicos adequados quanto a melhor maneira de irrigar e ao uso de métodos para diminuir o consumo de água. A utilização inadequada da irrigação em viveiros florestais acarreta alta mortalidade e, muitas vezes, má formação das mudas, assim, aumentando os custos de produção e plantio (FREITAG, 2007).

Assim, a utilização de polímeros hidrorretentores, também chamados de hidrogéis ou polímeros retentores de água, surge como uma alternativa, no sentido de se obter maior eficiência no uso da água na produção de mudas em viveiros.

Como a maioria das tecnologias, o uso de hidrorretentores, quando mal executado pode prejudicar o desenvolvimento das plantas. Por isso, o seu uso correto depende da realização de pesquisas, pois é necessário que se determine a dose a ser utilizada, as fases do cultivo em que há resposta e a forma de aplicação em relação às variações no manejo. São fatores como estes que devem ser observados para que se maximize o retorno econômico da produção de mudas com o uso desses polímeros (VERVLOET FILHO, 2011).

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi analisar se a presença do hidrogel permite uma redução do consumo de água de irrigação e a influência sobre as características do substrato e

o crescimento, produção e qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), entre janeiro e março de 2013. Conforme a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo 'Cfa'. A temperatura média durante o período de realização do experimento foi de 23,7°C e a umidade relativa do ar de 77,4%.

As sementes de *Eucalyptus dunnii* utilizadas são originárias de Área de Produção de Sementes da empresa Bentec (Rio do Sul - SC), da qual foi feita a aquisição do material. As sementes foram acondicionadas em embalagem de plástico semipermeável (90 micras de espessura) e armazenadas em câmara fria ($T = 8^{\circ}\text{C}$; $UR = 85\%$) por 12 meses.

Para a semeadura foram utilizados tubetes com a capacidade de 110 cm³. Foi utilizado o substrato comercial Carolina Soil®, composto a base de turfa de Sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK. As características descritas para o produto, conforme o fabricante, são: pH=5,0 +/- 0,5; condutividade elétrica=0,7 +/- 0,3 mS cm⁻¹; densidade=101 kg m⁻³; capacidade de retenção de água= 55% e umidade máxima= 60%.

Ao substrato foi realizada a adição da adubação e do polímero hidrorretentor. A adubação de base utilizada foi composta de fertilizante de liberação controlada na formulação NPK 18-5-9, sendo utilizada a dose de 6 g L⁻¹ de substrato. De acordo com o fabricante, o tempo de liberação dos nutrientes é de 4 a 6 meses.

O polímero comercial correspondeu a um produto misto de copolímero de acrilamida (C₃H₅NO) e acrilato de potássio (K₂S₂O₈) usado para absorver e reter grandes quantidades de água e nutrientes, com as seguintes características: pó branco insolúvel em água, com partículas de tamanho que variam de 0,3 a 1,0 mm, aniônico, com 10% de umidade, densidade de 0,8 g cm⁻³ e índice de pH utilizável de 5 a 9, que pode disponibilizar até 95% da solução armazenada para a planta (5% retidos a alta tensão), capaz de absorver até 300 vezes sua massa em água e 100 vezes seu volume.

Para proporcionar uma mistura homogênea do polímero e do fertilizante ao substrato foi

utilizada a porção de 5 litros de substrato a cada mistura. Após as misturas, procedeu-se o preenchimento dos tubetes, dispostos em bandejas e submetidos à mesa vibratória por aproximadamente dez segundos. Buscou-se um preenchimento dos tubetes em aproximadamente 80% do volume máximo possível para evitar extravasamento do substrato, devido à expansão das partículas do hidrorretentor durante a sua hidratação.

Após a semeadura, as bandejas foram levadas à casa de vegetação, sendo que aos 30 dias foi realizado o raleio das mudas, permanecendo a mais vigorosa e centralizada no recipiente. Nessa fase a irrigação foi realizada por uma barra de irrigação composta por aspersores do tipo microaspersão, com uma vazão de oito mm/dia, acionada por um "timer" no início da manhã às 8 h e a última às 17 h, sendo dividido em quatro irrigações diárias.

Dez dias após o raleio das mudas, as bandejas foram colocadas a pleno sol e submetidas às diferentes lâminas de irrigação (dependendo do tratamento) Na casa de vegetação os recipientes ocuparam 100% da capacidade da bandeja e na área a pleno sol 50%, passando da densidade inicial de 400 plantas/m² para 200 plantas/m².

Para a irrigação foram utilizados microaspersores Fabrimar®, modelo Sempreverde grama, com diâmetro dos bocais de 8,34 mm x 6,8 mm e ângulo do jato de 360°, alocados nas extremidades de hastes, formadas com cano PVC de 1,5 m de altura da superfície do solo, atingindo um raio de, aproximadamente 3,6 metros, conforme indicações do fabricante.

