

ANA PAULA VILELA CARVALHO

**PRODUTIVIDADE DE MINICEPAS DE EUCALIPTO SOB APLICAÇÃO DE  
CO<sub>2</sub> VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2015

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

C331p  
2015

Carvalho, Ana Paula Vilela, 1984-  
Produtividade de minicepas de eucalipto sob aplicação de  
CO<sub>2</sub> via água de irrigação / Ana Paula Vilela Carvalho. –  
Viçosa, MG, 2015.  
xi, 69f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Aristides Ribeiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Eucalipto - Propagação. 2. *Eucalyptus globulus*.  
3. Dióxido de carbono. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de  
Pós-graduação em Meteorologia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 634.9283

ANA PAULA VILELA CARVALHO

**PRODUTIVIDADE DE MINICEPAS DE EUCALIPTO SOB APLICAÇÃO DE  
CO<sub>2</sub> VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

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

APROVADA: 07 de julho de 2015.

---

Prof. Aloisio Xavier  
(Coorientador)

---

Prof. Sérgio Zolnier

---

Prof. Ivo Ribeiro da Silva

---

Dr. Fernando Palha Leite

---

Prof. Aristides Ribeiro  
(Orientador)

“Não sei se a vida é curta ou longa para nós, mas sei que nada do que vivemos tem sentido, se não tocarmos o coração das pessoas.

Muitas vezes basta ser:

colo que acolhe,  
braço que envolve,  
palavra que conforta,  
silêncio que respeita,  
alegria que contagia,  
lágrima que corre,  
olhar que acaricia,  
desejo que sacia,  
amor que promove.

E isso não é coisa de outro mundo,  
é o que dá sentido à vida.  
É o que faz com que ela não seja nem curta,  
nem longa demais,  
mas que seja intensa,  
verdadeira,  
pura enquanto durar.”

(Cora Coralina)

Aos meus queridos pais, meus exemplos de vida, obrigada por todo amor e incentivo.

Dedico a concretização desse trabalho, a vocês, com imenso amor e carinho.

Dedico, também, à tia Elzira Carvalho e à D. Iêda Feres (in memoriam). Obrigada pelos incentivos, pelo carinho e amor que sempre tiveram comigo. Saudades eternas!

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, fortalecimento e por abençoar e iluminar diariamente os meus passos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Às empresas Fibria e Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA), pelo apoio financeiro e a esta última, também, pela disponibilização de material genético (clones).

À Universidade Federal de Viçosa pelo aprendizado, oportunidades e vivências ao longo dos onze anos de estudos cursados durante a graduação, mestrado e doutorado.

Ao Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Campus Muriaé, em especial aos colegas de trabalho e queridos alunos pelo apoio.

Ao Professor Aristides Ribeiro pela orientação, apoio e oportunidade do desenvolvimento da pesquisa junto ao grupo de pesquisas: Sistemas e Modelos em Biomass Agrícolas e Florestais- Biomodel.

Ao Professor Aloísio Xavier pelo apoio, contribuições e disponibilidade de equipamentos e estruturas do Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal-UFV.

Ao Professor Sérgio Zolnier, Professor Ivo Ribeiro, Dr. Fernando Palha Leite e ao Dr. Reginaldo Gonçalves Mafia pelas sugestões e contribuições.

À Professora e amiga, Francisca Zenaide de Lima pelo apoio, amizade e conselhos.

Ao Professor Hélio Garcia Leite pelo apoio e contribuições.

Ao amigo, Marcel Carvalho, pelo auxílio nas análises estatísticas.

À família pelo apoio. Aos meus queridos pais, Tadeu e Cidinha, pelo amor, incentivo e carinho. Aos meus irmãos Wellyngton e Carol que, também, sempre estiveram ao meu lado, apoiando e torcendo por mim. Vocês são meus exemplos de vida.

Agradeço de coração à equipe da pesquisa: Elias José Pedroso, Jamille Cruz, Bruna Botelho, Anyelle Viana, Robert Barbosa, Daniela Costa pelo apoio na realização da pesquisa e coleta de dados. E, também, ao meu namorado, Thiago

Feres, pelo companheirismo e apoio junto à equipe nas atividades da pesquisa no viveiro.

Ao Alex Ferreira de Freitas agradeço pelo apoio e sugestões no manejo do minijardim clonal.

Aos funcionários do Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal: Josimar, Sr. João, Sr. Ivo, Sr. João, Maurício.

À Professora Cássia Carneiro e ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira-LAPEM pela disponibilidade de estufas e ao Laboratório de Sementes-DEF/UFV pela disponibilidade do pHmetro.

Aos amigos do grupo do Biomodel: Aline Oliveira, Aloisio Oliveira, Andreia Klippel, Carla Raphaela Araújo Silva, Darlon, Elias José Pedroso, Julyana Cristina Cândido Viana, Luciano Pimenta, Luiz Felipe Fontes, Robert Barbosa, Mariana Reis, Mariana Magalhães, Marshal, Valéria Klippel, Vitor Hugo Breda Barbosa, Yhasmin Rody.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola-DEA/UFV, Claudenilson, Galinari, Sr. Hamilton Reis, Rodolfo, Simão e em especial à Graça Freitas pela dedicação e apoio.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Agrícola-DEA/UFV: Alex Silva, Álvaro Avilâ, Carolina Jaramillo, Cristian Zuluaga, Dayanne Brumatti, Gabrielle Pires, Gila Abílio João, João Vitor Toledo, Laura Thebit, Manuel Talacuece, Marcel Carvalho, Marcela Lúcia Barbosa, Maria Gabriela Queiroz, Marine Grossi, Mauricio Paulo, Mônica Tavares, Poliana de Caldas, Vágna Costa.

À amiga e conterrânea, Angélica Souza da Mata, pela amizade e apoio nos onze anos de convivência em Viçosa.

À querida amiga, Glauciana da Mata Ataíde, pela amizade, companheirismo e por estar sempre me apoiando.

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes nos momentos de estudos, alegrias e, também, nos momentos difíceis. Aos amigos do Departamento de Engenharia Florestal-DEF/UFV: Ana Flávia Neves, Elisa Oliveira, Glauciana da Mata Ataíde, Jannaina Oliveira Almeida, Júlia Melo Franco, Livia Goulart, Regina Gomes, Renato Castro.

A todos que colaboraram para a realização e concretização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos!

## **BIOGRAFIA**

ANA PAULA VILELA CARVALHO, filha de Antonio Tadeu Carvalho e Aparecida Vilela Moraes Carvalho, nasceu em 3 de outubro de 1984, em Campo Belo, Minas Gerais.

Em 2004, iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em janeiro de 2009.

Em 2009, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, defendendo sua dissertação em julho de 2011.

Em 2011, iniciou o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2015.

Em agosto de 2013, tornou-se Professora Efetiva do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Campus Muriaé, pertencendo ao núcleo de Ciências Biológicas, Ambientais e Agrárias.

## ÍNDICE

	Página
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	7
<b>CAPÍTULO I</b> – Influência da aplicação do CO <sub>2</sub> via água de irrigação em minijardim clonal na produtividade de minicepas e no enraizamento de miniestacas de eucalipto .	12
Resumo .....	12
Abstract .....	13
Introdução .....	14
Material e Métodos.....	16
Resultados e Discussão .....	22
Conclusões.....	34
Referências Bibliográficas.....	34
<b>CAPÍTULO II</b> – Trocas gasosas de miniestacas de híbridos de eucalipto sob aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em minijardim clonal .....	40
Resumo .....	40
Abstract .....	41
Introdução .....	42
Material e Métodos.....	44
Resultados e Discussão .....	50
Conclusões.....	63
Referências Bibliográficas.....	63
CONCLUSÕES GERAIS .....	69

## RESUMO

CARVALHO, Ana Paula Vilela, Dc.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2015. **Produtividade de minicepas de eucalipto sob aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação.** Orientador: Aristides Ribeiro. Coorientador: Aloisio Xavier.

Este trabalho teve como objetivo estudar a influência do CO<sub>2</sub> aplicado via água de irrigação na produtividade de minicepas, enraizamento de miniestacas, trocas gasosas e variáveis ecofisiológicas em minicepas de híbridos de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus grandis*. Para tanto, experimentos foram conduzidos no Viveiro de Pesquisa do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, avaliando-se cinco clones, sendo: dois clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1 e C2); dois clones de *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3 e C4) e um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5) e cinco doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação (0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) com três repetições. No primeiro capítulo, foi avaliada a produtividade de minicepas e a biomassa de miniestacas dos clones C1, C2, C3, C4 e C5; porcentagem de sobrevivência e enraizamento das miniestacas e qualidade das mudas aos 30 dias de enraizamento provenientes de minicepas dos clones C1, C3 e C5, sob a aplicação do CO<sub>2</sub>, via água de irrigação no período do verão-E1 e período do outono-E2. Os clones C1, C2, C3, C4 e C5 responderam de maneira semelhante ao tratamento com CO<sub>2</sub>, aplicado via água de irrigação, quanto à produtividade de miniestacas/minicepa/semana e biomassa de miniestacas e os clones C1, C3 e C5 em relação à porcentagem de sobrevivência e enraizamento das miniestacas na saída da casa de vegetação nos dois períodos de avaliação do verão e outono. No período do outono, a aplicação do CO<sub>2</sub>, via água de irrigação, influenciou positivamente na qualidade das mudas do clone C1 e nos clones C3 e C5 e houve redução da qualidade das mudas a partir da dose de 6 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. No segundo capítulo, foi estudada fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) e eficiência do uso da água de minicepas de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1); um clone de *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3) e um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5) e eficiência quântica ( $\alpha$ ) de um clone híbrido de *Eucalyptus*: *Eucalyptus*

*urophylla* x *E. globulus* (C1) em três experimentos, E1, E2 e E3, respectivamente, período do verão, outono e inverno de 2014. As trocas gasosas das minicepas foram mensuradas com o auxílio de um analisador de gás por infravermelho (IRGA). Os clones C1, C3 e C5 responderam de maneira semelhante ao tratamento com CO<sub>2</sub> aplicado via água de irrigação quanto à fotossíntese, condutância estomática, transpiração, razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) e eficiência do uso da água nos períodos do verão, outono e inverno. A maior dose de CO<sub>2</sub>, aplicada via água de irrigação, proporcionou o melhor desempenho do C1 na eficiência quântica no E1, período com temperatura média diária de 18,6°C. No E2, período com temperatura média diária de 22,6°C, o C1 atingiu melhor desempenho na eficiência quântica com as doses de 3 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 12 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

## ABSTRACT

CARVALHO, Ana Paula Vilela, Dc.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2015. **Eucalyptus mini-stumps productivity under CO<sub>2</sub> application via irrigation water**. Adviser: Aristides Ribeiro. Coadviser: Aloisio Xavier.

This work aimed to study the influence of CO<sub>2</sub> applied through irrigation water in mini-stumps productivity, rooting of mini-cuttings, gas exchange and ecophysiological variables in mini-stumps hybrid of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus globulus*. For this, experiments were conducted at the Research Nursery of the Department of Forestry of the Federal University of Viçosa, Minas Gerais. The experimental design was a randomized blocks with split plots evaluating five clones, as follows: two clones of *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1 and C2); Two clones of *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3 and C4) and a clone *E. urophylla* x *E. grandis* (C5) and five doses of CO<sub>2</sub> applied through irrigation water (0, 3, 6, 12 and 18 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>) with three replications. In the first chapter, mini-stumps productivity was evaluated and mini-cuttings biomass of clones C1, C2, C3, C4 and C5; percentage of survival and rooting of the mini-cuttings and quality of seedlings at 30 days of rooting from mini-stumps of clones clones C1, C3 and C5 in the application of CO<sub>2</sub> through irrigation water in E1-summer period and autumn-E2 period. The clones C1, C2, C3, C4 and C5 respond similarly to treatment with CO<sub>2</sub> applied through irrigation water for productivity mini-cuttings/mini-stump/week and biomass mini-cuttings and the clones C1, C3 and C5 in relation to the percentage of survival and rooting of mini-cuttings in the greenhouse output in both evaluation periods summer and autumn. In the autumn term application of CO<sub>2</sub> through irrigation water positively influence the quality seedlings of clone C1 and C3 and C5 clones there was reduction of quality seedlings starting dose of 6 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>. In the second chapter, was studied net photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), transpiration rate (E), the ratio between internal and external CO<sub>2</sub> concentration (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) and water use efficiency a clone of the mini-stumps *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1); one clone of *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3) and a clone *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5) and quantum efficiency (α), a hybrid clone *Eucalyptus: Eucalyptus globulus* x *E. urophylla* (C1) into three experiments, E1, E2 and E3, respectively, summer period, autumn and winter 2014. The gas exchange of

mini-stumps were measured with the aid of an infrared gas analyzer (IRGA). The clones C1, C3 and C5 responded similarly to treatment with CO<sub>2</sub> applied through irrigation water on the photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, the ratio between internal and external CO<sub>2</sub> concentration (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) and water use efficiency in periods summer, autumn and winter. The highest dose of CO<sub>2</sub> applied through irrigation water provided the best performance of C1 in quantum efficiency in E1, period average daily temperature of 18,6°C. In E2, period average daily temperature of 22,6°C, the C1 reached the best performance in quantum efficiency with doses of 3 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> and 12 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>.

## INTRODUÇÃO GERAL

O manejo de plantios florestais de eucalipto vem se aprimorando nas últimas décadas, com o aumento da produtividade das diversas espécies. O nível tecnológico da silvicultura brasileira se destaca mundialmente em virtude da crescente demanda de madeira pela indústria de base florestal e tem se intensificado a fim de suprir matéria-prima para as indústrias de papel e celulose, carvão vegetal para a siderurgia, lenha e biomassa como fonte de energia, óleos essenciais, fabricação de postes, mourões, compensados e painéis reconstituídos como aglomerados, chapas de fibras e MDF.

O gênero *Eucalyptus* (Planta C3) é originário da Austrália e envolve cerca de 700 espécies, considerado um alto número quando comparado a outros gêneros florestais. Apesar da grande variedade, as mais plantadas ao redor do mundo são: *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. nitens*, *E. saligna*, *E. dunnii* e *E. pellita*. Estas espécies, aliadas aos seus híbridos, somam 90% dos plantios de eucalipto (HARWOOD, 2011).

Em 2013, a área de plantios de *Eucalyptus* no Brasil totalizou 5.473.176ha representando crescimento de 3,2% (169.012 ha) frente ao indicador de 2012. O principal fator que induziu esse crescimento foi o estabelecimento de novos plantios frente à demanda futura dos projetos industriais da área de Papel e Celulose, que atingiu em 2013 um consumo de madeira in natura de 56.628.357 m<sup>3</sup> nessa área (IBÁ, 2014).

Algumas espécies, tais como o *Eucalyptus globulus*, que é uma espécie que tem despertado o interesse do segmento de celulose e papel brasileiro, pois apresenta excelente rendimento em celulose, alta densidade da madeira e baixo teor de lignina (ALFENAS et al., 2009; FONSECA et al., 2010), no entanto, apresenta produtividade e enraizamento de miniestacas insatisfatórios. Desta forma, todos os esforços têm sido despendidos no aperfeiçoamento das técnicas de manejo do minijardim clonal de híbridos de *Eucalyptus globulus* (ALFENAS et al., 2009; XAVIER et al., 2013).

O interesse crescente pelo *Eucalyptus globulus* e seus híbridos tem incentivado pesquisas na área de clonagem, visando contornar problemas relacionados à recalcitrância ao enraizamento, em razão de baixos percentuais de enraizamento e a formação de um sistema radicular de baixa qualidade (BENNET et al., 1994; BORGES et al., 2011). O conhecimento dos fatores que afetam a formação de raízes e suas implicações está diretamente relacionado ao sucesso ou fracasso na produção de mudas

por estaquia. Da mesma maneira, essas informações podem subsidiar o planejamento logístico do processo de produção em viveiros clonais (MELO et al., 2011).

Outras espécies como o *Eucalyptus grandis* W Hill ex Maiden e o *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, já possuem um compêndio quanto à produção e estabelecimento de mudas, porém a demanda por produtos florestais é crescente (PEREIRA et al., 2012) e, para suprir a necessidade do mercado, faz-se necessária a implementação de novas técnicas de produção.

Elementos meteorológicos tais como, temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, influenciam diretamente nas taxas fotossintéticas, condutância estomática e transpiração das culturas, entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> e eficiência do uso da água. O entendimento do comportamento desses elementos contribui para compreensão das respostas da produtividade de minicepas e enraizamentos das miniestacas sob as sazonalidades climáticas.

O gás carbônico chega aos cloroplastos sob forma de dióxido de carbono dissolvido, ácido carbônico ou um sal deste ácido e a atmosfera é a fonte principal de CO<sub>2</sub> para as plantas, que é absorvido via abertura estomática, epiderme e cutícula (VIERA et al., 2010). O CO<sub>2</sub>, juntamente com as moléculas de água e de clorofila, na presença de energia solar para oxidar a água, participa do processo de fotossíntese que ocorre em organelas especializadas denominadas cloroplastos, conseqüentemente, liberando oxigênio e reduzindo o dióxido de carbono, formando, assim, grandes compostos carbonados, sobretudo açúcares (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A via metabólica por qual o CO<sub>2</sub> é fixado e reduzido a carboidrato pelo denominado ciclo reprodutivo das pentoses é o ciclo de Calvin ou ciclo C3. As plantas C3 são aquelas que têm como primeiro produto estável da fotossíntese o ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA) e possuem a enzima ribulose bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) como a principal enzima de carboxilação, processo no qual envolve a adição de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O à ribulose bisfosfato (RuBP) (MARENCO e LOPES, 2007).

A Rubisco reage tanto com o O<sub>2</sub> quanto com o CO<sub>2</sub>, apresentando maior afinidade com o CO<sub>2</sub>. Entretanto, como o CO<sub>2</sub> está em menor quantidade na atmosfera, esta enzima tende a reagir com o O<sub>2</sub>, ocasionando um processo de fotorrespiração, fenômeno que ocorre unicamente na presença de luz cuja intensidade depende da temperatura e da concentração de O<sub>2</sub> nos cloroplastos, sendo a liberação de CO<sub>2</sub> funcional e metabolicamente ligado à fotossíntese. Esse processo de competição entre o O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> pela Rubisco explica a maior taxa de fotorrespiração em plantas C3 em baixos

níveis de CO<sub>2</sub>, bem como benefícios na fotossíntese em decorrência de acréscimos nas concentrações externas de CO<sub>2</sub> (MARENCO e LOPES, 2007).

Devido à fotorrespiração, observa-se que, do total de CO<sub>2</sub> fotossintético absorvido pela planta, cerca de 18 a 27% em média de carbono são perdidos na forma de CO<sub>2</sub> e, em alguns casos, pode chegar a 50%, sendo este um dos principais fatores de redução na produtividade de biomassa nas plantas C3 (VIERA et al., 2010).

Em sistemas de produção das culturas agrícolas, tecnologias e formas de manejo vêm sendo propostas e dentre elas a utilização do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), via água de irrigação, que apresenta potencial para aumentar a produtividade das plantas. Essas tecnologias de produção são necessárias para propiciar aumentos na produtividade, tornando um produto mais competitivo e diferenciado no mercado (TARSITANO et al., 1999 e FURLAN et al., 2002).

Alguns efeitos da utilização de água de irrigação enriquecida com CO<sub>2</sub> foram discutidos, no início da década de 60, em algumas espécies de plantas, tais como, soja e mudas de abacate (BHAN et al., 1960; MILLER, 1960). No Brasil, a aplicação do gás via água de irrigação foi introduzida na década de 90, fazendo uso de sistemas de irrigação, com o objetivo de promover aumentos na produtividade das culturas (DUARTE, 2010).

O CO<sub>2</sub> é solúvel em água, sendo 99% como gás dissolvido e 1% como ácido carbônico. Os componentes do carbono inorgânico são CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub><sup>-</sup> e CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. A produção de íons de hidrogênio pela reação do dióxido de carbono com água (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O >>H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub><< H + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup><< 2H<sup>+</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) contribui para a solubilização de alguns minerais do solo a partir da troca catiônica, aumentando sua disponibilidade para absorção radicular das plantas (ENOCH e OLSEN, 1993).

Além da minimização dos efeitos adversos da fotorrespiração, aumentando a fotossíntese líquida (DURÃO e GALVÃO, 1995), também, são discutidas outras vantagens a fim de justificar as causas dos efeitos benéficos sob a produtividade das culturas, de acordo com aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação: difusão do CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera; absorção de CO<sub>2</sub> pelo sistema radicular das plantas, em que, na rizosfera, o CO<sub>2</sub>, aplicado via água de irrigação, proporciona aumento na concentração de bicarbonato na solução do solo, modificando as atividades microbiológicas e a redução do pH, influenciando na absorção de fósforo, potássio, magnésio, zinco, ferro, manganês, cobre e boro pelas raízes das plantas (MOORE, 1990; NOVERO, et al., 1991; MACHADO et al., 1999).

Enoch e Olesen (1993) discutiram cinco mecanismos que evidenciaram os resultados de mais de uma centena de trabalhos de enriquecimento com CO<sub>2</sub> via água de irrigação realizados nos últimos 80 anos: a) a taxa de nitrificação e, portanto, de disponibilidade de nitrogênio; b) a taxa de solubilização de alguns minerais e alterações do pH, proporcionando a disponibilidade de outros nutrientes para as plantas; c) a absorção de CO<sub>2</sub> por fluxo de massa, contribuindo para a fotossíntese nas folhas; d) os níveis hormonais na planta; e) a taxa de decomposição de pesticidas no solo.

