

ALINE SANTANA DE OLIVEIRA

**PROPAGAÇÃO CLONAL DE EUCALIPTO EM AMBIENTE PROTEGIDO
POR ESTUFINS: PRODUÇÃO, ECOFISIOLOGIA E MODELAGEM DO
CRESCIMENTO DAS MINIESTACAS**

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
2016

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

T

O48p
2016

Oliveira, Aline Santana de, 1985-

Propagação clonal de eucalipto em ambiente protegido por estufins : produção, ecofisiologia e modelagem do crescimento das miniestacas / Aline Santana de Oliveira. – Viçosa, MG, 2016.

xi, 79f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Aristides Ribeiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Eucalipto - Clonagem. 2. Eucalipto - Propagação por estaquia. 3. Eucalipto - Micropropagação. 4. Ecofisiologia.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola. II. Título.

CDD 22 ed. 634.973766

ALINE SANTANA DE OLIVEIRA

**PROPAGAÇÃO CLONAL DE EUCALIPTO EM AMBIENTE PROTEGIDO
POR ESTUFINS: PRODUÇÃO, ECOFISIOLOGIA E MODELAGEM DO
CRESCIMENTO DAS MINIESTACAS**

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: 29 de julho de 2016.



Valéria Hollunder Klippel



Francisca Zenaide de Lima



Fábio da Silveira Castro



André Quintão de Almeida



Aristides Ribeiro
(Orientador)

DEDICO

*Aos meus amores, André e Marcelo.
Aos meus pais, Jorge e Lourdinha.
À minha irmã Daniela.*

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos
não é senão uma gota de água no mar. Mas o
mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.
(Madre Teresa de Calcutá)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar saúde, proteção e força.

Ao meu amado filho André, por fazer com que todos os meus dias sejam felizes e me ensinar o verdadeiro sentido da vida.

Ao meu marido Marcelo, pelo amor, carinho, paciência e por estar sempre ao meu lado.

Aos meus pais, Jorge e Lourdinha, pelo amor e educação oferecida em todos os momentos. Agradeço à minha mãe, pelas orações e pelo cuidado comigo e com o André. Ao meu pai, pelas sábias palavras e ensinamentos.

À minha irmã Daniela, pelo apoio, amizade, companheirismo e amor.

Ao Geraldinho, Fátima, Maria, Dudu e Simone, pelos momentos de alegria e cuidados com o André.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realização do curso e aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola.

Ao professor Aristides Ribeiro, pela orientação, ensinamentos, paciência e pela confiança.

Às minhas queridas amigas Aninha e Valéria, que estiveram sempre ao meu lado torcendo para que tudo desse certo.

Aos amigos do Grupo de Pesquisas Biomodel. Agradeço especialmente à Aninha, Elias, Jamille e Robert, que muito contribuíram para a realização do experimento.

À Graça, secretária do Programa de Pós Graduação em Meteorologia Agrícola, pela amizade, paciência e apoio.

Aos funcionários do Viveiro de Pesquisas pertencente ao Departamento de Engenharia Florestal.

Aos amigos e colegas do Programa de Pós Graduação em Meteorologia Agrícola.

Ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudo.

Às pessoas que, direta ou indiretamente, permitiram e torceram para que este trabalho fosse executado.

BIOGRAFIA

Aline Santana de Oliveira, filha de Jorge Lopes da Silva Oliveira e Maria de Lourdes Santana Castro, nasceu em 23 de abril de 1985, em Viçosa, Minas Gerais.

Em março de 2005, ingressou no curso de Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em dezembro de 2009.

Em março de 2010, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, defendendo a dissertação em fevereiro de 2012.

Em março de 2012 iniciou o curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada na Universidade Federal de Viçosa, tendo defendido a tese em julho de 2016.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT.....	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
CAPÍTULO 1. PRODUTIVIDADE DE MINICEPAS, BIOMETRIA E ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS PRODUZIDAS EM MINIJARDIM CLONAL DE EUCALIPTO PROTEGIDO POR ESTUFIM.....	4
1.1. INTRODUÇÃO	4
1.2.MATERIAL E MÉTODOS	6
1.2.1. Caracterização do minijardim clonal e delineamento experimental	6
1.2.2. Monitoramento dos elementos meteorológicos e concentração de CO ₂	8
1.2.3. Monitoramento da produção das minicepas e enraizamento das miniestacas	9
1.2.4. Análise estatística.....	11
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
1.3.1. Elementos meteorológicos e concentração de CO ₂	11
1.3.2. Produção das minicepas e biometria das miniestacas	18
1.3.3. Enraizamento das miniestacas	26
1.4. CONCLUSÕES	30
1.5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
CAPÍTULO 2. RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DE MINICEPAS CONDUZIDAS EM MINIJARDIM CLONAL DE EUCALIPTO PROTEGIDO POR ESTUFIM.....	34
2.1. INTRODUÇÃO	34
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	36
2.2.1. Monitoramento das variáveis fisiológicas das miniestacas de eucalipto	36
2.2.2. Monitoramento das variáveis biométricas das miniestacas de eucalipto	37

2.2.3. Análise estatística.....	38
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
2.3.1. Elementos meteorológicos e concentração de CO ₂	38
2.3.2. Monitoramento das variáveis fisiológicas das miniestacas de eucalipto	45
2.3.3. Monitoramento das variáveis biométricas das miniestacas de eucalipto	52
2.4. CONCLUSÕES	57
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
CAPÍTULO 3. MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE MINIESTACAS DE EUCALIPTO PRODUZIDAS EM AMBIENTE PROTEGIDO POR ESTUFIM COM BASE NA SOMA TÉRMICA.....	62
3.1. INTRODUÇÃO	62
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	64
3.2.1. Monitoramento do crescimento das miniestacas.....	64
3.2.2. Monitoramento da temperatura e cálculo da soma térmica	65
3.2.3. Desenvolvimento e validação de modelos de crescimento nas miniestacas	66
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
3.3.1. Monitoramento e estimativa do crescimento das miniestacas em função da soma térmica	69
3.4. CONCLUSÕES	76
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
3.6. CONCLUSÕES GERAIS	79

RESUMO

OLIVEIRA, Aline Santana de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Propagação clonal de eucalipto em ambiente protegido por estufins: produção, ecofisiologia e modelagem do crescimento das miniestacas.** Orientador: Aristides Ribeiro.

O gênero *Eucalyptus* possui grande importância em plantios florestais comerciais que visam a produção de papel, celulose, madeira e carvão, por apresentar crescimento rápido e ser muito adaptado às condições edafoclimáticas do Brasil. Uma das tecnologias que vem sendo utilizadas na propagação do eucalipto em minijardim clonal é o uso de estufim. O emprego do estufim promove alteração do ar atmosférico próximo ao dossel das cepas alterando a temperatura e umidade do ar, irradiância solar e a concentração de CO₂. Este trabalho teve como principal objetivo realizar um estudo comparativo entre o uso dos estufins em minijardim clonal e o manejo tradicional, no comportamento ecofisiológico, produtivo e na qualidade de minicepas de um híbrido de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). O trabalho foi realizado no viveiro de pesquisas pertencente à Universidade Federal de Viçosa, no período de junho de 2014 a julho de 2016. Foram monitoradas variáveis meteorológicas (temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar), biométricas (biomassa fresca, biomassa seca, área foliar, diâmetro do colo e altura) e fisiológicas (fotossíntese, transpiração, condutância estomática, relação Ci/Ca), nos dois tratamentos. Resultados mostraram que a temperatura nas parcelas com estufim foi 10,6 % superior no período frio e 13,0 % no período quente, em relação à temperatura observada nas parcelas sem estufim. A concentração de gás carbônico nas parcelas com estufim apresentou maior amplitude, em ambos os períodos climáticos. Na maioria das coletas a quantidade de estacas produzidas pelas cepas conduzidas sob o estufim foi superior à das produzidas sem o estufim, sendo esse aumento mais acentuado no período quente, tendo sido observado um aumento de 82 % nas parcelas sem estufim e 132 % nas parcelas com estufim. Foi possível observar um aumento de produção de estacas de 29 % nos meses mais frios e 65 % nos meses mais quentes. Além disso, sob maior temperatura foi observado tendência de aumento da altura e distância entre os pares de folhas consecutivos e menor diâmetro do colo, área foliar e biomassa das estacas, porém, com maiores taxas de

enraizamento. Nesse tratamento também foi verificado menores A e maiores gs, E e Ci/Ca, além de maior eficiência quântica. A soma térmica necessária para a produção de estacas em cepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas em jardim clonal foi igual a 61 graus-dia nas parcelas sem estufim e 76 graus-dia nas parcelas com estufim, tendo os modelos obtidos para estimativa das variáveis biométricas em função dos graus-dia acumulados apresentado índices estatísticos satisfatórios. O uso do estufim no minijardim clonal de eucalipto pode ser uma técnica promissora para aumentar a capacidade produtiva do minijardim.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Aline Santana de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2016. **Clonal propagation of Eucalyptus in environment protected by mini-tunnels: production, ecophysiology and modeling growth of minicuttings.** Adviser: Aristides Ribeiro.

The genus *Eucalyptus* has great importance in commercial forest plantations aimed at the production of paper, cellulose, wood and coal, to present rapid growth and be very adapted to the climate and soil conditions in Brazil. One of the technologies that have been used in the propagation of eucalyptus in clonal mini garden is the use of mini-tunnels. The use of mini-tunnels promotes change in atmospheric air near the strains canopy changing the temperature and humidity, solar irradiance and CO₂ concentration. This study aimed to carry out a comparative study of the use of mini-tunnels in clonal mini garden and the traditional management in ecophysiological, productive behavior and quality of minicuttings a *Eucalyptus* hybrid (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). The work was carried out in the nursery research belonging to the Federal University of Viçosa, from June 2014 to July 2016. Meteorological variables (temperature and relative humidity, solar radiation), biometrics (fresh biomass, dry biomass, leaf area, stem diameter and height) and physiological (photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, ratio Ci/Ca), were monitored in two treatments. Results showed that the temperature in the plots with mini-tunnels was 10.6% higher in the cold and 13.0% in the period warm period, in relation to the temperature observed in the plots without mini-tunnels. The concentration of carbon dioxide in the plots with mini-tunnels showed greater amplitude in both climatic periods. Most of the collections the amount of cuttings produced by strains conducted under the mini-tunnels was higher than those produced without the mini-tunnels, this being more marked increase in the hot period and was observed an increase of 82% in no mini-tunnels plots and 132% in the plots with mini-tunnels. It was observed an increase in production of 29% stakes in the cooler months and 65% in the warmer months. In addition, at higher temperature was observed trend of increasing height and distance between pairs of consecutive leaves and lower stem diameter, leaf area and biomass of stakes, but with higher strike rates. In this treatment was also observed smaller A, gs, E and Ci / Ca, and higher quantum

efficiency. Thermal time required for the production of cuttings in *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conducted in clonal garden was equal to 61 degree days in installments without mini-tunnels and 76 degree days in installments mini-tunnels, and the models obtained for estimation of variables biometric due to the accumulated degree days presented satisfactory statistical indices. The use of mini-tunnels in minigarden clonal eucalyptus may be a promising technique to increase the productive capacity of minigarden.

INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Eucalyptus* possui grande importância em plantios florestais comerciais que visam a produção de papel, celulose, madeira e carvão, por apresentar crescimento rápido e ser muito adaptado às condições edafoclimáticas do Brasil. Além das funções produtivas, os plantios florestais contribuem para a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa, como fontes de energia renováveis e atuam na conservação de recursos naturais, tais como o solo e a água.

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), os plantios de eucalipto no Brasil ocupam uma área de 5,56 milhões de hectares, o que representa 71,9% do total da área de árvores plantadas no país, sendo os plantios localizados principalmente em Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%), Mato Grosso do Sul (14,5%), Bahia (11,4%), Rio Grande do Sul (5,6%), Espírito Santo (4,1%) e Paraná (4,0%) (IBÁ, 2015).

O crescimento da área plantada de eucalipto frente ao indicador de 2013 foi de 1,55 % (85.000 ha), o que demandou o plantio de aproximadamente 140 milhões de mudas (IBÁ, 2014).

Diante do aumento do custo de produção de madeira, frente à estagnação da produtividade da mão-de-obra e aumento da inflação do setor de árvores plantadas, é necessária a busca constante de técnicas que promovam maior produtividade dos plantios florestais, desde a produção de mudas no viveiro até a formação da árvore adulta no campo. Com a atual expansão do setor florestal no Brasil, é estimada uma maior demanda de mudas de eucalipto do que a observada no ano anterior.

Nas últimas décadas tem sido observado um constante aumento no interesse pela silvicultura clonal, decorrente tanto das vantagens do processo quanto da possibilidade de contornar problemas de determinadas doenças, heterogeneidade e produtividade dos plantios florestais (XAVIER et al., 2009).

Dentre os métodos de propagação clonal em escala comercial tem-se a miniestaquia, uma técnica desenvolvida para o eucalipto a partir de 1990, que consiste na utilização de brotações de plantas propagadas pelo método de estaquia convencional como fonte de propágulos vegetativos. Nessa técnica, inicialmente é realizada a poda do ápice da brotação da estaca enraizada, sendo as miniestacas coletadas após a emissão de brotações das gemas axilares na porção restante da

muda. Dessa forma, a parte basal da muda podada constitui uma minicepa, que fornecerá as miniestacas para formação das futuras mudas clonais. As minicepas são produzidas em um local denominado minijardim clonal (XAVIER et al., 2009).

A partir da implementação dessa técnica de propagação clonal, surgiram diversas alternativas para melhorias das estruturas disponíveis para a propagação, crescimento e desenvolvimento das plantas. Uma das tecnologias que vem sendo utilizadas na propagação do eucalipto em minijardim clonal é o uso de estufim, que consiste em uma estufa que abrange uma área menor, em forma de túnel e revestida por plástico. Resultados preliminares têm mostrado que o uso desse tipo de estrutura mantém o ambiente das minicepas úmido e quente, aumenta a produção de miniestacas e também o enraizamento, além de reduzir a formação de calos durante o processo de enraizamento (ASSIS, 2011).

Em geral, na região Sudeste do Brasil não é observado variação extrema dos elementos climáticos ao longo do ano, tal como é observado na região Sul do país, em que, por exemplo, na estação do inverno é verificada baixa disponibilidade de radiação solar e consequente diminuição da temperatura. Nesse sentido, é importante verificar se o uso de estufins em uma região na qual não há limitações quanto às condições térmicas e luminosas ocasiona respostas benéficas na produção de miniestacas de eucalipto.

Além disso, ainda que alguns trabalhos demonstrem o efeito positivo da utilização de estufins em minijardim clonal, é necessário compreender os mecanismos fisiológicos impostos às minicepas em face das mudanças do ambiente relacionando-os à produção e qualidade das miniestacas e mudas geradas.

Diante do exposto, este trabalho teve como principal objetivo realizar um estudo comparativo do efeito do uso dos estufins em minijardim clonal em relação ao manejo tradicional, no comportamento ecofisiológico, produtivo e na qualidade de minicepas de um híbrido de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*).

O trabalho foi dividido em três capítulos. No primeiro foi avaliado os aspectos produtivos das minicepas conduzidas sob estufins; no segundo foi estudado as respostas ecofisiológicas dessas minicepas; e no último capítulo foi realizado a modelagem do desenvolvimento das miniestacas usando como preditor a soma térmica pelo acúmulo de graus-dia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, T. F. Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the Eucalyptus clonal forestry. **BMC Proceedings**, n. 5 (Suppl 7): I18, 2011. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1753-6561/5/S7/I18>>. Acesso em 10 jul. 2016. doi:10.1186/1753-6561-5-S7-I18

IBÁ. (2014) Indústria Brasileira de Árvores. **Indicadores do setor brasileiro de árvores plantadas, Ano base 2013**. Brasília, 100 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em 24 jul. 2016.

IBÁ. (2015) Indústria Brasileira de Árvores. **Indicadores do setor brasileiro de árvores plantadas, Ano base 2014**. Brasília, 85 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em 10 jul. 2016.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. da. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa: Editora UFV, 2009. 272 p.

CAPÍTULO 1

PRODUTIVIDADE DE MINICEPAS, BIOMETRIA E ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS PRODUZIDAS EM MINIJARDIM CLONAL DE EUCALIPTO PROTEGIDO POR ESTUFIM

1.1. INTRODUÇÃO

Na década de 1970 a silvicultura seminal do gênero *Eucalyptus* deu lugar à clonal no Brasil. As favoráveis condições edafoclimáticas e o alto nível tecnológico atingido pela silvicultura foram fundamentais para tornar o país um dos líderes mundiais na produção de madeira. Neste contexto, os ganhos com a clonagem vêm por introduzir materiais genéticos superiores e, pelas árvores entre si terem o mesmo genoma, as perdas por competição intraespecífica são reduzidas ao mínimo com ganhos decisivos na produtividade.

Muitos materiais genéticos de alto potencial silvicultural deixam de ser introduzidos nos plantios comerciais por limitação propagativa. O aperfeiçoamento das técnicas de produção de mudas são fundamentais para se manter a competitividade brasileira no setor. A miniestaquia é uma técnica de propagação vegetativa que consiste na utilização de brotações de plantas como fonte de propágulos vegetativos. As miniestacas¹ são fornecidas pelas minicepas², que são a parte basal da brotação das mudas podadas, e o conjunto das minicepas constitui o minijardim clonal^{3*} (XAVIER et al., 2009).

A miniestaquia tem sido a técnica de propagação mais comumente empregada no país, podendo ser destacadas vantagens como: (i) menores custos de implantação e manutenção dos jardins clonais; (ii) maior facilidade de colheita e menores custos com transporte e processamento de brotações; (iii) maior controle da irrigação e nutrição das cepas; (iv) alto grau de juvenilidade das brotações; (v) menores variações sazonais e (vi) maior velocidade de enraizamento (MAFIA et al., 2005).

* Nos próximos itens serão adotados os termos estacas¹, cepas² e jardim clonal³, por ser a nomenclatura mais adotada na produção comercial de mudas de eucalipto.

O número de estacas obtidas pelas cepas varia em função do clone, sistema e manejo do minijardim clonal, condições ambientais e vigor fisiológico das cepas. De forma geral, a produtividade média em jardins clonais de eucalipto é de 10.000 a 12.000 estacas/m²/ano (ALFENAS et al., 2004).

A grande variação das condições ambientais impostas pela maior sazonalidade climática observada em algumas regiões do Brasil tem efeito sobre a indução nos processos rizogênicos dos propágulos vegetativos. Portanto, a época de coleta do material vegetal deve ser considerada para a obtenção de resultados satisfatórios no processo de clonagem (HARTMANN et al., 2002). BRONDANI et al. (2010) verificaram diferentes respostas na sobrevivência e enraizamento de estacas de *Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii* em função das distintas estações do ano.

Para favorecer as condições de crescimento e produção das cepas, é importante a constante busca por práticas que aumente a capacidade produtiva do viveiro. Dentre as técnicas recentemente introduzidas, o uso de estufim, que consiste da cobertura dos canaletões por um túnel plástico, têm se mostrado promissor para ganhos na produção de estacas.

O emprego do estufim promove alteração do ar atmosférico próximo ao dossel das cepas alterando a temperatura e umidade do ar, irradiância solar e a concentração de CO₂, matéria prima para a biossíntese. A temperatura do ar no interior de uma estufa está relacionada, principalmente, com o balanço de energia, dependente, portanto, de fatores como a transmissividade do plástico e a renovação do ar do seu interior. Logo, esse fator ambiental deve ser ajustado para uma ótima produção de estacas (CORRÊA & FETT-NETO, 2004). Já a umidade relativa do ar diminui com mais intensidade no interior de uma estufa, devido ao aumento da temperatura do ar nesses locais (VALANDRO et al., 2007).

O uso dos estufins também promove o aprisionamento do dióxido de carbono liberado pelo processo de respiração das plantas, sendo isso principalmente importante durante a noite, quando não existe consumo pela fotossíntese. Esse aumento da concentração de CO₂ nesse ambiente de crescimento pode causar alterações na morfologia e nos processos fisiológicos das plantas. A atual concentração de dióxido de carbono no ambiente é insuficiente para saturar a rubisco em plantas C₃ (LEGRACIE, 2008), como é o exemplo do eucalipto. Nesse sentido, a

curto prazo, o aumento do CO₂ promove aumento da taxa fotossintética das folhas devido à alta concentração de CO₂ no sítio ativo da rubisco, o que pode potencializar o ganho líquido de carbono pela planta (LONG, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2013).

Segundo ASSIS (2011), alguns resultados têm mostrado que o uso de estufins aumenta a produtividade das cepas e também o enraizamento, além de reduzir a formação de calos durante o processo de enraizamento das plantas.

BATISTA et al. (2015) citam que estudos pioneiros usando estufins em cepas de eucalipto foram realizados em Minas Gerais e que foi observado melhoria significativa na qualidade do sistema de enraizamento de propágulos, aumentando a produção de estacas das cepas e o sucesso do enraizamento em clones de algumas espécies de eucalipto.

As espécies e híbridos de *Corymbia* estão entre os materiais com maior nível de resposta ao uso dos estufins, sendo obtidas taxas de enraizamento superiores a 70 % em todos os clones (ASSIS, 2011).

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo verificar e quantificar as possíveis respostas na produção e enraizamento de estacas obtidas de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* produzidas em estufins em um jardim clonal.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Caracterização do minijardim clonal e delineamento experimental

O experimento foi conduzido 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 de junho de 2014 a julho de 2016. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo temperado quente-mesotérmico (Cwa), com verões chuvosos e invernos secos (VIANELLO & ALVES, 1991). A precipitação média anual é de 1200 mm e as temperaturas variam entre 14 °C e 26 °C, em média.

O jardim clonal foi composto por três leitos construídos em alvenaria, a 1 m do piso, com dimensões de 0,8 x 15,6 m e subdivididos em parcelas com dimensão de 0,8 x 1,2 m (largura x comprimento). Os leitos possuíam inclinação de 1% e

profundidade de 30 cm, sendo 5 cm de brita, visando melhor drenagem, e 25 cm de areia. A estrutura do jardim clonal foi fechada lateralmente por uma malha plástica Clarite®, com teto coberto com filme plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD), possuindo espessura de 150µm e piso de cimento.

Em cada parcela foram cultivadas 50 cepas de híbridos de *Eucalyptus urophylla*. x *Eucalyptus grandis*, com idade de 6 meses, sendo a planta matriz fornecida pela empresa Celulose Nipo-Brasileira S/A.

Para a realização do experimento foram utilizadas duas parcelas em cada leito do jardim clonal. Os estufins foram instalados em uma parcela de cada leito, utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições. Cada leito foi constituído pelos tratamentos “com estufim” e “sem estufim”, o que constituíram seis parcelas experimentais.

Os estufins possuíam estrutura tubular, com dimensões de 0,8 x 1,15 x 0,60 m (largura x comprimento x altura), fabricada de aço galvanizado coberta com filme plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD), com espessura de 150 µm (Figura 1).