Após a instalação do experimento, a cada 30 dias, coletores foram alocados sobre as bandejas contendo as mudas, com a finalidade de monitorar a quantidade de água disponibilizada pelos aspersores. Durante a noite e em períodos de chuva, as mudas foram cobertas com plástico para não haver a influência da precipitação, modificando a quantidade de água sobre as mudas. A frequência de irrigação, a qual normalmente ocorre nos viveiros florestais, em até 5 vezes (a variação é em função do sistema de irrigação), foi definida a partir de Dutra (2012).

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema bifatorial (3x5), sendo os níveis do Fator "A" compostos pelos seguintes níveis: A1 - ausência de hidrogel, A2 - 3 g de hidrogel L⁻¹ de substrato e A3 - 6 g de hidrogel L⁻¹ de substrato. Os Níveis do fator "B" foram constituídos por diferentes lâminas de irrigação B1 - 4 mm dia⁻¹, B2 - 8 mm dia⁻¹, B3

- 12 mm dia⁻¹, B4 - 16 mm dia⁻¹ e B5 - 20 mm dia⁻¹, perfazendo 15 tratamentos. Cada repetição foi composta por 24 mudas, sendo utilizadas para avaliação as nove plantas centrais de cada parcela.

Aos 90 dias após semeadura, quando as mudas apresentavam-se na faixa adequada para o plantio (25 cm de altura e diâmetro de coleto com mínimo de 2,0 mm), foi realizada avaliação das seguintes variáveis: altura em centímetros (H), diâmetro do colo em milímetros (DC), relação altura/diâmetro do colo (H/DC), massa seca da parte aérea em gramas (MSPA), massa seca radicular em gramas (MSR), massa seca total em gramas (MST). Também foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson - IQD (DICKSON et al., 1960).

A caracterização física e química dos substratos com as respectivas misturas de hidrorretentor, conforme os tratamentos, foi realizada no Laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, conforme a Instrução Normativa n° 17 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007) e Fermino (2003).

Dentre os atributos físicos relativos à densidade e umidade do substrato foram avaliadas a densidade úmida - DU (kg m⁻³); densidade seca - DS (kg m⁻³) e a umidade atual - UA (%). As determinações do espaço de aeração e água disponível foram realizadas através do uso de funis de tensão, com 0, -10, -50 e -100 hPa (FERMINO, 2003). A partir dessas análises foram calculadas: a porosidade total (PT); o Espaço de Aeração (EA); a Água Facilmente Disponível (AFD); a Água Tamponante (AT); a Água Disponível (AD); Água Remanescente (AR 100); e a Capacidade de Retenção de Água nas diferentes tensões (CRA).

Os atributos químicos analisados foram a condutividade elétrica e o pH, com o uso de condutímetro e potenciômetro (pHmetro), respectivamente. Para ambas as determinações utilizou-se a diluição de 1:5 (v/v), com água deionizada.

Foram também realizadas análises de pH, de condutividade elétrica e de teor total de sais solúveis (TTSS) em amostras de areia lavada com a adição do hidrogel (em cada dosagem), objetivando que servisse como parâmetro. O pH e a condutividade elétrica foram analisadas da mesma forma que o substrato. Já o teor total de sais solúveis (TTSS) das amostras foi determinado através de cálculo, considerando a CE (mS cm⁻¹) e a densidade do material, em sus-

persão areia:água deionizada na proporção de 1:10 (m/v), expressa como teor de KCl (RÖBER; SCHALLER, 1985).

Após avaliar a normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade de variâncias por meio do teste de Bartlett, os dados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. As lâminas de irrigação foram consideradas como tratamentos qualitativos devido à irrigação ser feita em diferentes frequências no dia, considerando-se assim, como em que a planta pode ter respondido de forma diferente a cada momento de irrigação diária. O pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011) foi utilizado para a análise estatística dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que a exceção da densidade seca, todos os demais atributos físicos e químicos avaliados apresentaram efeito significativo em razão das dosagens do hidrogel adicionado ao substrato (Tabela 1).

Tabela 1. Análise do substrato comercial (Carolina Soil®) na presença e ausência de hidrogel utilizado para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Table 1. Analysis of commercial substrate (Carolina Soil®) in the presence and absence of hydrogel used for the production of *Eucalyptus dunnii*.