Segundo Malavolta (1979), a variação da acidez do solo até níveis adequados para o desenvolvimento das plantas pode aumentar ou diminuir a disponibilidade de macro e micronutrientes para as plantas.

A resposta das plantas ao aumento da concentração CO<sub>2</sub>, aplicado via água de irrigação, varia para as diferentes espécies, condições climáticas e nutrição mineral empregada. É preciso precaução para discutir a influência da aplicação do CO<sub>2</sub>, pois cada cultura responde diferentemente às condições impostas (MACHADO et al., 1999). Os resultados obtidos com a utilização do CO<sub>2</sub> via água de irrigação, quanto às variáveis avaliadas em alguns estudos têm apresentado resultados expressivos e em outros não sendo observadas respostas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Aplicação do CO<sub>2</sub> via água de irrigação, em distintas culturas agrícolas.

Referência	Dose de CO <sub>2</sub> via água de irrigação	Resultados
ARAÚJO e BOTREL (2010)	0; 59; 148 e 274 kg ha <sup>-1</sup>	-Maior produtividade na cultura da abobrinha com a dose de 59 kg ha <sup>-1</sup> associada à cobertura plástica, com 65,4% de produtividade superior ao do tratamento testemunha.
BRANCO et al. (2007)	12 L min <sup>-1</sup> por planta	- Aumento da produção de frutos comerciais por planta na cultura do tomate.
CANIZARES et al. (2004)	1º semestre: injeção de 12 L min <sup>-1</sup> de CO <sub>2</sub> durante 1 hora de irrigação. 2º semestre: injeção de 3 L min <sup>-1</sup> durante 1 hora de irrigação.	- Influências nas trocas gasosas: fotossíntese, transpiração, condutância estomática e eficiência do uso da água em plantas de pepino.
CAÑIZARES et al. (2005)	12, 6 e 3 L min <sup>-1</sup> por 30 min	-Diminuição da dose de CO <sub>2</sub> em virtude da observação de plantas com clorose generalizada e pouco desenvolvimento nos tratamentos que recebiam água enriquecida com CO <sub>2</sub> na cultura do pepino.

CARARO e DUARTE (2002)	7,73 g L <sup>-1</sup> de CO <sub>2</sub>	-Aumento de 8,2% na produtividade da cultura do tomate. -13% aumento do peso dos frutos menores. -Maior crescimento das raízes. - 8,5% no conteúdo de matéria seca de frutos.
GOMES et al. (2005)	0, 52, 155 e 310 Kg ha <sup>-1</sup>	-Aumento de 20,5% na produção da cultura da alface com a dose mensal de 155 Kg ha <sup>-1</sup> . -Não foi observado efeito do CO <sub>2</sub> na fotossíntese.
FURLAN et al. (2001)	50 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>	-Diâmetro da cabeça de alface, número de folhas e o rendimento de cabeças aumentaram em média 15,9%, 5,5% e 28,8%, respectivamente, em comparação aos dados obtidos no tratamento sem aplicação de CO <sub>2</sub> .
PAULA et al. (2011)	0; 451,95; 677,93; 903,92 Kg ha <sup>-1</sup>	-Maior produção de pimenta Tabasco e maior nº de frutos com a dose de 451 Kg ha <sup>-1</sup> , atingindo 16 e 26%, respectivamente, em relação à testemunha.
PINTO et al. (2001)	50 kg ha <sup>-1</sup>	-Aumento de 21,4% na produtividade do melão.
STOFELA et al. (1995)	1,36 mg L <sup>-1</sup>	-Sem aumento de nutrientes e produtividade em Citrus.
STORLIE e HECKMAN (1996)	1,2; 0,80 e 0,39 g L <sup>-1</sup>	-Sem aumento de produtividade da cultura do pimentão. -Aumento de microrganismos benéficos. -Não observaram efeito do CO <sub>2</sub> na fotossíntese.
TAMAGI et al. (2007)	0, 1, 3 e 6 L min <sup>-1</sup>	-Aumento de 26,5 e 14,5% na produtividade de alface, com as doses de 1 e 3 L min <sup>-1</sup> , respectivamente. - Maior acúmulo de massa fresca e seca com a dose de 1 L min <sup>-1</sup> .

Na maioria dos trabalhos, citados na Tabela 1, observou-se uma resposta em relação à produtividade, sendo estas proporcionadas pela variação temporária do pH na solução do solo, resultante da presença do ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

Como mencionado acima, diversos estudos foram realizados a fim de verificar a influência do CO<sub>2</sub>, aplicado via água de irrigação, na produtividade em culturas agrícolas, mas informações avaliando a produtividade de minicépas de eucalipto são

escassas. As minicepas são as plantas formadas, mediante a poda de mudas, estabelecidas em minijardins clonais, que visam à produção de brotações (miniastacas). As miniastacas apicais são obtidas na porção terminal do ramo, coletadas da minicepa, contendo geralmente um par de folhas completamente expandidas e um par em expansão, com cerca de 4-8 cm de comprimento (ALFENAS et al., 2009). A produção de miniastacas constitui uma das etapas para o processo de produção de mudas de certos clones e espécies, descrita por XAVIER e WENDLING (1998), HIGASHI et al. (2000), ASSIS et al. (2004) e XAVIER et al. (2013).

A formação de mudas de qualidade tem papel preponderante no sucesso no estabelecimento dos povoamentos florestais e cada etapa do manejo de produção de mudas influencia diretamente na qualidade e produtividade do viveiro, refletindo na sobrevivência, uniformidade e arranque inicial das plantas no campo (ALFENAS et al., 2009).

Nesse contexto, o estabelecimento da relação entre a aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação e a produtividade de minicepas pode contribuir para estudos futuros visando ao aumento da produção de miniastacas por minicepa, bem como miniastacas com maior capacidade de enraizamento. Avaliar a o comportamento da planta sob água de irrigação enriquecida com CO<sub>2</sub> pode contribuir para maiores discussões no que diz respeito ao aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico e sua influência na água, por meio da redução do pH. Além disso, o uso de CO<sub>2</sub> via água de irrigação, pode servir de incentivo para a separação do CO<sub>2</sub> pelas indústrias nas emissões gasosas, o que pode proporcionar um maior controle da emissão do dióxido de carbono.

Assim, este trabalho se divide em dois capítulos, sendo o primeiro dedicado a investigar a influência do CO<sub>2</sub>, aplicado via água de irrigação, na produtividade de minicepas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus grandis* e no enraizamento de miniastacas em resposta às doses de CO<sub>2</sub> aplicada na fertirrigação de minijardim clonal. O segundo se destina a estudar a influência dos tratamentos em variáveis ecofisiológicas medidas por meio das trocas gasosas (curva de resposta da fotossíntese à luz, razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) e cursos diários da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g<sub>s</sub>), taxa de transpiração (E)).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV. 2009. 500p.

ASSIS, T. F.; FETT NETO, A. G.; ALFENAS, A. C. Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwoods with emphasis on *Eucalyptus*. In: WALTERS, C.; CARSON, M. (Eds.) *Plantation forest biotechnology for the 21st century*. Kerala: Research Signpost. p.303-333, 2004.

ARAÚJO, W. F.; BOTREL, T. A. Influência do CO<sub>2</sub> via água de irrigação e da cobertura plástica no solo na Abobrinha. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 216-221, abr-jun, 2010.

BENNETT, I.J.; McCOMB, J.A.; TONKINI, C.M.; McDAVID, D.A.J. Alternating cytokinins in multiplication media stimulates in vitro shoot growth and rooting of *Eucalyptus globulus* Labill. **Annals of Botany**, Oxford, v.74, n.1, p.53-58. 1994.

BHAN, K.C. *et al.* A. Possible relationships of bicarbonate or CO<sub>2</sub> assimilation to cation accumulation by plant roots. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 80, n. 5, p. 279-284, 1960.

BORGES, S. R.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S. MELO, L. A.; ROSADO, A. M. Enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. **Revista Árvore**, v.35, n.3, pp. 425-434, 2011.

BRANCO, R. B. F.; GOTO, R.; CARNEIRO JÚNIOR, A. G.; GUIMARÃES, V. F.; RODRIGUES, J. D.; TRIVELIN, P. C. O.; SILVEIRA, L. V. A. Enxertia e água de irrigação carbonatada no transporte de 15N e na produção do tomateiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.374-379, 2007.

CANIZARES, K.A.L.; RODRIGUES, J.D.; GOTO, R. Crescimento e índices de troca gasosa em plantas de pepino irrigadas com água enriquecida com CO<sub>2</sub>. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.4, p.706-711, out-dez 2004.

CAÑIZARES, K.A.L.; RODRIGUES, J.D.; GOTO, R.; VILAS BOAS, R.L. Influência da irrigação com água enriquecida com dióxido de carbono e da enxertia sobre o estado nutricional de plantas de pepino. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.09-14, 2005.

CARARO, D.C.; DUARTE S.N. Injeção de CO<sub>2</sub> e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.3, p.432-437, 2002.

DUARTE, F. V. **Influência da aplicação de gás carbônico na redução de precipitação de carbonatos em sistema de irrigação localizada**. 2010. 123 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2010.

DURÃO, P.L.; GALVÃO, A.C. Gás Carbônico em irrigação: tecnologia de ponta para aumentar a produtividade e qualidade dos produtos agrícolas. **Ciência Hoje**, v.19, n.110, p.12-15, 1995.

ENOCH, H.Z.; OLESEN, J.M. Tanley Review. Plant response to irrigation with water enrichment with carbon dioxide. **New Phytology**, v. 125, n. 54, p. 249-258, 1993.

FONSECA, S.M.; RESENDE, M.D.V.; ALFENAS, A.C.; GUIMARÃES, L.M.S.; ASSIS, T.F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2010. 200p.

FURLAN, R.A.; ALVES, D.R.B.; FOLEGATTI, M.V.; BOTREL, T.A.; MINAMI, K. Dióxido de carbono aplicado via água de irrigação na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, v.19, n.1, p. 25-29, 2001.

FURLAN, R. A.; REZENDE, F. C.; ALVES, D. R. B.; FOLEGATTI, M. V. Lâmina de irrigação e aplicação de CO<sub>2</sub> na produção de pimentão CV Mayata, em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 547-550, 2002.

GOMES, T.M.; BOTREL, T. A.; MODOLO, V. A.; OLIVEIRA, R. F. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.2, p.316-319, 2005.

HARWOOD, C. Introductions: doing it right. In: Walker, J. (Ed.), **Developing a Eucalypt Resource. Learning from Australia and Elsewhere**. Wood Technology Research Centre, University of Canterbury, New Zealand, 2011; p. 43–54.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. A.; GONÇALVES, A. N. **Propagação vegetativa de Eucalyptus: princípios básicos e a sua evolução no Brasil**. Piracicaba: IPEF, 2000. 11p. (Circular Técnica, 192).

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES- IBÁ. **Relatório Estatístico da Indústria Brasileira de Árvores**. 1ª Edição. 2014, 100p. Disponível em:<<http://www.iba.org/pt/>>. Acesso em: 20 abril 2015.

MACHADO, E.C.; TAKANE, R.J.; FERRO, R. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação em agricultura. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. cap. 4, p. 345-353.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. 4-edição. São Paulo SP, Editora Agronomia Ceres, 1979. 255 p.

MARENCO R. A., LOPES N. F.. **Fisiologia vegetal: fotossíntese respiração relações hídricas e nutrição mineral**. 2ª edição, Viçosa-MG, Ed. UFV, 2007. 469 p.

MELO, L. A.; XAVIER, A.; PAIVA, H. N.; ROSADO, A. M.; BORGES, S. R.; DAVIDE, A. C. Efeito do intervalo de tempo entre coleta/preparo e estaqueamento no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 781-788, out.-dez., 2011.

MILLER, G.W. Carbon dioxide-bicarbonate absorption, accumulation, effects on various plant metabolic reactions, and possible relations to lime-induced chlorosis. **Soil Sci.**,v. 80, n. 5, p. 241-245, 1960.

MOORE, F.D. Potential tomato response to carbonated water application. **Agronomy Journal**, Colorado, n. 278, p. 168-175, 1991.

NOVERO, R.; SMITH, D.H.; MOORE, F.D.; SHANAHAN, J.F.; D'ANDRIA, R. Fieldgrown tomato response to carbonated water application. **Agronomy Journal**, Madison, v 5, n. 83, p. 911-916, 1991.

PAULA, F. L. M. DE; FRIZZONE, J. A.; PAULA, A. L. DE; DIAS, C. T. S.; SOARES, T. MILER. Produção de pimenta tabasco com aplicação de CO<sub>2</sub>, utilizando-se irrigação por gotejamento. **Acta Sci. Agron**, v. 33, n. 1, p. 133-138, 2011.

PINTO, J. M.; BOTREL, T. A.; MACHADO, E. C.; FEITOSA FILHO, J. C. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação em relação à produtividade do meloeiro. **Science. Agrícola**, v. 58, n.1, p. 27-31. 2001.

STOFFELLA, P.J.; LI, Y.; PELOSI, R.R.; HAMER, A.M.. Citrus rootstock and carbon dioxide enriched irrigation influence on seedling emergence, growth, and nutrient content. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 7, p. 1439-1448, 1995.

STORLIE, C. A., HECKMAN, J. R. Bell Pepper yield response to carbonates irrigation water. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.19, p.1477-1484. 1996.

TAMAJI, J.T.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; DAMASCENO, S.; GUIMARÃES, V. F. Efeito do CO<sub>2</sub> aplicado via água de irrigação sobre cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). **Irriga**, v. 12, n.4, p. 492-504, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 918p.

TARSITANO, M.A.A.; PETINARI, R.A.; DOURADO, M.C. Viabilidade econômica do cultivo de alface em estufa no município de Jales-SP. **Cultura Agrônômica**, v. 8, p.99-108, 1999.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS de, A. R. dos; SILVA, J. S dos. **Manual da Fisiologia Vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010, 186p.

XAVIER, A.; WENDLING, I. **Ministaquia na clonagem de Eucalyptus**. Viçosa, MG: SIF, 1998. 10p. (Informativo Técnico SIF, 11).

## CAPÍTULO I

---

### **Influência da aplicação do CO<sub>2</sub> via água de irrigação em minijardim clonal na produtividade de minicepas e no enraizamento de miniestacas de eucalipto**

#### **Resumo**

O objetivo deste trabalho foi analisar a influência da aplicação de diferentes doses de CO<sub>2</sub>, via água de irrigação, no minijardim clonal quanto à produtividade das minicepas e biomassa das miniestacas de dois clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* (C1 e C2); dois clones de *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3 e C4) e um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5) e quanto ao enraizamento de miniestacas, taxa de sobrevivência e qualidade das mudas provenientes de minicepas dos clones C1, C3 e C5 sob a aplicação do CO<sub>2</sub> via água de irrigação. Para análises dessas características, foram conduzidos dois experimentos no Viveiro de Pesquisa do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. O primeiro experimento (E1) foi conduzido entre 24/01/14 a 20/03/14, contemplando o período do verão, enquanto o segundo experimento (E2) foi conduzido entre 04/04/14 a 20/06/14, contemplando o período do outono. Adotou-se um arranjo de parcelas subdivididas, no qual as parcelas eram constituídas pelas doses (0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e as subparcelas pelos clones. Este arranjo foi disposto no delineamento estatístico de blocos ao acaso, com três repetições. Foram avaliadas a porcentagem de sobrevivência e enraizamento das miniestacas e qualidade das mudas, aos 30 dias de enraizamento, em casa de vegetação climatizada. O CO<sub>2</sub>, aplicado via água de irrigação, não apresentou efeito significativo em relação à produtividade de miniestacas/minicepa/semana, biomassa de miniestacas, porcentagem de sobrevivência e enraizamento das miniestacas na saída da casa de vegetação para os clones nos períodos de avaliação do verão e outono. No período do outono, a aplicação do CO<sub>2</sub>, via água de irrigação, influenciou positivamente na qualidade das mudas do clone C1 e nos clones C3 e C5 houve redução da qualidade das mudas a partir da dose de 6 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis*, dióxido de carbono, miniestaquia.

### **Influence of application of CO<sub>2</sub> through irrigation water in mini-clonal hedge in the mini-stumps productivity and rooting of eucalyptus mini-cuttings**

#### **Abstract**

The objective of this study was to analyze the influence of different doses of CO<sub>2</sub> through irrigation water in mini-clonal hedge on the productivity of mini-stumps and biomass mini-cuttings two clones of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* (C1 and C2); two clones of *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3 and C4) and a clone of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5) and as rooting of mini-cuttings, survival rate and quality of seedlings from mini-stumps of clones C1, C3, and C5 under the application of CO<sub>2</sub> through irrigation water. To analyze these features two experiments were conducted in the Nursery Research Department of Forestry of the Federal University of Viçosa, Minas Gerais. The first experiment (E1) was conducted between 01/24/14 to 03/20/14, covering the summer period, while the second experiment (E2) was conducted between 04/04/14 to 06/20/14, contemplating the autumn term. It adopted an arrangement of split plot, in which the parcels were constituted by doses (0, 3, 6, 12 and 18 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>) and the subplots by clones. This arrangement was provided in statistical design of randomized blocks, with three replications. We evaluated the percentage of survival and rooting of mini-cuttings and quality of seedlings at 30 days of rooting in heated greenhouse. The CO<sub>2</sub> applied through irrigation water had no significant effect on the productivity mini-cuttings/mini-stump/week biomass mini-cuttings, percentage of survival and on mini-cutting rooting off the greenhouse for the clones in periods of evaluation summer and autumn. In the autumn term application of CO<sub>2</sub> through irrigation water positively influence the quality of clone seedlings C1 and C3 and C5 clones there was a reduction of the quality of seedlings from the dose 6 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>.

**Keywords:** *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis*, carbon dioxide, mini-cutting.

## INTRODUÇÃO

O manejo de plantios florestais de eucalipto vem se aprimorando nas últimas décadas com o aumento da produtividade das diversas espécies. O nível tecnológico da silvicultura brasileira se destaca mundialmente em razão da crescente demanda de madeira pela sua indústria de base florestal. Em sistemas de produção das culturas agrícolas e florestais, tecnologias e formas de manejo vêm sendo propostas e dentre elas a utilização do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), via água de irrigação, que apresenta potencial para aumentar a produtividade das plantas.

A aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação, foi introduzida no Brasil na década de 90, fazendo uso de sistemas de irrigação, com o objetivo de promover aumentos na produtividade das culturas. O CO<sub>2</sub> é solúvel em água (ENOCH e OLESEN, 1993) e algumas vantagens são discutidas a fim de justificar as causas dos efeitos benéficos sob a produtividade das culturas, por causa da aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação: difusão do CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera; absorção de CO<sub>2</sub> pelo sistema radicular das plantas; absorção de certos nutrientes, podendo causar o aumento na concentração de íons bicarbonato com abaixamento relativamente temporário do pH da solução do solo e aumentando a disponibilidade de alguns nutrientes (MACHADO et al., 1999).

Foram realizados diversos trabalhos na área agrícola avaliando a influência do dióxido de carbono via água de irrigação em culturas de alface (FURLAN, et al., 2001; GOMES et al., 2005 e TAMAGI et al., 2007), pimenta (PAULA et al., 2011), pepino (CAÑIZARES et al., 2005), melão (PINTO et al., 2001 e FRIZZONE et al., 2005) e tomate (BRANCO et al., 2007), no entanto, informações avaliando a produtividade de minicepas de eucalipto são escassas.

Em 2013, a área de plantios de *Eucalyptus* no Brasil totalizou 5.473.176ha, representando crescimento de 3,2% (169.012 ha) frente ao indicador de 2012. O principal fator que induziu esse crescimento foi o estabelecimento de novos plantios frente à demanda futura dos projetos industriais da área de Papel e Celulose, que atingiu em 2013 um consumo de madeira in natura de 56.628.357 m<sup>3</sup> nessa área (IBÁ, 2014).

A propagação clonal permite a manutenção plena das características da planta-mãe, de modo a obter estandes uniformes de rápido crescimento e produção de matéria-prima homogênea. Tal fato possibilita a implantação de talhões formados por genótipos silvicultural e tecnologicamente superiores e resistentes a doenças. Entretanto, na estaquia convencional, o porcentual de enraizamento de alguns clones é geralmente

baixo e verifica-se a ocorrência de grandes variações na capacidade de enraizamento entre espécies e clones de eucalipto (ALFENAS et al., 2009).

O *Eucalyptus globulus* é um exemplo de espécie que desperta o interesse do segmento de celulose e papel brasileiro, pois apresenta excelente rendimento em celulose, alta densidade da madeira e baixo teor de lignina (ALFENAS et al., 2009; FONSECA et al., 2010), mas apresenta produtividade e enraizamento de miniestacas geralmente baixos, por apresentarem restrições quanto à adaptação às regiões em que ocorrem altas temperaturas e invernos secos, já que é uma espécie tipicamente de clima temperado.

Outras espécies como o *Eucalyptus grandis* W Hill ex Maiden e o *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, já possuem um compêndio quanto à produção e estabelecimento de mudas, porém a demanda por produtos florestais é crescente (PEREIRA et al., 2012) e, para suprir a necessidade do mercado, faz-se necessária a implementação de novas técnicas de produção.

Diversos são os fatores que influenciam no enraizamento de miniestacas, tais como a maturação/juvenildade dos propágulos, a luminosidade, a temperatura e a umidade relativa do ar (PAIVA e GOMES, 2005; XAVIER et al., 2013), a ocorrência de injúrias, o balanço hormonal, a constituição genética da planta matriz, o *status* fisiológico e as condições nutricionais e hídricas da planta doadora de propágulos (ALFENAS et al., 2009; XAVIER et al., 2013).