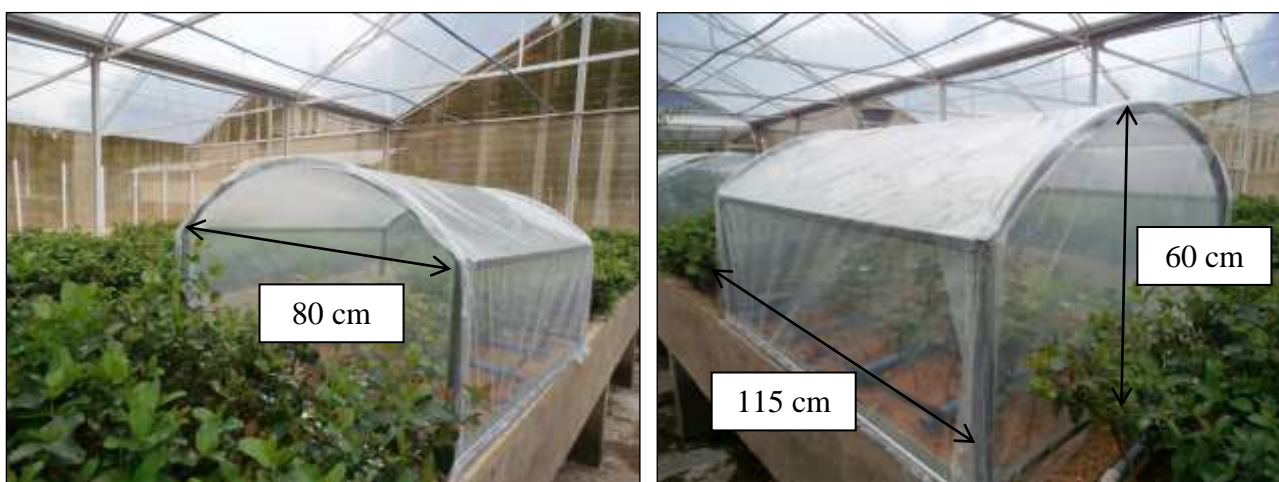


Figura 1. Visão e medidas dos estufins instalados nas parcelas experimentais

A irrigação e a nutrição mineral das cepas conduzidas no jardim clonal foram efetuadas por sistema automatizado de fertirrigação por gotejamento com cinco aplicações ao dia e vazão de 5 Lm⁻²dia⁻¹. A Tabela 1 apresenta as soluções estoque utilizadas na fertirrigação.

Tabela 1. Fertilizantes e dosagem das soluções utilizadas na fertirrigação das cepas de eucalipto

Fertilizantes	Dose solução estoque (g L ⁻¹)
Nitrato de cálcio	5,86
Cloreto de cálcio	21,0
Sulfato de Magnésio	19,7
Fosfato de Potássio	9,67
Sulfato de Potássio	25,3
Sulfato de Amônio	3,28
Nitrato de Amônio	27,2
Ácido Bórico	1,22
Sulfato de Zinco	0,22
Sulfato de Cobre	0,11
Sulfato de Manganês	0,44
Molibdato de sódio	0,02
Ferrilene	19,3

1.2.2. Monitoramento dos elementos meteorológicos e concentração de CO₂

O monitoramento dos elementos meteorológicos foi realizado por meio de estações meteorológicas instaladas no interior e exterior do minijardim clonal, sendo composta pelos sensores de temperatura e umidade relativa do ar (modelo HC2S3-L34, Campbell Scientific Instruments) e radiação solar global (modelo CMP3-L100, Campbell Scientific Instruments).

Os dados foram coletados em intervalos de 1 segundo e armazenados em um datalogger (modelo CR10X, Campbell Scientific Instruments).

Após a coleta dos dados de temperatura e umidade, foi realizado o cálculo do déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar, conforme mostrado na Equação 1.1, proposta por TETENS (1930).

$$DPV = \left(0,6108 \exp\left(\frac{17,27t}{237,3+t}\right) \right) - \left(\frac{0,6108 \exp\left(\frac{17,27t}{237,3+t}\right)}{100} UR \right) \quad (1.1)$$

em que,

DPV = déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar, em kPa;

t = temperatura do ar, ° C;
UR = umidade relativa do ar, %;

Além disso, em cada parcela com e sem estufim foram instalados sensores de temperatura (modelo DS1820) e de umidade relativa do ar (DHT11), sendo a coleta dos dados realizada a cada 5 segundos.

Para o monitoramento da concentração de CO₂, foi utilizado o aparelho MI70 (fabricante Vaisala), sendo as medidas realizadas nas parcelas com e sem estufim, a cada 3 segundos, com média registrada no próprio aparelho a cada 5 minutos.

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nas parcelas sem estufim foi estimada como 50 % da radiação solar global medida no interior do jardim clonal (SZEICZ, 1974). Nas parcelas com estufim, foi considerada a atenuação de mais 35% da radiação solar global medida no interior do jardim clonal, devido à presença do filme plástico.

1.2.3. Monitoramento da produção das minicepas e enraizamento das miniestacas

Normalmente, no manejo tradicional realizado nos viveiros de produção de mudas de eucalipto, o corte das estacas é realizado a cada sete dias, sendo esse o tempo necessário para a formação das estacas com altura de 6 a 8 cm e dois pares de folhas (XAVIER et al., 2009).

A coleta e contagem do número de estacas produzidas por cepa em cada parcela experimental foi realizado semanalmente, no período de junho a novembro de 2014 e em julho de 2016. As medidas biométricas foram realizadas semanalmente, apenas em julho de 2016, uma vez que era esperado maior ganho de produção nesse período climático.

Após cada coleta, as estacas foram pesadas obtendo assim biomassa fresca das estacas. Simultaneamente, foram realizadas medidas biométricas das mesmas, nas quais foram mensuradas a área foliar, a altura, o diâmetro do colo e a distância entre pares de folhas consecutivos. A área foliar das estacas foi obtida por meio de um equipamento que integra a área de cada folha (modelo LI 3100C, Licor Biosciences). A altura das estacas e a distância entre os pares de folhas foram medidas com régua milimétrica e o diâmetro do colo foi determinado por meio de

um paquímetro com precisão de 0,1 mm (Eccofer). Em seguida, as estacas foram submetidas à secagem em estufa a 65 °C, até atingir massa constante, para a obtenção da biomassa seca. As medidas de biomassa fresca e seca foram realizadas em uma balança de precisão com resolução de 0,01 g (modelo SA 210, Scientech).

A avaliação do enraizamento das estacas coletadas em cada parcela experimental foi realizada no período de julho a outubro de 2014. Para isso, após a coleta, as estacas foram estaqueadas em tubetes de polipropileno, com capacidade volumétrica de 55 cm³ e altura de 12,5 cm, contendo o substrato comercial *Tropstrato Florestal*[®]. Posteriormente, as estacas foram mantidas em casa de vegetação climatizada com permanência de 40 dias, sendo a irrigação efetuada por meio de um sistema de nebulização, 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%.

Após os 40 dias, foram avaliadas a sobrevivência e a porcentagem de enraizamento das estacas, conforme mostrado nas Equações 1.2 e 1.3, respectivamente.

$$S = \left(\frac{V}{P} \right) \times 100 \quad (1.2)$$

em que,

S = porcentagem de sobrevivência das estacas, em %;

V = número de estacas vivas;

P = número de estacas em cada unidade experimental.

$$E = \left(\frac{e}{P} \right) \times 100 \quad (1.3)$$

em que,

E = porcentagem de enraizamento das estacas, em %;

e = número de estacas com raízes, aos 40 dias;

P = número de estacas em cada unidade experimental.

Foram consideradas enraizadas, as estacas com raízes visíveis na extremidade inferior do tubete e estacas vivas, aquelas com coloração verde e emitindo brotações.

Além disso, também foi avaliado a porcentagem de formação de calo radicular nas estacas aos 40 dias após o estaqueamento, por meio da contagem de estacas com a presença do calo em relação ao número total de estacas colocadas para enraizar.

1.2.4. Análise estatística

O experimento foi composto por dois tratamentos (com e sem estufim) em cada leito de cultivo (três), representando as repetições, o que totalizou seis parcelas experimentais. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC).

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e, quando significativa, as médias foram testadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1. Elementos meteorológicos e concentração de CO₂

Na Figura 2 pode ser observada a caracterização climática do período experimental, sendo apresentada a variação diária da temperatura (°C), déficit de pressão de vapor (DPV) (kPa) e radiação solar global (W m⁻²) observada no exterior e interior do jardim clonal.

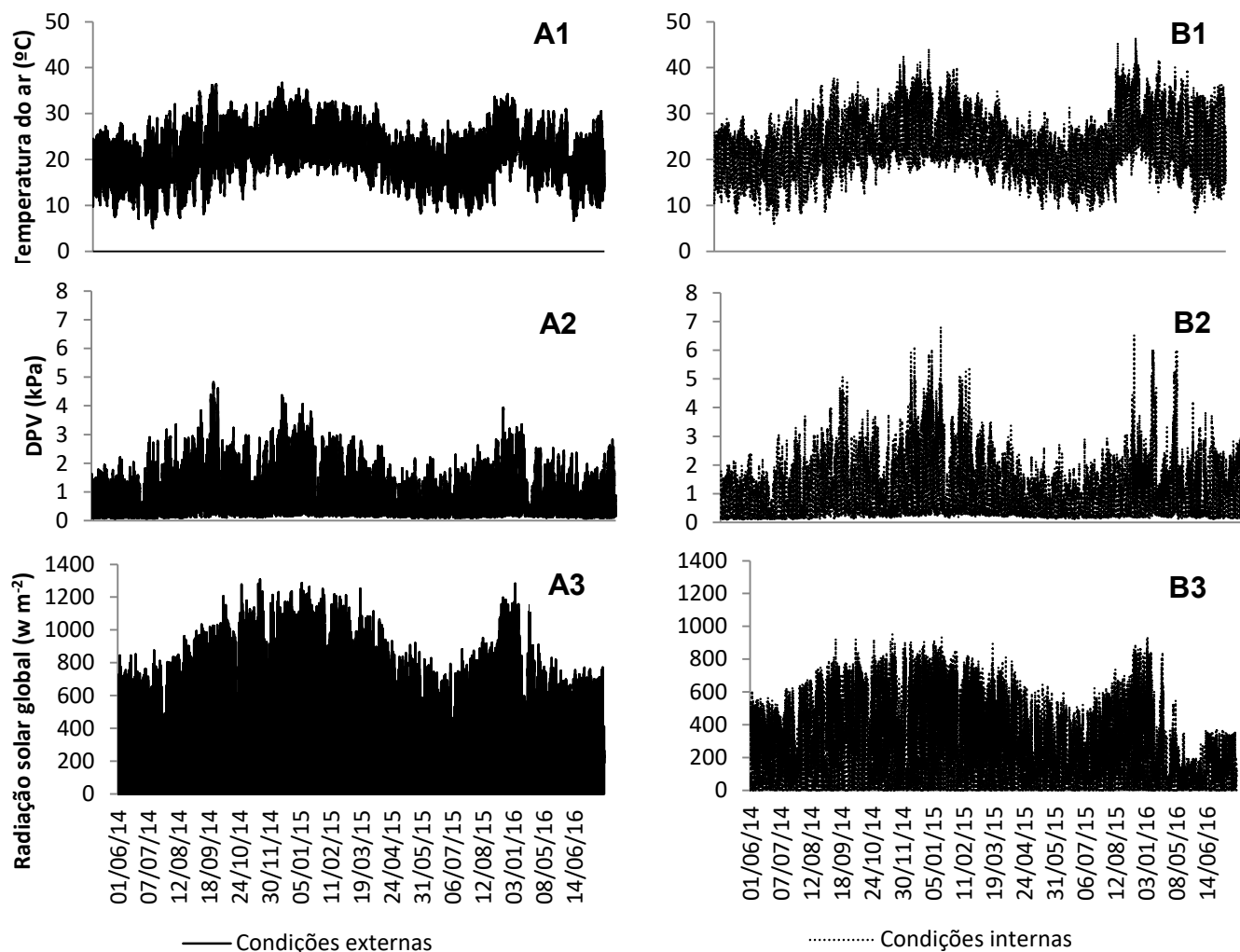


Figura 2. Variação diária dos elementos meteorológicos (temperatura (1), DPV (2) e radiação solar global (3)) medidos pela estação automática no exterior (A) e interior (B) do jardim clonal, durante o período experimental

A temperatura média observada no exterior do jardim clonal foi de 20 °C, a mínima de 5,1 °C e a máxima igual a 36,7 °C. No interior, as temperaturas média, mínima e máxima foram iguais a 21,3 °C; 5,7 °C e 46,6 °C, respectivamente (Figura 2).

O DPV variou entre 0,1 e 4,8 kPa no ambiente externo e entre 0,1 e 7,9 kPa, no interior do jardim clonal (Figura 2).

A radiação solar global alcançou 1308 W m⁻² no exterior, com média diurna de 358 W m⁻², e 951 W m⁻² no interior do jardim clonal, com média diurna de 233

W m^{-2} , o que correspondeu a uma redução de 35 % da radiação solar que atingiu o ambiente externo em relação ao interno. Essa diferença é devido ao efeito redutor da radiação solar exercido pela cobertura plástica que tem capacidade de absorver e refletir a radiação incidente (BECKMANN et al., 2006), sendo essa atenuação da ordem de 5 a 35 %, dependendo do revestimento e da região do Brasil (MARTINS et al., 1999).

Na Figura 3 pode ser observada a variação horária média dos elementos meteorológicos em dias típicos de céu aberto, observados nos meses mais frios (junho e julho) e quentes (outubro e novembro) do período experimental, no exterior e interior do jardim clonal.

No período frio (A), a temperatura variou de 10,7 a 24,1°C no exterior e de 11,2 a 25,5 °C no interior do jardim clonal. O DPV variou entre 0,1 e 1,8 kPa e 0,1 e 1,9 kPa, no ambiente externo e interno, respectivamente. Já a radiação solar global atingiu 805 W m^{-2} no ambiente externo e 644 W m^{-2} no ambiente interno.

No período quente (B), a temperatura variou de 15,3 a 28,8 °C no exterior e de 15,1 a 33,9 °C no interior do jardim clonal. O DPV variou entre 0,2 e 2,6 kPa e 0,2 e 3,6 kPa, no ambiente externo e interno, respectivamente. A radiação solar global atingiu 1142 W m^{-2} no ambiente externo e 836 W m^{-2} no ambiente interno.

Comparando os distintos períodos climáticos, é possível observar um aumento de 32,9 % da temperatura do ar, 29,8% da radiação solar e 86% do DPV no ambiente interno, do período quente em relação ao frio. No ambiente externo as diferenças foram menores, sendo elas de 19,5 % da temperatura do ar, 41,9% da radiação solar e 43,7% do DPV.

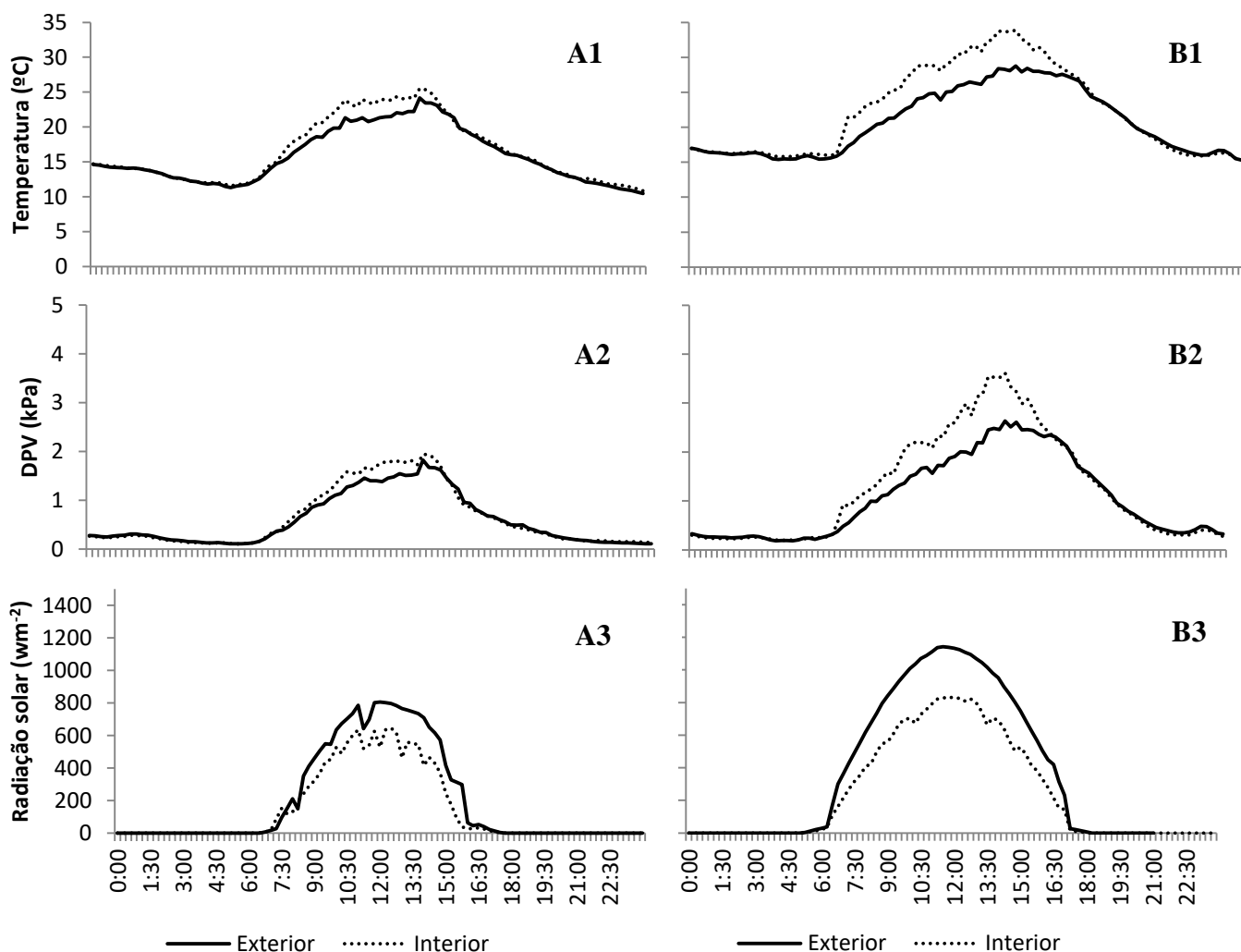


Figura 3. Variação média horária dos elementos meteorológicos (temperatura (1), DPV (2) e radiação solar global (3)) medidos pela estação automática no exterior e interior do jardim clonal, em condição de céu aberto, no período frio (A) e quente (B) durante o período experimental.

Na Figura 4 pode ser verificada a variação diária da temperatura no período frio (junho e julho de 2014) e quente (outubro e novembro de 2014), monitorada durante o período experimental, nos tratamentos sem e com estufim.

Considerando o tratamento sem estufim, é possível observar que no período frio a temperatura variou de 9,2 a 41,0 °C, com média de 21,6 °C e no período quente a temperatura variou de 11,6 a 41,0 °C, com média de 23,8 °C. No tratamento com estufim, no período frio a temperatura variou de 11,8 a 49,6 °C, com média de 23,9

°C e no período quente a temperatura variou de 14,1 a 52,4 °C, com média de 26,9 °C.

Ao comparar a temperatura média das parcelas sem e com estufim, é possível observar que a temperatura nas parcelas com estufim foi 10,6 % superior no período frio e 13,0 % no período quente, em relação à temperatura observada nas parcelas sem estufim.

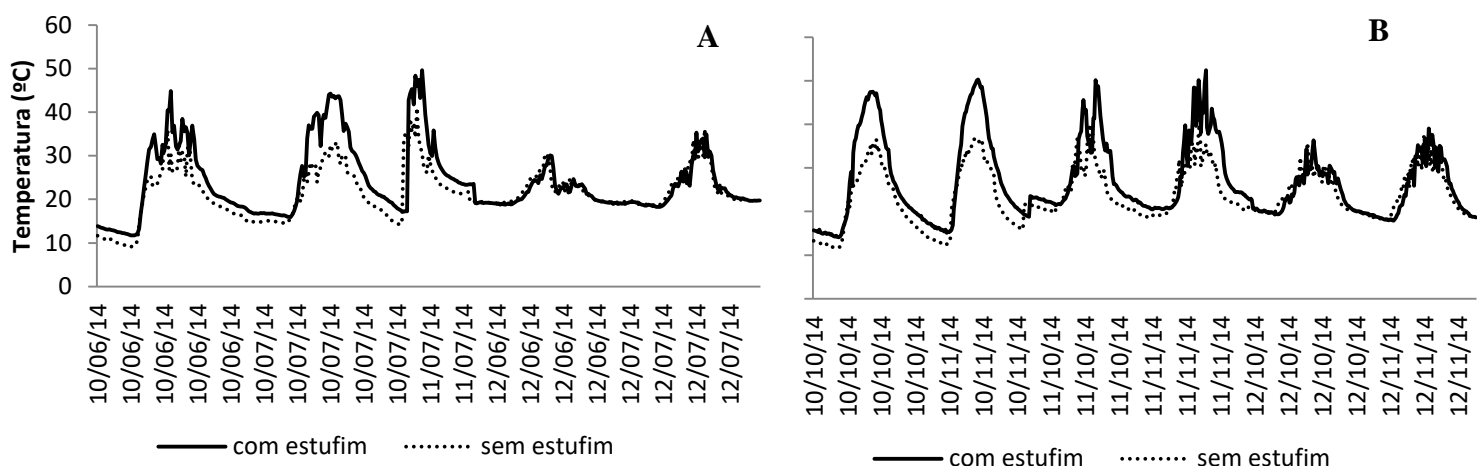


Figura 4. Variação diária da temperatura nos tratamentos com estufim e sem estufim, no período frio (A) e quente (B) durante o período experimental.

Na Figura 5 pode ser observada a variação média horária da temperatura nos tratamentos com e sem estufim, nos períodos frio e quente. No período frio a temperatura horária média nas parcelas com estufim variou de 13,8 a 31,1 °C e no quente variou de 18,3 a 41,0 °C. Nas parcelas sem estufim, a temperatura horária média variou de 12 a 25,8 °C no período frio e de 16,9 a 34,3 °C no período quente. É possível observar maior amplitude térmica nas parcelas protegidas pelo estufim.

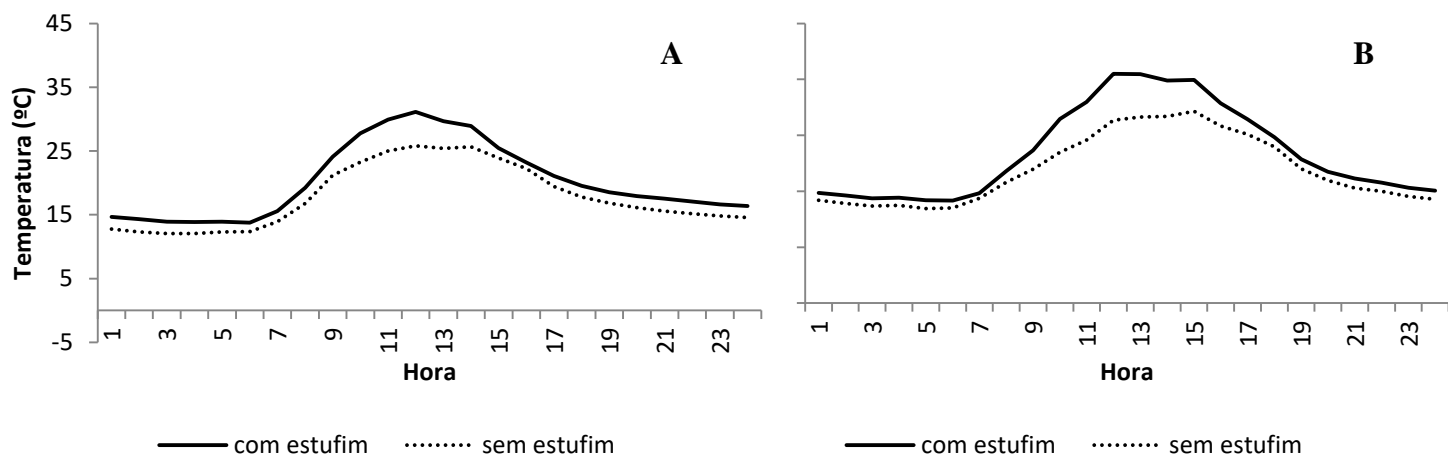


Figura 5. Variação média horária da temperatura nos tratamentos com estufim e sem estufim, no período frio (A) e quente (B) durante o período experimental.