Atributos analisados	Hidrogel (g L ⁻¹)		
	0 g L ⁻¹	3 g L ⁻¹	6 g L ⁻¹
DU (kg m ⁻³)	211,93 b*	233,80 a	237,60 a
DS (kg m ⁻³)	113,62 ^{ns}	113,50 ^{ns}	110,29 ^{ns}
UA (%)	46,38 c	51,45 b	53,58 a
PT (%)	80,81 c	90,50 b	98,00 a
EA (%)	25,33 a	24,82 a	19,35 b
AD (%)	22,61 c	25,76 b	33,31 a
AFD (%)	19,07 c	22,91 b	28,23 a
AT (%)	3,54 b	4,67 a	5,08 a
AR (%)	32,86 c	39,91 b	45,33 a
pH	4,87 c	5,66 b	6,31 a
CE (mS cm ⁻¹)	0,46 b	0,48 b	0,59 a

DU = densidade úmida; DS = densidade seca; UA = Umidade Atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AD = água disponível; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, 50 e 100 = capacidade de retenção de água sob sucção de 10, 50 e 100 cm de coluna de água; CE = condutividade elétrica.

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A densidade úmida (DU) foi maior com adição do hidrogel, não diferenciando entre as doses 3 e 6 g L⁻¹, mas diferindo da ausência. A densidade seca (DS) não apresentou variação com o

hidrogel. Já a umidade atual (UA) aumentou significativamente à medida que se elevou a dose do polímero. O aumento da DU e da UA é esperado devido à hidratação do hidrogel sob pequena disponibilidade de água já presente no substrato.

A porosidade total aumentou com a adição do hidrogel, principalmente na maior dose utilizada (6 g L⁻¹). Todos os tratamentos apresentaram valores adequados conforme os valores indicados por Gonçalves e Poggiani (1996), acima de 75%. De acordo com De Boodt e Verdonck (1972), um substrato considerado ideal deve apresentar porosidade total de, pelo menos, 85%. Desta forma, os tratamentos com adição de hidrogel apresentam as melhores características para este atributo.

Esse aumento da porosidade com a adição do hidrogel ocorreu provavelmente devido a formação de pequenos grânulos de partículas de substrato com o hidrogel, compondo partículas maiores. Entretanto, o uso dessa variável pode ter sido comprometido pela dificuldade em se analisar as amostras em função da presença do gel hidratado.

Quanto ao EA (%), que é a diferença entre a porosidade total e o volume de água retida na tensão de 10 hPa, praticamente todos os tratamentos encontram-se de acordo com os considerados ideais (20-30%) por De Boodt e Verdonck (1972), mesmo havendo a diminuição com o aumento da dosagem do hidrogel. O espaço de aeração é caracterizado como volume de macroporos preenchidos com ar, em condições de saturação hídrica e após livre drenagem. Dessa forma, essa diminuição do EA (%) com o hidrogel é provavelmente causado pelo preenchimento dos maiores poros com o polímero expandido com água.

Quanto à água disponível (AD), água facilmente disponível (AFD), água tamponante (AT) e água remanescente (AR) a adição do hidrogel provocou aumento dos níveis em todos os atributos, mostrando que o hidrogel aumenta a disponibilidade de água no substrato. Segundo Abad et al. (1993), em condições ótimas, o substrato ideal deve apresentar entre 20 e 30% de água facilmente disponível (AFD), entre 4 e 10% de água tamponante (AT) e entre 24 e 40% de água disponível (AD) para as plantas. Para todos estes atributos, a presença do hidrogel proporcionou faixa mais adequada em comparação ao substrato sem o hidrogel. Segundo Zannetti (2003), o aumento da disponibilidade de água no substrato reduz a quantidade de água na irrigação, ou a frequência de irrigação.

Para a capacidade de retenção de água, em todas as colunas de succões avaliadas, houve aumento da retenção com a elevação da dose do hidrogel adicionado ao substrato (Figura 1). O substrato com menor capacidade de retenção de água exige maior aplicação de água em cada irrigação, ou que seja aumentada a frequência da mesma (WENDLING et al., 2006). Com a maior capacidade de retenção de água alcançada com o aumento da quantidade de hidrogel, há a necessidade de maior controle de irrigação, com o intuito de evitar o encharcamento, fato que também pode ser prejudicial ao crescimento das mudas.

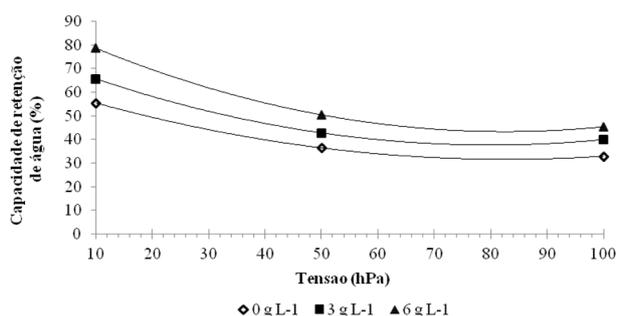


Figura 1. Curva característica de retenção de água do substrato comercial Carolina Soil® em diferentes dosagens do hidrogel submetido às tensões 10, 50 e 100 hPa.