O conhecimento dos fatores que afetam a formação de raízes e suas implicações está diretamente relacionado ao sucesso ou fracasso na produção de mudas por estaquia. Da mesma maneira, essas informações podem subsidiar o planejamento logístico do processo de produção em viveiros clonais (MELO et al., 2011).

A resposta das plantas ao aumento da concentração CO<sub>2</sub>, aplicado via água de irrigação, varia para as diferentes espécies, condições climáticas e nutrição mineral empregada. É preciso precaução para discutir a influência da aplicação do CO<sub>2</sub>, pois cada cultura responde de forma distinta às condições impostas (MACHADO et al., 1999).

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho analisar a influência da aplicação de diferentes doses de CO<sub>2</sub> via água de irrigação no minijardim clonal quanto à produtividade das minicepas e biomassa das miniestacas de dois clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* (C1 e C2); dois clones de *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3 e C4) e um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5) e quanto ao

enraizamento de miniestacas, taxa de sobrevivência e qualidade das mudas provenientes de minicepas dos clones C1, C3 e C5 sob a aplicação do CO<sub>2</sub> via água de irrigação.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização e descrição do protocolo experimental

Foram conduzidos experimentos no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais (20°45'45'' latitude sul, 42°52'04'' longitude oeste e 671 metros de altitude), no período do verão (Experimento 1- E1), conduzido entre 24/01/14 a 20/03/14 e, no período do outono (Experimento 2- E2), conduzido entre 04/04/14 a 20/06/14. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo temperado quente-mesotérmico (Cwa), com verões chuvosos e invernos secos. A precipitação média anual é de 1200 mm e as temperaturas variam entre 14°C e 26°C, em média.

O efeito de cinco doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação (0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) em fertirrigação, foram testadas, sobre a produtividade de minicepas e biomassa de miniestacas de cinco clones, sendo dois clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* (C1 e C2), dois clones de *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3 e C4) e um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5). Adotou-se um arranjo de parcelas subdivididas, no qual as parcelas eram constituídas pelas doses e as subparcelas pelos clones. Este arranjo foi disposto no delineamento estatístico de blocos ao acaso, com três repetições. Cada parcela foi constituída por 80 minicepas, sendo 16 de cada clone (subparcela) (Figura 1).

Na avaliação do enraizamento, utilizaram-se miniestacas de três clones híbridos de *Eucalyptus*: *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1); *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3) e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5), provenientes de minicepas sob a aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação nas doses de 0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

A irrigação e a nutrição mineral, utilizadas no minijardim clonal de eucalipto, foram efetuadas por sistema automatizado de fertirrigação por gotejamento com cinco aplicações ao dia e vazão de 5 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Foram utilizados cinco reservatórios de fertirrigação e, em cada reservatório com capacidade de 210 L, foram adicionadas seis soluções estoques, contendo: solução 1 - nitrato de cálcio (5,86 g L<sup>-1</sup>) e cloreto de cálcio (21,00 g L<sup>-1</sup>); solução 2 - sulfato de magnésio (19,70 g L<sup>-1</sup>), fosfato de potássio (9,67 g L<sup>-1</sup>), sulfato de potássio (25,30 g L<sup>-1</sup>), sulfato de amônio (3,28 g L<sup>-1</sup>); solução 3 - nitrato

de amônio ( $27,20 \text{ g L}^{-1}$ ); solução 4 - ácido bórico ( $1,22 \text{ g L}^{-1}$ ); solução 5 - sulfato de zinco ( $0,22 \text{ g L}^{-1}$ ); e solução 6 - sulfato de cobre ( $0,11 \text{ g L}^{-1}$ ), sulfato de manganês ( $0,44 \text{ g L}^{-1}$ ), molibdato de sódio ( $0,02 \text{ g L}^{-1}$ ), ferrilene ( $19,3 \text{ g L}^{-1}$ ). Foram acrescentados aos reservatórios 2,1 L das soluções estoques 1, 2 e 3 e 234 mL das soluções estoques 4, 5 e 6.



**Figura 1.** Minicepas de dois clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* (C1 e C2), dois clones de *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3 e C4) e um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5) em minijardim clonal. Viçosa-MG, 2014.

Cada reservatório de fertirrigação, com capacidade de 210 L de solução nutritiva, recebeu uma vazão de  $\text{CO}_2$ , diariamente, com duração de 6 minutos cada, durante as duas primeiras irrigações que foram realizadas às 7 horas e às 10 horas, nos períodos do verão, outono e inverno.

Semanalmente, foi mensurado o potencial hidrogeniônico (pH) da solução nutritiva utilizando-se um pHmetro modelo Tec – 3MP. As medições do pH foram realizadas, logo após a segunda irrigação, no horário de 10 horas com a aplicação do  $\text{CO}_2$  na fertirrigação.

### **Monitoramento dos elementos meteorológicos**

O monitoramento dos elementos meteorológicos: temperatura do ar e umidade relativa do ar (Modelo-HC2S3-L34, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) e radiação solar global (Piranômetro, Modelo- CMP3-L100, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) em condições internas ao minijardim clonal foi feito a partir da aquisição de

dados de uma estação automática instalada no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa e armazenados em um datalogger modelo CR1000-ST-SW-NC.

O déficit de pressão de vapor (DPV) foi determinado de acordo com Pereira et. al (2002):

$$DPV = e_s - e_a \quad (1)$$

em que  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor d'água (kPa) e  $e_a$  é a pressão parcial de vapor d'água (kPa).

A pressão de saturação do vapor d'água ( $e_s$ ) foi calculada de acordo com a seguinte equação (equação de Tetens):

$$e_s = 0,6108 * 10^{[(7,5 * T_{ar}) / (237,3 + T_{ar})]} \quad (2)$$

em que  $T_{ar}$  corresponde à temperatura do ar em °C.

A pressão parcial de vapor d'água ( $e_a$ ) foi obtida pela seguinte equação:

$$e_a = UR \times e_s / 100$$

em que UR é a umidade relativa do local, expressa em %.

### **Avaliação da produtividade das minicepas e biomassa de miniestacas**

Foram coletadas, semanalmente, miniestacas apicais com dimensões de 6 a 8 cm, contendo entre dois e três pares de folhas, nos cinco clones de *Eucalyptus*, submetidos aos diferentes tratamentos quanto à suplementação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação.

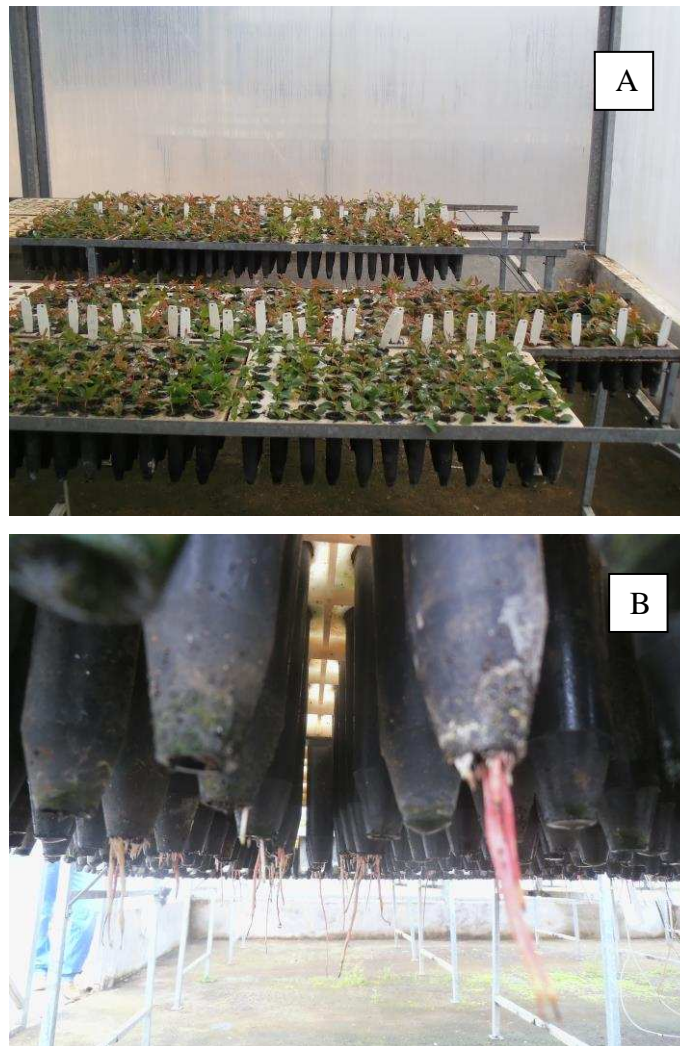
As miniestacas foram submetidas à secagem em estufa a 65°C até atingirem massa constante para a obtenção da biomassa seca e as medidas da biomassa foram realizadas em uma balança de precisão com resolução de 0,1 g (SA 210, Scientech, EUA).

## **Análise de sobrevivência, enraizamento de miniestacas e análise da qualidade de mudas**

Para a avaliação do enraizamento, foram utilizadas miniestacas com características homogêneas, possuindo tamanho entre 6 e 8 cm e dois pares de folhas, sem redução foliar, as quais foram estaqueadas para enraizar em casa de vegetação. Os recipientes, utilizados no estaqueamento das miniestacas de eucalipto, foram tubetes de polipropileno, com capacidade volumétrica de 55 cm<sup>3</sup> e altura de 12,5 cm, contendo o substrato comercial Tropstrato Florestal<sup>®</sup>, sendo esse substrato baseado em casca de pinus, turfa, vermiculita, superfosfato simples, nitrato de potássio e fibra de coco.

Depois do estaqueamento no substrato, o enraizamento das miniestacas foi conduzido em casa de vegetação climatizada com permanência de 30 dias. A irrigação das mudas foi realizada, por meio de um sistema de nebulização, formado por 100 bicos nebulizadores, com uma vazão unitária de 7,5 L h<sup>-1</sup>, que era acionado quando a temperatura no interior da casa de vegetação estivesse acima de 30 °C ou a umidade relativa do ar estivesse abaixo de 85%.

As características avaliadas, aos 30 dias de idade, foram a porcentagem de sobrevivência, a porcentagem de enraizamento das miniestacas e índice de qualidade de Dickson das mudas. Para efeito das avaliações, foram consideradas enraizadas as miniestacas com raízes externas e com raízes visíveis na extremidade inferior do tubete (Figura 2A); e miniestacas vivas, aquelas com coloração verde e emitindo brotações (Figura 2B). O experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso, constituído de três clones (C1, C3 e C5) e cinco doses (0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), com três repetições, totalizando 15 parcelas com 16 miniestacas por clone.



**Figura 2.** Enraizamento das miniestacas em casa de vegetação aos 30 dias de enraizamento. (A) Detalhe do interior da casa de vegetação. (B) Detalhe do enraizamento das miniestacas na parte inferior do tubete. Viçosa- MG, 2014.

A análise da qualidade das mudas, na fase do enraizamento aos 30 dias dos clones C1, C3 e C5, foi realizada com base no Índice de Qualidade de Dickson (IQD). O IQD, foi proposto por DICKSON et al. (1960), considerando nesta estimativa qualitativa a altura da parte aérea e o diâmetro do colo das mudas, além das biomassas secas da parte aérea, raiz e total, conforme a Equação 1.1.

$$IQD = \frac{BSM_{tot}}{\left[\frac{H}{D} + \left(\frac{BSM_{p.aérea}}{BSM_{raiz}}\right)\right]} \quad (1.1)$$

em que,

$BSM_{tot}$  = biomassa seca total, g; H = altura da parte aérea, cm; D = diâmetro do colo, mm;  $BSM_{p.aérea}$  = biomassa seca da parte aérea, g;  $BSM_{raiz}$  = biomassa seca da raiz, g.

A altura da parte aérea (H) foi determinada com base no nível do substrato até a ponta da última folha e o diâmetro do coleto foi calculado ao nível do substrato. As determinações da biomassa seca da parte aérea ( $BSM_{p.aérea}$ ) e da biomassa seca da raiz ( $BSM_{raiz}$ ) foram efetuadas a partir do material seco em estufa, regulada para 65 °C, por 48 horas. O peso de biomassa seca total ( $BSM_{raiz}$ ) foi a soma dos pesos citados. As relações entre as características medidas foram determinadas pela simples divisão entre elas. O diâmetro do coleto das mudas foi determinado por meio de um paquímetro com precisão de 0,1 mm.

### **Procedimentos estatísticos**

O experimento foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, sendo:

$$Y_{klm} = m + b_j + A_k + e_{kj} + B_l + AB_{kl} + e_{klj}$$

em que:  $Y_{klm}$  é o valor observado da característica na  $j$ -ésima repetição da  $l$ -ésima subparcela, na  $k$ -ésima parcela;  $m$  é a média geral do experimento,  $b_j$  é o efeito do bloco  $j$ ,  $A_k$  é o efeito da parcela  $k$ ,  $e_{kj}$  é o erro associado à parcela  $Y_{kj}$ , ou à observação  $y_{kj}$ , ou efeito dos fatores não controlados sobre a observação  $Y_{kj}$ ,  $B_l$  é o efeito da subparcela  $l$ ,  $AB_{kl}$  é o efeito da interação entre a parcela  $k$  e a subparcela  $l$  e  $e_{klj}$  é o erro associado à subparcela  $Y_{klj}$ , ou a observação  $Y_{klj}$  ou efeito dos fatores não controlados sobre a observação  $Y_{klj}$ .

Procedeu-se à análise de variância, com o modelo estatístico descrito anteriormente, para verificar se a variabilidade dentro dos grupos é maior que a existente entre os grupos, com nível de significância de 5%. A análise de variância foi feita desdobrando os efeitos das parcelas e das subparcelas nas partes que a compõem, gerando um resíduo (erro) que é usado no teste para verificar o efeito das fontes de variação. A hipótese testada ( $H_0$ ) é de que os fatores A e B atuam de forma independente sobre a variável resposta e, portanto, em caso de resposta não significativa, para a interação entre os fatores, as comparações dos níveis foram feitas de forma individual em relação ao nível médio do outro fator. Quando a interação foi significativa, realizaram-se comparações considerando a interação entre os fatores por meio do desdobramento de cada nível de um fator, em relação aos níveis do outro fator.

Os fatores utilizados nesse experimento foram as doses de  $CO_2$  via água de irrigação (fator quantitativo), avaliado pela regressão e os diferentes clones (fator

qualitativo) avaliados pelo teste de Tukey a 5% de significância. Foram utilizados os softwares Sisvar e Sigmaplot para as análises.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Determinação do pH da fertirrigação

Verificou-se que, à medida que se aumentaram as doses de CO<sub>2</sub>, observou-se uma redução dos valores de pH em decorrência da formação do ácido carbônico (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>); a fertirrigação dos reservatórios com os tratamentos 0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> apresentaram médias de pH, no período do verão de, respectivamente: 6,63; 5,91; 5,44; 5,28 e 5,00 e, no período do outono, atingiram valores do pH de 5,86; 5,51; 5,33; 5,05 e 4,58. Essas reduções do pH estiveram relacionadas às doses de CO<sub>2</sub>, uma vez que com a adição das maiores doses houve maior redução do pH.

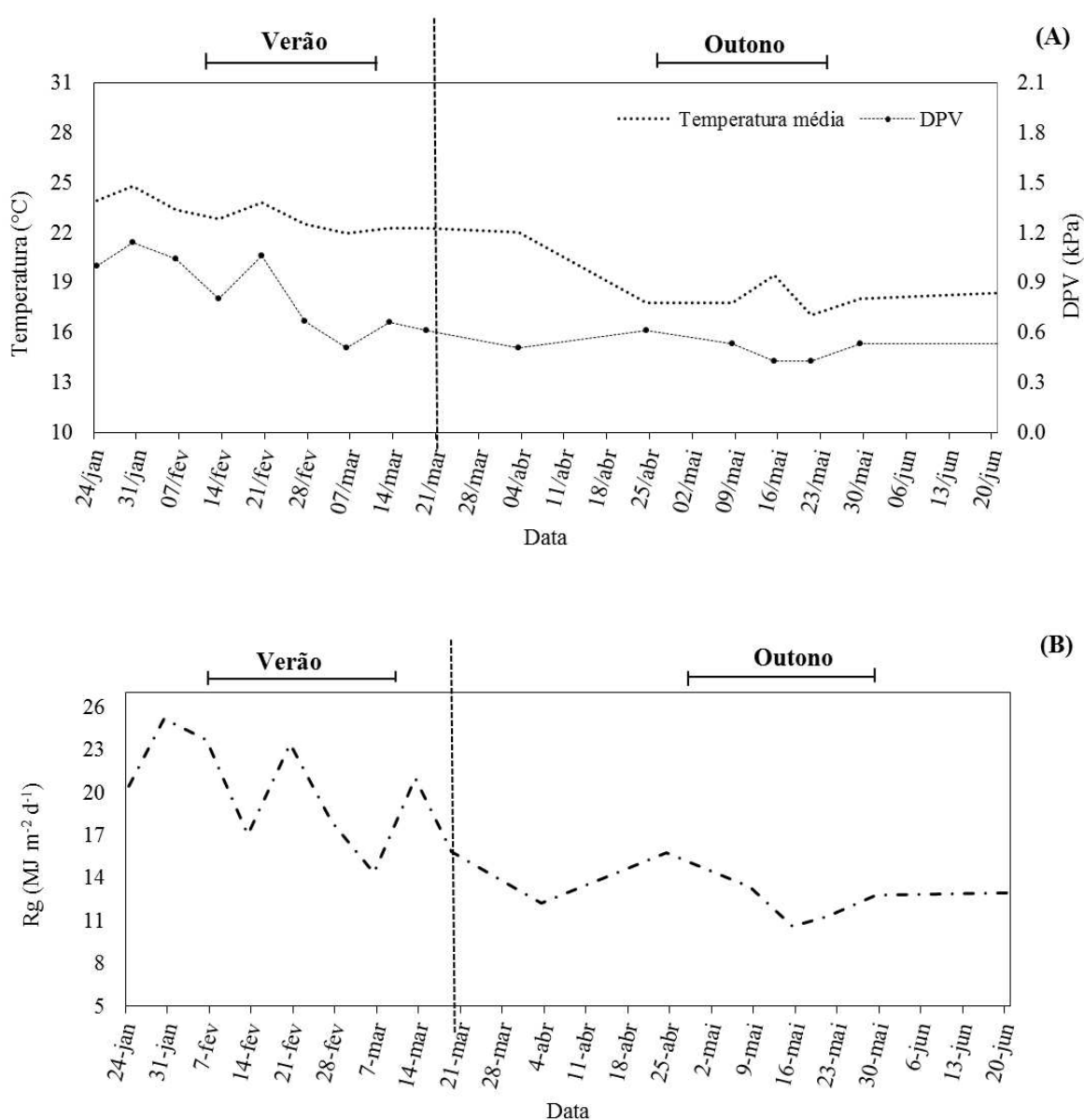
O CO<sub>2</sub> é solúvel em água, sendo 99% como gás dissolvido e 1% como ácido carbônico. Os componentes do carbono inorgânico são CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub><sup>-</sup> e CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. A produção de íons de hidrogênio por meio da reação do dióxido de carbono com água (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O >>H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub><< H + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup><< 2H<sup>+</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) contribui para a solubilização de alguns minerais do solo a partir da troca catiônica, aumentando sua disponibilidade para absorção radicular das plantas (ENOCH e OLSEN, 1993). Segundo Malavolta (1979), a variação da acidez do solo até níveis adequados para o desenvolvimento das plantas pode aumentar ou diminuir a disponibilidade de macro e micronutrientes para as plantas.

De acordo com Hodgman (1955), a importância da aplicação do dióxido de carbono na água de irrigação está no fato da solubilidade na água decrescer com o aumento da temperatura ambiente. No período do outono, com a redução da radiação solar e temperaturas mais baixas, observou-se maior redução do pH da água de fertirrigação.

Essa diminuição do pH da água de fertirrigação em até 1,63 no período do verão e 1,28 no período do outono é plausível, comparando com trabalhos como D'Andria (1990), que constatou redução temporária do pH da água de irrigação de 6,4 para 4,5 nos tratamentos que receberam doses de CO<sub>2</sub>. A redução do pH da água com a adição de CO<sub>2</sub>, também, foi verificada por Hartz e Holt, 1991; Guri et al., 1999.

## Monitoramento climático

No período do verão, observaram-se valores médios semanais de temperatura do ar, e déficit de pressão de vapor de 23,02°C, e 0,80 kPa, respectivamente, enquanto no período do outono os valores observados foram 18,71°C, e 0,53 kPa (Figura 3A). A radiação solar apresentou valores semanais médios de 134,76 MJ m<sup>2</sup> período do verão e 94,36 MJ m<sup>2</sup>, no período do outono (Figura 3B).



**Figura 3.** Monitoramento climático no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal nos períodos do verão e outono. (A) Temperatura e déficit de pressão de vapor (DPV). (B) Radiação solar global (Rg). Viçosa- MG, 2014.