A Figura 6 mostra a variação diária da concentração de gás carbônico no período frio (junho e julho de 2016) e no período quente (outubro e novembro de 2014), nas parcelas com e sem estufim.

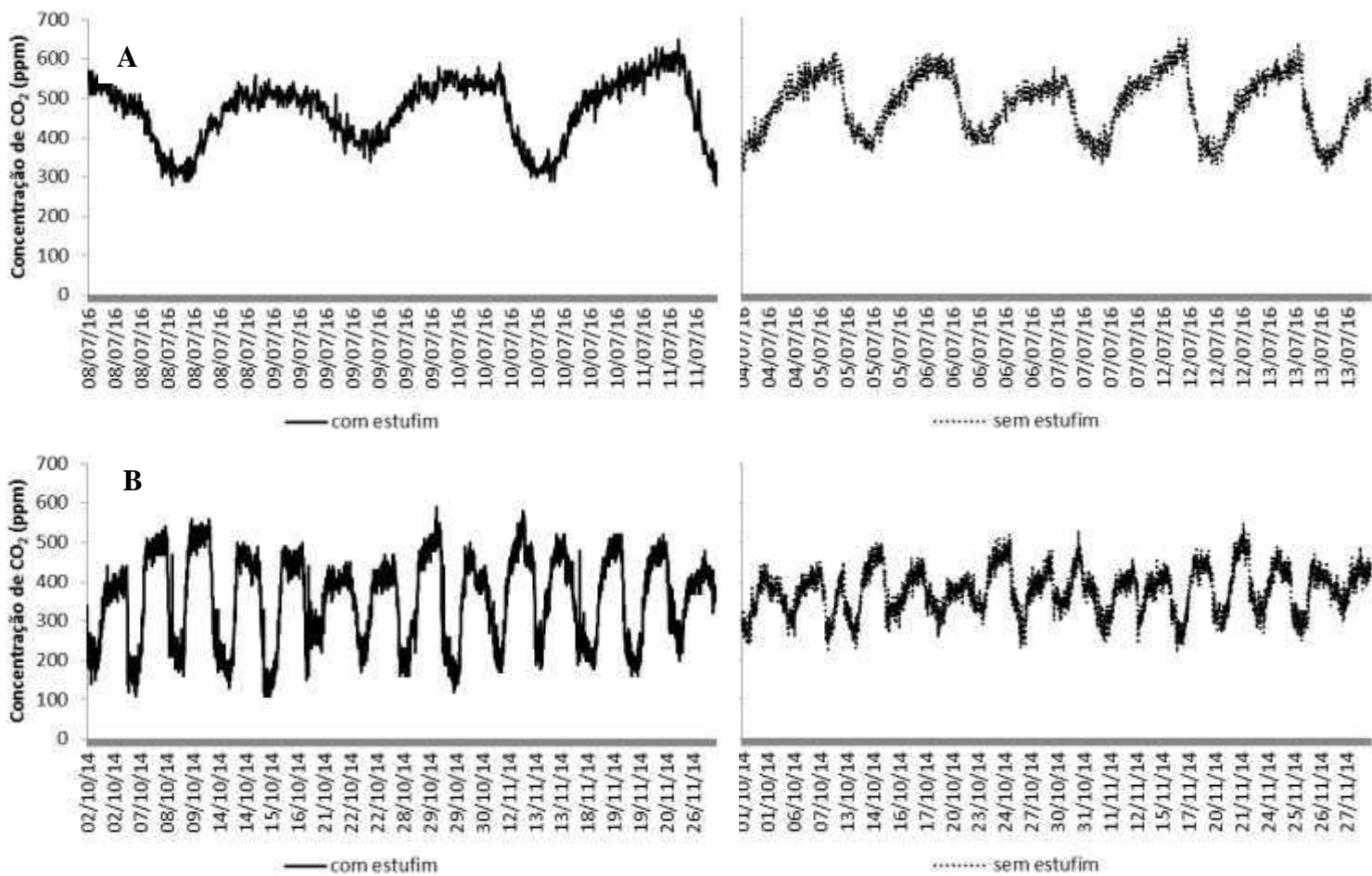


Figura 6. Variação diária da concentração de CO₂ nas parcelas com e sem estufim, no período frio (A) e quente (B).

A concentração de CO₂ nas parcelas com estufim variou de 280 a 650 ppm no período frio e de 160 a 590 ppm no período quente. Nas parcelas sem estufim a variação foi de 310 a 650 ppm e 220 a 550 ppm, nos períodos frio e quente, respectivamente.

Comparando os tratamentos, é possível verificar maior amplitude da concentração de gás carbônico nas parcelas com estufim, em ambos os períodos climáticos, sendo a maior amplitude (430 ppm) observada no período quente. Durante a noite, o CO₂ liberado durante o processo de respiração fica retido no ambiente de crescimento das cepas devido à presença do estufim, sendo esse gás consumido durante o dia por meio da fotossíntese. Com a ausência de renovação do ar nessas parcelas, a concentração do CO₂ diminui consideravelmente, promovendo consequentemente a maior amplitude da concentração do gás carbônico.

1.3.2. Produção das minicepas e biometria das miniestacas

Na Tabela 2 é apresentada a média do número de estacas produzidas por cepa de eucalipto nos tratamentos sem estufim (S) e com estufim (C), bem como a análise estatística dos resultados.

É possível observar que, na maioria das coletas, a quantidade de estacas produzidas pelas cepas conduzidas sob o estufim foi superior à das produzidas sem o estufim, sendo esse aumento estatisticamente significativo em diversas semanas.

Além disso, também pode ser verificado que o número de estacas produzidas nos meses mais quentes (outubro e novembro) foi muito superior ao produzido nos meses mais frios (junho e julho), tendo sido observado um aumento de 82 % nas parcelas sem estufim e 132 % nas parcelas com estufim. Ao comparar os tratamentos, é possível observar um aumento de produção de estacas de 29 % nos meses mais frios e 65 % nos meses mais quentes. BATISTA et al. (2015) também observaram no Rio Grande do Sul, em média, aumento de 53 % na produção de estacas de eucalipto com o uso de estufim, sendo a maior produtividade observada no verão.

Tabela 2. Média e desvio padrão da quantidade de estacas produzidas por cepa de eucalipto nos tratamentos sem estufim (S) e com estufim (C) e análise estatística

Data	Quantidade de estacas / cepa	
	S	C
05/06/2014	1,17 (\pm 0,14) a	1,30 (\pm 0,59) a
12/06/2014	1,94 (\pm 0,62) a	1,95 (\pm 0,66) a
19/06/2014	1,53(\pm 0,25) a	1,50 (\pm 0,15) a
26/06/2014	1,76 (\pm 0,55) a	2,52 (\pm 0,74) a
03/07/2014	1,58 (\pm 0,09) a	1,87 (\pm 0,12) a
10/07/2014	1,82 (\pm 0,39) a	2,43 (\pm 0,69) a
17/07/2014	1,99 (\pm 0,58) a	2,50 (\pm 0,08) a
24/07/2014	1,20 (\pm 0,10) b	1,71 (\pm 0,37) a
31/07/2014	1,67 (\pm 0,61) b	2,82 (\pm 0,30) a
15/08/2014	2,11 (\pm 0,21) b	3,30 (\pm 0,70) a
21/08/2014	1,44 (\pm 0,35) a	1,76 (\pm 0,62) a
28/08/2014	1,84 (\pm 0,24) b	3,41 (\pm 0,60) a
11/09/2014	2,92 (\pm 0,84) a	3,36 (\pm 0,92) a
25/09/2014	3,08 (\pm 0,75) a	4,95 (\pm 0,91) a
02/10/2014	2,35 (\pm 0,50) a	3,40 (\pm 0,48) a
09/10/2014	2,36 (\pm 0,58) a	3,16 (\pm 1,44) a
16/10/2014	2,00 (\pm 0,32) a	2,99 (\pm 0,71) a
23/10/2014	2,99 (\pm 1,40) b	5,11 (\pm 1,57) a
30/10/2014	2,97 (\pm 1,14) b	6,08 (\pm 2,14) a
06/11/2014	4,73 (\pm 1,69) a	6,13 (\pm 1,88) a
13/11/2014	3,49 (\pm 0,56) b	6,72 (\pm 0,48) a
20/11/2014	3,01 (\pm 1,24) b	5,88 (\pm 1,11) a
27/11/2014	2,71 (\pm 1,16) b	4,47 (\pm 0,87) a
04/07/2016	1,74 (\pm 0,47) b	3,70 (\pm 0,40) a
11/07/2016	2,27 (\pm 0,99) a	1,92 (\pm 0,26) a
18/07/2016	2,19 (\pm 0,61) a	2,29 (\pm 0,31) a

* Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Por meio da Figura 7 é possível verificar a influência das variáveis meteorológicas na produção das estacas, nas parcelas sem e com estufim.

Em média, nas parcelas sem estufim foram observadas temperaturas mínimas de 15,0 °C; média de 20,3 °C e máxima de 33,4 °C. O DPV variou de 0,3 a 2,1 e a

radiação solar global atingiu 1379 w m^{-2} . Nas parcelas com estufim foram observadas temperaturas mínimas de $18,4 \text{ }^\circ\text{C}$; média de $23,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e máxima de $41,5 \text{ }^\circ\text{C}$. O DPV variou de 0,4 a 2,1 e a radiação solar global no interior do estufim atingiu 966 w m^{-2} .

Em ambos os tratamentos, é possível verificar uma correlação diretamente proporcional entre o número de estacas produzidas e a variável meteorológica, sendo que o aumento da temperatura, DPV e radiação solar proporcionaram maior produção de estacas. CUNHA et al. (2009) também observaram maior produção de estacas de eucalipto sob condições de maior luminosidade, déficit de pressão de vapor e temperatura.

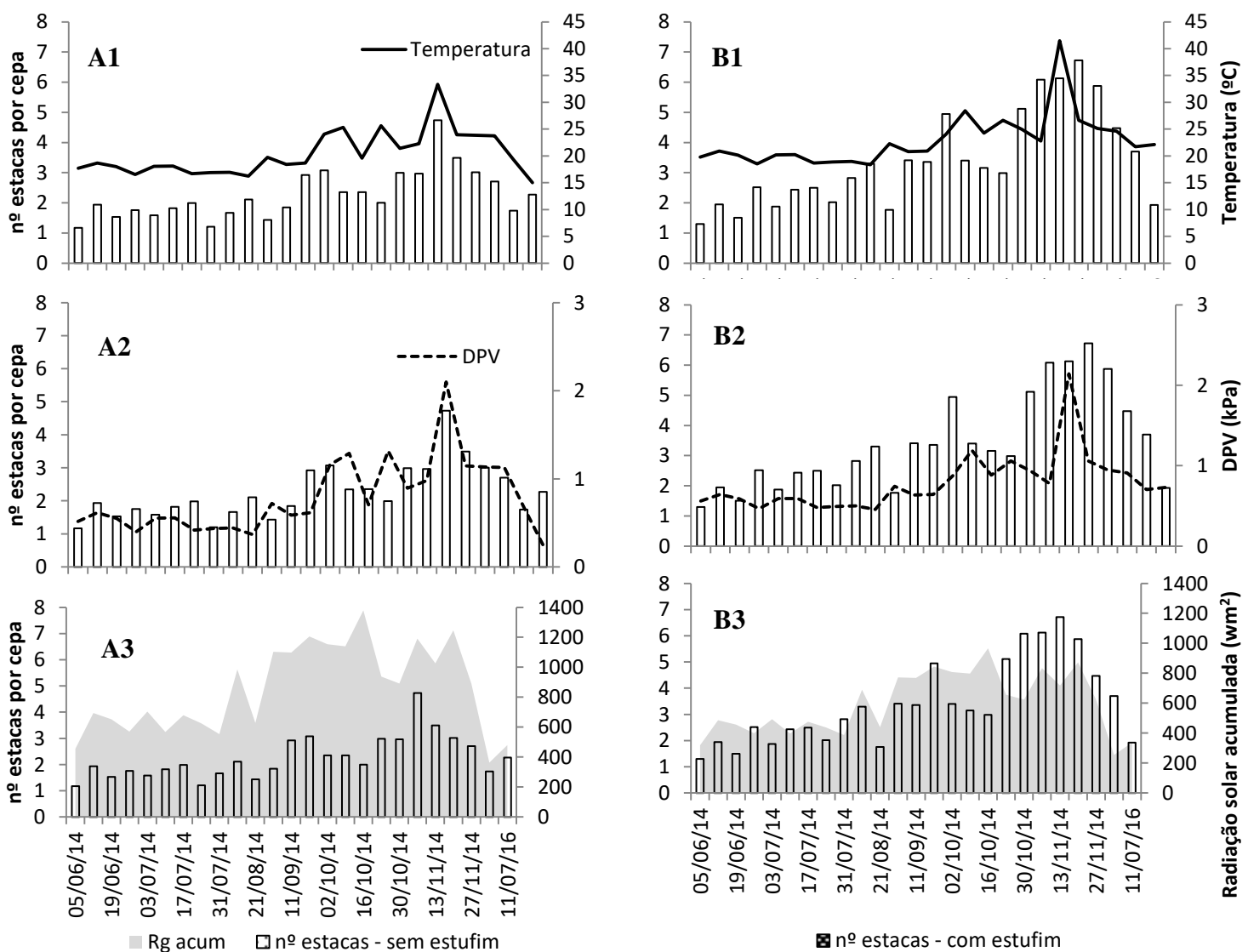


Figura 7. Variação diária da temperatura (1) e DPV (2) e semanal da radiação solar global acumulada (3) nas parcelas sem (A) e com estufim (B), durante o período de monitoramento.

Conforme apresentado na Figura 4, em média, temperatura do ar nas parcelas com estufim foi cerca de 12 % superior à apresentada nas parcelas sem estufim. O aumento da temperatura, até certo grau, favorece o processo de divisão celular e conseqüentemente a emissão de brotações e formação de raízes (HARTMANN et al., 2011). Sendo assim, temperaturas mais elevadas estão relacionadas à maior produtividade das cepas devido ao maior crescimento vegetativo encontrado nessas condições (WENDLING et al., 1999). CUNHA et al. (2009) e FERRIANI et al. (2011) também observaram aumento na produção de estacas de eucalipto e de *Piptocarpha angustifolia*, respectivamente, com o aumento da temperatura do ar no jardim clonal.

Com relação à área foliar, pode ser observado que a variável foi ligeiramente superior no tratamento sem estufim, porém não foi observada diferença estatística entre os tratamentos (Figura 8).

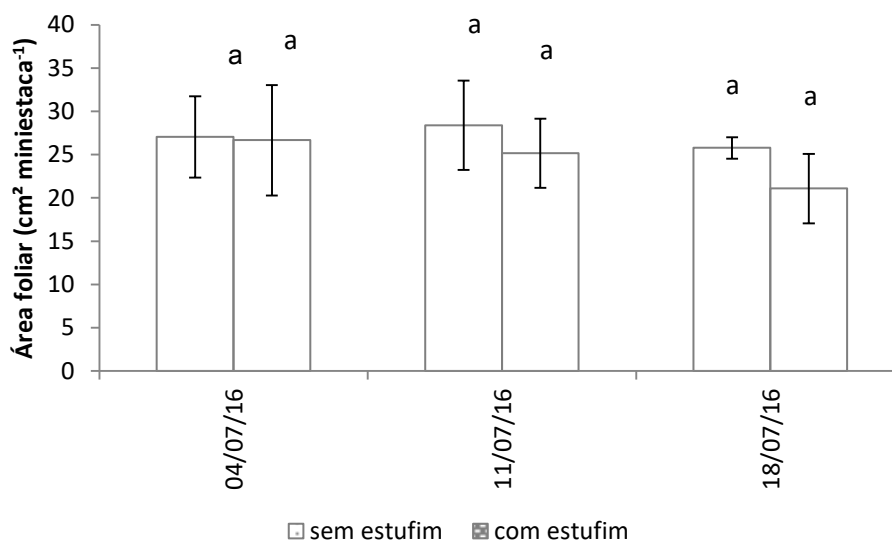


Figura 8. Área foliar (cm² miniestaca⁻¹) observada nos tratamentos sem estufim e com estufim, durante o período de monitoramento

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Entretanto, por meio da Figura 9 é possível verificar visualmente diferença na morfologia das folhas de ambos os tratamentos. No tratamento sem estufim é observada maior razão entre a medida da largura e comprimento das folhas do que a observada no tratamento com estufim. No trabalho realizado por BATISTA et al.

(2015) com mudas de eucalipto também foi verificado menor área foliar e alteração na morfologia das folhas produzidas no tratamento com estufim.

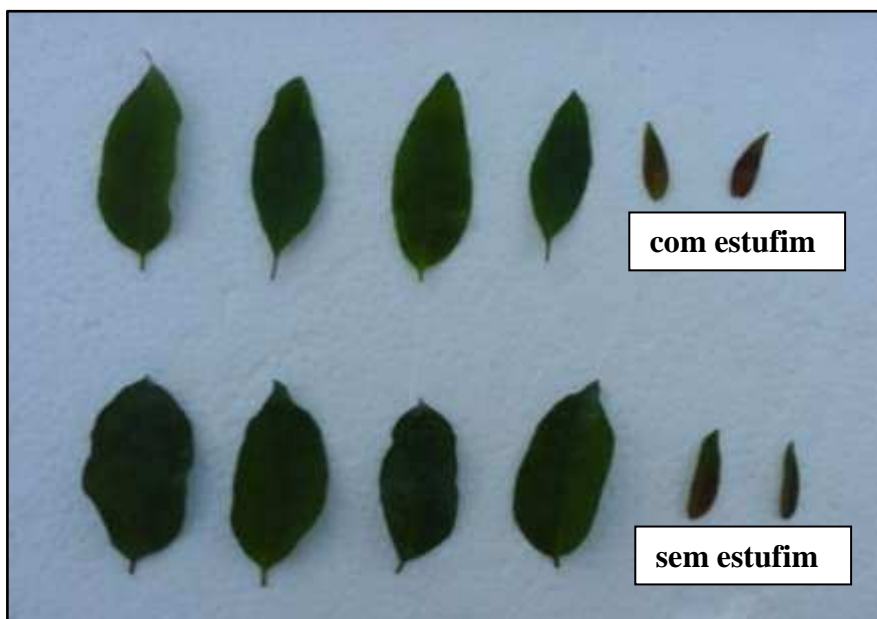


Figura 9. Morfologia das folhas nos tratamentos sem estufim e com estufim.

A área foliar é um componente importante da produção e acumulação de biomassa, sendo a alteração da forma foliar um dos mecanismos de resposta das plantas a condições de extremos ambientais, tal como a exposição prolongada à elevada temperatura (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Na Figura 10 é apresentado os valores do diâmetro do colo das estacas produzidas sob os tratamentos sem e com estufim. Semelhante ao observado com a área foliar, o diâmetro do colo foi levemente superior no tratamento sem estufim, não tendo sido observado diferença estatística entre os tratamentos.

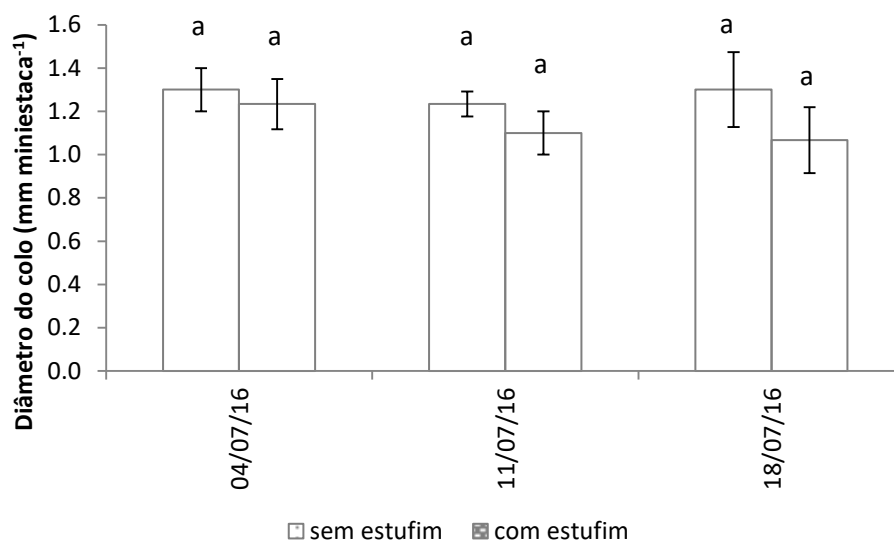


Figura 10. Diâmetro do colo (mm miniestaca⁻¹) observado nos tratamentos sem estufim e com estufim, durante o período de monitoramento

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Já na Figura 11 é observada a variação da altura das estacas entre os tratamentos, indicando, ao contrário do observado com as características área foliar e diâmetro do colo, que uma maior altura foi observada no tratamento com estufim, também sem diferença estatística.

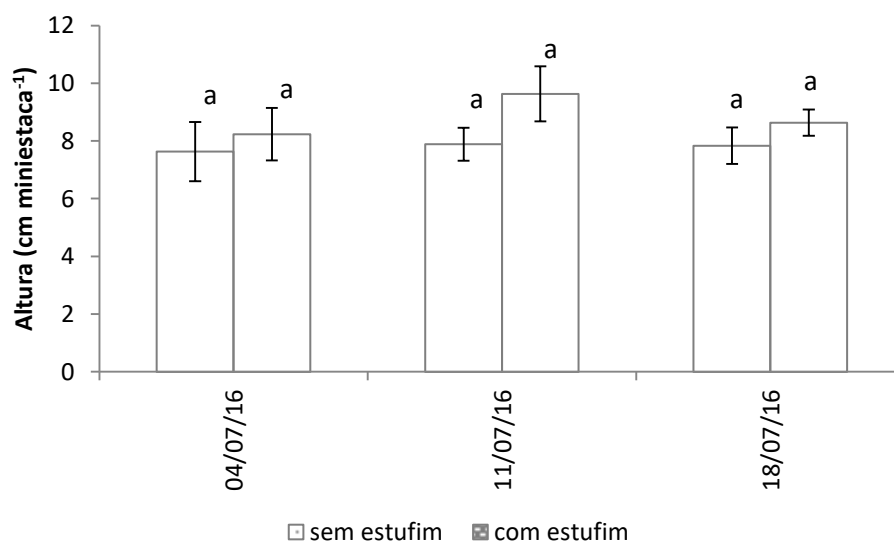


Figura 11. Altura das estacas (cm miniestaca⁻¹) observada nos tratamentos sem estufim e com estufim, durante o período de monitoramento

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

A maior altura das estacas produzidas sob o estufim também pode ser comprovada por meio da distância entre os pares de folhas consecutivos (Figura 12), em que as estacas do tratamento com estufim apresentaram maior distância entre as folhas, sendo esse resultado estatisticamente significativo.