Figure 1. Characteristic water retention of the commercial substrate Carolina Soil® at different doses of the hydrogel subjected to stresses 10, 50 and 100 hPa.

O excesso hídrico que pode haver com doses muito elevadas do hidrogel no substrato ocasiona a diminuição da pressão de oxigênio (hipoxia) ou a falta total ou parcial do mesmo (anoxia), dificultando a respiração das plantas e consequentemente, diminuindo a produção de energia necessária para a síntese e translocação dos compostos orgânicos e a absorção ativa dos mesmos. A falta de oxigênio nas raízes também provoca a redução na fotossíntese e prejudica a conversão da matéria orgânica, pelos microrganismos, em formas solúveis que a planta pode reutilizar. Ocorrendo, portanto, menor crescimento das plantas (REGO et al., 2004).

O pH aumentou com o acréscimo da dose do hidrogel, diferenciando entre as dosagens. A condutividade elétrica (CE) também aumentou com o hidrogel, entretanto a ausência do hidrogel e a dose 3 g L⁻¹ não apresentaram diferença. A elevação do pH com a adição do hidrogel é devido ao efeito alcalino do hidrogel. A análise de pH em areia lavada indicou o valor de 6,02 na ausência de hidrogel, 6,99 com 3 g L⁻¹ e 8,93 com 6 g L⁻¹. O pH encontrado para o substrato com adição do hidrogel está dentro do limite

considerado adequado, o qual segundo Gonçalves e Poggiani (1996), para as espécies florestais, varia entre 5,5 e 6,5. Na ausência do hidrogel, o pH encontrado ficou um pouco abaixo do considerado ideal.

O aumento da condutividade elétrica é devido possivelmente à retenção de água, e consequentemente de nutrientes, devido a menor lixiviação, o que causa a elevação do teor de sais no substrato. O aumento da condutividade também pode ser devido ao potencial salino do polímero, o qual foi observado na análise química em areia lavada. As amostras sem hidrogel praticamente não apresentaram sais nas amostras (CE: 0,01 mS cm⁻¹ e TTSS: 0,037 g L⁻¹), entretanto, com a adição do hidrogel, o teor de sais aumentou com a dose 3 g L⁻¹ (CE: 0,067 mS cm⁻¹ e TTSS: 0,290 g L⁻¹) e elevou-se ainda mais na maior dose do hidrogel (CE: 0,243 mS cm⁻¹ e TTSS: 0,587 g L⁻¹).

A mensuração da condutividade elétrica é importante no cultivo de plantas, uma vez que é um fator limitante da disponibilidade de água e efeitos sobre a absorção de nutrientes pelas plantas (COSTA et al., 2001). Em geral, para as espécies florestais, a condutividade elétrica deve estar entre 1,5 a 3,0 mS cm⁻¹ (KRATZ; WENDLING, 2013). Valores acima desse limite podem refletir em efeitos tóxicos, gerando problemas de pressão osmótica, inviabilizando a absorção de nutrientes (SANTANA et al., 2003). Os resultados encontrados para o substrato estão bem abaixo desta faixa, entretanto como a análise foi realizada somente com a adubação presente no substrato comercial, com a adubação adicionada os valores tendem a aumentar em função da dose do fertilizante utilizada (análise não realizada).

Em relação ao crescimento inicial das mudas, a análise de variância mostrou que houve interação entre os fatores principais (doses de hidrogel e lâminas de irrigação) para as variáveis: altura ($p < 0,001$), diâmetro do coleto ($p < 0,0001$), massa seca da parte aérea - MSPA ($p = 0,038$), massa seca radicular - MSR ($p = 0,002$), massa seca total - MST ($p = 0,021$) e índice de qualidade de Dickson - IQD ($p < 0,0001$) (Tabelas 2 e 3). Para a relação altura/diâmetro de coleto (H/DC) houve efeito significativo somente para o fator lâminas de irrigação ($p < 0,0001$) (médias apresentadas no texto).

A altura e o diâmetro do coleto das mudas apresentaram um comportamento diferenciado quando se fez o uso de diferentes dosagens do

hidrogel e diferentes lâminas de irrigação (Tabela 2), mostrando que estas variáveis morfológicas são influenciadas pelos dois fatores em conjunto. Na ausência do hidrogel a maior altura das mudas foi obtida com a lâmina de 20 mm diários, não diferenciando das lâminas 12 e 16 mm dia⁻¹. A menor altura das mudas foi com o uso de 4 e 8 mm não diferenciando entre si.