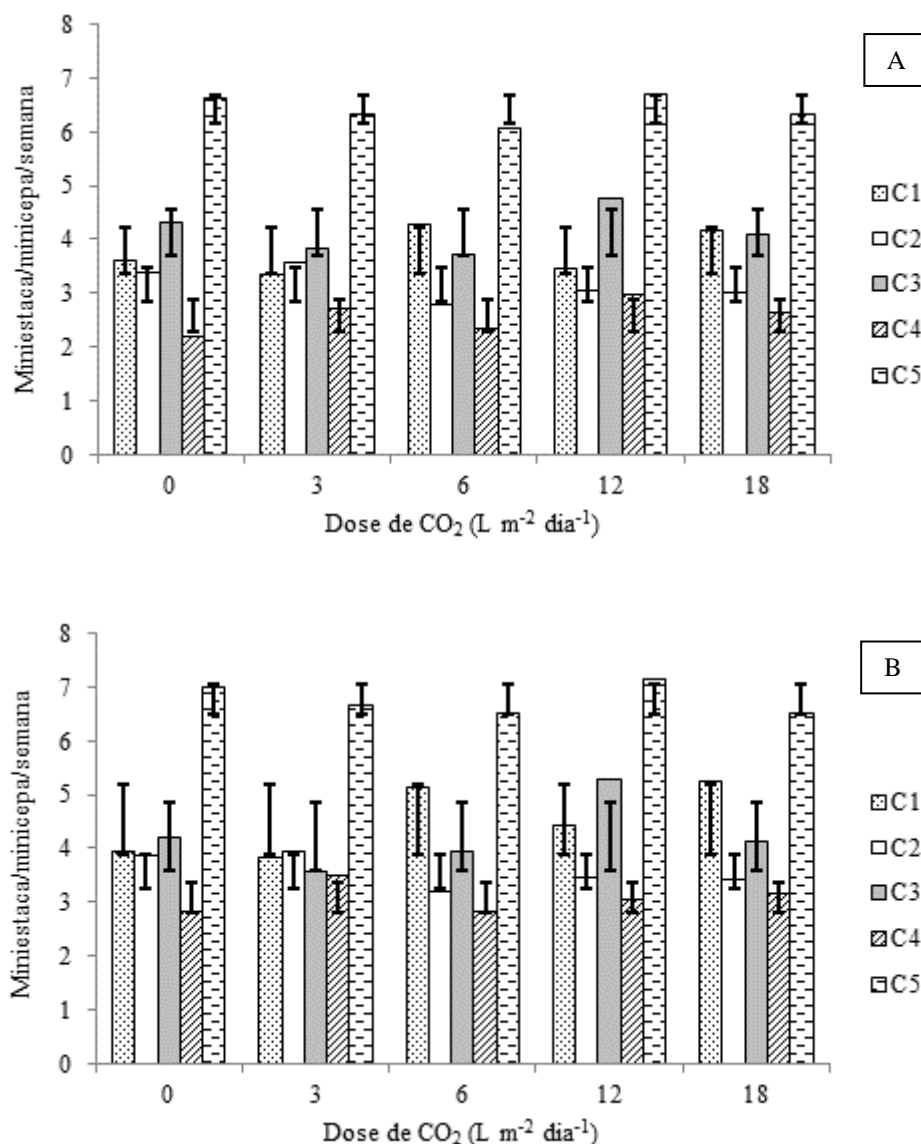
## Produtividade das minicepas (número) e biomassa das miniestacas

Com base nos resultados da análise de variância (Tabela 1), não se observou efeito significativo, pelo teste F ( $P < 0,05$ ), da interação "clone x dose" sobre a produtividade de miniestacas/minicepa/semana e biomassa nos experimentos E1 e E2, respectivamente, período do verão e outono, indicando respostas semelhantes dos clones em relação à aplicação do  $\text{CO}_2$  via água de irrigação nessas características avaliadas (Figuras 4 e 5).

**Tabela 1.** Produção de miniestacas/minicepa/semana (PMMS) e biomassa (g miniestaca<sup>-1</sup>), em cinco clones de *Eucalyptus* (C1, C2, C3, C4 e C5), sob irrigação enriquecida com  $\text{CO}_2$ , em dois experimentos (E1-Período do verão e E2-período do outono). Viçosa, MG, 2014.

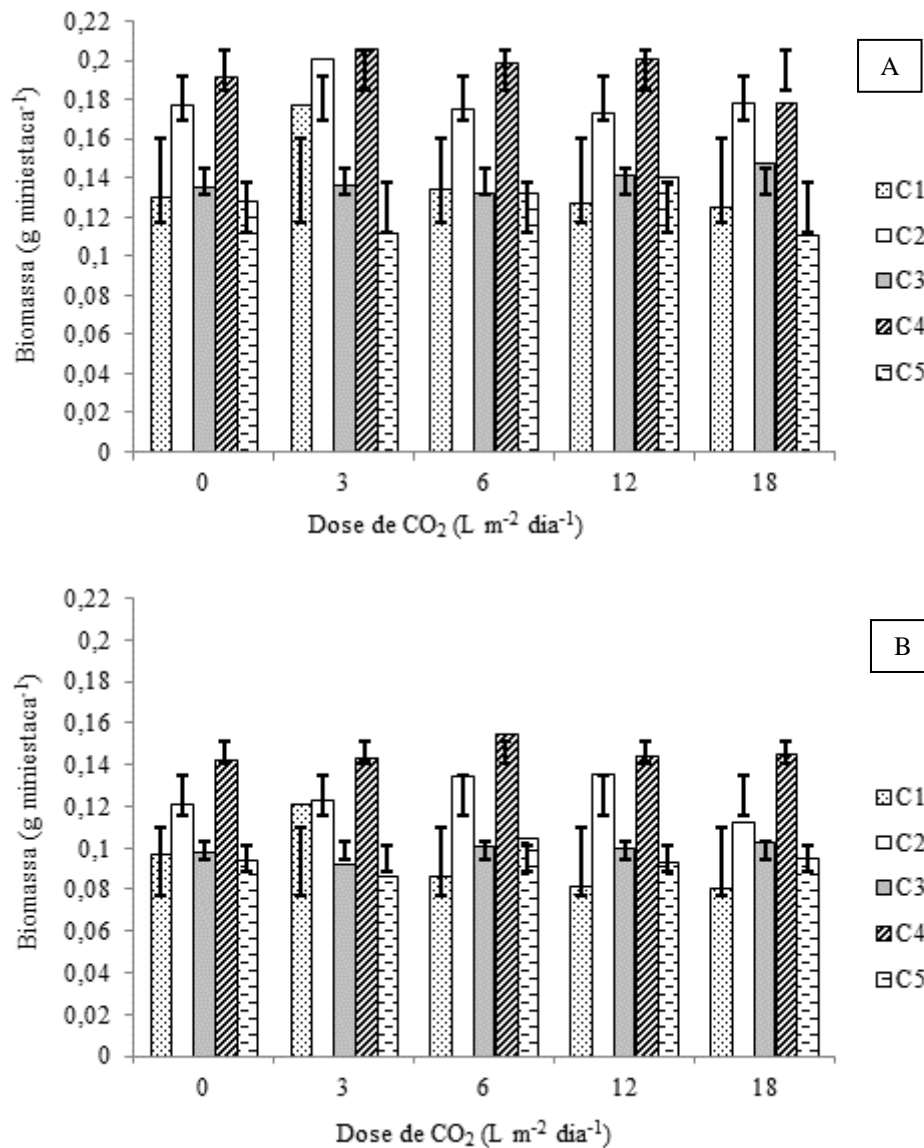
Fontes de variação	GL	Quadrados Médios			
		PMMS- E1	PPMS- E2	Biomassa-E1 (g miniestaca <sup>-1</sup> )	Biomassa -E2 (g miniestaca <sup>-1</sup> )
Bloco	2	0,08763	1,08826	0,0002	0,00008
Dose	4	0,41179	0,34620	0,0001	0,00030
Erro (a)	8	0,34327	0,74032	0,0003	0,00015
Clone	4	32,11976*	30,97796*	0,0158*	0,00922*
Clone x Dose	16	0,47954	0,70426	0,0004	0,00014
Erro (b)	40	0,42818	0,70782	0,0004	0,00011
Média Geral		4,09	4,51	0,15	0,11
CV 1 (%)		14,36	19,10	11,64	11,13
CV 2 (%)		16,03	18,67	12,48	9,47

\*significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.



**Figura 4.** Produção de miniestacas/minicepa/semana, em cinco clones de *Eucalyptus* (C1, C2, C3, C4 e C5), sob irrigação enriquecida com CO<sub>2</sub>, em dois experimentos (A-Período do verão e B-período do outono). Viçosa, MG, 2014.

Resultados semelhantes em culturas agrícolas foram encontrados por Hartz e Holt (1991) que estudaram o efeito do CO<sub>2</sub> aplicado via água de irrigação sobre as culturas de tomate e de abóbora em campo e não observaram qualquer aumento de produção. Storlie & Heckman (1996), aplicando as doses de CO<sub>2</sub> 1,2; 0,80 e 0,39 g L<sup>-1</sup> na água de irrigação na cultura do pimentão, não encontraram aumento na produção de frutos comerciais. Cararo e Duarte (2002), também, não observaram efeito significativo do CO<sub>2</sub> sobre o número de frutos do tomateiro. Esses autores relatam que, provavelmente, houve rápida dispersão do gás, durante a irrigação e, assim, não obtendo alterações no microclima em função de acréscimos de CO<sub>2</sub> aplicado via água de irrigação.



**Figura 5.** Biomassa ( $\text{g miniestaca}^{-1}$ ), em cinco clones de *Eucalyptus* (C1, C2, C3, C4 e C5), sob irrigação enriquecida com  $\text{CO}_2$ , em dois experimentos (A-Período do verão e B-período do outono). Viçosa, MG, 2014.

No entanto, em alguns estudos verificou-se o aumento na produtividade em culturas agrícolas, utilizando o  $\text{CO}_2$  via água de irrigação como o estudo que, observado por Tamagi et al. (2007), em que os resultados avaliando o desenvolvimento e a produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.) mostraram que as doses 1 e 3  $\text{L min}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  aplicadas via água promoveram aumento na produtividade, atingindo valores de 26,52% e 14,47%, quando comparado à testemunha. Paula et al. (2011) observaram que a aplicação de  $\text{CO}_2$  via água de irrigação proporcionou aumento máximo de 16% na produção da pimenta Tabasco (*Capsicum frutescens* L.); o maior número de frutos por planta foi obtido na dose de 451,95  $\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ . Pinto et al. (2001) verificaram aumento de 21,4% em produtividade, quando aplicado  $\text{CO}_2$ , via irrigação, no meloeiro.

Analisando os efeitos de doses de CO<sub>2</sub> de 0; 451,95; 677,93; 903,92 Kg ha<sup>-1</sup>, aplicadas via irrigação por gotejamento, na produção da pimenta tabasco, Paula et al. (2011) não observaram efeito das doses de CO<sub>2</sub> sobre a massa de matéria seca. Tamagi et al. (2007), analisando os teores de massa seca na cultura de alface, observaram que o tratamento T1L, com dose de 1 L min<sup>-1</sup> apresentou o melhor resultado em relação ao teste de médias, obtendo diferença significativa em relação aos tratamentos T0L (sem aplicação de CO<sub>2</sub>) e T6L com aplicação de CO<sub>2</sub> de 6 L min<sup>-1</sup> e o tratamento T3L, com dosagem de 3 L min<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>, mostrou-se semelhante aos demais tratamentos.

Observou-se diferença entre os clones avaliados, na produtividade de miniestacas/minicepa/semana e biomassa nos experimentos E1 e E2, respectivamente, período do verão e outono (Tabela 1). Nos dois experimentos, o C5 obteve maior produtividade em relação aos clones C1, C2, C3 e C4 (Tabela 2).

**Tabela 2.** Número de miniestacas/minicepa/semana e respectivas biomassa (g miniestaca<sup>-1</sup>), em cinco clones de *Eucalyptus*, sob irrigação enriquecida com CO<sub>2</sub>, em dois experimentos (E1-Período do verão e E2-período do outono). Viçosa, MG, 2014.

Clones	Nº Miniestaca/minicepa/semana		Biomassa (g miniestaca <sup>-1</sup> )	
	E1	E2	E1	E2
C1	4,1020b	4,8513b	0,1260b	0,0867d
C2	3,1587c	3,5780cd	0,1813a	0,1247b
C3	4,1340b	4,2307bc	0,1387b	0,0987c
C4	2,5873c	3,0853d	0,1940a	0,1467a
C5	6,4220a	6,7833a	0,1247b	0,0953cd

\* Letras minúsculas iguais nas colunas, para cada experimento (E1 e E2), não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a produtividade de miniestacas/minicepa, citada por Wendling et al. (2003), em que observaram médias de produção de 5,6 miniestacas por minicepa em cada coleta com clones de *Eucalyptus grandis*, Souza (2012) verificou a produção de 12,6 miniestacas/minicepa/mês para clones de *E. urophylla* X *E. grandis* e Cunha et al. (2009) constataram a produtividade de 9,6 a 13,2 miniestacas/minicepa/mês para clones híbridos de *Eucalyptus* sp.. Freitas (2013), testando diferentes doses de nitrogênio nos mesmos clones de avaliação do presente estudo, obteve resultados médios variando entre 6,75 e 7,91 miniestacas/minicepa/mês. Pode-se afirmar que, com a aplicação do CO<sub>2</sub> via água de irrigação no manejo das minicepas visando à produção de miniestacas, que os clones C1, C2, C3, C4 e C5 mantiveram-se com valores médios de produtividade próximos ou superiores aos citados na literatura, indicando produção satisfatória.

No E1 os clones C4 e C2 obtiveram maior acúmulo de biomassa em relação aos clones C3, C1 e C5. O C4 no E2, novamente obteve maior incremento de biomassa, seguido dos clones C2, C3, C5 e C1. Observou-se que o acúmulo de biomassa foi maior nos clones que obtiveram menor produção de miniestacas por minicepa, ou seja, o clone C5 com maior produtividade de miniestacas/minicepa/semana obteve menor acúmulo de biomassa e os clones C2 e C4 apresentaram menor produtividade de miniestacas/minicepas/semana e, entretanto maior acúmulo de biomassa (Tabela 2).

### Sobrevivência, enraizamento de miniestacas e análise da qualidade de mudas

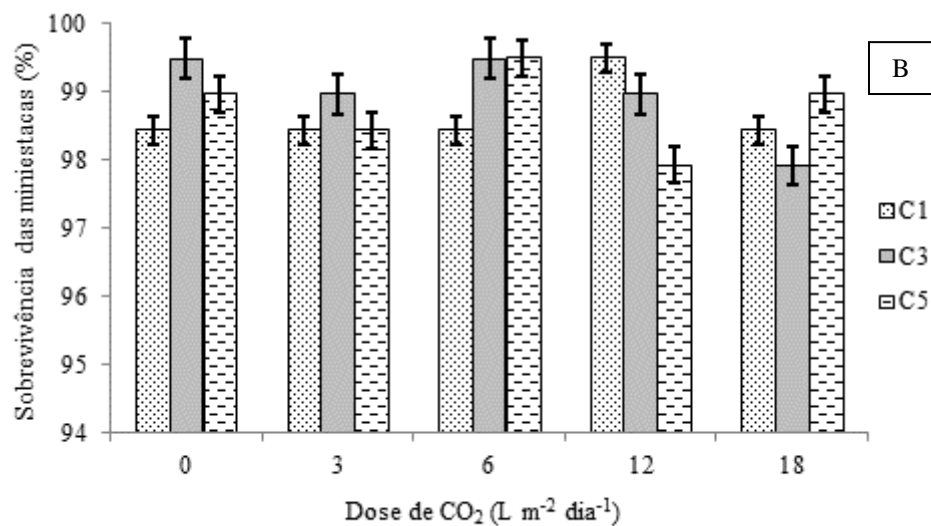
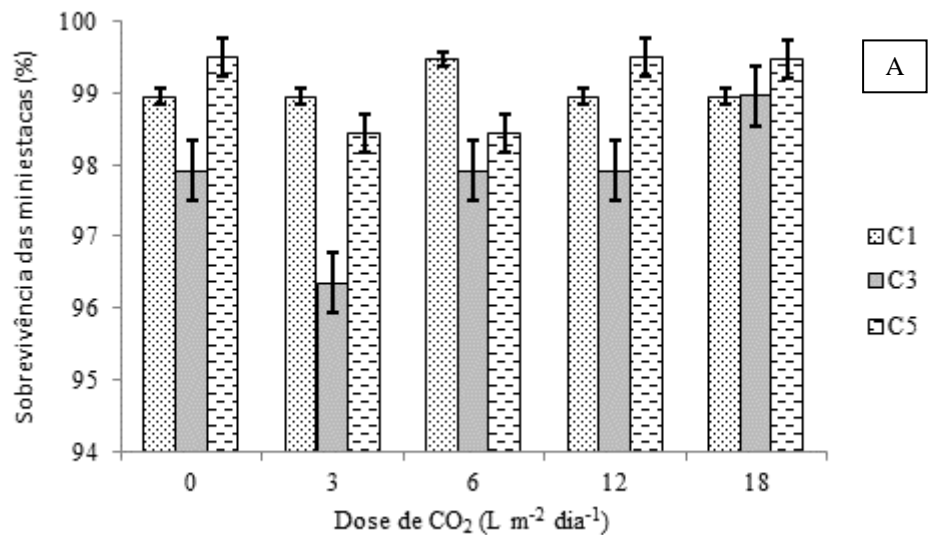
Em relação à porcentagem de sobrevivência dos clones nos dois experimentos (E1 e E2), em função das doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação, não houve interação significativa entre clones e doses a 5% de significância, indicando que, para a mesma dose de CO<sub>2</sub> aplicada, os três clones respondem da mesma maneira (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resultado da análise da variância (quadrados médios) referente à porcentagem de sobrevivência das miniestacas (PS), porcentual de enraizamento (PE) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de três clones de *Eucalyptus* (C1, C3 e C5) aos 30 dias de enraizamento, provenientes de minicepas sob irrigação enriquecida com CO<sub>2</sub>, em dois experimentos (E1-Verão e E2-Outono). Viçosa, MG, 2014.

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios				IQD-E1	IQD-E2
		PS-E1 (%)	PS-E2 (%)	PE-E1 (%)	PE-E2 (%)		
Bloco	2	1,3500	7,5350	47,1650	78,3050	0,0001	0,00018*
Dose	4	4,4600	0,5950	89,8850	90,0825	0,0001	0,0000945*
Erro (a)	8	4,4700	4,4125	54,9838	68,3713	0,0000	0,0000
Clone	2	8,1900	0,2150	15291,3050*	2774,3150*	0,0000	0,0007*
Clone x Dose	8	0,9400	1,1663	82,6625*	32,8713	0,0000	0,0001*
Erro (b)	20	3,3600	1,5445	31,3220	90,6340	0,0000	0,0000
Média Geral		98,61	98,82	45,46	59,17	0,0042	0,0133
CV 1 (%)		2,14	2,13	16,31	13,97	132,10	2,13
CV 2 (%)		1,86	1,26	12,31	16,09	61,15	1,26

\*significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Em ambos os experimentos, foi observada sobrevivência das mudas superior a 96% em todas as doses de CO<sub>2</sub>, indicando o bom desempenho e baixa mortalidade dos clones avaliados (Figura 6).

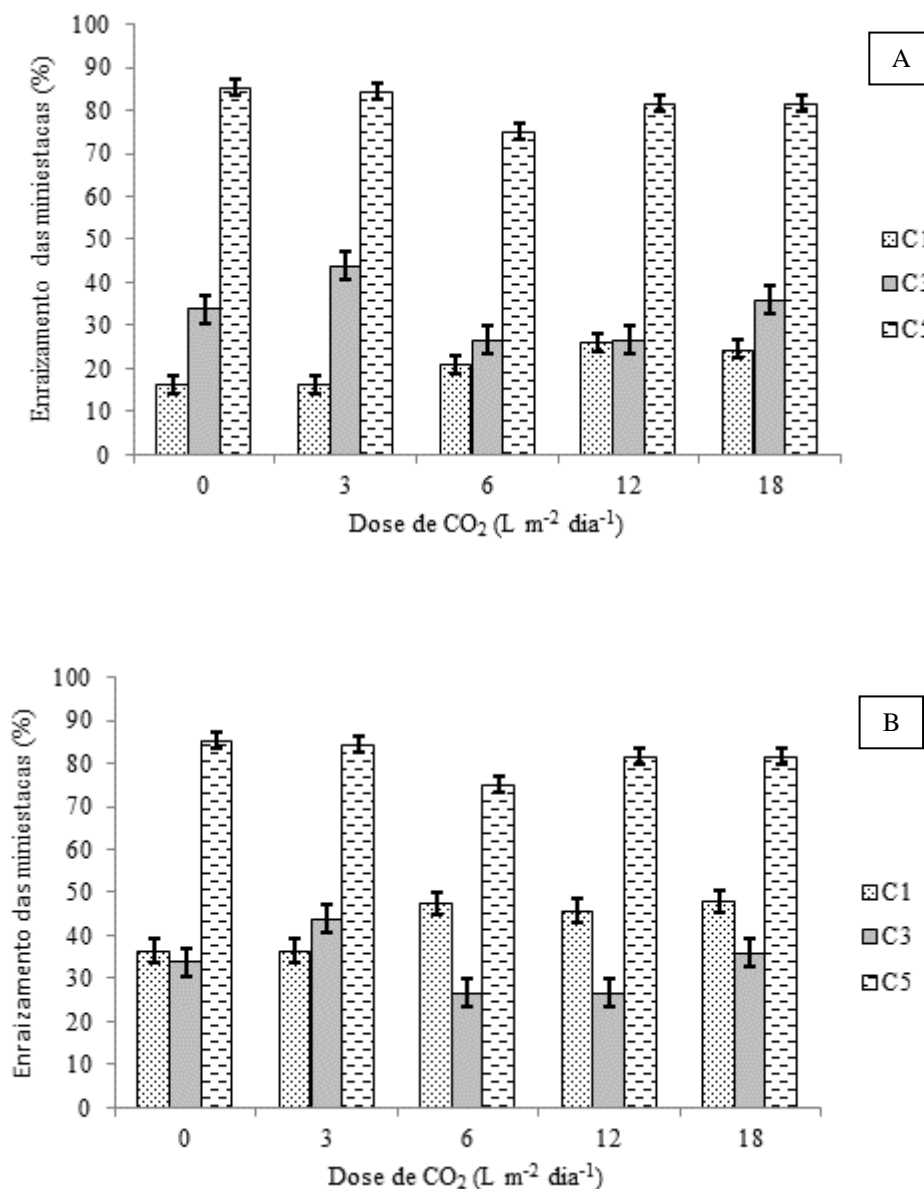


**Figura 6.** Porcentagem de sobrevivência das miniestacas de três clones de *Eucalyptus* (C1, C3 e C5) aos 30 dias de enraizamento, provenientes de minicepas sob irrigação enriquecida com CO<sub>2</sub>, em dois experimentos (E1-Verão e E2-Outono). Viçosa, MG, 2014.