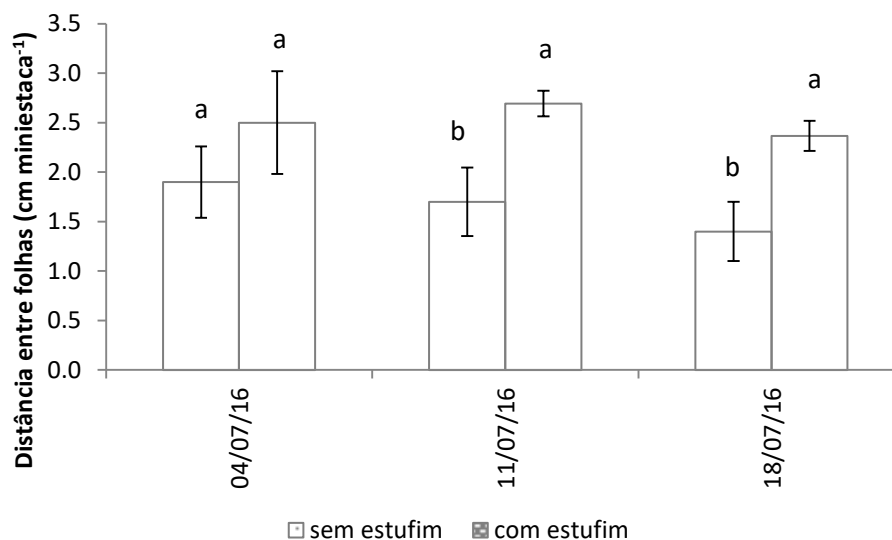


Figura 12. Distância entre folhas consecutivas (cm miniestaca⁻¹) observada nos tratamentos sem estufim e com estufim, durante o período de monitoramento

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Ao analisar as Figuras 10, 11 e 12, é possível perceber que as plantas conduzidas sob o estufim apresentaram menor diâmetro, maior altura e maior distância entre os pares de folhas consecutivas. Esse estiolamento pode ter ocorrido devido à menor luminosidade apresentada nas parcelas cobertas com o estufim, que foi revestido com o filme plástico de polietileno. O estiolamento é o desenvolvimento de brotos, ramos ou partes dos ramos em ausência de luz, causando um crescimento normalmente alongado (DAVIS et al., 1988).

Apesar das cepas conduzidas sob o estufim terem produzido um maior número de estacas, é verificado nas Figuras 13 e 14 que as biomassas fresca e seca, respectivamente, foram inferiores em relação ao tratamento sem estufim, sendo a diferença da biomassa seca das estacas estatisticamente diferentes entre os tratamentos.

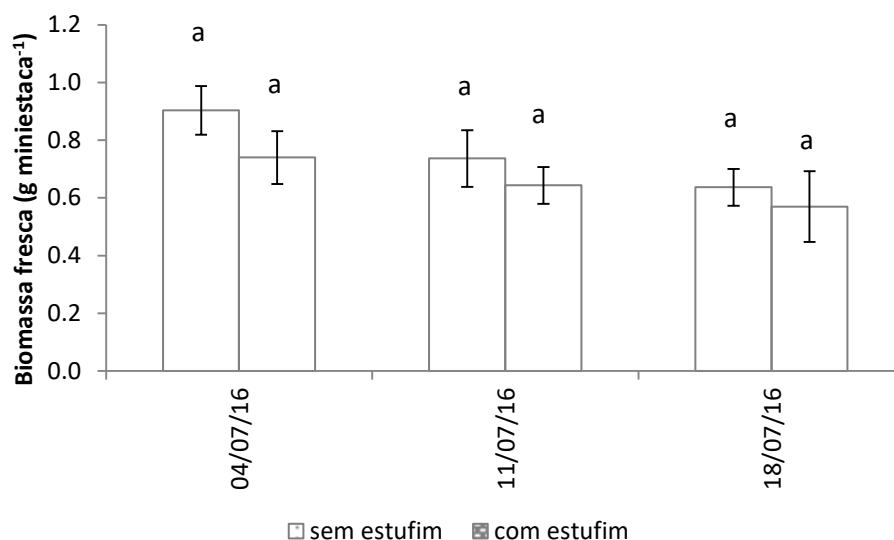


Figura 13. Biomassa fresca das estacas (g miniestaca⁻¹) observada nos tratamentos sem estufim e com estufim, durante o período de monitoramento

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

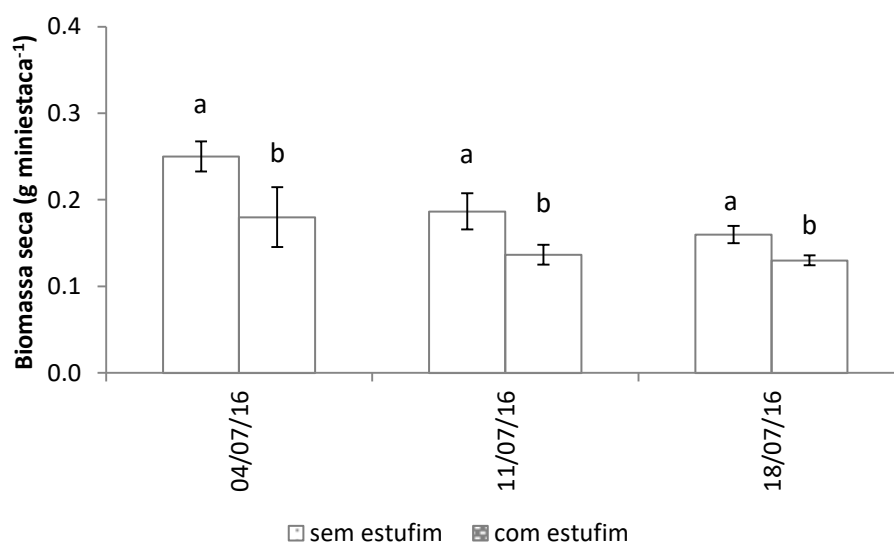


Figura 14. Biomassa seca das estacas (g miniestaca⁻¹) observada nos tratamentos sem estufim e com estufim, durante o período de monitoramento

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Em suma, sob maior temperatura foi observado maior produção de estacas, além de tendência de aumento da altura e distância entre os pares de folhas consecutivos. Por outro lado, foi verificado menor diâmetro do colo, área foliar e biomassa das estacas.

Apesar de ser esperado aumento da área foliar das estacas produzidas nas parcelas cobertas com estufim devido à redução da luminosidade nesse tratamento, como forma de ampliar a superfície fotossintetizante e maximizar a absorção de luz, ao observar as outras variáveis monitoradas, é possível inferir que a translocação dos fotoassimilados na cepa ocorreu no sentido de produzir um maior número de estacas, mesmo com menor biomassa, talvez como estratégia de sobrevivência em condições ambientais extremas.

Experimentos têm mostrado que a translocação dos fotoassimilados apresentam certa tolerância aos estresses, permitindo que as plantas mobilizem e utilizem reservas onde elas são necessárias (TAIZ & ZEIGER, 2013).

1.3.3. Enraizamento das estacas

Na Figura 15 é apresentada a diferença na taxa de enraizamento das estacas coletadas nos tratamentos sem e com estufim, durante o período de monitoramento. É possível observar na maioria das campanhas que a taxa de enraizamento foi superior no tratamento com estufim. Apesar dessa tendência de aumento do enraizamento, não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos.

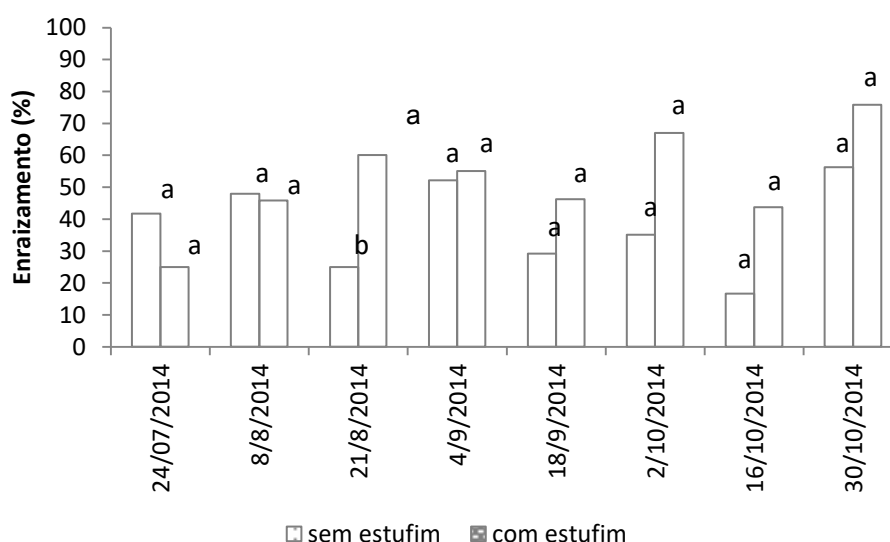


Figura 15. Taxa de enraizamento (%) observada nos tratamentos sem estufim e com estufim, durante o período de monitoramento

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Apesar de ter sido observado a redução da área foliar (Figura 8) e da biomassa seca (Figura 15) das estacas produzidas no tratamento com estufim, a maior porcentagem da taxa de enraizamento apresentada nesse tratamento indica que essa redução da biomassa não ocasionou na perda da qualidade das estacas.

Também é possível verificar que a porcentagem de enraizamento das estacas coletadas nos meses mais quentes (outubro e novembro) no tratamento com estufim foi superior à dos meses mais frios (julho e agosto), tendo sido observado uma taxa de enraizamento de 76 % na última campanha realizada em outubro e de 25 % na campanha realizada em julho.

Dentre os principais fatores que afetam o enraizamento das estacas estão os relacionados com o genótipo, as condições fisiológicas e de nutrição mineral da planta matriz, o armazenamento e sanidade das estacas, as condições ambientais, entre outros (XAVIER et al., 2009). Além disso, o conteúdo de carboidratos dos propágulos vegetativos tem sido considerado por muitos pesquisadores um fator importante no sucesso do enraizamento, uma vez que a iniciação radicular requer energia (HARTMANN et al., 2011). Mesmo que as estacas tenham apresentado menor biomassa no tratamento com estufim, pode ser inferido que a maior temperatura apresentada nessas parcelas, durante a produção das estacas, não atuou negativamente no fornecimento de energia pelos carboidratos contidos nas estacas para o processo de enraizamento.

A sobrevivência das estacas coletadas em ambos os tratamentos e colocadas para enraizar foram semelhantes, tendo sido a maioria próxima a 100 %. Entretanto, a taxa de sobrevivência foi inferior nos meses mais quentes em que foram realizadas as coletas, principalmente das estacas do tratamento com estufim (Figura 16).

O tempo transcorrido entre a coleta, o preparo das estacas e a colocação em meio de enraizamento deve ser o menor possível para manter ao máximo a turgescência e posterior vigor das estacas (XAVIER et al., 2009). Ao analisar as Figuras 13 e 14 simultaneamente, é possível observar que o conteúdo de água das estacas provenientes das parcelas com estufim é menor. Esse fato pode implicar em maior sensibilidade das estacas às condições ambientais menos favoráveis observadas nos meses mais quentes, nas quais pode ocorrer maior perda de água pelas estacas durante o tempo entre a coleta e colocação para o enraizamento,

podendo conseqüentemente causar a morte das estacas, ou seja, diminuir a porcentagem de sobrevivência.

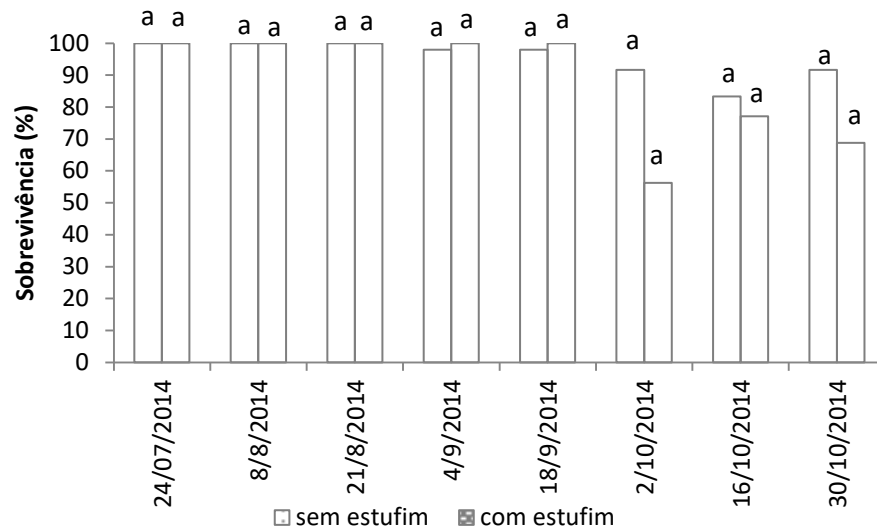


Figura 16. Taxa de sobrevivência (%) observada nos tratamentos sem estufim e com estufim, durante o período de monitoramento

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Já a porcentagem de formação do calo radicular foi superior no tratamento sem estufim, tendo sido observado em determinada campanha diferença estatística (Figura 17). A presença de calo radicular aos 40 dias após o estaqueamento das estacas não é favorável, uma vez que indica que o processo de rizogênese não ocorreu.

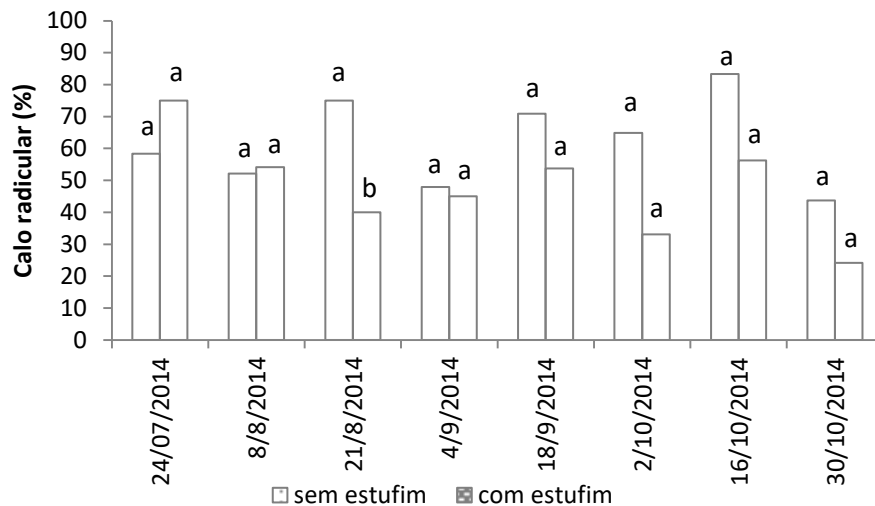


Figura 17. Taxa de formação de calo radicular (%) observada nos tratamentos sem estufim e com estufim, durante o período de monitoramento

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Esse resultado confirma a afirmação de ASSIS (2011), de que o uso do estufim promove a redução da formação de calos durante o processo de enraizamento das plantas.

A formação do calo radicular está associada à concentração endógena de auxina nas plantas (WELANDER & SNYGG, 1987), sendo favorecida pela degradação de auxinas na região basal do propágulo (RASMUSSEM et al., 2009). Vale lembrar que a auxina é um hormônio vegetal responsável pela formação de raízes adventícias em folhas ou caules destacados (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Conforme análise das Figuras 10, 11 e 12, foi observado certo estiolamento das plantas conduzidas no tratamento com estufim. O estiolamento provoca alterações fisiológicas, envolvendo o metabolismo e transporte de auxina, bem como alterações na sensibilidade dos tecidos à auxina. Além disso, o estiolamento parece favorecer o enraizamento por induzir a inibição do sistema AIA-oxidase e aumento da polifenol oxidase, enzima envolvida na produção de um cofator responsável pelo enraizamento de estacas (BIASI, 1996).

Segundo COSTA JR et al. (2003), ramos estiolados apresentam diferenças anatômicas que podem favorecer o aparecimento de primórdios radiculares, assim como uma maior quantidade de células parenquimáticas e a diminuição das barreiras mecânicas. Além disso, pode favorecer a ação da auxina, uma vez que torna os

tecidos mais sensíveis à ação deste regulador de crescimento (HARTMANN et al., 2011).

1.4. CONCLUSÕES

O uso do estufim no jardim clonal de eucalipto permitiu o aumento da temperatura e concentração de CO₂ nas parcelas, ocasionando em maior produção de estacas por minicepa em relação às parcelas que não foram conduzidas sob o estufim, sendo essa produção mais acentuada nos meses mais quentes.

As estacas produzidas no tratamento com estufim apresentaram tendência de maior estiolamento e menor área foliar, além de menor biomassa fresca e seca. Entretanto, apresentaram maiores taxas de enraizamento e menor porcentagem de formação de calo radicular, indicando que o uso de estufim pode ser uma vantajosa operação de manejo para aumentar a capacidade produtiva de um jardim clonal de eucalipto.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFENAS, A.C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 442p.

ASSIS, T. F. Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the Eucalyptus clonal forestry. **BMC Proceedings**, n. 5 (Suppl 7): I18, 2011. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1753-6561/5/S7/I18>>. Acesso em 10 jul. 2016. doi:10.1186/1753-6561-5-S7-I18

BATISTA, A. F.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. D.; QUEVEDO, F. F.; ASSIS, T. F. The use of mini-tunnels and the effects of seasonality in the clonal propagation of Eucalyptus in a subtropical environment. **Australian Forestry**, v.78, n.2, p. 65-72, 2015.

BECKMANN, M. Z.; DUARTE, G. R. B.; PAULA, V. A.; MENDEZ, M. E. G.; PEIL, R. M. N. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas

estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 6, n. 1, p. 86 – 92, 2006.

BIASI, L. A. Emprego do estiolamento na propagação de plantas. **Ciência Rural**, v. 26, n. 2, p. 309-314, 1996.

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

CORRÊA, L. R.; FETT-NETO, A. G. Effects of temperature on adventitious root development in microcuttings of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus globulus* Labill. **Journal of Thermal Biology**, v. 29, p. 315-324, 2004.

COSTA JR, W. H.; SCARPARE FILHO, J. A.; BASTOS, D. C. Estiolamento da planta matriz e uso de ácido indolbutírico no enraizamento de estacas de goiabeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 301–304, 2003.

CUNHA, A. C. M. C. M.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P. Relação entre variáveis climáticas com produção e enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 33, n. 2, p. 195-203, 2009.

DAVIS, T. D.; HAISSIG, B. E.; SANKHLA, N. Ed. **Adventitious root formation in cuttings**. Portland: Dicorides Press, 1988. 315p.

FERRIANI, A. P.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; HELM, C. V.; BOZA, A.; WENDLING, I.; KOEHLER, H. S. Produção de brotações e enraizamento de miniestacas de *Piptocarpha angustifolia*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 67, p. 257 - 264, 2011.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JÚNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation – principles and practices**. New York: Prentice-Hall International, 2011. 770 p.

LEGRACIE JR., J. R. **Impacto de elevadas concentrações de CO₂ e da disponibilidade hídrica do solo sobre a fisiologia e o crescimento inicial em *Cecropia Pachystachya* Trec. e *Esenbeckia Leiocarpa* Engl., uma simulação climática futura**. 2008. 99 f. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, SP.

LONG, S., AINSWORTH, E., ROGERS, A., ORT, D. Rising atmospheric carbon dioxide: Plant FACE the future. **Annu. Rev. Plant Biol**, v. 55, p. 591 - 628, 2004.

MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; FERREIRA, E. M.; ZARPELON, T. G.; SIQUEIRA, L. Crescimento de mudas e produtividade de minijardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 843-851, 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n6/a02v29n6.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

MARTINS, S. R., FERNANDES, H. S., ASSIS, F. N.; MENDEZ, M. E. G. Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 15-23, 1999.

RASMUSSEN, A.; SMITH, T. E.; HUNT, M. A. Cellular stages of root formation, root system quality and survival of *Pinus Elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* cuttings in different temperature environments. **New Forests**, v. 38, n. 3, p. 285-294, 2009.

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

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe, Zeitschrift Geophysic, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.

SCHALLENBERGER, F. H.; SCHALLENBERGER, E. ; ASSIS, S. V. Análise da temperatura do ar no interior de abrigos para cultivo de hortaliças. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2006.

VALANDRO, J.; BURIOL, G. A.; ANDRIOLO, J. L.; HELDWEIN, A. B. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p.1593-1600, 2007.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1991. 448 p.

WELANDER M.; SNYGG J. O. Effect of applied and endogenous auxin on callus and root formation of in vitro shoots of the apple rootstocks. **Ann. Bot.**, v. 59, p. 439-443. 1987.

WENDLING , I.; XAVIER, A.; TITON, M. Miniestaquia na silvicultural clonal de Eucalyptus. **Folha Florestal**, v. 1, p. 16-17, 1999.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R.L. da. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa: Editora UFV, 2009. 272 p.

CAPÍTULO 2

RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DE MINICEPAS CONDUZIDAS EM MINIJARDIM CLONAL DE EUCALIPTO PROTEGIDO POR ESTUFIM

2.1. INTRODUÇÃO

A adoção de um sistema de silvicultura clonal deve apresentar, dentre várias características, o conhecimento de técnicas de propagação mais adequadas e manejo do viveiro, dada a necessidade de atender a produção de mudas clonais (XAVIER et al., 2009).

O crescimento da área plantada de eucalipto frente ao indicador de 2013 foi de 1,55 % (85.000 ha), o que demandou o plantio de aproximadamente 140 milhões de mudas (IBÁ, 2014). Com a atual expansão do setor no Brasil, é estimada uma demanda ainda maior do que a apresentada no ano anterior.

A miniestaquia é uma técnica desenvolvida para o gênero *Eucalyptus* a partir da década de 1990, que consiste na utilização de brotações de plantas propagadas pelo método de estaquia convencional como fonte de propágulos vegetativos, de maneira que a miniestaca padrão constitui-se da parte apical da brotação e com consistência herbácea (XAVIER et al., 2009).

Para que se obtenha sucesso no enraizamento das miniestacas¹ é importante que as plantas matrizes, denominadas minicepas², apresentem boas condições fisiológicas, visando a obtenção de miniestacas* com máximo vigor vegetativo e turgidez.

Dentre os diversos fatores que atuam na produção e enraizamento das estacas de eucalipto, existem fatores ambientais tais como temperatura, umidade e luminosidade, que exercem grande influência nas condições fisiológicas da planta matriz e conseqüentemente na qualidade das estacas.

Uma das tecnologias que vem sendo utilizadas na propagação do eucalipto em minijardim clonal³ é o uso de estufim, que consiste em uma estufa que abrange uma área menor, em forma de túnel e revestida por plástico. O emprego do estufim promove alterações no ambiente de desenvolvimento das plantas, como o aumento

* Nos próximos itens serão adotados os termos estacas¹, cepas² e jardim clonal³, por ser a nomenclatura mais adotada na produção comercial de mudas de eucalipto.

da temperatura e umidade relativa do ar (ASSIS, 2011), que são variáveis determinantes para a produção das estacas.

A temperatura tem efeito na integridade das membranas dos cloroplastos e nas reações bioquímicas da fotossíntese, sendo que temperaturas elevadas aumentam a cinética da rubisco, aumentando a taxa de oxigenação mais do que a carboxilação, além de baixar a solubilidade de CO₂ em relação ao O₂. Como consequência, a velocidade de carboxilação em relação à de oxigenação é reduzida (DAMATTA et al., 2010).