Em relação ao diâmetro do coleto, na ausência de hidrogel, a maior média foi obtida com a lâmina 16 mm dia⁻¹, não diferenciando de 20 mm dia⁻¹. A lâmina 4 mm dia⁻¹ apresentou a menor média, diferenciando das demais lâminas de irrigação. Pode-se estabelecer que, para um bom desenvolvimento em altura das mudas de *Eucalyptus dunnii* aos 90 dias de idade, é necessário o uso de uma lâmina de irrigação mínima de 12 mm dia⁻¹.

Este resultado é corroborado por Lopes et al. (2005), no qual as lâminas de irrigação 12 e 14 mm dia⁻¹ foram as que mais contribuíram para o desenvolvimento das mudas de *Eucalyptus grandis*, destacando-se que a lâmina máxima testada foi 14 mm dia⁻¹ e com tendência ao aumento da altura com aumento da lâmina, conforme observa-se a equação. Segundo os resultados obtidos pelos autores e por este experimento, percebe-se que há uma demanda muito alta por água pelas mudas, podendo-se não atingir o limite máximo de crescimento das mudas com os níveis de irrigação testados.

O menor crescimento das mudas nas menores lâminas de irrigação deve-se provavelmente a quantidade insuficiente de água para as mudas de *Eucalyptus dunnii*. A quantidade insuficiente de água proporciona uma redução da reserva útil no substrato, prejudicando as plantas e aumentando os custos da água aplicada (PEREIRA et al., 1997). Para Lopes (2004), a deficiência hídrica

também gera redução da atividade fotossintética, conjuntamente com a diminuição do volume celular e o declínio da turgescência. Além disso, o déficit hídrico reduz bruscamente as atividades fisiológicas ligadas à divisão e ao crescimento das células, ou seja, reduz o crescimento das plantas. Entretanto, deve-se tomar cuidado na utilização excessiva da irrigação, a qual pode proporcionar lixiviação de nutrientes, fator que também pode prejudicar o crescimento das mudas, fato já descrito por Lopes et al. (2007).

A maximização do desenvolvimento em altura e diâmetro do coleto das mudas pode ser obtida com a utilização de hidrogel e lâminas de irrigação adequadas. No uso de 3 g L⁻¹ de hidrogel a maior altura e DC das mudas foi obtido com a lâmina de irrigação 12 mm dia⁻¹ (Tabela 2), diferenciando das demais lâminas de irrigação. Este ganho em altura e diâmetro de coleto pode ser devido a maior retenção de água, havendo boa disponibilidade a planta, mas não em excesso. Este excesso também pode provocar uma diminuição do crescimento, fato que foi observado com o uso das maiores lâminas de irrigação.

Diminuição ainda maior da quantidade de água via irrigação pode ser possível com o uso de 6 g L⁻¹ de hidrogel. Neste caso, a lâmina de irrigação 8 mm dia⁻¹ pode ser utilizada sem apresentar diferença em altura em relação as lâminas 12 e 16 mm dia⁻¹. O uso de 6 g L⁻¹ de hidrogel com a menor (4 mm dia⁻¹) e maior (20 mm dia⁻¹) lâminas de irrigação ocasionou diminuição da altura, diferenciando das demais. Em relação ao diâmetro do coleto, as lâminas 12 e 16 mm dia⁻¹ apresentaram os maiores valores, diferenciando significativamente das demais lâminas.

Desta maneira, mesmo o uso da maior dose do hidrogel, há a necessidade de uma lâmina de irrigação de no mínimo 8 mm dia⁻¹ para a ma-

Tabela 2. Altura (cm) e diâmetro de coleto (mm) de *Eucalyptus dunnii* em função das doses de hidrogel e diferentes lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.

Table 2. Height (cm) and diameter of collectors (mm) of *Eucalyptus dunnii* depending on the doses of hydrogel and different irrigation levels at 90 days after sowing.