A alta sobrevivência das miniestacas foi, também, descrita por Borges et al. (2011) e Oliveira et al. (2012), ambos trabalhando com os mesmos genótipos híbridos de *Eucalyptus globulus*. Estes autores apresentaram valores médios de, respectivamente, 91% e 86% de sobrevivência para miniestacas apicais, sendo a maioria dos resultados encontrados neste trabalho superior às médias dos autores supracitados.

Quanto ao enraizamento das miniestacas, houve interação significativa entre os clones e as doses de CO<sub>2</sub>, sugerindo variação de respostas à emissão de raízes entre os materiais genéticos estudados dentro de cada dose de gás diluído em água (Tabela 3). Ainda que a interação tenha sido significativa, os parâmetros da regressão não foram

significativos a 5% de probabilidade no teste t, o que determina que não há ajuste de uma curva que descreva o comportamento do enraizamento em função das doses para os clones C1, C3 e C5. A porcentagem de enraizamento dos clones C1, C3 e C5 nas doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação estão ilustradas na Figura 7.



**Figura 7.** Enraizamento das miniestacas de três clones de *Eucalyptus* (C1, C3 e C5), aos 30 dias de enraizamento, provenientes de minicepas sob irrigação enriquecida com CO<sub>2</sub>, em dois experimentos (E1-Verão e E2-Outono). Viçosa, MG, 2014.

Verificou-se que o enraizamento do C5 foi superior ao dos clones C1 e C3 nos dois experimentos (Tabela 4). No período do verão, que apresentou médias de temperatura e radiação superiores (Figura 3), o enraizamento do C5 (81,67%), híbrido de *E. grandis* e *E. urophylla* foi superior às médias de enraizamento no período do outono (72,50%). Os clones C1 e C3 tiveram baixos percentuais de miniestacas

enraizadas tanto no período do verão, 22,35% e 33,37% quanto no período do outono 45,31% e 59,69%, respectivamente. No entanto, observou-se que, em relação às duas épocas de avaliação dos experimentos, houve um aumento nas médias no enraizamento do C1 e C3, híbridos de *E. globulus*, no E2 (Tabela 4).

Thompson (1992) menciona que a luminosidade em excesso promove o fechamento dos estômatos das folhas dos propágulos, reduzindo a fotossíntese líquida e, conseqüentemente, a produção de carboidratos e o posterior enraizamento. Brondani et al. (2010) observaram que os melhores índices de enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii* foram registrados nas estações mais frias, onde variou de 19,59% a 56,20% e os menores nas estações mais quentes, com 4,62% a 8,50%.

**Tabela 4.** Porcentagem de enraizamento de três clones de *Eucalyptus*, em dois experimentos (E1-Verão e E2-Outono). Viçosa, MG, 2014.

Clones	Enraizamento (%)	
	E1	E2
C1	21,3553c	45,3106c
C3	33,3700b	59,6887b
C5	81,6673a	72,5007a

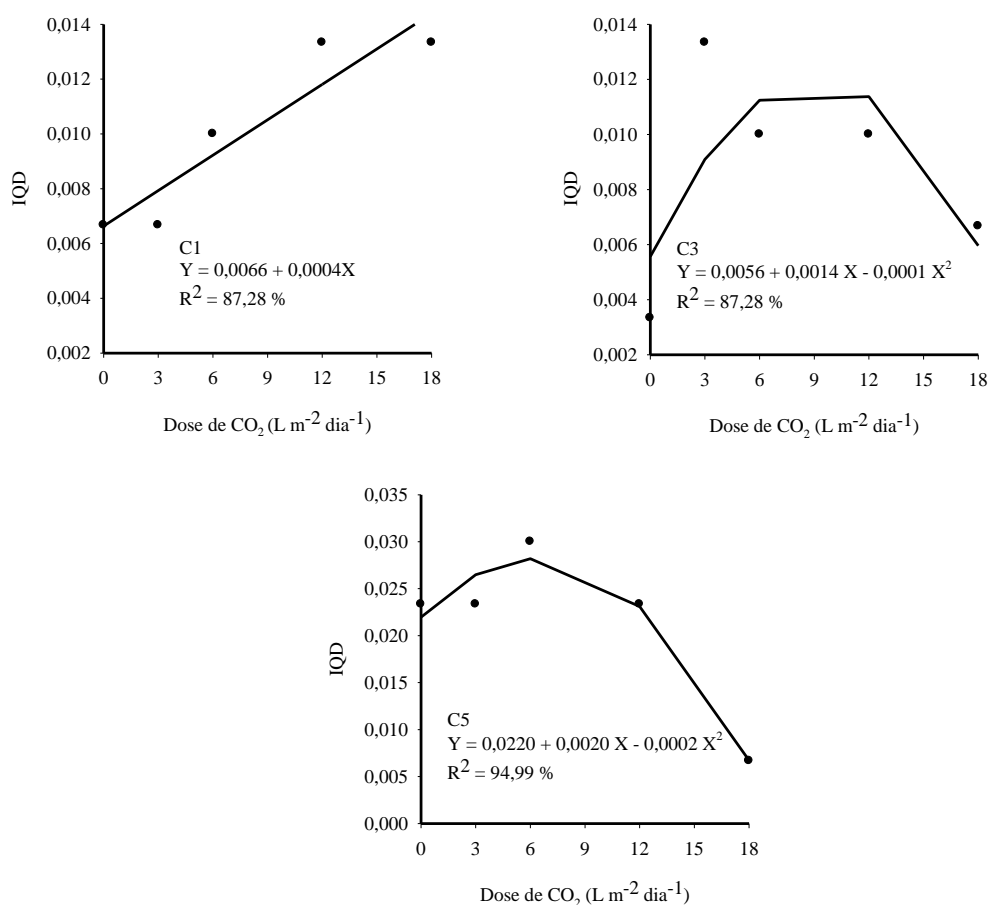
\* Letras minúsculas iguais nas colunas, para cada experimento (E1 e E2) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Borges et al. (2011) e Oliveira et al. (2012), avaliando o enraizamento de híbridos de *Eucalyptus globulus*, também, verificaram baixos valores de percentuais de enraizamento desses genótipos. Dessa forma, os baixos percentuais de enraizamento verificados nos clones C1 e C3, híbridos de *Eucalyptus globulus*, podem estar ligados ao genótipo do *E. globulus*, que apresenta um comportamento recalcitrante ao processo rizogênico, assim como praticamente todas as espécies de clima subtropical (BRONDANI et al., 2010).

É possível constatar em estudos a grande variação entre porcentagem de enraizamento de espécies/clones de eucalipto. Wendling et al. (2000) mostraram a variação de enraizamento, num único experimento, de cinco clones híbridos de eucalipto entre 17,2% e 67,2%. Higashi e Gonçalves (2000) comentaram que resultados encontrados na literatura, quanto ao percentual de enraizamento de clones de *Eucalyptus* spp., variam de 0 a 100%, indicando a ampla variabilidade dentro deste gênero. Souza (2012), trabalhando com miniestacas de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* de 10 cm sem redução foliar, obteve 70,3% e 93,8% de enraizamento. Cunha et

al. (2009), utilizando clones com mesma hibridação, descreveram valores entre 71,9% a 86,5%, tendo resultados semelhantes ao do clone C5 no presente trabalho, com 82,81% e 74,17% de enraizamento no E1 e E2, respectivamente.

A análise de variância confirmou feito significativo, pelo teste F ( $P < 0,05$ ), da interação "clone x dose" sobre o Índice de Qualidade de Dickson no E2 (Tabela 3). Portanto, com o indicativo de que os diferentes clones se comportam diferentemente em relação à aplicação de níveis de  $\text{CO}_2$ , procedeu-se à análise de regressão para os clones (Figura 8) e a comparação de médias dentro de cada nível do fator dose (Tabela 5).



**Figura 8.** Índice de Qualidade de Dickson no E2 (período do outono) de miniestacas de três clones de *Eucalyptus* (C1, C3 e C5), provenientes de minicepas sob aplicação de  $\text{CO}_2$  via água de irrigação.

O C1 apresentou tendência de melhoria na qualidade das mudas com o aumento das doses de  $\text{CO}_2$  (Figura 8). Já, nos clones C3 e C5, a melhoria não foi observada a partir da dose de  $6 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , no qual ocorreu decréscimo do IQD.

Segundo Moore (1990), o dióxido de carbono possui comportamento de quelato, podendo associar-se a elementos do solo como cálcio, cobre, ferro, magnésio, manganês e cobalto, formando complexos facilmente carreáveis até as raízes das plantas para absorção. O  $\text{CO}_2$  reage com cátions da solução do solo produzindo bicarbonatos, os

quais são absorvidos pelas plantas (SMITH et al., 1991). O fator nutricional influencia diretamente na produtividade, enraizamento das estacas e na qualidade das mudas, uma vez que os macro e micronutrientes estão envolvidos nos processos bioquímicos e fisiológicos vitais da planta (PAULA et al., 2000).

O aumento do IQD pode ser justificado pelo possível aumento na disponibilidade de nutrientes proporcionado pela redução do pH da água de fertirrigação sob as minicepas em minijardim clonal e a diferença de comportamento entre os clones em razão da adaptabilidade do C1 a essa condição.

Observou-se que apenas na dose de 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> os clones foram iguais, estatisticamente, em termos do IDQ e, nas demais doses, o C5 apresentou maior IQD em relação aos clones C1 e C3 (Tabela 5).

**Tabela 5.** Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de três clones de *Eucalyptus* (C1, C3 e C5), provenientes de minicepas submetidos ao enriquecimento com CO<sub>2</sub> via água de irrigação, em cinco diferentes doses no período do outono (E2). Viçosa, MG, 2014.

Clones	Dose de CO <sub>2</sub> (L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )				
	0	3	6	12	18
C1	0,0033b	0,0067b	0,0100b	0,0133b	0,0133a
C3	0,0067b	0,0133b	0,0100b	0,0100b	0,0067a
C5	0,0233a	0,0233a	0,0300a	0,0233a	0,0067a

\* Letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A amplitude das médias de IQD, em função das doses de CO<sub>2</sub> (0,01 a 0,03), indicou padrão satisfatório de qualidade das mudas dos clones C1, C3 e C5 no E2 (período do outono). Tal constatação é corroborada por estudos com produção de mudas em materiais genéticos distintos da espécie. Gomes et al. (2002) observaram valores de IQD em mudas de *Eucalyptus grandis*, avaliadas em diferentes tamanhos de tubetes, aos 120 dias, variando de 0,0032 a 0,0497. Binotto (2007) encontrou valores de IQD de 0,03 em mudas de *Eucalyptus grandis*, aos 60, 75 e 90 dias de enraizamento, respectivamente. Oliveira (2012), avaliando a produção de mudas de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em dois ciclos (C1 e C2), verificou valores de índices de qualidade de mudas (IQD) na fase de enraizamento aos 30 dias de 0,02 e 0,03, respectivamente. Silva et al. (2012) avaliaram o IQD de mudas de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* aos 90 dias, após o estaqueamento, em função de nove composições de substratos e observaram valores de IQD entre 0,012 e 0,019.

## CONCLUSÕES

O CO<sub>2</sub> aplicado via água de irrigação não apresentou efeito significativo em relação à produtividade de miniestacas/minicepa/semana, biomassa de miniestacas, porcentagem de sobrevivência e enraizamento das miniestacas, na saída da casa de vegetação, para os clones nos períodos de avaliação do verão e outono. No período do outono, a aplicação do CO<sub>2</sub> via água de irrigação influenciou, positivamente, na qualidade das mudas do clone C1 e nos clones C3 e C5 houve redução da qualidade das mudas a partir da dose de 6 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV., 2009. 500p.

BINOTTO, A. F. **Relação entre variáveis de crescimento e o Índice de Qualidade de Dickson em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill. exMaid e *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.** 2007. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

BORGES, S. R.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S. MELO, L. A.; ROSADO, A. M. Enraizamento de miniestacas de clones Híbridos de *Eucalyptus globulus*. **Revista Árvore**, v.35, n.3, pp. 425-434, 2011.

BRANCO, R. B. F.; GOTO, R.; CARNEIRO JÚNIOR, A. G.; GUIMARÃES, V. F.; RODRIGUES, J. D.; TRIVELIN, P. C. O.; SILVEIRA, L. V. A. Enxertia e água de irrigação carbonatada no transporte de 15N e na produção do tomateiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.374–379, 2007.

BRONDANI, G.E.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; DUTRA, L.F.; ARAUJO, M.A. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*: (ii) sobrevivência e enraizamento de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v.20, n.3; p.453-465. 2010.

CANIZARES, K.A.L.; RODRIGUES, J.D.; GOTO, R.; VILAS BOAS, R.L. Influência da irrigação com água enriquecida com dióxido de carbono e da enxertia sobre o estado nutricional de plantas de pepino. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.09-14, 2005.

CARARO, D.C.; DUARTE S.N. Injeção de CO<sub>2</sub> e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.3, p.432-437, 2002.

CUNHA, A.C.M.C.M.; PAIVA, H.N.; BARROS, N.F.; LEITE, H.G.; LEITE, F.P. Relação do estado nutricional de minicepas com o enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:591-599, 2009.

D'ANDRIA ,R.; NOVERO, R.; SMITH, D.H.; SHANAHAN, J.F.; MOORE, F.D. Drip irrigation of tomato using carbonated water and mulch in Colorado. **Acta Hortic.**, Wageningen, v. 278, n. 1, p. 171-178, 1990.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, n. 1 p. 10-13, 1960.

ENOCH, H. Z.; OLESEN, J. M. **Plant response to irrigation with water enriched with carbon dioxide**. *New Phytology*, v. 125, n. 54, p.249-258. 1993.

FONSECA, S.M.; RESENDE, M.D.V.; ALFENAS, A.C.; GUIMARÃES, L.M.S.; ASSIS, T.F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2010. 200p.

FREITAS, A. F de. **Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de híbridos de *Eucalyptus globulus* Labill. em resposta a N, B E Zn**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 2013.

FRIZZONE, J. A.; D'ALBUQUERQUE JÚNIOR, B. S.; REZENDE, R. Aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em diferentes fases fenológicas da cultura do meloeiro cultivado em ambiente protegido. **Acta Sci. Agron**, v. 27, n. 4, p.667-675, 2005.

FURLAN, R.A.; ALVES, D.R.B.; FOLEGATTI, M.V.; BOTREL, T.A.; MINAMI, K. Dióxido de carbono aplicado via água de irrigação na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, v.19, n.1, p. 25-29, 2001.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.655-664, 2002.

GOMES, T.M.; BOTREL, T. A.; MODOLO, V. A.; OLIVEIRA, R. F. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.2, p.316-319, 2005.

GURLS.; MARFA,O.; SAVÉ,R. **Efecto de la irrigación carbónica en la producción de un cultivo de pimiento**. Barcelona: IRTA, Departamento de Tecnologia Hortícola, 1999. 6p.

HARTZ, T. K.; HOLT, D. B. Root-zone Carbon Dioxide Enrichment in field does not improve tomato or cucumber yield. **HortScience**, v. 26, n. 11, p. 14-23, 1991.

HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N. Uso de ácido indolbutírico no enraizamento de eucaliptos. **IPEF Notícias**, v.24, n.148, p.4-5, 2000.

HODGMAN, C. D.; WEAST, R. C.; WALLACE, C. W.; SELBY, S. M. **Handbook of Chemistry and Physics**. Cleveland, Ohio, Chemical Rubber Publishing 36.ed.1955.p. 2686.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Anuário Estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas 2013**, Ano Base 2013. Disponível em:< <http://www.iba.org/web/pt/midia/iba-2014.htm>>. Acesso em: 25 março 2015.

MELO, L. A.; XAVIER, A.; PAIVA, H. N.; ROSADO, A. M.; BORGES, S. R.; DAVIDE, A. C. Efeito do intervalo de tempo entre coleta/preparo e estaqueamento no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 781-788, out.-dez., 2011.

MACHADO, E.C.; TAKANE, R.J.; FERRO, R. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação em agricultura. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.) *Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças*. **Guaíba: Agropecuária**, 1999. cap. 4, p. 345-353.

MOORE, P.D. Potential for irrigation with carbon dioxide. *Acta Horticulturae*, v.278, p.171-178, 1990.

OLIVEIRA, A. S. **Otimização do uso da água na produção de mudas clonais de *Eucalyptus***. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 2012.

OLIVEIRA, L. S.; XAVIER, A.; DIAS, P. C.; CORREA, A. C. G.; BORGES, S. Microestacas de clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* e de *Eucalyptus grandis* x *E. globulus*. *Scientia Forestalis*, v.40, n. 96, p.507-516, dez. 2012.

PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. **Propagação vegetativa de espécies florestais**. Viçosa: UFV, 2005. 46 p. (Caderno Didático, 83).

PAULA, F. L. M. DE; FRIZZONE, J. A.; PAULA, A. L. DE; DIAS, C. T. S.; SOARES, T. MILER. Produção de pimenta tabasco com aplicação de CO<sub>2</sub>, utilizando-se irrigação por gotejamento. *Acta Sci. Agron*, v. 33, n. 1, p. 133-138, 2011.

PAULA, T. A.; SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E., N.; GONÇALVES, A. N. Efeito do potássio sobre a produção e enraizamento de estacas de *Eucalyptus*. In: REUNIÃO DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25, Santa Maria, 2000. **Anais...**Santa Maria: SBCS/SBM, 2000. CD-ROM.

PEREIRA, A.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, T.T.C.; KER, J.C.; ALMEIDA, C.C. Qualidade de solos cultivados com eucalipto na região central de Minas Gerais: atributos físicos, químicos e mineralógicos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Brasília, v. 7, suplemento, p. 706-713, 2012.

PINTO, J. M.; BOTREL, T. A.; MACHADO, E. C.; FEITOSA FILHO, J. C. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação em relação à produtividade do meloeiro. **Science. Agrícola**, v. 58, n.1, p. 27-31. 2001.

SILVA, R. B. G. da; SIMÕES, D.; SILVA, M. R. da. Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em função do substrato. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.3, p.297–302, 2012.

SMITH, D.H., MOORE, F.D., NOVERO, R., *et al.* Field-grown tomato response to carbonated water application. **Agronomy Journal**, v.83, n.5, p.911-916, 1991.

SOUZA, C. C.; **Padrões de miniestacas e densidade de minicepas na propagação clonal de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. 2012. 57f.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

STORLIE, C. A., HECKMAN, J. R. Bell Pepper yield response to carbonates irrigation water. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.19, p.1477-1484. 1996.

TAMAGI, J.T.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; DAMASCENO, S.; GUIMARÃES, V. F. Efeito do CO<sub>2</sub> aplicado via água de irrigação sobre cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). **Irriga**, v. 12, n.4, p. 492-504, 2007.

THOMPSON, D. G. Current state-of-the-art of rooting cuttings and a view to the future. In: SYMPOSIUM IN IUFRO'S CENTENNIAL YEAR – MASS PRODUCTION TECHNOLOGY FOR GENETICALLY IMPROVED FAST GROWING FOREST TREE SPECIES, 1992, Bordeaux. **Syntheses...** Paris: AFOCEL, IUFRO, 1992. p. 159-172. (Colloque AFOCEL – IUFRO).

WENDLING, I. et al. Propagação clonal de híbridos de *Eucalyptus* spp. por miniestaquia. **Revista Árvore**, v.24, n.2, p.181-186, 2000.

WENDLING, I.; XAVIER, A.; PAIVA, H.N. Influência da miniestaquia seriada no vigor de minicepas de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.27, n.5, 2003. p. 611-618.