Além disso, o uso dos estufins também permite que ocorra o aprisionamento do CO₂ que foi liberado pelo processo de respiração das plantas durante a noite, sendo que o aumento da concentração de dióxido de carbono nesse ambiente de crescimento pode causar alterações na morfologia e nos processos fisiológicos das plantas. A curto prazo, o aumento do CO₂ promove aumento da taxa fotossintética das folhas devido à alta concentração de CO₂ no sítio ativo da rubisco, o que pode aumentar a eficiência do ganho líquido do carbono na planta (LONG, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2013).

O movimento estomático é o meio mais rápido de que a planta dispõe para ajustar-se às variações ambientais, sendo que condições propícias à fixação de carbono favorecem a abertura dos estômatos, enquanto condições propícias à perda de água favorecem o fechamento. A regulação da abertura estomática parece agir no sentido de minimizar as perdas de água, limitando de forma menos intensa o influxo de CO₂ (MACHADO & LAGO, 1994).

As plantas podem alterar diretamente sua fisiologia ou morfologia em resposta às mudanças ambientais para que possam sobreviver ao novo ambiente, sem que haja modificação genética. Experimentos têm mostrado que a translocação dos fotoassimilados apresentam certa tolerância aos estresses, permitindo que as plantas mobilizem e utilizem reservas onde elas são necessárias (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Diante do exposto, este capítulo teve como objetivo investigar as diferenças nas respostas ecofisiológicas de cepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas com e sem estufim em jardim clonal.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização do minijardim clonal e delineamento experimental, bem como do monitoramento dos elementos meteorológicos e concentração de CO₂ foram descritos no Capítulo 1.

2.2.1. Monitoramento das variáveis fisiológicas das estacas de eucalipto

O monitoramento das trocas gasosas foi realizado por meio de um analisador de gás por infravermelho - IRGA (modelo LI6400XT, Licor Biosciences Inc.), em folhas completamente expandidas, no sétimo dia do ciclo de desenvolvimento das estacas, no dia da poda.

Foram medidas a fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a). De posse dos dados de fotossíntese líquida e transpiração foi calculada a eficiência do uso da água (EUA), conforme ZHANG et al. (2001). Além disso, também foi calculada eficiência de carboxilação (A/C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ ppm}^{-1}$).

As medidas fisiológicas foram realizadas nos dias 15/08/2015 e 04/09/2015, representando o período quente, e nos dias 11/07/2016 e 19/07/2016, representando o período frio, de 8 às 9 horas, sob radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

As curvas de resposta da fotossíntese em função da PAR foram realizadas nos dias 11/07/2016 e 19/07/2016. As medidas foram realizadas utilizando 12 níveis de PAR, sendo eles 0, 20, 40, 60, 100, 200, 400, 800, 1000, 1500, 2000 e 2300 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, iniciando a sequência sempre dos valores superiores para os inferiores. As curvas de saturação de luz foram realizadas entre 8 e 16 horas, sendo medidas seis curvas por tratamento. As medições foram realizadas ao final do desenvolvimento das estacas, antes das coletas, em folhas totalmente expandidas, com ausência de danos. As leituras foram feitas em uma folha por cepa, sendo avaliadas três cepas por tratamento.

O ajuste dos valores das curvas de A versus RFA foi realizado utilizando o modelo descrito por PRADO & MORAES (1997), conforme a equação 2.2.

$$A = A_{max} \left[1 - e^{-k(PAR - PCR)} \right] \quad (2.2)$$

em que:

- A = fotossíntese líquida momentânea, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$;
- 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);
- PAR = radiação fotossinteticamente ativa, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$;
- PCR = ponto de compensação à radiação, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

A declividade da região linear da curva de resposta fotossintética à luz representa a eficiência quântica da fotossíntese e expressa a relação entre moles de carbono assimilados e moles de fótons absorvidos, sendo obtida por meio da equação 2.3.

$$\alpha = k A_{max} \left(e^{k PCR} \right) \quad (2.3)$$

em que:

- α = eficiência quântica, $\text{mol C mol}^{-1} \text{PAR}^{-1}$

Vale destacar que o ar atmosférico foi amostrado pelo IRGA sempre no mesmo ponto para os dois tratamentos, no interior do jardim clonal, mas fora do estufim. Com isso se buscou uma comparação intrínseca das variáveis ecofisiológicas para condições atmosféricas iguais possibilitando uma comparação entre os dois tratamentos.

2.2.2. Monitoramento das variáveis biométricas das estacas

O monitoramento das características biométricas das estacas foi realizado apenas no período frio, uma vez que era esperado maior ganho com o uso dos estufins nessa época do ano, sendo feito nos dias 04/07/2016, 11/07/2016 e 18/07/2016, após a coleta das estacas.

As estacas coletadas possuíam de 6 a 8 cm de altura e dois pares de folhas. Foi mensurada a área foliar das estacas, sendo obtida por meio de um equipamento que integra a área de cada folha (modelo LI 3100C, Licor Biosciences). Além disso, também foi realizada a medição da matéria seca das folhas. De posse dos dados da área foliar e da matéria seca das folhas, foi calculada a área foliar específica, segundo BENINCASA (1988).

2.2.3. Análise estatística

O experimento foi composto por dois tratamentos (com e sem estufim) em cada leito de cultivo (três), representando as repetições, o que totalizou seis parcelas experimentais. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC).

A análise de variância (ANOVA) foi realizada pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Condições meteorológicas durante o experimento

Na Figura 1 é apresentada a caracterização climática do período experimental, sendo apresentada a variação diária da temperatura (°C), déficit de pressão de vapor (DPV) (kPa) e radiação solar global (Wm^{-2}) observada no exterior e interior do jardim clonal.

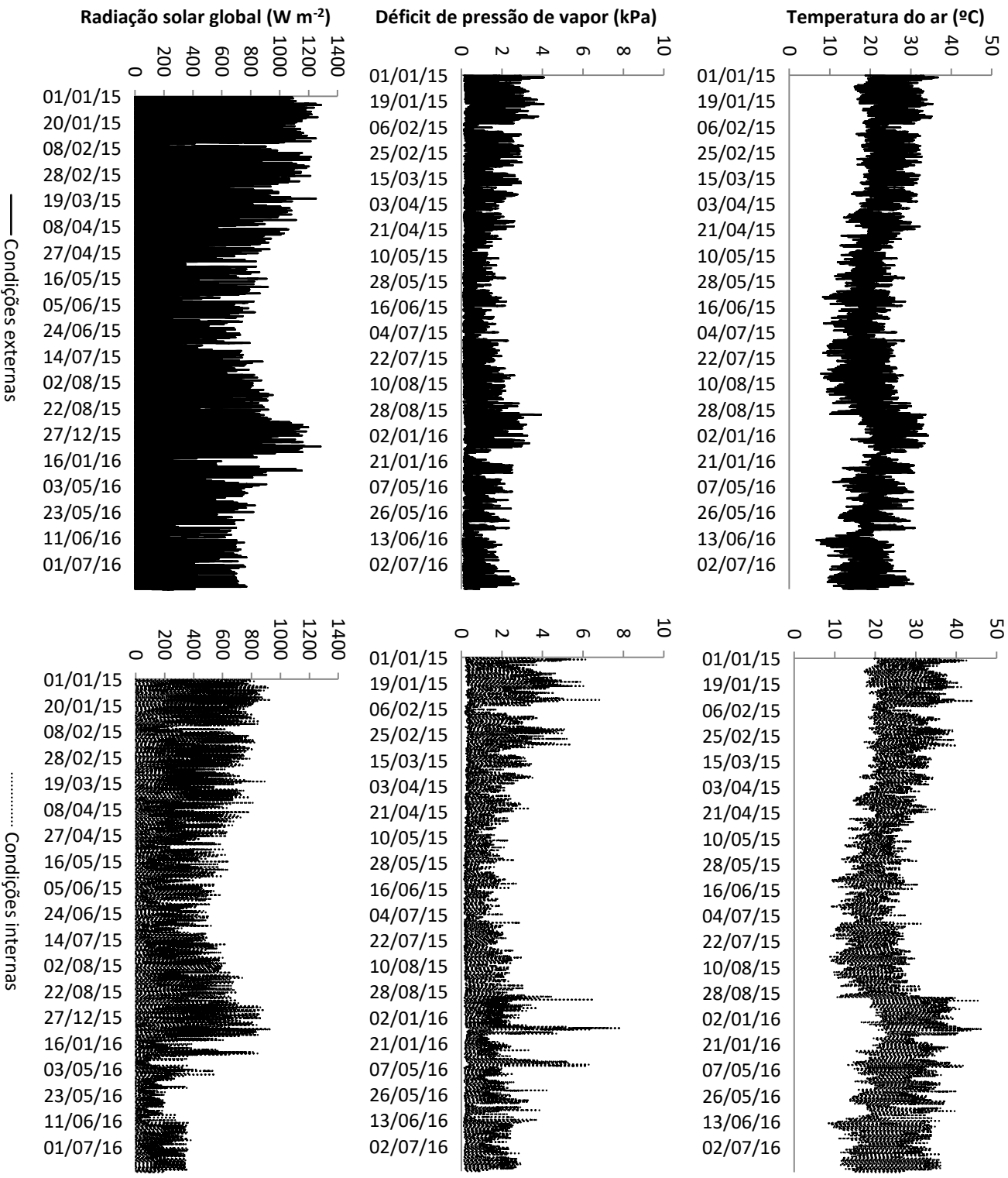


Figura 1. Variação diária dos elementos meteorológicos (temperatura, DPV e radiação solar global) medidos pela estação automática no exterior e interior do jardim clonal, durante o período experimental

A temperatura média observada no exterior do jardim clonal foi de 20,2 °C, a mínima de 6,7 °C e a máxima igual a 36,7 °C. No interior, as temperaturas média, mínima e máxima foram iguais a 21,9 °C; 8,1 °C e 46,6 °C, respectivamente. O DPV variou entre 0,1 e 4,1 kPa no ambiente externo, com média igual 0,7 e entre 0,1 e 7,9 kPa, no interior do jardim clonal, com média de 0,8 kPa.

O valor máximo de radiação solar global no exterior do jardim clonal foi de 1286 W m⁻², com média diurna de 360 W m⁻²; no interior a máxima foi de 934 W m⁻², com média diurna de 234 W m⁻². Essas diferenças corresponderam a uma redução média de 35% da radiação solar imposta pela cobertura plástica que tem capacidade de absorver e refletir a radiação incidente (BECKMANN et al., 2006).

Na Figura 2 é apresentada a variação horária dos elementos meteorológicos monitorados no interior do jardim clonal nos dias em que foram realizadas as campanhas ecofisiológicas, caracterizando o período quente (1^a e 2^a campanha) e o período frio (3^a e 4^a campanha).

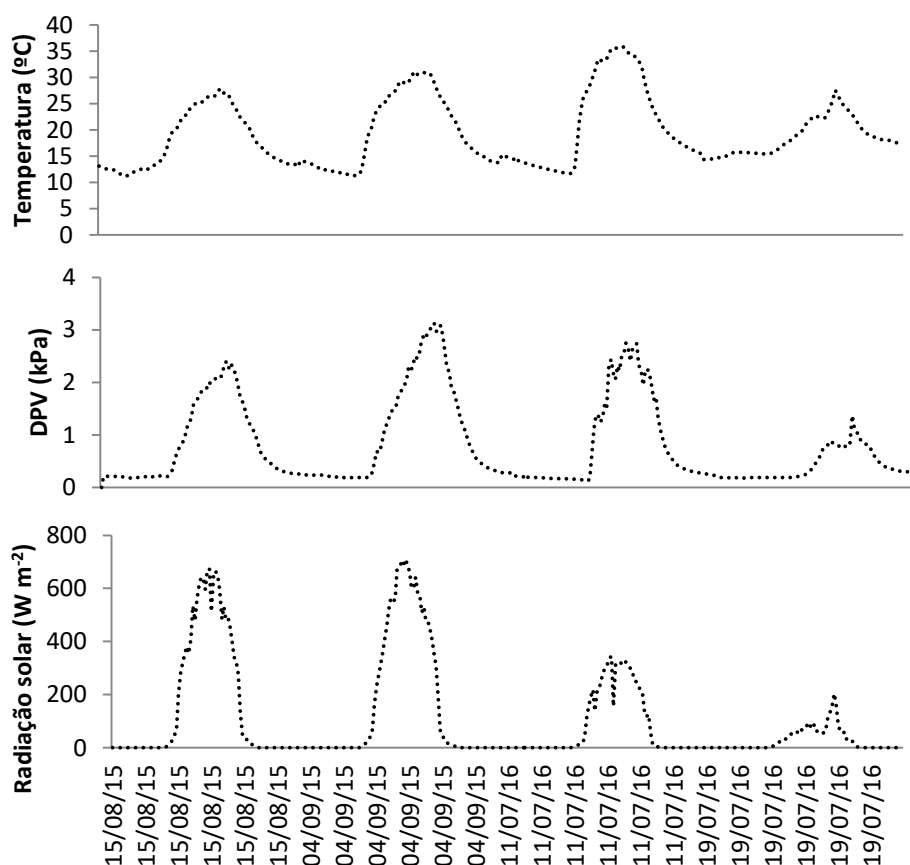


Figura 2. Variação horária dos elementos meteorológicos (temperatura, DPV e radiação solar global) medidos pela estação automática no interior do jardim clonal, nos dias das campanhas ecofisiológicas.

Na primeira campanha (15/08/2015) a temperatura variou de 11,2 a 27,6 °C, com média de 17,9 °C; o DPV de 0,2 a 2,4 kPa, com média de 0,8 kPa; a radiação solar global média diurna foi igual a 313 W m⁻² e a máxima atingiu 675 W m⁻².

Na segunda campanha (04/09/2015) a temperatura variou de 11,3 a 30,9 °C, com média de 24,6 °C; o DPV de 0,2 a 3,1 kPa, com média de 1,1 kPa; a radiação solar global média foi igual a 338 W m⁻² e a máxima atingiu 710 W m⁻².

Na terceira campanha (11/07/2016) a temperatura variou de 11,7 a 35,7 °C, com média de 19,7 °C; o DPV de 0,1 a 2,8 kPa, com média de 0,9 kPa; a radiação solar global média foi igual a 150 W m⁻² e a máxima atingiu 344 W m⁻².

Na quarta campanha (19/07/2016) a temperatura variou de 14,3 a 27,5 °C, com média de 18,7 °C; o DPV de 0,2 a 1,4 kPa, com média de 0,4 kPa; a radiação solar global média foi igual a 54 W m⁻² e a máxima atingiu 204 W m⁻².

Já na Figura 3 pode ser verificada a variação horária das variáveis microclimáticas (temperatura, déficit de pressão de vapor (DPV) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR)) monitoradas nos tratamentos com e sem estufim, nos dias das campanhas ecofisiológicas.

No tratamento sem estufim, na primeira campanha (15/08/2015) a temperatura média foi igual a 18,1 °C, com amplitude térmica de 18,9 °C, o DPV médio foi igual a 0,8 kPa e a PAR média foi igual a 653 μmol m⁻² s⁻¹; na segunda campanha (04/09/2015) a temperatura média foi igual a 21,7 °C, com amplitude de 19,8 °C, o DPV médio foi igual a 1,0 kPa e a PAR média foi igual a 713 μmol m⁻² s⁻¹; na terceira campanha (11/07/2016) a temperatura média foi igual a 16,9 °C, com amplitude de 14,4 °C, o DPV médio foi igual a 0,5 kPa e a PAR média foi igual a 150 μmol m⁻² s⁻¹ e na quarta campanha (19/07/2016) a temperatura média foi igual a 18,2 °C, com amplitude térmica de 13,6 °C, o DPV médio foi de 0,6 kPa e a PAR média diurna foi igual a 114 μmol m⁻² s⁻¹.

No tratamento com estufim, na primeira campanha (15/08/2015) a temperatura média foi igual a 20,9 °C, com amplitude térmica de 26,7 °C, o DPV médio foi igual a 0,7 kPa e a PAR igual a 457 μmol m⁻² s⁻¹; na segunda campanha (04/09/2015) a temperatura média foi igual a 23,4 °C, com amplitude de 21,1 °C, o DPV igual a 0,9 kPa e a PAR igual a 499 μmol m⁻² s⁻¹; na terceira campanha (11/07/2016) a temperatura média foi igual a 22,1 °C, com amplitude de 27,1 °C, o DPV igual a 0,5 kPa e PAR igual a 240 μmol m⁻² s⁻¹ e na quarta campanha

(19/07/2016) a temperatura média foi igual a 23,3 °C, com amplitude térmica de 20,6 °C, o DPV médio igual a 0,7 kPa e a PAR média diurna foi igual a 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

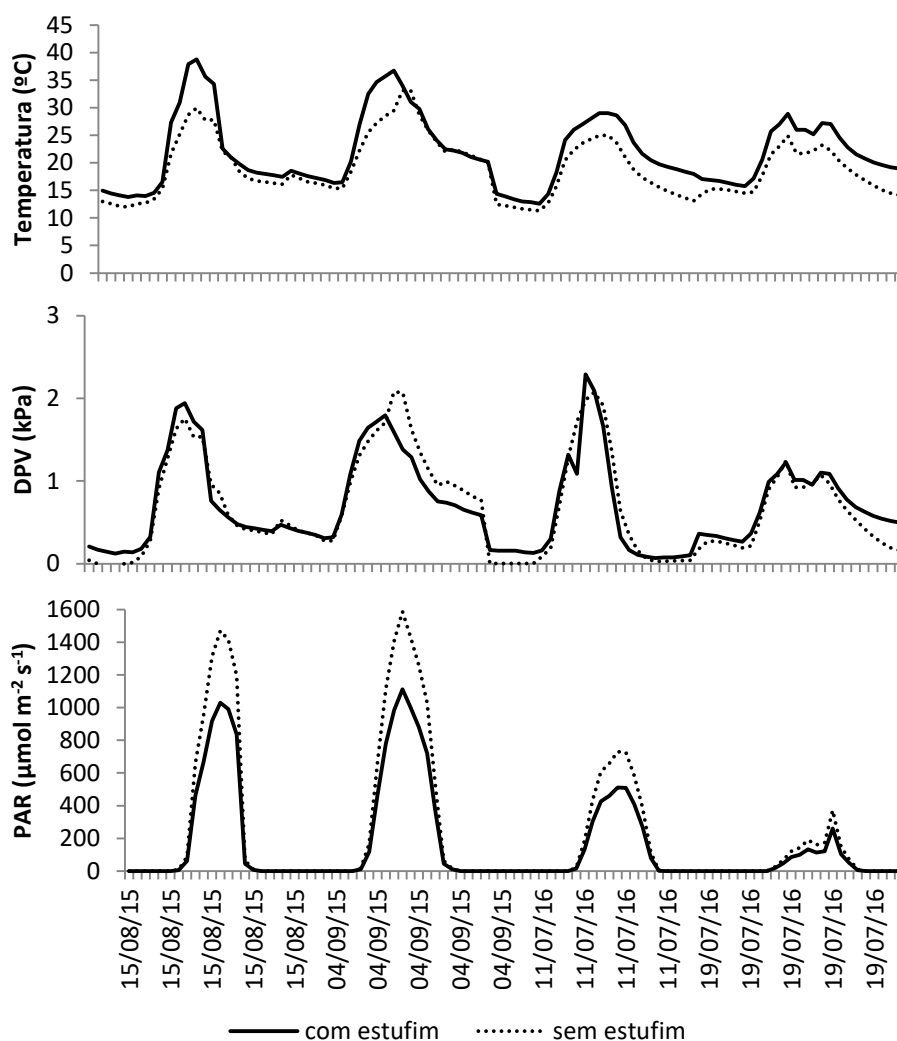


Figura 3. Variação horária da temperatura, DPV e PAR nos tratamentos com estufim e sem estufim, nos dias em que foram realizadas as campanhas ecofisiológicas.

Ao comparar os tratamentos, é possível observar que a temperatura média nas parcelas com estufim foi até 15,4 % maior no período quente (1ª e 2ª campanhas) e até 30,7 % maior no período frio (3ª e 4ª campanhas) em comparação à temperatura média nas parcelas sem estufim (Figura 3).

Embora a diferença nas temperaturas médias entre os tratamentos seja de até 5,2 °C, a diferença entre as temperaturas máximas atingiu até 14,2 °C. Assim, pode-

se inferir que o efeito térmico ocorre mais intensamente durante o dia, já que a diferença das temperaturas mínimas nos dois ambientes foi de até 1,9 °C (Figura 3).

Além disso, é possível observar alta similaridade dos valores de DPV nas parcelas com e sem estufim, sendo o DPV levemente superior nas parcelas com estufim. Essa similaridade pode ser explicada pela menor umidade relativa do ar observada nas parcelas sem estufim, o que contribui para o aumento do DPV, mas também pela maior temperatura nas parcelas com estufim, o que também promove o aumento do DPV nas parcelas com estufim.

Verifica-se que o microclima em que as cepas se desenvolveram diferiram entre os tratamentos e em relação ao ar atmosférico circundante, isto é, das condições meteorológicas no interior do jardim clonal (Figura 2). A temperatura média do ar no interior do jardim clonal foi superior à apresentada nas parcelas sem estufim, mas inferior à temperatura das parcelas com estufim. O DPV também foi superior ao apresentado nas parcelas com e sem estufim.

A presença da vegetação nas parcelas promove a diminuição da temperatura do ar em relação ao ar circundante, uma vez que promove maior atenuação da radiação solar. Além disso, a transpiração dos vegetais permite que ocorra o aumento da umidade relativa do ar local, promovendo diminuição do DPV, em comparação ao ar circundante presente no interior do jardim clonal.

Na Figura 4 é verificada a variação diária da concentração de gás carbônico em meses mais quentes (outubro e novembro), para ser representar a 1ª e 2ª campanha e em meses mais frios (julho), para representar a 3ª e 4ª campanha, nas parcelas com e sem estufim.