Variável	Lâmina de irrigação (mm dia ⁻¹)	Hidrogel		
		0 g L ⁻¹	3 g L ⁻¹	6 g L ⁻¹
Altura (cm)	4 mm	24,68 Bb*	30,06 Ab	28,97 Ab
	8 mm	26,52 Bb	30,87 Ab	32,55 Aa
	12 mm	28,78 Ba	35,35 Aa	34,48 Aa
	16 mm	29,03 Aa	32,27 Ab	32,71 Aa
	20 mm	30,03 Aa	32,62 Ab	29,78 Ab
DC (mm)	4 mm	2,25 Bc*	2,90 Ab	3,01 Ab
	8 mm	2,54 Bb	2,85 Ab	2,93 Ab
	12 mm	2,79 Bb	3,45 Aa	3,36 Aa
	16 mm	3,14 Aa	3,27 Aa	3,20 Aa
	20 mm	2,98 Aa	2,87 Ab	2,90 Ab

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

ximização do crescimento em altura e diâmetro do coleto. Diversos trabalhos mostram que a relação de crescimento das mudas, principalmente em relação à altura e diâmetro é influenciada pelo regime hídrico. Tatagiba et al. (2009), estudando seis clones comerciais de *Eucalyptus* spp. em resposta à disponibilidade de água, verificaram que a deficiência hídrica restringiu o crescimento em altura e diâmetro das mudas dos clones estudados.

Observando-se a interação relativa ao fator hidrogel nas diversas lâminas de irrigação (Tabela 2), a altura das mudas foi maior com o uso das dosagens 3 e 6 g L⁻¹ nas lâminas 4, 8 e 12 mm dia⁻¹ diferenciando da ausência do hidrogel, a qual apresentou menores médias de altura. Já nas maiores lâminas de irrigação (16 e 20 mm dia⁻¹) não houve diferença estatística entre o uso do hidrogel, independente da dose utilizada. O diâmetro do coleto apresentou comportamento similar à altura, exibindo diferença entre as médias com o uso do hidrogel nas lâminas 4, 8 e 12 mm dia⁻¹. Nestas lâminas de irrigação foi observada maior média com o uso hidrogel, mesmo na dose 3 g L⁻¹.

A relação H/DC apresentou diferença em relação às lâminas de irrigação. A menor relação H/DC foi obtida com as lâminas 4 e 8 mm dia⁻¹ (9,29 e 9,88 respectivamente), e a maior relação com a lâmina 20 mm dia⁻¹ (11,80) diferenciando significativamente das demais médias.

Comportamento semelhante foi encontrado em trabalho relacionado com diferentes lâminas de irrigação na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*. Lopes et al. (2005) observaram, para a relação H/DC, o aumento desse parâmetro à medida que aumentava a lâmina de irrigação, em proporções constantes até 12 mm dia⁻¹ (11,1), a partir de então, o aumento na relação H/DC ocorreu em índices menores, alcançando 11,91 com a lâmina de 14 mm dia⁻¹.

A menor relação H/DC nos tratamentos com as lâminas de irrigação 4 e 8 mm dia⁻¹ pode ser atribuída a menor taxa de crescimento em altura das mudas em relação ao diâmetro do coleto, nos casos em que há baixa disponibilidade de água para a planta. Estudos realizados por Silva et al. (2010), em plantas jovens de *Erythrina velutina* revelaram que o crescimento em altura foi bastante afetado por variações nos regimes hídricos, sendo o diâmetro de coleto menos sensível a estas variações.

Em relação à massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) observa-se a interação entre as lâminas de irrigação e as doses do hidrogel. Na ausência do hidrogel, as maiores médias de MSPA, MSR e MST foram obtidas com as lâminas de irrigação 12, 16 e 20 mm dia⁻¹, diferenciando das lâminas 4 e 8 mm dia⁻¹, as quais obtiveram as menores médias (Tabela 3).

Tabela 3. Médias de massa seca da parte aérea - MSPA (g), massa seca radicular - MSR (g), massa seca total - MST (g) e Índice de Qualidade de Dickson - IQD de mudas de *Eucalyptus dunnii* em função das doses de hidrogel e diferentes lâminas de irrigação, aos 90 dias após semeadura.

Table 3. Mean dry weight of shoot - MSPA (g), root dry mass - MSR (g), total dry matter - MST (g) and Dickson Quality Index - IQD of *Eucalyptus dunnii* depending on the doses of hydrogel and different irrigation levels at 90 days after sowing.