XAVIER, A. WENDLING, I. SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas.**  
2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 278p

## CAPÍTULO II

---

### **Trocas gasosas de minicepas de híbridos de eucalipto sob aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em minijardim clonal**

#### **Resumo**

Objetivou-se neste trabalho analisar a influência do CO<sub>2</sub> via água de irrigação, em diferentes doses, nas trocas gasosas: fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) e eficiência do uso da água de minicepas de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1); um clone de *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3) e um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5) e eficiência quântica ( $\alpha$ ) de um clone híbrido de *Eucalyptus*: *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1) em três experimentos, E1, E2 e E3, respectivamente, período do verão, outono e inverno de 2014. O experimento foi conduzido no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, situada na cidade de Viçosa, Minas Gerais. Adotou-se um arranjo de parcelas subdivididas, no qual as parcelas eram constituídas pelas doses (0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e as subparcelas pelos clones. Este arranjo foi disposto no delineamento estatístico de blocos ao acaso, com três repetições. As variáveis trocas gasosas das minicepas foram mensuradas com o auxílio de um analisador de gás por infravermelho (IRGA). O CO<sub>2</sub> aplicado via água de irrigação não apresentou efeito significativo em relação à fotossíntese, condutância estomática, transpiração, razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) e eficiência do uso da água para os clones C1, C3 e C5 nos períodos do verão, outono e inverno. A maior dose de CO<sub>2</sub> aplicada via água de irrigação proporcionou o melhor desempenho do C1 na eficiência quântica no E1, período com temperatura média diária de 18,6°C. No E2, período com temperatura média diária de 22,6°C, o C1 atingiu melhor desempenho na eficiência quântica com as doses de 3 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 12 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

**Palavras chave:** miniestaquia, *Eucalyptus globulus*, fotossíntese, eficiência quântica.

## CHAPTER II

---

### Gas exchange mini-stumps eucalypt hybrids under carbon dioxide application through irrigation water in mini-clonal hedge

#### Abstract

The objective of this study was to analyze the influence of CO<sub>2</sub> through irrigation water, in different doses, gas exchange: net photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), transpiration rate (E), the ratio between internal and external CO<sub>2</sub> concentration (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>), and use efficiency water of mini-stumps a clone of *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1); one clone of *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3) and a *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* clone (C5) and quantum efficiency ( $\alpha$ ) a hybrid clone *Eucalyptus: Eucalyptus globulus* x *E. urophylla* (C1) into three experiments, E1, E2 and E3 respectively summer period, autumn and winter 2014. The experiment was conducted at the Research Nursery of the Department of Forestry, belonging to the Federal University of Viçosa, located in the city of Viçosa, Minas Gerais. It adopted an arrangement of split plot, in which the parcels were constituted by doses (0, 3, 6, 12 and 18 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>) and the subplots by clones. This arrangement was provided in statistical design of randomized blocks, with three replications. The mini-stumps gas exchange variables were measured with the aid of an infrared gas analyzer (IRGA). The CO<sub>2</sub> applied through irrigation water had no significant effect in relation to as photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, the ratio between internal and external concentration of CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) and water use efficiency use for the clones C1, C3 and C5 in the periods summer, autumn and winter. The highest dose of CO<sub>2</sub> applied through irrigation water provided the best performance of C1 in quantum efficiency in E1, period average daily temperature of 18,6°C. In E2, period average daily temperature of 22,6°C, C1 reached the best performance in quantum efficiency with doses of 3 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> and 12 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>.

**Keywords:** mini-cutting, *Eucalyptus globulus*, photosynthesis, quantum efficiency.

## INTRODUÇÃO

A quantidade de florestas plantadas, principalmente com espécies exóticas, tem crescido nas últimas décadas, a fim de suprir a necessidade do mercado consumidor no que diz respeito à demanda crescente por produtos florestais. Em 2013, a área de plantios de *Eucalyptus* no Brasil totalizou 5.473.176 ha, representando crescimento de 3,2% (169.012 ha) frente ao indicador de 2012. O principal fator que induziu esse crescimento foi o estabelecimento de novos plantios frente à demanda futura dos projetos industriais da área de Papel e Celulose, que atingiu em 2013 um consumo de madeira in natura de 56.628.357 m<sup>3</sup> (IBÁ, 2014).

Com o aumento das áreas de plantio, a produção de mudas florestais, também, vem se expandindo, especialmente por meio da propagação clonal via miniestaquia. Neste método de propagação, as mudas são produzidas, por meio do enraizamento de estacas, de forma que os propágulos para produção das mudas (miniestacas) são coletados de minijardins clonais, estabelecidos nos viveiros florestais (XAVIER et al., 2013).

O *Eucalyptus globulus* apresenta características tecnológicas da madeira, como maior rendimento em celulose e menor teor de lignina, que o tornam muito atrativo para fins de produção de celulose e papel. O interesse crescente pelo *Eucalyptus globulus* e seus híbridos tem incentivado pesquisas, visando contornar problemas relacionados à baixa produtividade de minicepas, baixos percentuais de enraizamento e formação de um sistema radicular de baixa qualidade (BENNET et al., 1994; BORGES et al., 2011).

Algumas tecnologias e formas de manejo em sistemas de produção das culturas agrícolas e florestais vêm sendo implementadas; dentre elas a aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação. A influência da aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação na produtividade e na melhoria da qualidade das plantas, ainda, apresenta alguns aspectos a serem esclarecidos, especialmente com relação aos efeitos fisiológicos sobre as plantas (PINTO et al., 2001).

O gás carbônico, juntamente com as moléculas de água e de clorofila, na presença de energia solar para oxidar a água, participa do processo de fotossíntese, que ocorre em organelas especializadas denominadas cloroplastos, liberando oxigênio e reduzindo o dióxido de carbono, formando grandes compostos carbonados, sobretudo açúcares (TAIZ e ZEIGER, 2013). A fotossíntese é a principal via de entrada de carbono na biosfera e um dos principais processos fisiológicos pelo qual as plantas percebem as alterações atmosféricas (LARCHER, 2006).

Uma das vias metabólicas pelas quais o  $\text{CO}_2$  é fixado e reduzido a carboidrato é a denominada ciclo reprodutivo das pentoses, ciclo de Calvin ou ciclo C3. As plantas C3 são aquelas que têm como primeiro produto estável da fotossíntese o ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA) e possuem a enzima ribulose bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) como a principal enzima de carboxilação, processo no qual envolve a adição de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  à ribulose bisfosfato (RuBP) (MARENCO e LOPES, 2007).

A Rubisco tem afinidade tanto pelo  $\text{O}_2$  quanto pelo  $\text{CO}_2$  e sua afinidade é muito maior pelo  $\text{CO}_2$ . Entretanto, como o  $\text{CO}_2$  está em menor quantidade na atmosfera, esta enzima tende a reagir com o  $\text{O}_2$ , ocasionando um processo de fotorrespiração, fenômeno que ocorre unicamente na presença de luz, cuja intensidade depende da temperatura e da concentração de  $\text{O}_2$  nos cloroplastos, sendo a liberação de  $\text{CO}_2$  funcional e metabolicamente ligado à fotossíntese. Esse processo de competição entre o  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  pela Rubisco explica a maior taxa de fotorrespiração em plantas C3, em baixos níveis de  $\text{CO}_2$ , bem como benefícios na fotossíntese em decorrência de acréscimos nas concentrações externas de  $\text{CO}_2$  (MARENCO e LOPES, 2007).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), em seu quarto relatório de avaliação (AR4) em 2007, indicou que, desde a era pré-industrial até 2005, houve um aumento da concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de 280 ppm (partes por milhão) a 379 ppm. Em 2011, as concentrações de  $\text{CO}_2$  aumentaram em 40% desde a época pré-industrial, primariamente de emissões de combustíveis fósseis e, secundariamente, das mudanças do uso da terra (JURAS, 2013).

Apesar do conhecimento científico relacionado ao aumento do  $\text{CO}_2$  atmosférico, ainda, há necessidade de monitorar influências do  $\text{CO}_2$  via água de irrigação e, também, seu uso como alternativa de aproveitamento do  $\text{CO}_2$ . A resposta das plantas ao aumento da concentração  $\text{CO}_2$  aplicado via água de irrigação varia para as diferentes espécies, condições climáticas e nutrição mineral empregada. É preciso precaução para discutir a influência da aplicação do  $\text{CO}_2$ , pois cada cultura responde diferentemente às condições impostas (MACHADO et al., 1999).

As principais vantagens dos efeitos benéficos sob a produtividade das culturas em virtude da aplicação de  $\text{CO}_2$  via água de irrigação são: difusão do  $\text{CO}_2$  do solo para a atmosfera e absorção de  $\text{CO}_2$  pelo sistema radicular das plantas, influenciando na minimização dos efeitos adversos da fotorrespiração e, conseqüentemente, aumentando a fotossíntese líquida (DURÃO e GALVÃO, 1995; LORENZO-MÍNGUEZ e MAROTO, 1990; MACHADO et al., 1999).

Ao se obterem as curvas de fotossíntese em resposta à luz, é possível estimar a inclinação da parte linear das curvas, obtendo-se, assim, a eficiência quântica para determinada concentração de CO<sub>2</sub> e temperatura. A literatura que trata a respeito da eficiência energética de conversão da luz em energia química atribui termos diferentes que, na verdade, têm o mesmo significado, por exemplo: eficiência quântica ( $\alpha$ ), rendimento quântico ( $\Phi$ ), eficiência energética ( $\alpha$  ou  $\Phi$ ) e eficiência quântica máxima ( $\alpha_{CX}$ ) (BAESSO, 2011).

Elementos meteorológicos, tais como temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar influenciam diretamente nas taxas fotossintéticas, condutância estomática e transpiração das culturas (TAIZ e ZEIGER, 2013). O entendimento do comportamento desses elementos contribui para compreensão das respostas das plantas sob as sazonalidades climáticas. Avaliar os processos ecofisiológicos em minicepas de eucalipto, sob distintas condições climáticas, é de fundamental importância, uma vez que esses são fatores que afetam diretamente na produtividade das minicepas de eucalipto.

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho analisar a influência do CO<sub>2</sub> via água de irrigação, em diferentes doses, nas trocas gasosas: fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) e eficiência do uso da água de minicepas de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1); um clone de *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3) e um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5) e eficiência quântica ( $\alpha$ ) de um clone híbrido de *Eucalyptus*: *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Localização e caracterização da área experimental**

O experimento foi conduzido no período de janeiro a julho de 2014, no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais (20°45'45'' latitude sul, 42°52'04'' longitude oeste e 671 metros de altitude). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo temperado quente-mesotérmico (Cwa), com verões chuvosos e invernos secos. A precipitação média anual é de 1200 mm e as temperaturas variam entre 14°C e 26°C, em média.

O minijardim clonal foi constituído de minicepas, obtidas do enraizamento de miniestacas, implantadas em canaletas de alvenaria, preenchidas com brita no fundo e areia e mantido sob cobertura plástica. O efeito de cinco doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação (0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), em fertirrigação, foi testado sobre as trocas gasosas de três clones híbridos de eucalipto: *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1); *Eucalyptus grandis* x *E. globulus* (C3) e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (C5) estabelecidas no minijardim clonal.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, no arranjo de parcelas subdivididas, cujas parcelas eram as doses e as subparcelas os clones, com três repetições. Cada parcela foi constituída por 80 minicepas, sendo 16 de cada clone (subparcela).

A irrigação e a nutrição mineral, utilizadas no minijardim clonal de eucalipto, foram efetuadas por sistema automatizado de fertirrigação por gotejamento com cinco aplicações ao dia e vazão de 5 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Foram utilizados cinco reservatórios de fertirrigação e em cada reservatório, com capacidade de 210 L, foram adicionadas seis soluções estoques, contendo: solução 1 - nitrato de cálcio (5,86 g L<sup>-1</sup>) e cloreto de cálcio (21,00 g L<sup>-1</sup>); solução 2 - sulfato de magnésio (19,70 g L<sup>-1</sup>), fosfato de potássio (9,67 g L<sup>-1</sup>), sulfato de potássio (25,30 g L<sup>-1</sup>), sulfato de amônio (3,28 g L<sup>-1</sup>); solução 3 - nitrato de amônio (27,20 g L<sup>-1</sup>); solução 4 - ácido bórico (1,22 g L<sup>-1</sup>); solução 5 - sulfato de zinco (0,22 g L<sup>-1</sup>); e solução 6 - sulfato de cobre (0,11 g L<sup>-1</sup>), sulfato de manganês (0,44 g L<sup>-1</sup>), molibdato de sódio (0,02 g L<sup>-1</sup>), ferrilene (19,3 g L<sup>-1</sup>). Foi acrescentado aos reservatórios 2,1 L das soluções estoques 1, 2 e 3 e 234 mL das soluções estoques 4, 5 e 6.

Cada reservatório de fertirrigação, com capacidade de 210 L de solução nutritiva, recebeu uma vazão de CO<sub>2</sub>, diariamente, com duração de 6 minutos cada durante as duas primeiras irrigações que foram realizadas às 7 horas e às 10 horas, nos períodos do verão, outono e inverno.

Semanalmente, foi mensurado o potencial hidrogeniônico (pH) da solução nutritiva utilizando-se um pHmetro modelo Tec – 3MP. As medições do pH foram realizadas logo após a segunda irrigação no horário de 10 horas com a aplicação do CO<sub>2</sub> na fertirrigação.

## Monitoramento dos elementos meteorológicos

O monitoramento dos elementos meteorológicos: temperatura do ar e umidade relativa do ar (Modelo-HC2S3-L34, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) e radiação solar global (Piranômetro, Modelo- CMP3-L100, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA), em condições internas ao minijardim clonal, foi feito com base na aquisição de dados de uma estação automática instalada no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa e armazenados em um datalogger modelo CR1000-ST-SW-NC.

O déficit de pressão de vapor (DPV) foi determinado de acordo com Pereira et. al (2002):

$$DPV = es - ea \quad (1)$$

em que  $es$  é a pressão de saturação do vapor d'água (kPa) e  $ea$  é a pressão parcial de vapor d'água (kPa).

A pressão de saturação do vapor d'água ( $es$ ) foi calculada de acordo com a seguinte equação (equação de Tetens):

$$es = 0,6108 * 10^{[(7,5 * T_{ar}) / (237,3 + T_{ar})]} \quad (2)$$

em que  $T_{ar}$  corresponde à temperatura do ar em °C.

A pressão parcial de vapor d'água ( $ea$ ) foi obtida pela seguinte equação:

$$ea = UR \times es / 100$$

em que UR é a umidade relativa do local, expressa em %.

## Análise do monitoramento das trocas gasosas

As trocas gasosas das minicepas foram mensuradas com o auxílio de um analisador de gás por infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400xt, LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, USA) (Figura 1).



**Figura 1.** Mensuração das trocas gasosas com o uso do analisador de gás por infravermelho (IRGA). Viçosa-MG, 2014.

As medidas de trocas gasosas foram realizadas em folhas completamente expandidas das minicepas (7<sup>o</sup> dia do ciclo de desenvolvimento das miniestacas) dos clones C1, C3 e C5, avaliando a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ou fotossintética líquida (A,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática (gs,  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração (E,  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e a razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>). As medições foram realizadas, quinzenalmente, entre 7 horas e 9 horas, no minijardim clonal sob radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante ( $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), em condições normais de concentração de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do ar atmosférico. Com a obtenção das trocas gasosas, foi calculada a eficiência do uso da água (EUA) que corresponde à razão entre a fotossíntese (A) e transpiração (E),  $\text{EUA}=\text{A}/\text{E}$  (ZHANG et al., 2001).

O monitoramento das trocas gasosas contemplou três períodos: verão, outono e inverno de 2014, com início no dia 06 de fevereiro, período do verão e encerrando-se no período do inverno, dia 19 de julho.

### **Análise da eficiência quântica**

Foram conduzidos dois experimentos, sendo o primeiro experimento (E1) conduzido entre 04/09/14 a 11/09/14, contemplando um período com temperatura média diária de 18,6°C e o segundo experimento (E2) conduzido entre 04/12/14 a 11/12/14, contemplando período com temperatura média diária de 22,6°C.

A eficiência quântica ( $\alpha$ ) foi calculada conforme os dados de fotossíntese em resposta à luz, usando regressão linear, em que a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> foi linearmente relacionada à radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em seis minicepas por período de avaliação.

Os valores de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) foram em sequência de 2300, 2000, 1700, 1400, 1200, 800, 400, 200, 100, 50, 25 e 0 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em concentração ambiente de gás carbônico (380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), utilizando-se um analisador de gás por infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400xt, LI-COR Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA).

Como o processo fotossintético pode ser bem interpretado, considerando a curva de resposta à luz, o ajuste dos valores das curvas de A versus RFA pode ser realizado pela equação a seguir (PRADO e MORAES, 1997).

$$A = A_{\max} [1 - e^{-k(RFA-PCR)}] \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: A = fotossíntese líquida momentânea,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $A_{\max}$  = fotossíntese líquida máxima,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; e = base do logaritmo natural ( $e = 2,718$ ); k = constante de proporcionalidade associada à concavidade da curva (0,001 - 0,009); PCR = ponto de compensação à radiação,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; e RFA = radiação fotossinteticamente ativa,  $\mu\text{mol RFA m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Os valores de  $A_{\max}$ , K e PCR foram encontrados utilizando a rotina de curvas não-linear do software Origin versão 6,1 (Microcal Software, Northampton, USA).

A declividade da região linear da curva de resposta fotossintética à luz representa o rendimento quântico máximo da fotossíntese, ou seja, expressa a relação entre moles de carbono assimilados e moles de fótons absorvidos. Por meio da equação 4, é possível encontrar a inclinação da curva na fase linear conhecida como eficiência quântica ( $\alpha$ ).

$$\alpha = k A_{\max} (e^{k PCR}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que  $\alpha$  é a eficiência quântica,  $\mu\text{mol CO}_2 (\mu\text{mol fótons})^{-1}$ .

## Procedimentos estatísticos

O experimento foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, sendo:

$$Y_{klm} = m + b_j + A_k + e_{kj} + B_l + AB_{kl} + e_{klj}$$

em que:  $Y_{klm}$  é o valor observado da característica na  $j$ -ésima repetição da  $l$ -ésima subparcela, na  $k$ -ésima parcela;  $m$  é a média geral do experimento,  $b_j$  é o efeito do bloco  $j$ ,  $A_k$  é o efeito da parcela  $k$ ,  $e_{kj}$  é o erro associado à parcela  $Y_{kj}$ , ou à observação  $y_{kj}$ , ou efeito dos fatores não controlados sobre a observação  $Y_{kj}$ ,  $B_l$  é o efeito da subparcela  $l$ ,  $AB_{kl}$  é o efeito da interação entre a parcela  $k$  e a subparcela  $l$  e  $e_{klj}$  é o erro associado à subparcela  $Y_{klj}$ , ou a observação  $Y_{klj}$  ou efeito dos fatores não controlados sobre a observação  $Y_{klj}$ .

Procedeu-se à análise de variância, com o modelo estatístico descrito anteriormente, para verificar se a variabilidade dentro dos grupos é maior que a existente entre os grupos, com nível de significância de 5%. A análise de variância foi feita desdobrando os efeitos das parcelas e das subparcelas nas partes que a compõem, gerando um resíduo (erro) que é usado no teste para verificar o efeito das fontes de variação. A hipótese testada ( $H_0$ ) é de que os fatores A e B atuam de forma independente sobre a variável resposta e, portanto, em caso de resposta não significativa, para a interação entre os fatores, as comparações dos níveis foram feitas de forma individual em relação ao nível médio do outro fator. Quando a interação foi significativa, realizaram-se comparações considerando a interação entre os fatores por meio do desdobramento de cada nível de um fator, em relação aos níveis do outro fator.

Os fatores utilizados nesse experimento foram as doses de  $CO_2$  via água de irrigação (fator quantitativo), avaliado pela regressão e os diferentes clones (fator qualitativo) avaliados pelo teste de Tukey a 5% de significância. Foram utilizados os softwares Sisvar e SigmaPlot para as análises.

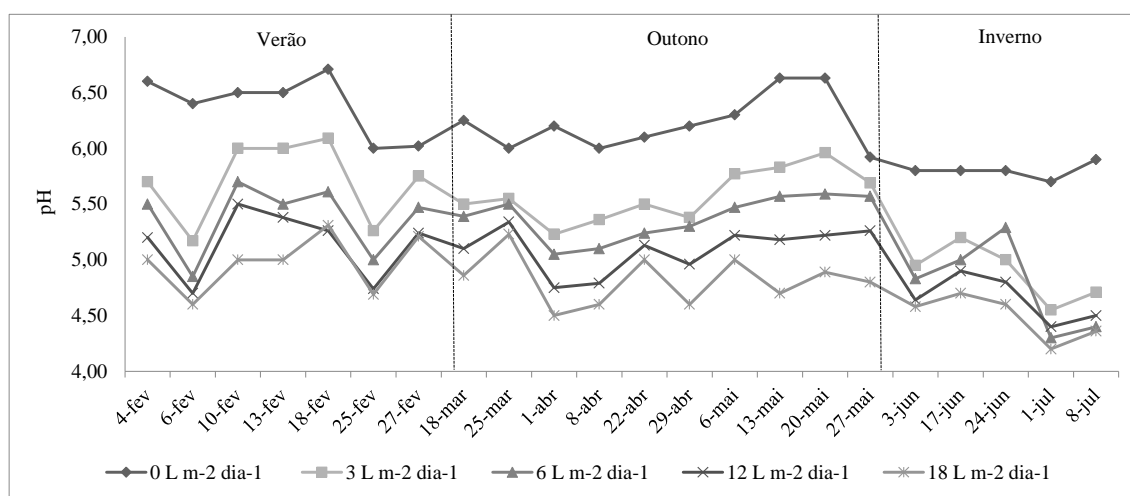
As diferenças entre as equações geradas, para as curvas de fotossíntese em resposta radiação fotossinteticamente ativa, foram avaliadas pela aplicação de testes de identidade de modelos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Determinação do pH

Verificou-se que, à medida que se aumentava as doses de CO<sub>2</sub>, havia redução dos valores de pH e a fertirrigação dos reservatórios com as doses de 0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> apresentaram médias de pH no período do verão de respectivamente: 6,63; 5,91; 5,44; 5,28 e 5,00; no período do outono atingiram valores do pH de 5,86; 5,51; 5,33; 5,05 e 4,58 e, no período do inverno, 5,50; 4,86; 4,70; 4,67 e 4,50 (Figura 2).

Essa diminuição do pH da água de fertirrigação em até 1,63 no período do verão e 1,28 no período do outono e 1,00 no período do inverno é plausível, comparando com trabalhos como de D'Andria (1990), que constatou redução temporária do pH da água de irrigação de 6,4 para 4,5 nos tratamentos que receberam doses de CO<sub>2</sub>. A redução do pH da água com a adição de CO<sub>2</sub> é em decorrência da formação do ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) e, também, foi verificada por Hartz e Holt (1991) e Guri et al. (1999).