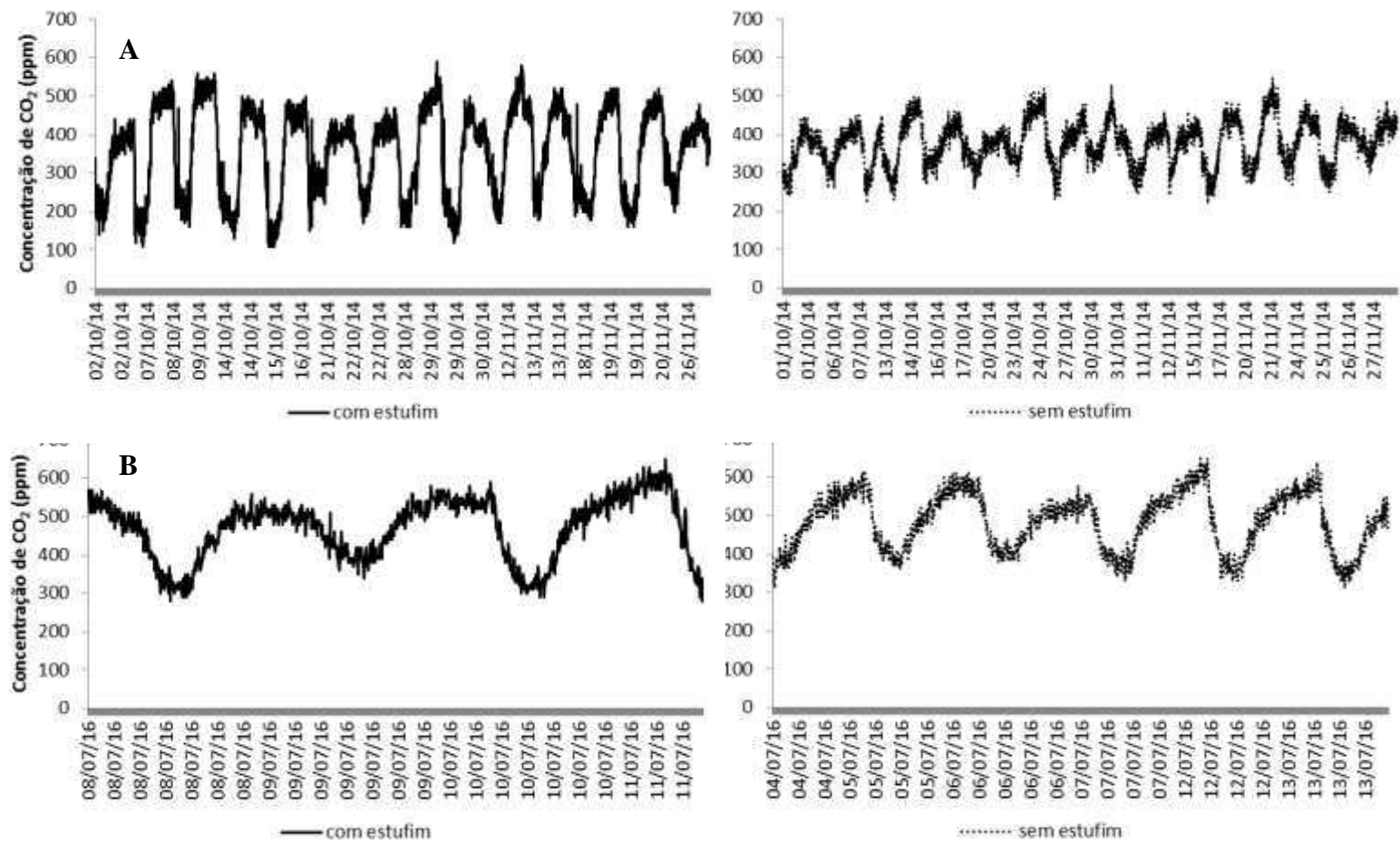


Figura 4. Variação diária da concentração de CO₂ nas parcelas com e sem estufim, no período quente (A) e frio (B)

A concentração de CO₂ nas parcelas com estufim variou de 280 a 650 ppm no período frio e de 160 a 590 ppm no período quente. Nas parcelas sem estufim a variação foi de 310 a 650 ppm e 220 a 550 ppm, nos períodos frio e quente, respectivamente. Verifica-se que a concentração de CO₂ no período quente foi inferior à do período frio, em ambos os tratamentos, o que pode ser explicado pelas condições mais favoráveis à realização da fotossíntese nesse período, ocasionando consequentemente maior consumo de gás carbônico.

Comparando os tratamentos, é possível verificar maior amplitude da concentração de gás carbônico nas parcelas com estufim, em ambos os períodos climáticos, sendo a maior amplitude (430 ppm) observada no período quente. Durante a noite, o CO₂ liberado durante o processo de respiração fica retido no ambiente de crescimento das cepas devido à presença do estufim, sendo esse gás

consumido durante o dia por meio da fotossíntese. Com a ausência de renovação do ar nessas parcelas, a concentração do CO₂ diminui consideravelmente no período diurno, promovendo conseqüentemente a maior amplitude da concentração do gás carbônico nessas parcelas.

2.3.2. Monitoramento das variáveis fisiológicas nas estacas de eucalipto

Por meio da Figura 5 é possível observar as medidas de fotossíntese líquida (A) realizadas nas parcelas com e sem estufim durante o período de monitoramento. É possível observar que a 1^a e 2^a campanha apresentaram as maiores taxas fotossintéticas, em razão da maior disponibilidade de radiação solar existente no período (Figura 3) quando comparado às outras campanhas.

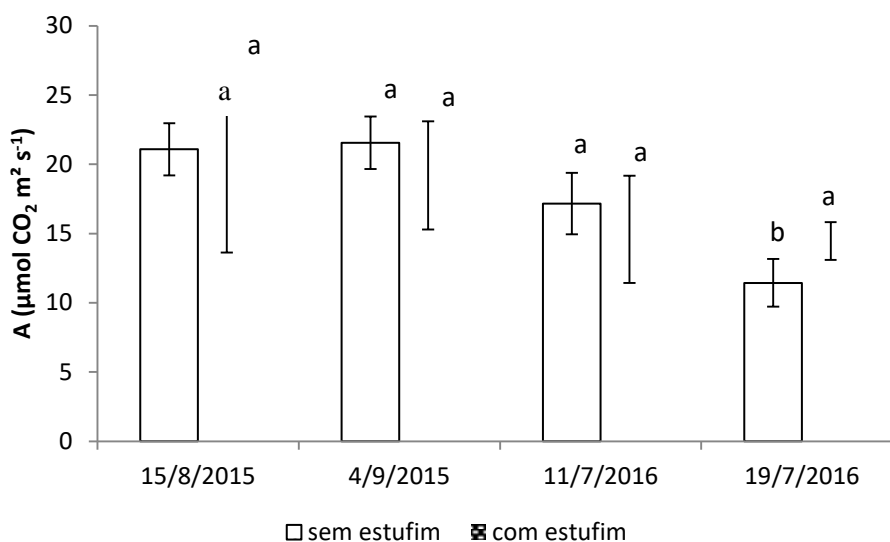


Figura 5. Medidas da fotossíntese (A) de minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim e com estufim, durante o período experimental.

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Além disso, na maioria das campanhas foi observada uma tendência da fotossíntese nas cepas submetidas ao tratamento sem estufim apresentarem maiores valores. Na última campanha realizada no período frio (19/07/2016) a fotossíntese foi maior no tratamento com estufim, com significância estatística.

As altas temperaturas observadas nos trópicos favorecem a produção de eucalipto, entretanto, a temperatura ótima para a fotossíntese é de 25 °C (RIBEIRO

et al., 2009), com limite inferior de 10 °C (MARTINS et al., 2007) e superior de 36 °C (ALMEIDA et al., 2004).

Nas campanhas realizadas no período quente, a temperatura máxima atingiu 40,3 °C nas parcelas com estufim e 34,6 °C nas parcelas sem estufim. Além disso, no momento da medição, a temperatura nas parcelas com estufim eram próximas a 29,5 °C e naquelas sem estufim próximas a 23,7 °C. A temperatura mais elevada observada nesse período, além de não favorecer a fotossíntese, também pode promover o aumento da taxa respiratória nas parcelas com estufim.

Já na última campanha, a temperatura média diária observada na data de realização da última campanha foi igual a 23,3 °C nas parcelas com estufim e igual a 18,2 °C nas parcelas sem estufim. No horário em que a medição foi realizada, ou seja, entre 8 e 9 horas, a temperatura nas parcelas com estufim era de 26,3 °C e nas parcelas sem estufim era de 19,4 °C. Nesse sentido, é possível verificar que na última campanha a temperatura nas parcelas com estufim estava mais favorável à realização da fotossíntese, o que justifica os maiores valores observados.

À medida que o CO₂ difunde para dentro das folhas para a realização da fotossíntese, o vapor de água difunde para o ambiente externo, sendo assim, a perda de água para a atmosfera é uma consequência inevitável para a realização da fotossíntese.

Na Figura 6 é apresentada as medidas de condutância estomática (gs) realizadas nas cepas de eucalipto, nos diferentes tratamentos. Verifica-se maior condutância estomática em todas as campanhas no tratamento com estufim, sendo observada diferença significativa na maioria das campanhas.

Semelhante ao ocorrido com a fotossíntese líquida, os maiores valores de condutância estomática ocorreram na 1ª e 2ª campanha, sendo coincidente com as campanhas que apresentaram os maiores déficits de pressão de vapor (Figura 3).

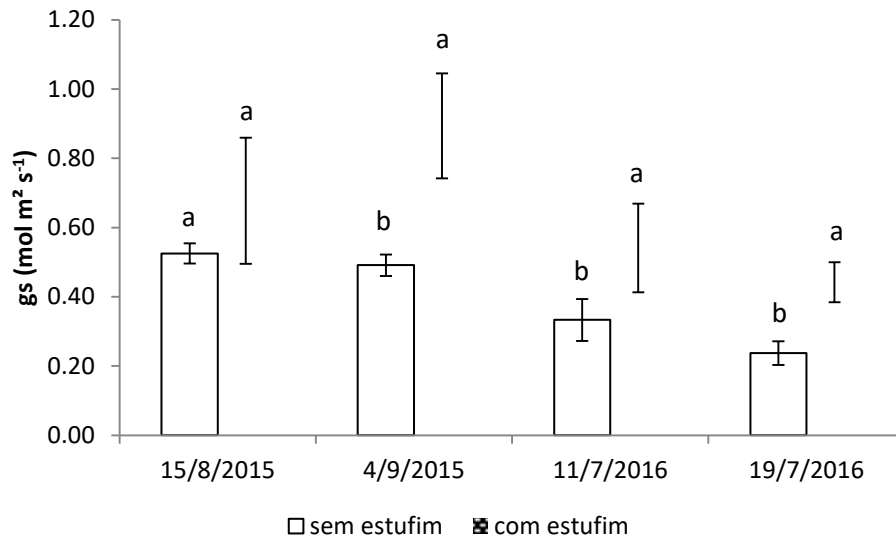


Figura 6. Medidas da condutância estomática (gs) de minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim e com estufim, durante o período experimental.

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

A condutância estomática é a densidade do fluxo de vapor d'água que passa através dos estômatos, e pode ser entendido como um poderoso mecanismo fisiológico que as plantas vasculares possuem para o controle da transpiração (JARVIS & McNAUGHTON, 1986).

Uma redução na condutância estomática afeta uma série de interações planta-ambiente, uma vez que os estômatos são pontos de controle de vapor d'água e balanço de energia entre o vegetal e o ambiente.

Através da abertura e fechamento dos estômatos a planta controla a taxa de transpiração (E), que se refere à perda de água pelas plantas na forma de vapor, respondendo a fatores como a disponibilidade de água, luz, temperatura e umidade relativa do ar (TAIZ & ZEIGER, 2013). A taxa transpiratória das cepas em ambos os tratamentos é apresentada na Figura 8.

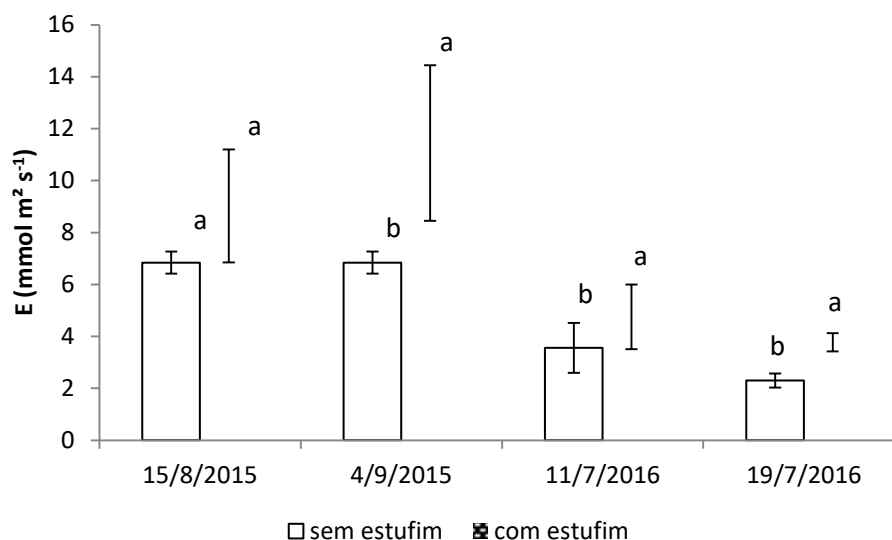


Figura 7. Medidas da transpiração (E) de minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim e com estufim, durante o período experimental.

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Conforme esperado, maiores taxas de transpiração foram apresentadas pelas cepas submetidas ao tratamento com estufim devido à maior temperatura ambiente e DPV, sendo também comprovada pela maior condutância estomática. Corroborando com os dados meteorológicos reinantes, as maiores taxas transpiratórias ocorreram no período quente (1ª e 2ª campanhas).

As perdas de calor sensível e evaporativo são os mais importantes processos na regulação da temperatura foliar. O calor sensível está relacionado à temperatura do ar, em que se a temperatura da folha for maior que a do ar circundante ao redor da folha, haverá transferência de calor da folha para o ar. Já o calor latente se refere à evaporação da água, onde quando ocorre a transpiração, ocorre a retirada de grandes quantidades de calor dela e a esfria (TAIZ & ZEIGER, 2013).

A maioria dos tecidos com crescimento ativo é incapaz de sobreviver à exposição prolongada a temperaturas acima de 45 °C. Entretanto, plantas com acesso à água abundante são capazes de manter a temperatura foliar abaixo de 45 °C por meio de esfriamento evaporativo, mesmo em ambientes com temperaturas elevadas.

A abertura estomática também é afetada pela concentração intercelular de CO₂ (C_i). A Figura 8 apresenta valores da razão entre a concentração interna e

externa de gás carbônico, nos tratamentos com e sem estufim, mostrando que essa relação foi significativamente superior nas plantas conduzidas sob o estufim.

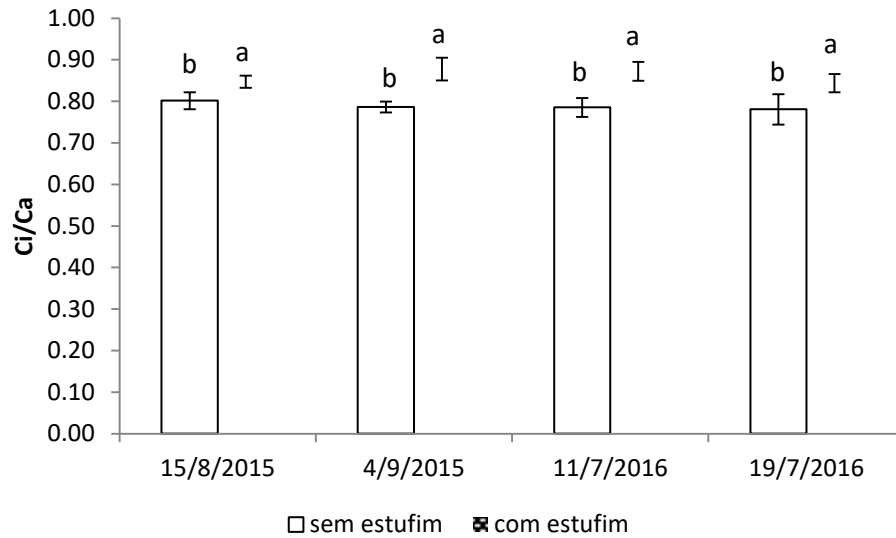


Figura 8. Medidas da concentração de gás carbônico interno e externo (C_i/C_a) de minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim e com estufim, durante o período experimental.

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Os estômatos controlam a difusão de CO_2 para dentro das folhas para que possa ocorrer fotossíntese e a difusão de vapor de água para fora das folhas no processo da transpiração. Quando a concentração interna de CO_2 é baixa, ocorre a abertura estomática para que ocorra a captação do CO_2 para a fotossíntese. O contrário, ou seja, a elevação da concentração interna de CO_2 diminui o tempo de abertura dos estômatos, reduzindo o volume de água perdido por transpiração. O aumento da concentração interna de CO_2 provoca aumento da fotossíntese até um ponto máximo. Incremento na fotossíntese a partir desse ponto não ocorre devido à saturação de CO_2 e à limitação quanto à capacidade de regeneração da ribulose-1,5-bifosfato carboxilase oxigenase (rubisco) (MACHADO & LAGOA, 1994).

Pela regulação da condutância estomática, a maioria das folhas parece regular sua concentração interna de CO_2 de modo que ela fica em uma concentração intermediária entre os limites impostos pela capacidade de carboxilação e a capacidade de regenerar ribulose 1,5 bifosfato (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Considerando que a concentração de CO_2 externa (C_a) se mantém constante, um aumento na relação C_i/C_a deve-se apenas a variações na concentração interna

(Ci). Se Ci estiver aumentando, significa que o CO₂ que está chegando às células do mesófilo não está sendo fixado na fase carboxilativa, possivelmente por danos em sua estrutura, reduzindo então a taxa fotossintética (PEREIRA et al., 2005).

Nas primeiras campanhas (1^a e 2^a), a maior concentração de carbono intercelular nas cepas conduzidas nas parcelas com estufim pode ser explicada pela alta temperatura observada nesse período. Nas 3^a e 4^a campanhas, a maior concentração de Ci no tratamento com estufim pode estar associada à menor disponibilidade de fótons em que as cepas estavam expostas a longo prazo, uma vez que a atenuação da radiação solar global nessas parcelas ocorreu em duplicidade.

A eficiência das plantas em moderar a perda de água, ao mesmo tempo em que permitem absorção suficiente de CO₂ para a fotossíntese, pode ser estimada pela eficiência do uso da água (EUA), definido como a quantidade de dióxido de carbono assimilado pela fotossíntese dividida pela quantidade de água transpirada pela planta. A eficiência do uso da água das cepas conduzidas com e sem o estufim é apresentada na Figura 9, na qual é verificada maior EUA nas plantas conduzidas sem o estufim. MACHADO et al. (2005) também observaram diminuição progressiva da EUA com o aumento da temperatura.

É possível verificar que a EUA foi maior no período frio (3^a e 4^a campanha) em comparação ao período quente (1^a e 2^a campanha), o que pode ser explicado pelo menor consumo de água nessa época, comprovado pela menor taxa transpiratória observada nesse período.

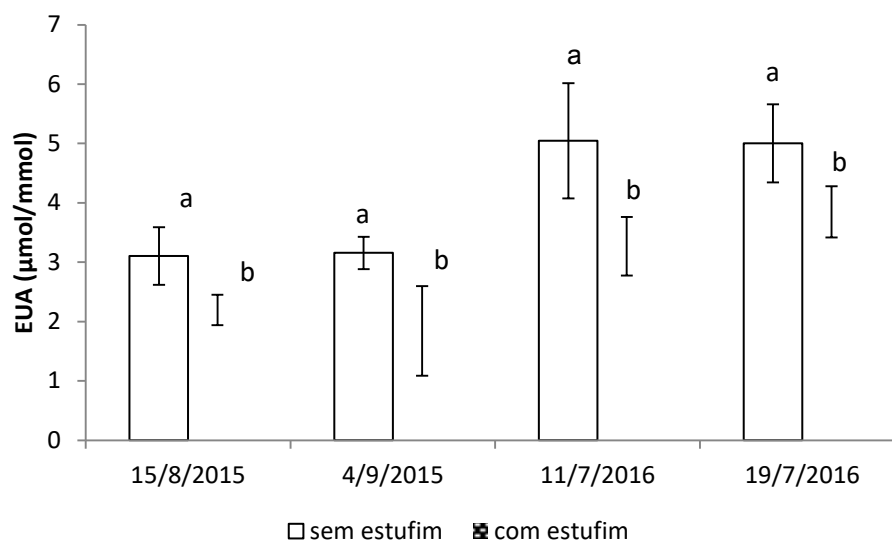


Figura 9. Medidas da eficiência do uso da água (EUA) de minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim e com estufim, durante o período experimental.

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Sobre a eficiência de carboxilação, na Figura 10 pode ser verificada que na maioria das campanhas as cepas conduzidas sem o estufim foram mais eficientes em realizar a fixação do carbono nas plantas. A maior concentração de carbono observada no interior das plantas conduzidas sob o estufim não ocasionou no aumento da taxa fotossintética, fazendo com que essas plantas apresentassem menor eficiência de carboxilação.

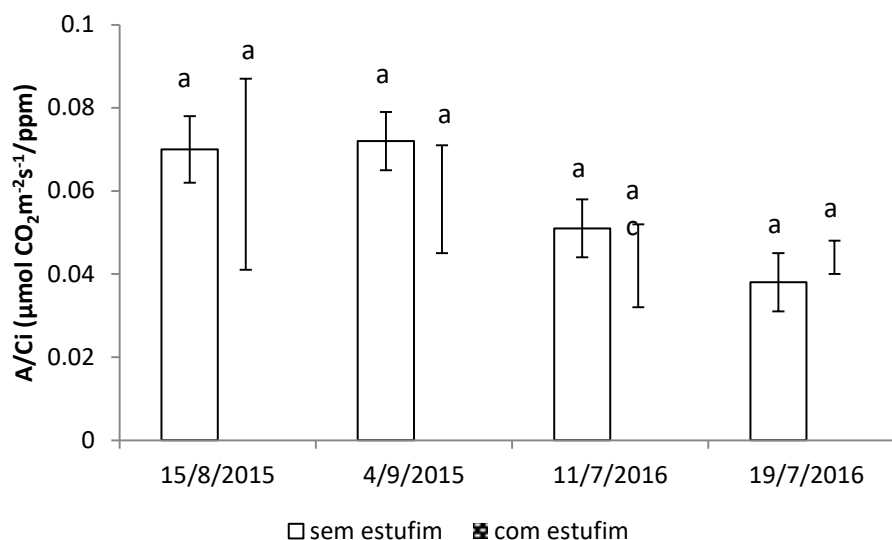


Figura 10. Medidas da eficiência de carboxilação (A/C_i) de minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim e com estufim, durante o período experimental.

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

2.3.3. Monitoramento das características biométricas das estacas de eucalipto

O monitoramento das características biométricas foi realizado apenas no período frio, uma vez que era esperado maior ganho nas respostas ecofisiológicas nas parcelas conduzidas com o estufim.

Observa-se na Figura 11 a variação da área foliar nos diferentes dias de monitoramento. É possível verificar maiores valores nas estacas conduzidas sem o estufim, entretanto, não foi observada diferença estatística significativa.

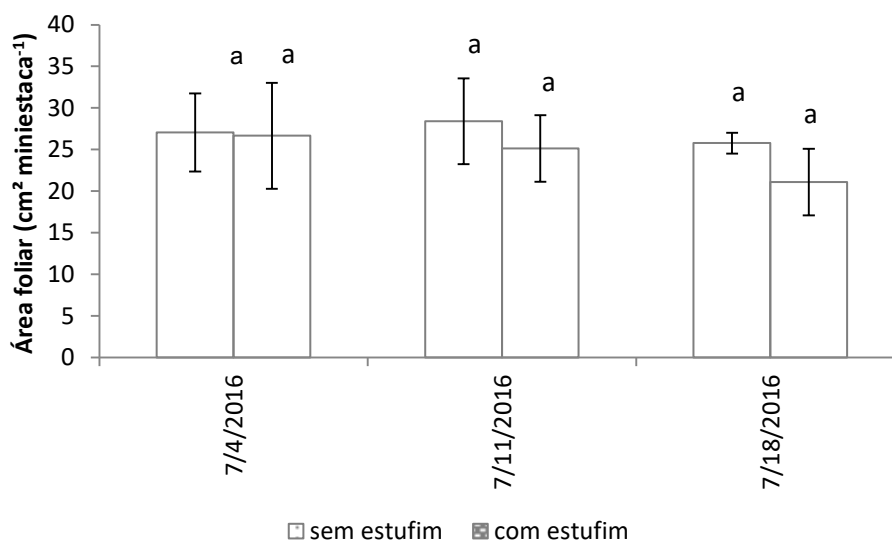


Figura 11. Área foliar de minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim e com estufim, durante o período experimental.

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

GONÇALVES et al. (2013) citam que o aumento da área foliar pode ser um dos mecanismos utilizados pelas plantas para aumentar a superfície fotossintética, garantindo o desempenho fotossintético mais eficiente sob baixa intensidade luminosa. Entretanto, mesmo existindo a atenuação da radiação solar pela presença do filme plástico de polietileno, essa diminuição não foi capaz de promover o aumento da área foliar das estacas produzidas nas parcelas cobertas com estufim.