Variável	Lâmina de irrigação (mm dia ⁻¹)	Hidrogel		
		0 g L ⁻¹	3 g L ⁻¹	6 g L ⁻¹
MSPA (g)	4 mm	1,32 Bb*	1,65 Ab	1,81 Ab
	8 mm	1,49 Bb	1,89 Aa	1,97 Aa
	12 mm	1,82 Ba	2,12 Aa	2,17 Aa
	16 mm	1,80 Aa	1,97 Aa	2,09 Aa
	20 mm	1,95 Aa	2,05 Aa	2,07 Aa
MSR (g)	4 mm	0,3492 Bb	0,4788 Ab	0,4988 Ab
	8 mm	0,3514 Bb	0,4528 Ab	0,5086 Ab
	12 mm	0,3806 Ba	0,5721 Aa	0,6040 Aa
	16 mm	0,3986 Ba	0,5449 Aa	0,5624 Aa
	20 mm	0,3941 Ba	0,4495 Bb	0,5099 Ab
MST (g)	4 mm	1,66 Bb	2,12 Ab	2,21 Ab
	8 mm	1,80 Bb	2,34 Aa	2,47 Aa
	12 mm	2,12 Ba	2,69 Aa	2,77 Aa
	16 mm	2,29 Aa	2,42 Aa	2,58 Aa
	20 mm	2,24 Ba	2,60 Aa	2,61 Aa
IQD	4 mm	0,1225 Ba	0,1650 Ab	0,1617 Ab
	8 mm	0,1287 Ba	0,1800 Aa	0,1650 Ab
	12 mm	0,1325 Ba	0,1851 Aa	0,1925 Aa
	16 mm	0,1275 Ba	0,1775 Aa	0,1700 Aa
	20 mm	0,1250 Ba	0,1725 Aa	0,1825 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

O IQD não apresentou diferença estatística em relação às lâminas de irrigação na ausência do polímero hidrorretentor. Estes resultados são corroborados por Lopes et al. (2007), no qual os autores verificaram que houve incremento da MSPA, MSR e MST conforme o aumento da lâmina. A menor produção de massa da parte aérea e radicular nas menores lâminas de irrigação deve ser atribuída provavelmente a baixa disponibilidade hídrica à planta. Segundo Larcher (2000), a insuficiência hídrica afeta o estado nutricional dos vegetais, pois reduz ou cessa a absorção de elementos minerais, que são componentes integrantes de enzimas, pigmentos ou ativadores do processo fotossintético. Além disso, segundo o autor, o aporte nutricional das plantas pode interferir negativamente na sua morfogênese, ou seja, no crescimento, tamanho e estrutura das folhas, nos ramos e nas raízes, provocando assim a diminuição da biomassa das plantas.

Com o uso do hidrogel, independente do uso de 3 ou 6 g L⁻¹, a MSPA apresentou o menor valor com a lâmina 4 mm dia⁻¹, diferenciando das demais lâminas. Neste caso, é possível observar que há aumento da MSPA com menores lâminas de irrigação em comparação a ausência do hidrogel. Este resultado pode indicar que com o uso do hidrogel é possível haver redução das lâminas de irrigação na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Em relação às dosagens de hidrogel com o uso de diferentes lâminas de irrigação, as maiores médias de MSPA foram alcançadas com o uso de 3 e 6 g L⁻¹ nas menores lâminas de irrigação (4, 8 e 12 mm dia⁻¹), deixando de existir diferença com o uso das lâminas 16 e 20 mm dia⁻¹. Este resultado indica que o hidrogel apresenta vantagem na utilização quando se fez uso de menor quantidade de água para irrigação. O uso de lâminas maiores de irrigação pode dispensar o uso do polímero, pois neste caso a presença do polímero pode influenciar negativamente na qualidade das mudas.

A MSR na presença do hidrogel, independente da dose, foi maior com as lâminas 12 e 16 mm dia⁻¹. A maior lâmina de irrigação (20 mm) e o uso do hidrogel provocaram a diminuição da massa seca radicular, provavelmente em função do excesso de umidade no substrato, diminuindo a oxigenação das raízes e conseqüentemente o desenvolvimento radicular. Em condições de excesso, a água ocupa todo o espaço poroso, re-

duz as trocas gasosas e pode propiciar condições anaeróbicas em torno das raízes. Esta situação diminui a respiração e limita a fotossíntese favorecendo, ainda, o aparecimento de doenças nas plantas. Sob altas temperaturas o excesso de água é ainda mais problemático, pois aumenta a taxa respiratória da raiz (PEREIRA; MARTINEZ, 1999). A MST (MSPA + MSR), que é composta principalmente pela MSPA, apresentou resultado igual a esta variável, ou seja, somente a lâmina 4 mm apresentou média inferior a demais, diferenciando significativamente, tanto com o uso de 3 ou 6 g L⁻¹.

Em relação ao Índice de Qualidade de Dickson, na utilização de 3 g L⁻¹ de hidrogel, as maiores médias foram observadas a partir da lâmina de irrigação 8 mm dia⁻¹. A lâmina 4 mm dia⁻¹ apresentou o menor IQD, diferenciando das demais. Na utilização de 6 g L⁻¹ de hidrogel as lâminas 4 e 8 mm dia⁻¹ apresentaram as menores médias, diferindo das lâminas com maior irrigação. A presença do hidrogel (3 e 6 g L⁻¹) apresentou diferença nas médias em comparação à ausência (0 g L⁻¹) em todas as lâminas de irrigação. Isto representa que o uso do hidrogel apresentou benefício às mudas em todas as lâminas de irrigação utilizadas, considerando-se o IQD como parâmetro.