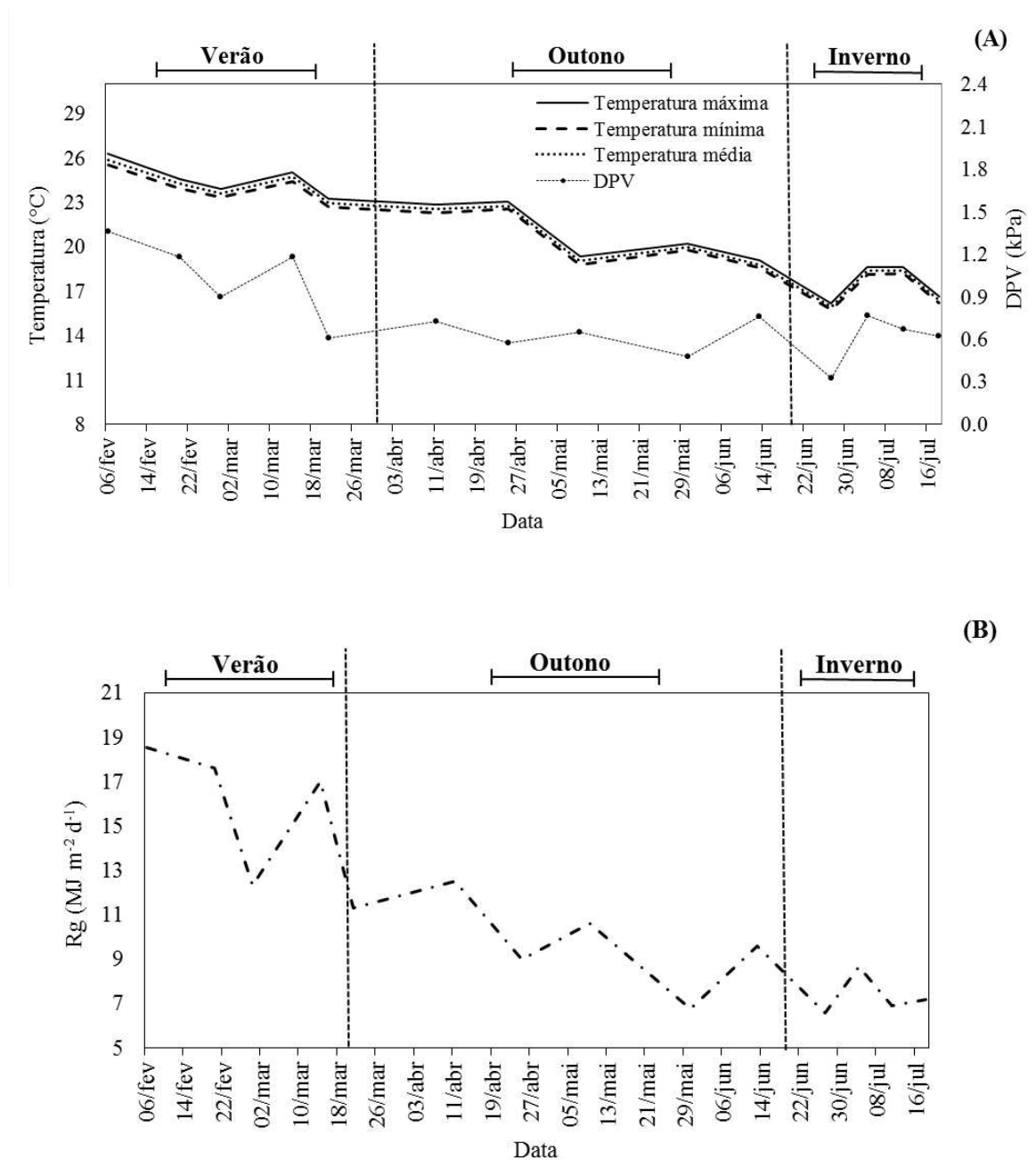


**Figura 2.** Potencial Hidrogeniônico (pH) da água de fertirrigação sob aplicação do CO<sub>2</sub> nos tratamentos de 0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em três períodos: verão, outono e inverno.

### Monitoramento dos elementos meteorológicos nas trocas gasosas

No período do verão foram observados valores médios de temperatura do ar, radiação solar e déficit de pressão de vapor de, respectivamente, 24,30°C, 15,35 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> e 1,05 kPa; no período do outono esses valores observados foram 20,65°C, 9,68 MJ

$\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$  e  $0,64 \text{ kPa}$  e no período do inverno  $17,30^{\circ}\text{C}$ ,  $7,33 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e  $0,60 \text{ kPa}$  (Figuras 3A e 3B).



**Figura 3.** Elementos meteorológicos durante os períodos (verão, outono e inverno) na avaliação das trocas gasosas, em minijardim clonal de Eucalipto, Viçosa-MG, 2014. (A) - Médias semanais da temperatura do ar mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura do ar máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura do ar média ( $^{\circ}\text{C}$ ) e déficit de pressão de vapor (DPV) (kPa); (B) - Radiação solar global (Rg) ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ).

De modo geral, as médias destes parâmetros (temperatura, radiação solar e déficit de pressão de vapor) reduziram ao longo do período avaliado. A temperatura do

ar afeta diversos processos biológicos da planta, em especial o crescimento e produção (CALIMAN et al., 2005). Martins et al. (2007) detectaram a influência da temperatura na emissão de folhas de mudas de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, ressaltando a importante contribuição deste parâmetro na ecofisiologia e manejo das mudas dessas duas espécies florestais.

A luz tem complexa influência no crescimento, desenvolvimento e na produção das culturas, de forma que o aumento da irradiância pode elevar a produção de fotoassimilados e sua disponibilidade para o crescimento da planta (CALIMAN et al., 2005). Em mudas de *Eucalyptus grandis*, o crescimento em fitomassa seca e em área foliar apresentou relação linear positiva com a radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada, com altos coeficientes de correlação e padrão de resposta principalmente dependente da densidade de mudas (CARON et al., 2012). Entretanto, quando a radiação solar é excessivamente elevada, pode haver aumento na taxa transpiratória da planta, resultando em fechamento estomático e diminuição da fotossíntese (ANDRIOLO, 2000).

O déficit de pressão de vapor, por outro lado, é uma variável que depende tanto da umidade e temperatura do ar como da temperatura da folha, e está relacionado à atividade fotossintética dos vegetais (OREN et al., 1999; MARENCO e LOPES, 2005). Avaliando clones de *Eucalyptus*, Tatagiba et al. (2007) observaram que a interação do déficit de pressão de vapor e outros fatores do ambiente podem contribuir para o fechamento parcial dos estômatos.

Os principais elementos meteorológicos que causam variações na condutância estomática são luz e umidade tanto do solo quanto do ar (LANDSBERG, 2003). A umidade do ar afeta o déficit de pressão de vapor (DPV), ao qual a abertura estomática é sensível (BARNARD e RYAN, 2003) e acarreta em diferentes potenciais fotossintéticos. Entender as influências do ambiente sobre a condutância estomática tem sido foco central dos estudos fisiológicos de plantas há décadas, em virtude da relação entre  $g_s$  e difusão de carbono e, portanto, crescimento da planta (ADDINGTON et al., 2004).

### **Monitoramento das trocas gasosas**

Com base nos resultados da análise de variância, não se observou efeito significativo pelo teste F ( $P < 0,05$ ), da interação "clone x dose" sobre a fotossíntese,

condutância estomática, transpiração, razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) e eficiência do uso da água nos experimentos E1, E2 e E3, respectivamente, período do verão, outono e inverno, indicando respostas semelhantes dos clones em relação à aplicação do CO<sub>2</sub> via água de irrigação nessas características avaliadas (Tabelas 1, 2 e 3).

**Tabela 1.** Fotossíntese, condutância estomática, transpiração, razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) e eficiência do uso da água em três clones de *Eucalyptus* (C1, C3 e C5), submetidos ao enriquecimento com CO<sub>2</sub> via água de irrigação, em cinco diferentes doses no experimento E1, período do verão. Viçosa, MG, 2014.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Condutância ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Ci/Ca	EUA ( $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ )
Bloco	2	0,5075	0,0896	29,9263*	0,0192	2,4109
Dose	4	0,2289	0,1413	16,0264*	0,0484	2,8319
Erro (a)	8	1,0000	1,0000	138,5434	0,0946	49,9749
Clone	2	1,3206*	0,1017	7,4831	0,1877*	30,0921*
Clone x Dose	8	0,6530	0,5306	36,3988	0,0467	9,2510
Erro (b)	20	1,5107	0,8100	56,1367	0,1602	32,4287
Média Geral		17,29	0,45	6,48	0,80	2,71
CV 1 (%)		10,81	13,39	10,87	2,31	15,64
CV 2 (%)		8,40	7,64	4,38	1,90	7,97

\*significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Ainda que o CO<sub>2</sub> aplicado via água de irrigação tenha apresentado efeito significativo em relação à transpiração e eficiência do uso da água nos períodos do outono e inverno (Tabelas 2 e 3), os parâmetros da regressão não foram significativos a 5% de probabilidade no teste t, o que determina que não há ajuste de uma curva que descreva o comportamento da transpiração e eficiência do uso da água em função das doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação.

**Tabela 2.** Fotossíntese, condutância estomática, transpiração, razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) e eficiência do uso da água em três clones de *Eucalyptus* (C1, C3 e C5), submetidos ao enriquecimento com CO<sub>2</sub> via água de irrigação, em cinco diferentes doses no experimento E2, período do outono. Viçosa, MG, 2014.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Condutância ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Ci/Ca	EUA ( $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ )
Bloco	2	4,2124	0,0031	3,6703*	0,0024	1,7058*
Dose	4	1,2971	0,0010	0,3988*	0,0005	0,1990*
Erro (a)	8	7,0890	0,0060	1,8619	0,0003	0,2597
Clone	2	21,8753*	0,0034	0,1326	0,0019*	0,8785*
Clone x Dose	8	0,6461	0,0034	0,2285	0,0003	0,0954
Erro (b)	20	3,5400	0,0019	0,1514	0,0002	0,0952
Média Geral		14,46	0,44	4,91	0,84	3,04
CV 1 (%)		18,42	17,72	27,76	2,16	16,75
CV 2 (%)		13,01	9,93	7,92	1,69	10,14

\*significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 3.** Fotossíntese, condutância estomática, transpiração, razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) e eficiência do uso da água em três clones de *Eucalyptus* (C1, C3 e C5), submetidos ao enriquecimento com CO<sub>2</sub> via água de irrigação, em cinco diferentes doses no experimento E3, período do inverno. Viçosa, MG, 2014.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Condutância ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Ci/Ca	EUA ( $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ )
Bloco	2	4,4029	0,0055	10,5962*	0,0009	4,7092*
Dose	4	7,4489	0,0031	0,7546*	0,0013	0,7850*
Erro (a)	8	5,6531	0,0057	1,0840	0,0004	1,1446
Clone	2	24,6046*	0,0071*	0,6456*	0,0012*	0,5085
Clone x Dose	8	2,0831	0,0026	0,1346	0,0003	0,0849
Erro (b)	20	2,8898	0,0016	0,0942	0,0002	0,1964
Média Geral		10,48	0,34	3,47	0,86	3,27
CV 1 (%)		22,68	22,31	30,04	2,22	32,71
CV 2 (%)		16,21	11,73	8,85	1,72	13,55

\*significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Gomes et al. (2005) observaram o mesmo comportamento para os tratamentos de CO<sub>2</sub>, não obtendo respostas na assimilação de CO<sub>2</sub> presente na atmosfera em função de acréscimos de CO<sub>2</sub> aplicados via água de irrigação. Cararo e Duarte (2002) não obtiveram respostas na taxa fotossintética de plantas de tomateiro com a dose de 7,73 g L<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> via água de irrigação, semelhante ao que foi verificado por Storlie e Heckman (1996) na fotossíntese na cultura do pimentão. Esses autores relatam que,

provavelmente, houve rápida dispersão do gás, durante a irrigação e, assim, não obtendo alterações no microclima em função de acréscimos de CO<sub>2</sub> aplicado via água de irrigação.

Canizares et al. (2004), avaliando as trocas gasosas em plantas de pepino, verificaram que a fotossíntese no primeiro semestre foi semelhante entre plantas irrigadas com água comum e enriquecida com CO<sub>2</sub>, enquanto no segundo semestre de avaliação foram observadas maiores taxas nas plantas irrigadas com água enriquecida.

Canizares et al. (2004) verificaram interação entre a dose de CO<sub>2</sub> aplicada via água de irrigação e a condutância estomáticas (gs), em plantas de pepino, observando queda da gs em ambos os semestres de avaliação; no primeiro semestre valores mais altos foram registrados pelas plantas irrigadas com água comum, porém, no final do ciclo desse semestre e, durante as duas avaliações do segundo semestre, as plantas irrigadas com água enriquecida com CO<sub>2</sub>, apresentaram maiores índices de gs.

Na análise da taxa de transpiração (E), Canizares et al. (2004) observaram queda considerável nos dois semestres, visto que, no início do ciclo do primeiro semestre, as plantas irrigadas com água comum apresentaram maior E que as irrigadas com água enriquecida com CO<sub>2</sub>, porém com valores semelhantes no final do ciclo do mesmo semestre. No segundo semestre, as plantas irrigadas com água enriquecida transpiraram mais que as irrigadas com água comum, no início e final do ciclo.

A eficiência do uso da água pela vegetação é definida como a quantidade de carbono assimilada por unidade de massa de água transpirada e representa o acoplamento dos ciclos do carbono e água e suas interações (TIAN et al., 2010). Esta relação expressa quantitativamente o comportamento das trocas gasosas na folha por relacionar a assimilação de CO<sub>2</sub> com a condutância estomática e a transpiração, possibilitando determinar alterações das condições ambientais e fisiológicas no desempenho da planta (ROSEMBERG et al. 1983).

Canizares et al. (2004), na determinação da eficiência do uso da água (EUA), observaram aumento da EUA, no decorrer do ciclo das plantas de pepino, no primeiro e segundo semestre de avaliação. No início do primeiro semestre não foi possível observar diferenças entre o uso da água comum e água enriquecida com CO<sub>2</sub>, porém ao final do ciclo, as plantas irrigadas com água comum apresentaram maiores índices, mantendo esta tendência no segundo semestre.

Verificou-se diferença significativa entre os clones na fotossíntese nos três experimentos (E1, E2 e E3). Observou-se que o C5 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*)

apresentou maior taxa fotossintética no E2 e E3 em relação aos clones C1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*) e C3 (*Eucalyptus grandis* x *E. globulus*) (Tabela 4).

As diferenças genéticas em relação à fotossíntese são consideráveis, pois a eficiência com que a energia luminosa é convertida em formas químicas depende das propriedades anatômicas e morfológicas das folhas (LANDSBERG, 2003), com a eficiência e quantidade de enzimas de carboxilação, e com a facilidade com que o CO<sub>2</sub> pode se difundir nos espaços intercelulares (forma e distribuição do aparato estomático) (LARCHER, 2006).

As taxas fotossintéticas dependem das variáveis ambientais, como radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e concentração de CO<sub>2</sub>. Com reduções de energia luminosa e temperatura, verificadas nos períodos outono e inverno (Figura 3), observaram-se quedas nos valores de fotossíntese nesses períodos em relação ao período do verão, E1 (Tabela 4).

Vellini et al. (2008) verificaram valores de fotossíntese em mudas, depois do período de aclimação, de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* avaliados um dia antes da irrigação diária, variando de 8 a 12  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Na avaliação da condutância estomática (gs) e transpiração no E3 (período do inverno), observou-se diferença significativa entre os clones. O C5 apresentou gs e transpiração superiores ao C3 (Tabela 4).

Chaves et al. (2004) verificaram em mudas de clones de eucalipto crescendo em tubete plástico com tratamento plenamente irrigado valores de gs variando de 0,0295 a 0,0604  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  no período do verão. Vellini et al. (2008) observaram valores de gs em mudas, após o período de aclimação, de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* avaliados um dia antes da irrigação diária, variando de 0,2 a 0,5  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

**Tabela 4.** Fotossíntese, condutância estomática, transpiração, razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) e eficiência do uso da água em três clones de *Eucalyptus* (C1, C3 e C5), nos períodos verão (E1), outono (E2) e inverno (E3) no minijardim clonal de eucalipto em Viçosa, MG, 2014.

Variável	Clone	Experimento		
		E1	E2	E3
Fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	C1	17,3267ab	13,8993b	9,7947b
	C3	16,1653b	14,2160ab	9,6960b
	C5	18,3833a	15,7680a	11,9620a
Condutância ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	C1	0,4407a	0,4233a	0,3413ab
	C3	0,4587a	0,4533a	0,3167b
	C5	0,4427a	0,4353a	0,3600a
Transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	C1	6,3873a	4,8200a	3,4373ab
	C3	6,5387a	5,0080a	3,2740b
	C5	6,5287a	4,9180a	3,6860a
Ci/Ca	C1	0,7947b	0,8507a	0,8700a
	C3	0,8133a	0,8460a	0,8580ab
	C5	0,7873b	0,8293b	0,8527b
EUA ( $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ )	C1	2,7293a	2,8693b	3,0800a
	C3	2,5280b	2,9400b	3,2860a
	C5	2,8653a	3,3193a	3,4473a

\* Letras minúsculas iguais nas colunas, para cada experimento (E1, E2 e E3) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

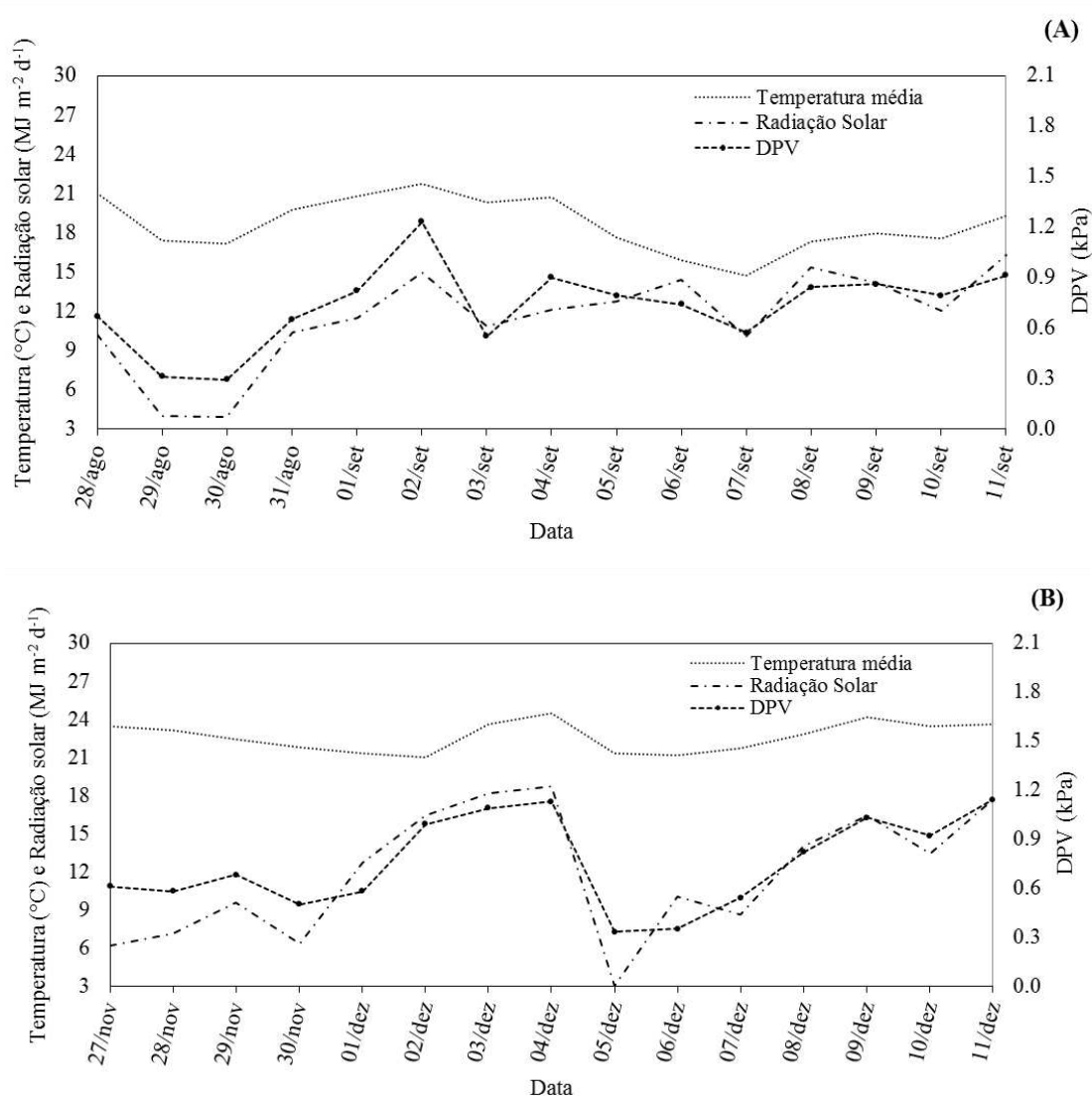
Na avaliação da razão da concentração de carbono interno e externo (Ci/Ca), observou-se diferença significativa entre os clones no E1, E2 e E3 (Tabela 4). A razão da concentração de carbono interno e externo (Ci/Ca) é dependente da fotossíntese e condutância estomática (HAY e PORTER, 2006). No E3, período do inverno, foram constatados maiores valores da razão Ci/Ca, para as minicepas dos clones C1, C3 e C5, em relação ao período do verão e outono, o que pode estar associado ao acúmulo de CO<sub>2</sub>, em razão dos valores reduzidos de fotossíntese e condutância estomática observados nesse período (Tabela 4). O período do verão foi o que proporcionou menores médias da razão Ci/Ca, período em que os valores médios de fotossíntese e condutância estomática foram maiores, indicando que o CO<sub>2</sub> pode ter sido fixado eficientemente.