Conforme verificado no Capítulo 1, foi observado maior produção de estacas nas parcelas conduzidas com o estufim. Com base nesses resultados, é possível inferir que a translocação dos fotoassimilados nas cepas ocorreu no sentido de produzir um maior número de estacas, mesmo com menor área foliar, talvez como estratégia de sobrevivência em condições ambientais extremas. Experimentos têm mostrado que a translocação dos fotoassimilados apresentam certa tolerância aos estresses, permitindo que as plantas mobilizem e utilizem reservas onde elas são necessárias (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Ao avaliar a área foliar específica (Figura 12), é possível verificar que os maiores valores foram observados nas estacas produzidas no tratamento com estufim, inclusive com significância estatística.

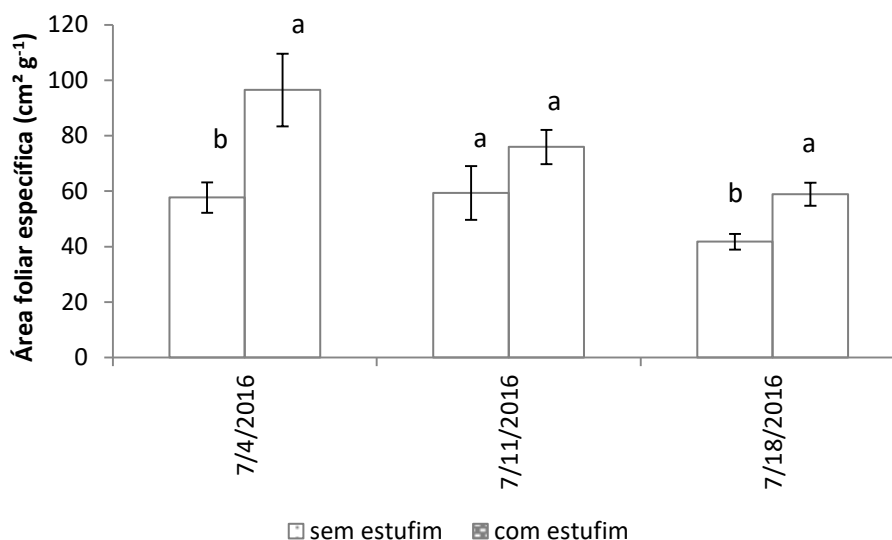


Figura 12. Área foliar específica de minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim e com estufim, durante o período experimental.

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Apesar da área foliar (Figura 11) ter sido um pouco menor nas cepas conduzidas sob o estufim, nesse tratamento também foi observado menor biomassa seca das folhas (Figura 13), porém com diferença significativa, o que ocasionou em estacas com maior área foliar específica.

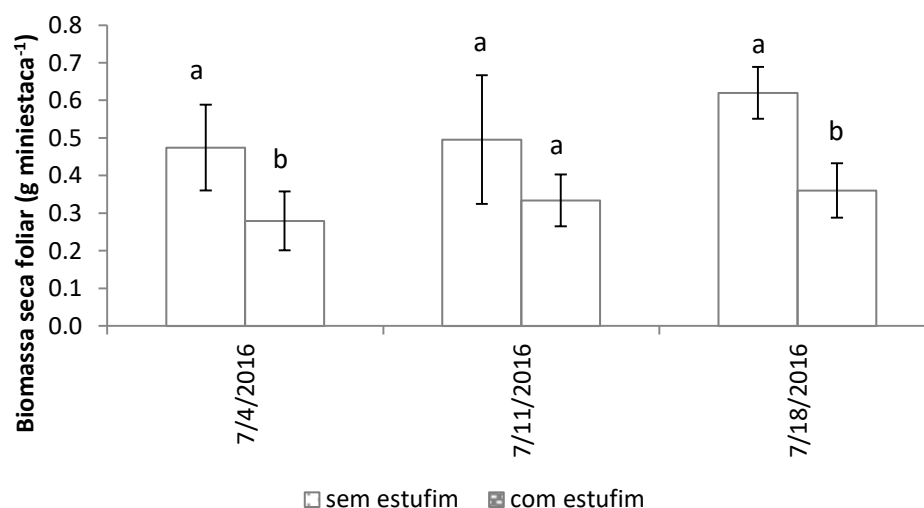


Figura 13. Biomassa seca foliar de minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim e com estufim, durante o período experimental.

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

Segundo SANTELICES et al. (2015), à medida que as plantas recebem menos PAR há aumento na área foliar específica, concordando com os resultados apresentados nesse trabalho.

Na Figura 14 é apresentada a curva de resposta da fotossíntese em função da PAR, em ambos os tratamentos.

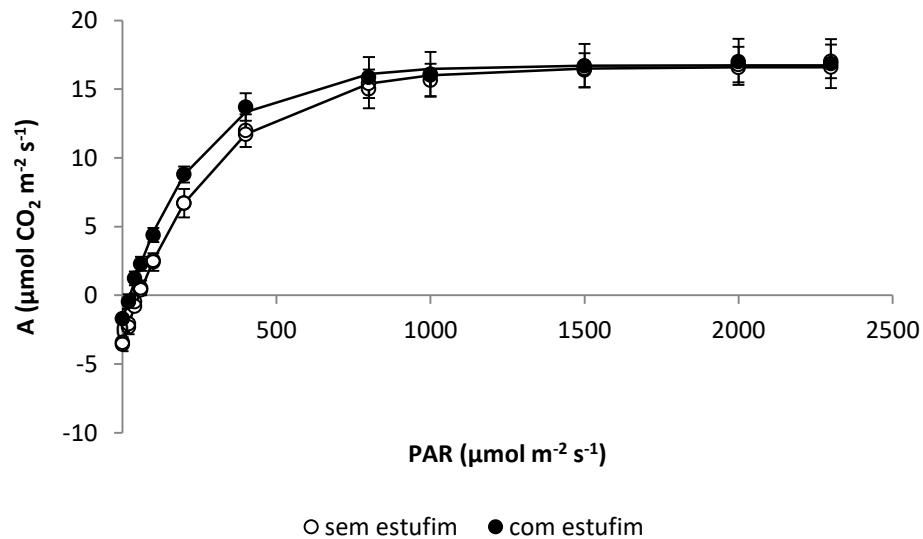


Figura 14. Curva de resposta da fotossíntese (A) em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim e com estufim.

É possível observar que o fornecimento da PAR acima de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ não ocasionou diferença na fotossíntese em ambos os tratamentos, indicando ser o ponto de saturação luminosa. Entretanto, em baixa PAR as plantas conduzidas com o estufim apresentaram as maiores taxas fotossintéticas. Esse fato pode estar associado à maior temperatura apresentada nessas parcelas, o que pode ter compensado a baixa disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa igualmente oferecida em ambos os tratamentos durante a realização das curvas.

Além disso, pode ser que a condução das cepas de eucalipto, a longo prazo, em um ambiente com menor disponibilidade de radiação solar permitiu que ocorresse a aclimação fisiológica das plantas à nova condição, com consequente melhoria nas respostas fotossintéticas em baixa PAR, quando comparado às plantas conduzidas sem o estufim.

Se recebida em escassez ou em demasia, a luz pode limitar o crescimento e a reprodução dos vegetais. No escuro não há assimilação fotossintética do carbono,

mas continua ocorrendo a respiração mitocondrial, o que promove a emissão de CO₂ pela planta. Em fluxos fotônicos mais altos, a resposta fotossintética à luz se estabiliza, alcançando então o ponto de saturação luminosa. Quando a saturação é atingida a taxa fotossintética não é mais afetada, indicando que outros fatores como a taxa de transporte de elétrons, atividade da rubisco ou metabolismo das trioses-fosfato se tornam limitantes à fotossíntese. Acima do ponto de saturação a fotossíntese é limitada pelo CO₂, refletindo a incapacidade das enzimas do ciclo de Calvin em acompanhar a produção de ATP e NADPH das reações dependentes de luz (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Na Tabela 2 constam as equações de estimativa da fotossíntese em função da PAR. É possível verificar semelhança nos valores de fotossíntese máxima (A_{máx}) em ambos os tratamentos, entretanto, maiores diferenças são observadas na constante de proporcionalidade associada à concavidade da curva (k) e no ponto de compensação à radiação (PCR).

Os valores de A_{máx} estão no intervalo de valores relatados em uma revisão realizada por WHITEHEAD & BIDLEY (2004) para 11 espécies de *Eucalyptus* em diferentes locais do mundo, que variaram entre 13 e 32 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹.

Tabela 2. Equação de estimativa da fotossíntese (A_{est}) em função da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim (S) e com estufim (C).

Tratamento	Equação de estimativa da fotossíntese	R ²
S	$A_{est} = 16,60 [1 - e^{-0,0035 (PAR - 53,23)}]$	0,998
C	$A_{est} = 16,73 [1 - e^{-0,0043 (PAR - 24,42)}]$	0,999

Além disso, por meio da Tabela 2 é possível verificar que o maior PCR foi observado no tratamento sem estufim (53,23), em comparação ao tratamento com estufim (24,42). Os pontos de compensação em plantas de sol variam de 10 a 20 μmol m⁻² s⁻¹, enquanto os valores correspondentes a plantas de sombra vão de 1 a 5 μmol m⁻² s⁻¹. Isso acontece porque as taxas de respiração são muito baixas em plantas que recebem menos radiação solar; portanto, apenas uma pequena taxa fotossintética líquida é necessária para levar a zero as taxas líquidas de troca de CO₂ (TAIZ & ZEIGER, 2013).

A luz é o principal fator abiótico para a assimilação de carbono durante o processo de fotossíntese, sendo que a redução da fotossíntese sob baixa intensidade

luminosa conduz a um balanço negativo de carbono já que a demanda de carbono para manutenção ou reparação de processos metabólicos excede seu suprimento assimilatório (ZHANG et al., 2013).

Já a eficiência quântica (α) foi maior nas plantas conduzidas sob o estufim (Tabela 3), sendo esse aumento na ordem de 11%.

Tabela 3. Médias de fotossíntese máxima ($A_{máx}$) e da eficiência quântica (α) obtida em minicepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas sem estufim (S) e com estufim (C).

Tratamento	$A_{máx}$	α
S	16,60 ($\pm 1,23$)	0,071
C	16,73 ($\pm 1,78$)	0,079

Em estudo realizado por STAPE et al. (2008), verificaram valor máximo de α de 0,060, em povoamento clonal de *E. grandis* x *E. urophylla* submetidos a condições não limitantes de suprimento de água e nutrientes. BAESSO (2011) encontrou valores de eficiência quântica em plantios de eucalipto variando de 0,052 a 0,061, dependendo da concentração atmosférica de CO_2 e idade do plantio.

2.4. CONCLUSÕES

No período de maior disponibilidade de radiação solar e temperatura (1ª e 2ª campanhas), o uso do estufim no jardim clonal de eucalipto não promoveu alterações significativas nas taxas fotossintéticas das estacas em comparação ao tratamento sem estufim. No período de menor disponibilidade de radiação solar (4ª campanha) foram observadas maiores taxas fotossintéticas nas estacas produzidas no tratamento com estufim devido à maior temperatura apresentada nessas parcelas.

Nas parcelas conduzidas com estufim foram observadas maiores taxas de condutância estomática, transpiração e relação entre a concentração de carbono interna e externa, com menor eficiência do uso da água em todas as campanhas ecofisiológicas.

Além disso, as plantas conduzidas com estufim apresentaram maior eficiência de utilização da radiação durante o processo de fotossíntese, maior fotossíntese máxima e menor ponto de compensação da radiação, que podem ter sido favorecidos pela maior temperatura observada nesse tratamento, bem como pela aclimação

fisiológica das plantas à nova condição de menor disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa, quando comparado às plantas conduzidas sem o estufim.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. C.; LANDSBERG, J. J., SANDS, P. J. Parameterization of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v.193, n.2, p.179-195, 2004.

ASSIS, T. F. Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the Eucalyptus clonal forestry. **BMC Proceedings**, n. 5 (Suppl 7): I18, 2011. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1753-6561/5/S7/I18>>. Acesso em 10 jul. 2016. doi:10.1186/1753-6561-5-S7-I18

BAESSO, R. C. E. **Efeito do CO₂ na eficiência quântica do eucalipto e sua utilização na modelagem de seu crescimento pelo 3-PG**. 2011. 118 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BECKMANN, M. Z.; DUARTE, G. R. B.; PAULA, V. A.; MENDEZ, M. E. G.; PEIL, R. M. N. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 6, n. 1, p. 86 – 92, 2006.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

DAMATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERIDGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, p. 1814 – 1823, 2010.

GONÇALVES, E. R.; SOUZA, F. C.; SANTOS, L. N.; SILVA, J. V.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L. Morphological and photosynthetic adaptations of *Tabebuia*

aurea seedlings in the nursery. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1201–1209, 2013.

IBÁ. (2014) Indústria Brasileira de Árvores. **Indicadores do setor brasileiro de árvores plantadas, Ano base 2013**. Brasília, 100 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em 24 jul. 2016.

JARVIS, P. G.; McNAUGHTON, K. G. Stomatal control of transpiration: Scaling up from leaf to region. **Advances in Ecological Research**, v. 15, p. 1 - 49, 1986.

LONG, S., AINSWORTH, E., ROGERS, A., ORT, D. Rising atmospheric carbon dioxide: Plant FACE the future. **Annu. Rev. Plant Biol**, v. 55, p. 591 - 628, 2004.

MACHADO, E.C.; LAGÔA, A.M.M. A. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas. **Bragantia**, v. 53, n. 2, p. 141 - 149, 1994.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesq. agropec. bras.**, v.40, n.12, p.1161-1170, 2005.

MARTINS, F. B. SILVA, J. C. da.; 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, jun. 2007.

PEREIRA, F. H. F; NETO, D. E.; SOARES, D. C.; OLIVA, M. A. Trocas gasosas em plantas de tomateiro submetidas a condições salinas. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, 2005.

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.

RIBEIRO, A.; PAIVA, Y. G.; BAESSO, R. C. E.; ALMEIDA, A. Q.; OLIVEIRA, A. S.; OLIVEIRA, R. A.; HAMAKAWA, P. J.; SILVA, M. P. Eucalipto. In: MONTEIRO J. E. B. A. (Ed.) **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.

SANTELICES, R.; ESPINOZA, S.; CABRERA, A. M. Effect of four levels of shade on survival, morphology and chlorophyll fluorescence of *Nothofagus alessandrii* container-grown seedlings. **iForest Biogeosciences and Forestry**, v. 8, p. 638-641, 2015.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, 2008, v. 255, n. 4, p. 920-930, 2008.

SZEICZ, G. Solar radiation for plant growth. **J. Appl. Ecol.**, v. 11, p. 617-36, 1974.

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

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe, Zeitschrift Geophysic, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.

WHITEHEAD, W.; BEADLE, C. L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 113–140, 2004.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R.L. da. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa: Editora UFV, 2009. 272 p.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. **Photosynthetica**, v.39, p. 383-388, 2001.

ZHANG, M.; ZHU, J.; LI, M.; ZHANG, G.; YAN, Q. Different light acclimation strategies of two coexisting tree species seedlings in a temperate secondary forest

along five natural light levels. **Forest Ecology and Management**, v. 306, p. 234-242, 2013.

CAPÍTULO 3

MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE MINIESTACAS DE EUCALIPTO PRODUZIDAS EM AMBIENTE PROTEGIDO POR ESTUFIM COM BASE NA SOMA TÉRMICA

3.1. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* possui grande importância em plantios florestais comerciais que visam a produção de papel, celulose, madeira e carvão, por apresentar crescimento rápido e ser muito adaptado às condições edafoclimáticas do Brasil. Além das funções produtivas, os plantios florestais contribuem para a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa, como fontes de energia renováveis e atuam na preservação de recursos naturais, tais como o solo e a água.

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores, os plantios de eucalipto no Brasil ocupam uma área de 5,56 milhões de hectares, o que representa 71,9% do total da área de árvores plantadas no país (IBÁ, 2015). O crescimento da área plantada de eucalipto frente ao indicador de 2013 foi de 1,55 % (85.000 ha), o que demandou o plantio de aproximadamente 140 milhões de mudas (IBÁ, 2014). Com a atual expansão do setor no Brasil, é estimada uma maior demanda de mudas de eucalipto do que a observada no ano anterior.

Muitos materiais genéticos de alto potencial silvicultural deixam de ser introduzidos nos plantios comerciais por limitação propagativa. O aperfeiçoamento das técnicas de produção de mudas vem sendo fundamentais para se manter a competitividade brasileira no setor. A miniestaquia é uma técnica de propagação vegetativa que consiste na utilização de brotações de plantas como fonte de propágulos vegetativos. As miniestacas¹ são fornecidas pelas minicepas², que são a parte basal da brotação das mudas podadas, e o conjunto das minicepas constitui o minijardim clonal^{3*} (XAVIER et al., 2009).

Uma das tecnologias que vem sendo utilizadas na propagação do eucalipto em jardim clonal é o uso de estufim, que consiste em uma estufa que abrange uma área menor, em forma de túnel e revestida por plástico. O emprego do estufim

* Após a definição dos termos técnicos, para facilitar a leitura, a partir desse parágrafo será utilizado os termos ¹estacas, ²cepas, ³jardim clonal.

promove alterações no ambiente de desenvolvimento das plantas, como o aumento da temperatura e umidade relativa do ar (ASSIS, 2011), que são variáveis determinantes para a produção das estacas.

A temperatura tem efeito na integridade das membranas dos cloroplastos pois o aumento da temperatura causa um aumento na fluidez dos lipídeos da membrana e um decréscimo na força de ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas entre grupos polares de proteínas na fase aquosa das membranas. Além disso, tem efeito nas reações bioquímicas da fotossíntese uma vez que temperaturas elevadas aumentam a cinética da rubisco, aumentando a taxa de oxigenação mais do que a carboxilação, além de baixar a solubilidade de CO₂ em relação ao O₂. Como consequência, a velocidade de carboxilação em relação à de oxigenação é reduzida (DAMATTA et al., 2010).

Além disso, a temperatura influencia a fotorrespiração, que aumenta, principalmente, pela redução da difusão do CO₂ e aumento da razão O₂/CO₂ no mesófilo foliar. Como resultado da competição entre O₂ e CO₂ pelo substrato comum, a ribulose-1,5-bifosfato, a fotossíntese líquida das plantas C₃ é prejudicada quando a temperatura atinge valores acima de 30° C (SALISBURY & ROSS, 1992).

O primeiro estudo quantitativo da relação planta-temperatura é atribuído a René Réaumur, por volta de 1730 (RÉAUMUR, 1735). Uma maneira de analisar essa relação é por meio do conceito da soma térmica, tempo térmico ou graus-dia acumulados que representa a quantidade de energia necessária, em um intervalo de temperatura basal inferior e superior, para que as plantas atinjam determinado grau de desenvolvimento.

De acordo com MARTINS et al. (2007), a temperatura basal inferior para o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis* é de 10 °C. Por outro lado, o limite máximo para a aceleração dos processos metabólicos, também conhecido como temperatura basal superior é de 36 °C para *Eucalyptus grandis* (ALMEIDA et al., 2004).

A soma térmica é um método simples e é a melhor medida de tempo biológico em plantas do que dias do calendário civil, uma vez que reduz discrepâncias na caracterização do ciclo das plantas sob diferentes regimes térmicos (GILMORE & ROGERS, 1958; BERGAMASCHI, 2007).

No estudo realizado por OLIVEIRA et al. (2012) foi mostrado que o conceito de tempo térmico é útil para determinar a duração da fase de enraizamento e a modelagem de crescimento nesta fase inicial do desenvolvimento de mudas de eucalipto, permitindo inferir sobre a potencialidade de estudos desse tipo para a tomada de decisão no manejo em viveiros de mudas de eucalipto.

O ajuste de modelos que correlacionam variáveis associadas à interação planta-ambiente no desenvolvimento de diferentes materiais genéticos a serem propagados no viveiro pode minimizar os custos em virtude da otimização da utilização das instalações e redução das perdas ocasionadas por doenças (FERREIRA et al., 2004).

Este capítulo teve como objetivo o desenvolvimento de modelos de crescimento de estacas produzidas em cepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas com e sem estufim em jardim clonal com base na soma térmica.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização do minijardim clonal e delineamento experimental foram apresentados no Capítulo 1.

3.2.1. Monitoramento do crescimento das miniestacas

O monitoramento do crescimento das estacas foi realizado diariamente nas parcelas com e sem estufim, em dois ciclos de produção das estacas. De acordo com o manejo tradicional, a frequência de produção e coleta das estacas é a cada sete dias.

Para isso foram realizadas medidas biométricas das estacas de eucalipto, nas quais foram mensuradas a área foliar, altura, diâmetro do colo e biomassa fresca. A área foliar foi obtida por meio de um equipamento que integra a área de cada folha (modelo LI 3100C, Licor Biosciences). A altura das estacas foi medida com régua milimétrica; o diâmetro do colo foi determinado por meio de um paquímetro com precisão de 0,1 mm (Eccofer) e a biomassa foi obtida por meio de uma balança de precisão com resolução de 0,01 g (modelo SA 210, Scientech).

3.2.2. Monitoramento da temperatura e cálculo da soma térmica

O monitoramento da temperatura do ar nas parcelas com e sem estufim foi realizado por meio dos sensores DS1820, sendo a coleta dos dados realizada a cada 5 segundos.

De posse dos dados de temperatura, foi possível realizar o cálculo da soma térmica de acordo com a metodologia proposta por VILLA NOVA (1972), nos Casos I a IV.

A Equação 3.1, referente ao Caso I, é aplicada se a temperatura basal inferior da cultura for inferior à temperatura mínima diária e se temperatura basal superior da cultura for superior à temperatura máxima diária.

A Equação 3.2 refere-se ao Caso II, em que a temperatura basal inferior é maior ou igual à temperatura mínima diária e a temperatura basal superior é maior que a máxima diária.

A Equação 3.3, associada ao Caso III, é utilizada se a temperatura basal inferior da cultura for inferior à temperatura mínima diária e se temperatura basal superior da cultura for inferior à temperatura máxima diária.

Por fim, a Equação 3.4 (Caso IV) é aplicada quando a temperatura basal inferior é maior que a temperatura mínima e temperatura basal superior é menor que a máxima diária.

$$GD_{acum} = \sum_{i=1}^n [(T_{min} - T_i) + \frac{(T_{max} - T_{min})}{2}] \quad (3.1)$$

$$GD_{acum} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(T_{max} - T_i)^2}{2(T_{max} - T_{min})} \right] \quad (3.2)$$

$$GD_{acum} = \sum_{i=1}^n \left[(T_{min} - T_i) + \frac{(T_{max} - T_{min})}{2} - \frac{(T_{max} - T_s)^2}{2 \cdot (T_{max} - T_{min})} \right] \quad (3.3)$$

$$GD_{acum} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(T_{max} - T_i)^2}{2 \cdot (T_{max} - T_{min})} - \frac{(T_{max} - T_s)^2}{2 \cdot (T_{max} - T_{min})} \right] \quad (3.4)$$

em que,

GD_{acum} = graus-dia acumulados, °C;

n = número de dias, adimensional;

T_{min} = temperatura do ar mínima diária, °C;

T_i = temperatura basal inferior da cultura, °C;

T_{max} = temperatura do ar máxima diária, °C;

T_s = temperatura basal superior da cultura, °C.