De acordo com Gomes et al. (2002), quanto maior o IQD, melhor a qualidade das mudas, podendo-se assim constatar a elevada qualidade das mudas produzidas, considerando que os melhores valores foram entre 0,18 e 0,19, valores obtidos na presença do hidrogel e lâminas intermediárias de irrigação.

CONCLUSÕES

O hidrogel possibilita a melhoria das características físicas e químicas do substrato, principalmente as relacionadas à retenção de água. O uso de 3 g L⁻¹ do hidrogel misturado ao substrato reduz o uso de irrigação para 12 mm dia⁻¹, enquanto que sem a adição do polímero são necessários entre 16 a 20 mm dia⁻¹ na irrigação de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, M.; MARTINEZ, P. F.; MARTINEZ, J. Evaluación agrónomica de los substratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, Villaviciosa, v. 11, p. 141-154, 1993.

- AUGUSTO, D. C. C.; GUERRINI, I. A.; ENGEL, V. L.; ROUSSEAU, G. X. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 745-751. 2007.
- AZEVEDO, H. J. Influência de elementos do clima e da pressão de operação do aspersor no desperdício de água, em um sistema de irrigação por alta pressão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 4, p. 53-62, 1999.
- COSTA, P. C.; DIDONE, E. B.; SESSO, T. M.; CAÑIZARES, K. A. L.; GOTO, R. Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção de alface em hidroponia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 595-597. 2001.
- DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 26, p. 37-44, 1972.
- DICKSON, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v.36, p.10-13, 1960.
- DUTRA, A. F. **Produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan e *Luehea divaricata* Mart. et Zucc. em diferentes substratos e lâminas de irrigação.** 2012. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização de física de substratos.** 89 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- FERREIRA, C. A. G.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, L. R. Relações Hídricas em Mudanças de *Eucalyptus citriodora* Hook., em Tubetes, Aclimatadas por Tratamentos Hídricos. **Cerne**, v. 5, n. 2, p. 95-104, 1999.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FREITAG, A. S. **Frequências de irrigação para *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliotti* em viveiro.** 2007. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. C.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655-664. 2002.
- GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substrato para produção de mudas.(Compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais... Águas de Lindóia**: SBSCS/SLCS, 1996.
- KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dununii* em substratos renováveis. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 125-136, 2013.
- LARCHER, W. O balanço de carbono das plantas. In: _____. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. p. 69-182.
- LOPES, J. L. W. **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação.** 2004. 128 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
- LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 835-843, 2007.
- LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; SILVA, M. R. Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 68, p. 97-106, 2005.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa SDA N.º 17. Diário Oficial da União- Seção 1, n.º 99, 24 de maio de 2007. **Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo**. Brasília, 2007.
- PAIVA, H. N.; GONÇALVES, W. **Produção de mudas.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 149 p. (Coleção Jardinagem e Paisagismo. Série Arborização Urbana, 1).
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. 83 p.

- PEREIRA, P. R. G.; MARTINEZ, H. E. P. Produção de mudas para o cultivo de hortaliças em solo e hidroponia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 24-31, 1999.
- REGO, J. L.; VIANAT, V. A.; AZEVEDO, B. M.; BASTOS, F. G. C.; GONDIM, R. S. Efeitos de níveis de irrigação sobre a cultura do crisântemo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, n. 35, p. 302-308, 2004.
- RÖBER, R.; SCHALLER, K. **Pflanzenernährung im Gartenbau**. Stuttgart: Ulmer, 1985. 352p.
- SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SILVA, É. L.; MIGUEL, D. S. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 43-50, 2003.
- SILVA, E. C.; SILVA, M. F. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B. Growth evaluation and water relations of *Erythrina velutina* seedlings in response to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 22, n. 4, p. 225-233, 2010.
- TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F.; PENCHEL, R. M. Desempenho de clones de eucalipto em resposta a disponibilidade de água no substrato. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 179-189, 2009.
- VERVLOETFILHO, R. H. **Utilização de hidrorretentor em substrato semi-saturado na produção de mudas de eucalipto**. 2011. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. **Produção de mudas de espécies lenhosas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. (Documentos, 130)
- ZANETTI, M. Efeito de diferentes concentrações de citocinina na brotação de gemas de laranja Valência sobre limoeiro Cravo e citrumeleiro Swingle. **Brazilian Journal of Plant of Plant Physiology**, Campinas, v. 15, p. 223, 2003.

Recebido em 02/06/2014
Aceito para publicação em 12/02/2015