A eficiência do uso da água (EUA) foi determinada pela razão entre a fotossíntese e transpiração. Observou-se diferença significativa entre os clones no E1 e E2 (Tabela 4). Apesar da taxa fotossintética ter sido maior no período do verão, E1, a

transpiração foi menor no E3, tendo assim os clones C1, C3 e C5 apresentaram maior EUA no E3 (Tabela 4).

### Monitoramento climático na avaliação da eficiência quântica

No E1, observaram-se valores médios diários de temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e radiação solar global de, respectivamente, 18,6°C, e 0,73 kPa e 11,50 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Figura 4A) e no E2 os valores observados foram 22,6°C, 0,75 kPa e 11,90 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Figura 4B).



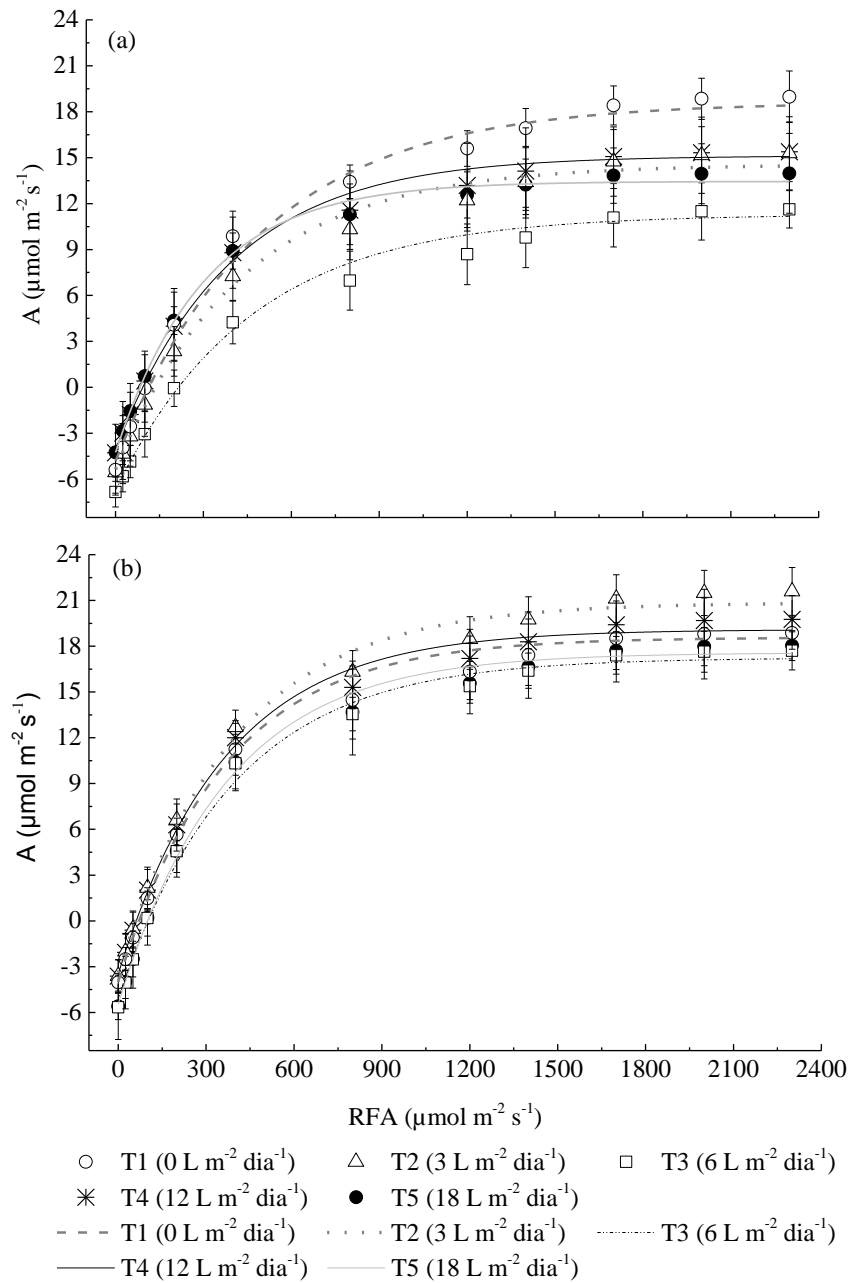
**Figura 4.** Monitoramento climático: temperatura do ar e déficit de pressão de vapor (DPV) e radiação solar global (Rg) em condições internas ao minijardim clonal de Eucalipto. A-Experimento 1 e B-Experimento 2. Viçosa- MG, 2014.

## Eficiência Quântica

As curvas de resposta da fotossíntese, em função da radiação fotossinteticamente ativa no clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*, avaliadas no E1 e E2 nos tratamentos de 0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, sob concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, estão apresentadas na Figura 5 e as respectivas equações encontram-se na Tabela 5.

A parte inicial das curvas representadas na Figura 5 mostra uma condição de ausência de luz (escuro), em que não existe assimilação de CO<sub>2</sub> e a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada pela respiração excede aquela produzida pela fotossíntese, proporcionando balanço negativo, que é indicado pela parte negativa da curva.

Quando ocorre aumento do fluxo de radiação e o processo fotossintético fixa exatamente a mesma quantidade de CO<sub>2</sub>, liberado pela respiração, não existe troca de CO<sub>2</sub> entre a folha e a atmosfera, diz-se que o processo atingiu o ponto de compensação por luz (ponto 0). O aumento do fluxo de radiação, além desse ponto, resulta num relacionamento linear entre o fluxo de radiação e a velocidade fotossintética. Nessa situação, o processo é limitado pela disponibilidade de radiação. A declividade da região linear dessa curva representa o rendimento quântico máximo da fotossíntese, ou seja, expressa a relação de moles de carbono (C) assimilados e moles de fótons absorvidos. Após a região de linearidade, o processo fotossintético passa a ser limitado pela disponibilidade de CO<sub>2</sub> (LARCHER, 2006; TAIZ e ZEIGER, 2013).



**Figura 5.** Curvas de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função da radiação fotossinteticamente ativa ( $RFA$ ) para o clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1), em diferentes condições climáticas: E1 com temperatura média de  $18,6^{\circ}\text{C}$  (a), E2 com temperatura média de  $22,6^{\circ}\text{C}$  (b). Viçosa- MG, 2014.

**Tabela 5.** Equações referentes aos ajustes das curvas de Fotossíntese-A versus a Radiação Fotossinteticamente Ativa-RFA nos experimentos E1- Período com temperatura média diária de 18,60°C e E2- Período com temperatura média diária de 22,62°C nas doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação de 0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, Viçosa-MG, 2014.

Experimento	Dose de CO <sub>2</sub> (L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>
E1	0	$Y = 18,62 \left[ 1 - e^{-0,00203 (x-23,43)} \right]$	0,990
	3	$Y = 14,56 \left[ 1 - e^{-0,00232 (x-19,90)} \right]$	0,992
	6	$Y = 11,29 \left[ 1 - e^{-0,00217 (x-17,99)} \right]$	0,995
	12	$Y = 15,12 \left[ 1 - e^{-0,00258 (x-19,21)} \right]$	0,996
	18	$Y = 13,44 \left[ 1 - e^{-0,00331 (x-17,70)} \right]$	0,998
E2	0	$Y = 18,57 \left[ 1 - e^{-0,00274 (x-22,56)} \right]$	0,998
	3	$Y = 20,85 \left[ 1 - e^{-0,00254 (x-24,26)} \right]$	0,994
	6	$Y = 17,24 \left[ 1 - e^{-0,00253 (x-22,31)} \right]$	0,992
	12	$Y = 19,09 \left[ 1 - e^{-0,00272 (x-22,57)} \right]$	0,995
	18	$Y = 17,57 \left[ 1 - e^{-0,00270 (x-23,02)} \right]$	0,996

Em que: Y = Estimativa da fotossíntese ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); x = radiação fotossinteticamente ativa ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

Com a comparação das curvas de resposta da fotossíntese, em função da radiação fotossinteticamente ativa entre as diferentes doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação, utilizando o teste de identidade de modelos ao nível de 5% de significância, no E1 verificou-se diferença significativa entre as doses de 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em relação à testemunha (0 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); 6 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 3 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 3 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; 12 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 6 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; 12 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 3 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 12 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. No E2 observou-se diferença significativa entre as doses de 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em relação à testemunha (0 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); 6 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em relação ao tratamento de 3 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; 12 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 6 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 6 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (Tabela 6).

**Tabela 6.** Teste de identidade de modelos ( $A = A_{\max} [1 - e^{-k(RFA-PCR)}]$ ) das curvas de resposta da fotossíntese em função da radiação fotossinteticamente ativa em um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* (C1) sob diferentes doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação, nos experimentos 1 e 2.

Experimento 1	P valor
Dose (3 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (0 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	0,0009
Dose (6 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (0 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,0693
Dose (12L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (0 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,4203
Dose (18 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (0 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,3131
Dose (6L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (3 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	<0,0001
Dose (12 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (3 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	0,0046
Dose (18 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (3 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	< 0,0001
Dose (12 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (6 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	< 0,0001
Dose (18 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (6 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,9780
Dose (18 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (12 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	0,0045
Experimento 2	P valor
Dose (3 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (0 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	0,0004
Dose (6 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (0 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	<0,0001
Dose (12L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (0 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	0,0019
Dose (18 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (0 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	0,0000
Dose (6L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (3 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	<0,0001
Dose (12 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (3 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,0853
Dose (18 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (3 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	0,0476
Dose (12 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (6 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	<0,0001
Dose (18 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (6 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )*	<0,0001
Dose (18 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) x Dose (12 L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	0,2871

\*significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste de identidade de modelos.

De acordo com os dados estabelecidos nas equações verificadas na Tabela 5, foram calculados os valores de eficiência quântica com base na Equação 2, no qual encontraram -se os seguintes valores de 0,04; 0,04; 0,03; 0,04 e 0,05 μmol CO<sub>2</sub> (μmol fótons)<sup>-1</sup> com as doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação de 0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente no E1. Esses valores foram referentes ao período com temperatura média diária de 18,6°C. O melhor desempenho do C1 na eficiência quântica com a aplicação da maior dose de CO<sub>2</sub> (18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) pode estar associado à maior quantidade de CO<sub>2</sub> proporcionado pelo gás diluído em água e, assim, podendo ter alterado o microclima.

No E2, referente ao período com temperatura média diária de 22,6°C, observaram -se valores de (α) de 0,05; 0,06; 0,05; 0,06 e 0,05 μmol CO<sub>2</sub> (μmol fótons)<sup>-1</sup>, respectivamente, nas doses de 0, 3, 6, 12 e 18 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Nas doses de 3 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 12 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> observou-se melhor desempenho do C1 na eficiência quântica.

A eficiência quântica é a inclinação inicial da curva de fotossíntese em resposta à radiação e representa a máxima eficiência da luz na fotossíntese (BAESSO, 2011).

Para o zoneamento do potencial produtivo de diferentes clones de eucalipto em Minas Gerais, Guimarães et al. (2007) consideraram a eficiência quântica máxima do dossel de  $0,07 \mu\text{mol CO}_2 (\mu\text{mol fótons})^{-1}$ , enquanto Ögren e Evans (1993) observaram valores de eficiência quântica de 0,057 em folhas de *Eucalyptus maculata* e *E. pauciflora*. Baesso (2011) observou maiores valores de eficiência quântica nas folhas de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* sob altas concentrações de  $\text{CO}_2$ , com ligeiro decréscimo do inverno para o período quente.

Estudos comparativos mostram que a eficiência fotossintética varia pouco entre as espécies de diversas origens, quando as plantas crescem sob condições não limitantes e que a eficiência quântica fica próxima ao valor teoricamente atingível (SINGSAAS et al., 2001). Segundo Gholz e Lima (1997), existe uma base teórica consistente afirmando que o valor de eficiência quântica, sob condições normais de  $\text{CO}_2$ , não pode exceder o valor de  $0,05 \mu\text{mol CO}_2 (\mu\text{mol fótons})^{-1}$ . Apesar disso, é relatada uma variação observada em plantas vasculares terrestres, entre 0,05 e  $0,12 \mu\text{mol CO}_2 (\mu\text{mol fótons})^{-1}$  (BJÖRKMAN e DEMMIG, 1987; LONG et al., 1993).

## CONCLUSÕES

O  $\text{CO}_2$  aplicado via água de irrigação não apresentou efeito significativo em relação à fotossíntese, condutância estomática, transpiração, razão entre concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $\text{Ci}/\text{Ca}$ ) e eficiência do uso da água para os clones C1, C3 e C5 nos períodos do verão, outono e inverno. A maior dose de  $\text{CO}_2$  aplicada via água de irrigação proporcionou o melhor desempenho do C1 na eficiência quântica no E1, período com temperatura média diária de  $18,6^\circ\text{C}$ . No E2, período com temperatura média diária de  $22,6^\circ\text{C}$ , o C1 atingiu melhor desempenho na eficiência quântica com as doses de  $3 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $12 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDINGTON, R. N.; MITCHELL, R. J.; OREN, R.; DONOVAN, L. A. Stomatal sensitivity to vapor pressure deficit and its relationship to hydraulic conductance in *Pinus palustris*. **Tree Physiology**, Victoria, v. 24, p. 561-569, 2004.

ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 18, suplemento, p. 26-32, 2000.

BAESSO, R. C. E. **Efeito do CO<sub>2</sub> na eficiência quântica do eucalipto e sua utilização na modelagem de seu crescimento pelo 3-PG**. 2011. 118f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 2012.

BARNARD, H.R.; RYAN, M.G. A test of the hydraulic limitation hypothesis in fast-growing *Eucalyptus saligna*. **Plant, Cell and Environment**, v.26, p.1235-1245. 2003.

BENNETT, I.J.; McCOMB, J.A.; TONKINI, C.M.; McDAVID, D.A.J. Alternating cytokinins in multiplication media stimulates in vitro shoot growth and rooting of *Eucalyptus globulus* Labill. **Annals of Botany**, Oxford, v.74, n.1, p.53-58. 1994.

BJÖRKMAN, O.; DEMMIG, B. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v.170, p.489-504, 1987.

BORGES, S. R.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S. MELO, L. A.; ROSADO, A. M. Enraizamento de miniestacas de clones Híbridos de *Eucalyptus globulus*. **Revista Árvore**, v.35, n.3, pp. 425-434, 2011.

CALIMAN, F. R. B. **Produção e qualidade de frutos de genótipos de tomateiro em ambiente protegido e no campo**. 2003. 72 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Curso de pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2003.

CANIZARES, K.A.L.; RODRIGUES, J.D.; GOTO, R. Crescimento e índices de troca gasosa em plantas de pepino irrigadas com água enriquecida com CO<sub>2</sub>. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v.22, n.4, p.706-711, out-dez 2004.

CARARO, D.C.; DUARTE S.N. Injeção de CO<sub>2</sub> e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v.20, n.3, p.432-437, 2002.

CARON, O.; SOUZA, V.Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; BAMBERG, R.; ELOY, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p. 833-842, 2012.

CHAVES, J. H.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.3, p. 333-341, 2004.

D'ANDRIA, R.; NOVERO, R.; SMITH, D.H.; SHANAHAN, J.F.; MOORE, F.D. Drip irrigation of tomato using carbonated water and mulch in Colorado. **Acta Hort.**, Wageningen, v. 278, n. 1, p. 171-178, 1990.

DURÃO, P.L.; GALVÃO, A.C. Gás Carbônico em irrigação: tecnologia de ponta para aumentar a produtividade e qualidade dos produtos agrícolas. **Ciência Hoje**, v.19, n.110, p.12-15, 1995.

GHOLZ, H.; LIMA, W.P. The ecophysiological basis for productivity in the tropics. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. (Eds.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 213-246.

GOMES, T.M.; BOTREL, T. A.; MODOLO, V. A.; OLIVEIRA, R. F. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.2, p.316-319, 2005.

GUIMARÃES, D. P.; SILVA, G. G. C.; SANS, L. M. A.; LEITE, F. P. Uso do modelo de crescimento 3-PG para o zoneamento do potencial produtivo do eucalipto no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 15, n. 2, p. 192-197, 2007.

GURI, S.; MARFA, O.; SAVÉ, R. **Efecto de la irrigación carbónica em la producción de un cultivo de pimiento**. Barcelona: IRTA, Departamento de Tecnologia Hortícola, 1999.6 p.

HARTZ, T. K.; HOLT, D. B. Root-zone Carbon Dioxide Enrichment in field does not improve tomato or cucumber yield. **HortScience**, v. 26, n. 11, p. 14-23, 1991.

HAY, R.; PORTER, J. **The physiology of crop yield**. 2<sup>a</sup>. Blackwell, Oxford, 2006. 314p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES- IBÁ. **Relatório Estatístico da Indústria Brasileira de Árvores**. 1<sup>a</sup> Edição. 2014, 100p. Disponível em:<<http://www.iba.org/pt/>>. Acesso em: 20 abril 2015.

JURAS, I. A. G. M. **Mudança do clima: Principais conclusões do 5º Relatório do IPCC**. Nota Técnica. Brasília – DF. 9 p. Nov. 2013.

LANDSBERG, J. Physiology in forest models: history and the future. **FBMIS**, v.1, p.49-63, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2006. 550 p.

LONG, S.P.; POSTL, W.F.; BOLHÁR, N.H.R. Quantum yield for uptake of carbon dioxide in C3 vascular plants of contrasting habitats and taxonomic groupings. **Planta**, v. 189, p. 226-234, 1993.

LORENZO-MINGUEZ, P.; MAROTO, C. CO<sub>2</sub> in plastic greenhouse in Almeria (Spain). **Acta Horticulturae**, v.268, p.165-167, 1990.

MACHADO, E.C.; TAKANE, R.J.; FERRO, R. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação em agricultura. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. **Guaíba: Agropecuária**, 1999. cap. 4, p. 345-353.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2005. 451p.

MARTINS, F.B.; SILVA, J.C.; STRECK, N.A. Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de eucalipto na fase de muda. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 373-381, 2007.

ÖGREN, E.; EVANS, J. R. Photosynthetic light-response curves. I. The influence of CO<sub>2</sub> partial pressure and leaf inversion. **Planta**, v. 189, p. 182-190, 1993.

OREN, R.; SPERRY, J.S.; KATUL, G.G.; PATAKI, D.E.; EWERS, B.E.; PHILLIPS, N.; SCHAFER, K.V.R. Survey and synthesis of intra-and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, n. 12, p. 1515-1526, 1999.

PEREIRA, A.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PINTO, J. M.; BOTREL, T. A.; MACHADO, E. C.; FEITOSA FILHO, J. C. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação em relação à produtividade do meloeiro. **Science. Agrícola**, v. 58, n.1, p. 27-31. 2001.

PRADO, C.H.B.A.; MORAES, J.A.P.V. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. **Photosynthetica**, v. 33, p. 103-112, 1997.

ROSENBERG, N. J.; Blad B. L. **Microclimate The biological environment**. John Wilay & Sons. New York. 495p. 1983.

SINGSAAS, E.L.; ORT, D.R.; DELUCIA, E.H. Variation in measured values of photosynthetic quantum yield in ecophysiological studies. **Oecologia**, v. 128, p.15-23, 2001.

STORLIE, C. A., HECKMAN, J. R. Bell Pepper yield response to carbonates irrigation water. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.19, p.1477-1484. 1996.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artemed, 2013, 918p.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Avaliação do crescimento e produção de clones de *Eucalyptus* submetidos a diferentes manejos de irrigação. **CERNE**, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2007.

TIAN, H. et al. Model estimates of net primary productivity, evapotranspiration, and water use efficiency in the terrestrial ecosystems of the southern United States during 1895-2007. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1311-1327, 2010.

VELLINI, A. L. T. T.; PAULA, N. F.; ALVES, P. L. C. A.; PAVANI, L. C.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.651-663, 2008.

XAVIER, A. WENDLING, I. SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 278p.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO<sub>2</sub> assimilation of *Quercus liaotungensis* undermidday higher irradiance. **Photosynthetica**, Prague, v.39, p. 383-388, 2001.

## CONCLUSÕES GERAIS

- Considerando a avaliação da produtividade de miniestacas/minicepa/semana, biomassa de miniestacas, porcentagem de sobrevivência e enraizamento das miniestacas, na saída da casa de vegetação nos dois períodos de avaliação, verão e outono, observou-se que os clones responderam de maneira semelhante à aplicação do CO<sub>2</sub> via água de irrigação.
- Na avaliação da qualidade das mudas, aos 30 dias de enraizamento no período do outono, verificou-se resposta positiva do clone C1, híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*, com as doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação.
- Com os processos fisiológicos mensurados (fotossíntese, condutância estomática, transpiração, razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) e eficiência do uso da água) nos períodos do verão, outono e inverno, também, observou-se que os clones C1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*); C3 (*Eucalyptus grandis* x *E. globulus*) e C5 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*) responderam de maneira semelhante à aplicação do CO<sub>2</sub> via água de irrigação.
- Na avaliação da eficiência quântica observou-se desempenho positivo com as doses de CO<sub>2</sub> aplicadas via água de irrigação no clone C1, híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*.