A soma térmica foi determinada em dois ciclos de desenvolvimento das estacas, sendo o primeiro realizado no período de 12/07/2016 a 18/07/2016, para a validação dos modelos e o segundo ciclo de desenvolvimento foi realizado de 19/07/2016 a 25/07/2016, para a obtenção dos modelos de estimativa das variáveis biométricas em função dos graus-dia acumulados.

3.2.3. Desenvolvimento e validação de modelos de crescimento das estacas

A partir das medidas das variáveis biométricas e da soma térmica monitorada em um ciclo de produção (19 a 25/07/2016) das parcelas com e sem estufim foram obtidos modelos de crescimento para estacas de eucalipto por meio do programa computacional *Sigma Plot* (versão 11.0).

Conforme já informado, a validação dos modelos foi realizada com os dados obtidos no primeiro ciclo de produção das estacas (12 a 18/07/2016).

A categoria das equações (por exemplo, sigmoidal, exponencial, logarítmica, etc) que permitiu melhor ajuste para as estacas produzidas nas parcelas sem estufim foi aplicada nas parcelas com estufim, a fim de verificar se os padrões de crescimento das estacas em ambos os tratamentos eram semelhantes.

Na análise estatística foram utilizados os seguintes índices: coeficiente de correlação de Pearson (r), coeficiente de Willmott (d), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e viés médio do erro (MBE), de acordo com as Equações 3.5 a 3.8, respectivamente.

$$r = \frac{\sum(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum(O_i - \bar{O})^2 \sum(P_i - \bar{P})^2}} \quad (3.5)$$

$$d = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (3.6)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (3.7)$$

$$\text{MBE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (3.8)$$

em que,

O_i = valor da variável observada, g muda⁻¹;

P_i = valor da variável estimada, g muda⁻¹;

\bar{O} = média dos valores observados, g muda⁻¹;

\bar{P} = média dos valores estimados, em g muda⁻¹;

n = número de observações, adimensional.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Caracterização da temperatura no período experimental

Na Figura 1 é apresentada a variação da temperatura medida ao longo do período experimental nas parcelas sem e com estufim, bem como os limites da temperatura basal inferior e superior.

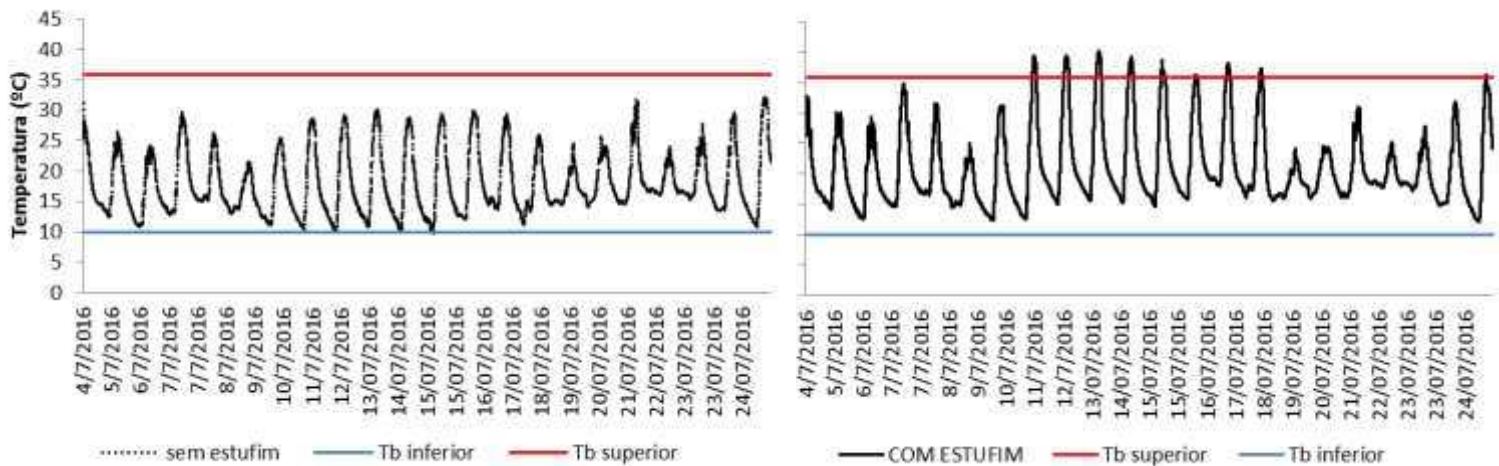


Figura 1. Variação diária da temperatura monitorada nas parcelas sem e com estufim durante o período experimental

Ao longo de todo o período de monitoramento, as temperaturas mínima, média e máxima nas parcelas sem estufim foram iguais a 9,7 °C; 18,0 °C e 32,3 °C, respectivamente. Nas parcelas com estufim, a temperatura mínima foi igual a 12,1 °C, a média igual a 21,1 °C e a máxima foi igual a 40,2 °C.

Verifica-se que em diversos momentos a temperatura do ar nas parcelas com estufim foi maior que a temperatura basal superior do eucalipto, porém, em nenhum momento a temperatura foi menor que a temperatura basal inferior. Já nas parcelas sem estufim a temperatura do ar não alcançou a temperatura basal superior, mas atingiu a temperatura basal inferior em alguns dias.

O estresse térmico pode ocorrer por temperaturas altas, temperaturas baixas acima do congelamento e temperaturas abaixo do congelamento. A maioria das plantas com acesso à água abundante é capaz de manter temperatura foliar abaixo de 45 °C por meio do esfriamento evaporativo, entretanto, em caso de déficit de água no solo ocorre fechamento parcial dos estômatos, reduzindo o processo de transpiração e o conseqüente aumento da temperatura foliar. Temperaturas elevadas provocam danos nas membranas e desnaturação de enzimas, além de inibir a fotossíntese e aumentar a respiração. Já o dano por baixas temperaturas causam redução do crescimento, descoloração e lesões de folhas e inibição de muitos processos bioquímicos, bem como a formação de cristais de gelo no interior e fora das células, o que provoca danos irreversíveis nas membranas e desidratação excessiva (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Ao final do segundo ciclo de produção, a soma térmica obtida nas parcelas sem estufim foi igual a 61 graus-dia acumulados e nas parcelas com estufim igual a 76 °C.

3.3.2. Monitoramento e estimativa do crescimento das miniestacas em função da soma térmica

Na Figura 2 é apresentada a variação do incremento observado na altura das estacas em função dos graus-dia acumulados, nas parcelas sem estufim e com estufim. O modelo que apresentou melhor ajuste da variação do incremento ao longo do acúmulo de graus-dia foi o sigmoidal com 3 parâmetros.

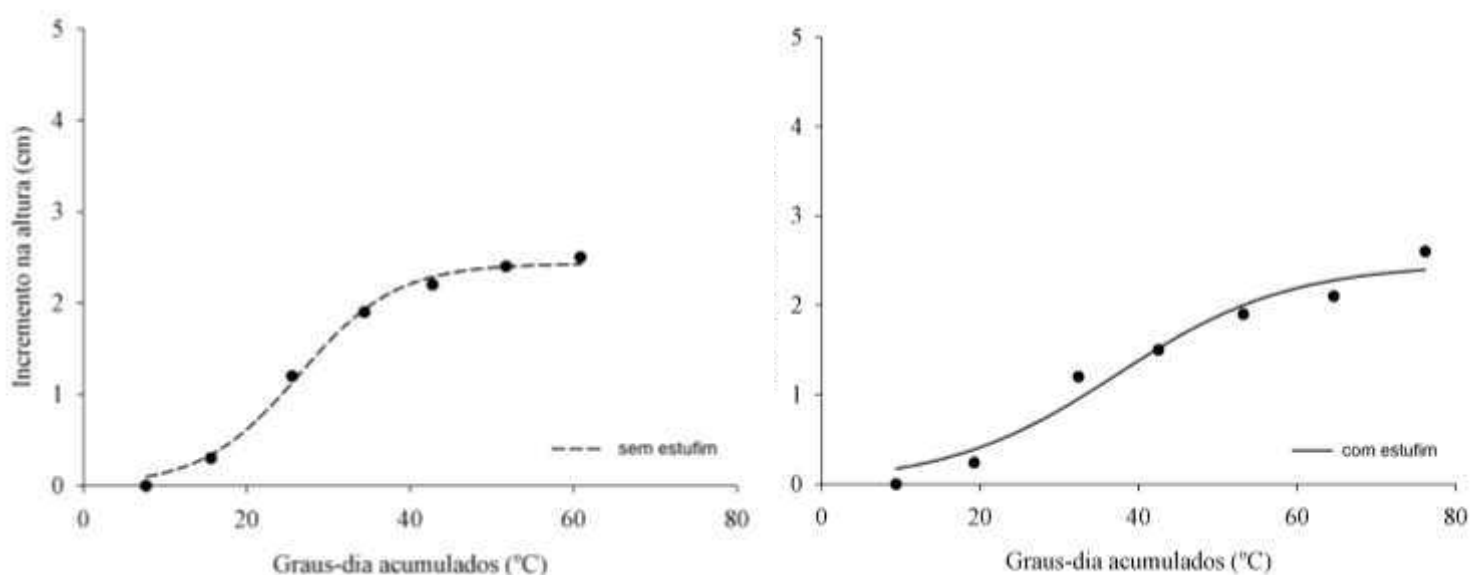


Figura 2. Variação do incremento da altura observada durante o ciclo de desenvolvimento das estacas de eucalipto em função do acúmulo dos graus-dia, nas parcelas sem e com estufim

No início do monitoramento do ciclo de produção, a altura das estacas nas parcelas sem estufim foi igual a 6,6 cm e nas parcelas com estufim foi igual a 7,4 cm. Ao final do ciclo de desenvolvimento as alturas medidas foram iguais a 9,1 cm e 10 cm, nas parcelas sem e com estufim, respectivamente.

Segundo XAVIER et al. (2009), as estacas utilizadas na propagação vegetativa de eucalipto geralmente possuem dimensões de 4 a 8 cm de comprimento, contendo de um a três pares de folhas, variável em função do clone e espécie.

Verifica-se que ao final do ciclo de desenvolvimento das estacas foi observado um incremento de 2,5 cm na altura das estacas produzidas nas parcelas sem estufim e de 2,6 cm nas estacas conduzidas com o estufim. Além disso, é possível observar que após 50 graus-dia acumulados, o incremento na altura das estacas nas parcelas sem estufim foi menor, tendendo a se manter constante. Nas parcelas com estufim o incremento permaneceu aumentando após 50 graus-dia acumulados.

Na Figura 3 é observada a variação do incremento observado no diâmetro do colo das estacas em função dos graus-dia acumulados, nas parcelas sem estufim e com estufim. Semelhante ao observado na altura, o modelo que apresentou melhor ajuste foi o sigmoidal com 3 parâmetros.

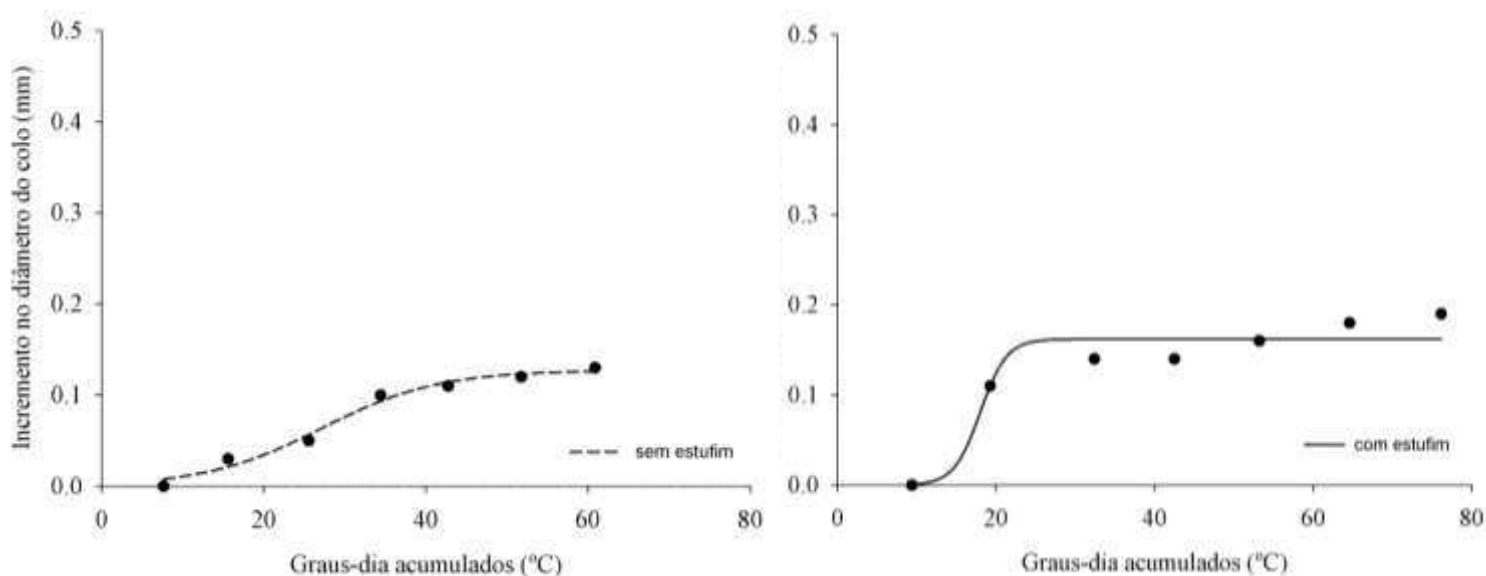


Figura 3. Variação do incremento do diâmetro do colo observado durante o ciclo de desenvolvimento das estacas de eucalipto em função do acúmulo dos graus-dia, nas parcelas sem e com estufim

No início do monitoramento do ciclo de produção, o diâmetro do colo das estacas nas parcelas sem estufim foi igual a 1,03 mm e nas parcelas com estufim igual a 0,88 mm. Ao final do ciclo de desenvolvimento os diâmetros medidos foram iguais a 1,16 cm e 1,07 cm, nas parcelas sem e com estufim, respectivamente. Verifica-se que o maior incremento foi observado nas parcelas com estufim.

Além disso, o diâmetro do colo das estacas apresentou tendência em se manter constante em ambos os tratamentos após 50 graus-dia acumulados.

Ao analisar a altura e diâmetro do colo simultaneamente, é possível observar que as estacas produzidas nas parcelas cobertas com estufim apresentaram maiores alturas e menores diâmetros. Esse estiolamento pode ser explicado pela menor disponibilidade de luz devido à atenuação da radiação solar pelo filme plástico. O estiolamento é o desenvolvimento de brotos, ramos ou partes dos ramos em ausência de luz, causando um crescimento normalmente alongado (DAVIS et al., 1988).

Na Figura 4 é apresentada a variação do incremento observado na área foliar das estacas em função dos graus-dia acumulados, nas parcelas sem estufim e com estufim. O modelo que melhor se ajustou à variável foi o exponencial com dois parâmetros.

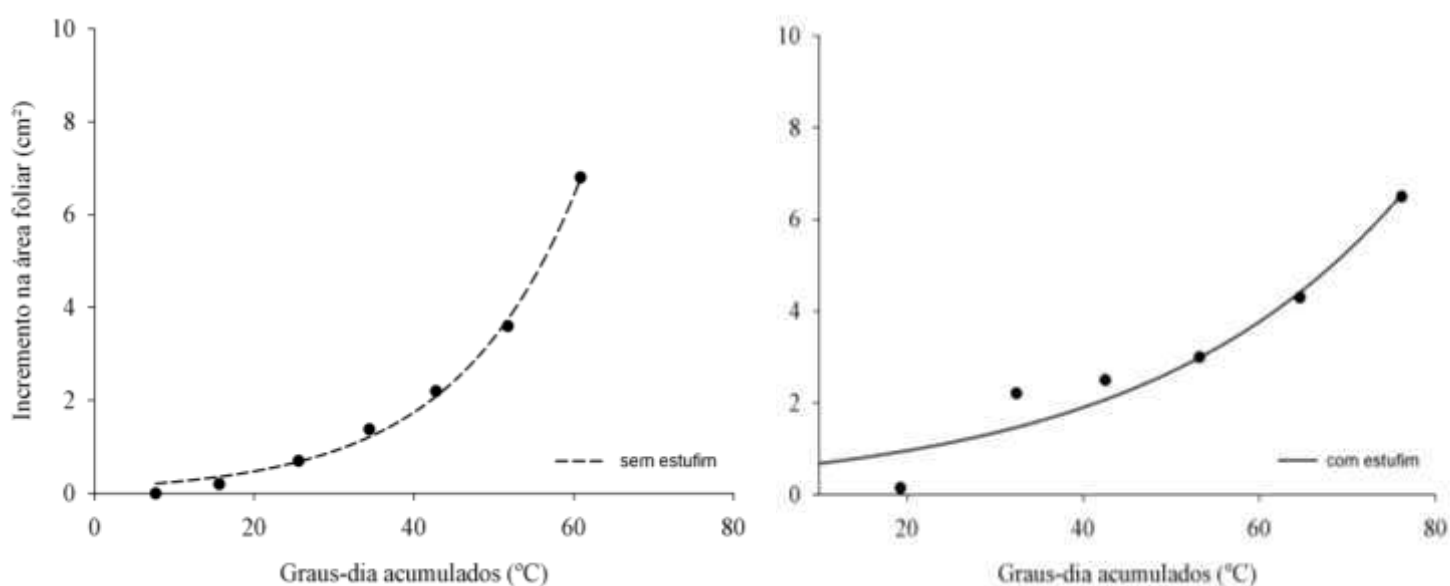


Figura 4. Variação do incremento da área foliar observada durante o ciclo de desenvolvimento das estacas de eucalipto em função do acúmulo dos graus-dia, nas parcelas sem e com estufim

No início do monitoramento do ciclo de produção, a área foliar das estacas nas parcelas sem estufim foi igual a 5,3 cm² e nas parcelas com estufim igual a 4,3 cm². Ao final do ciclo de desenvolvimento as áreas foliares foram iguais a 12,1 cm² e 10,8 cm², nas parcelas sem e com estufim, respectivamente.

Ao comparar os tratamentos, pode ser verificado que sob a acumulação de 60 graus-dia, o incremento na área foliar das estacas conduzidas sem estufim foi de 6,8 cm² em relação à área foliar inicial enquanto que nas parcelas com estufim o incremento foi de 4,3 cm².

GONÇALVES et al. (2013) citam que o aumento da área foliar pode ser um dos mecanismos utilizados pelas plantas para aumentar a superfície fotossintética, garantindo o desempenho fotossintético mais eficiente sob baixa intensidade luminosa. Entretanto, mesmo existindo a atenuação da radiação solar pela presença do filme plástico de polietileno, essa diminuição não foi capaz de promover o aumento da área foliar das estacas produzidas nas parcelas cobertas com estufim.

Conforme verificado no Capítulo 1, foi observado maior produção de estacas nas parcelas conduzidas com o estufim. Com base nesses resultados, é possível inferir que a translocação dos fotoassimilados nas cepas ocorreu no sentido de produzir um maior número de estacas, mesmo que com menor área foliar, talvez como estratégia de sobrevivência em condições ambientais extremas, tal como altas temperaturas e baixa intensidade luminosa. Experimentos têm mostrado que a translocação dos fotoassimilados apresentam certa tolerância aos estresses, permitindo que as plantas mobilizem e utilizem reservas onde elas são necessárias (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Na Figura 5 é apresentada a variação do incremento observado na biomassa fresca das estacas em função dos graus-dia acumulados, nas parcelas sem estufim e com estufim. Semelhante ao observado na altura e diâmetro do colo, o modelo que apresentou melhor ajuste foi o sigmoidal com 3 parâmetros.

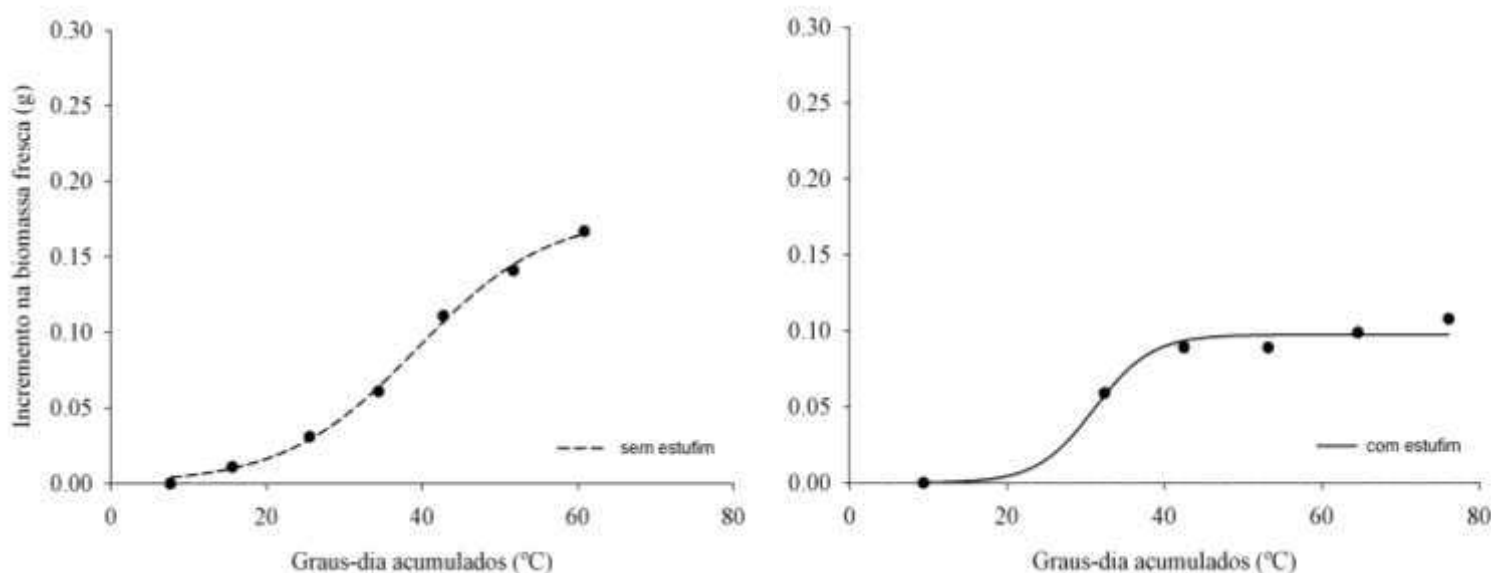


Figura 5. Variação do incremento da biomassa fresca observada durante o ciclo de desenvolvimento das estacas de eucalipto em função do acúmulo dos graus-dia, nas parcelas sem e com estufim

No início do monitoramento do ciclo de produção, a biomassa fresca das estacas nas parcelas sem estufim foi igual a 0,27 g e nas parcelas com estufim igual a 0,22 g. Ao final do ciclo de desenvolvimento os diâmetros medidos foram iguais a 0,44 g e 0,33 g, nas parcelas sem e com estufim, respectivamente.

Para corroborar com os resultados apresentados com a área foliar, aos 60 graus-dia acumulados o incremento de biomassa fresca das estacas conduzidas nas parcelas sem estufim foi 0,07 g estaca⁻¹ superior em relação ao tratamento com estufim, o que correspondeu a um aumento de 70 % no incremento apresentado nas parcelas com estufim.

Foi possível observar que a soma térmica necessária para produção de estacas de eucalipto de qualidade foi diferente entre os tratamentos, sendo necessário um maior acúmulo de graus-dia nas parcelas cobertas com estufim.

A adoção de uma soma térmica igual a 61 graus-dia nas parcelas com estufim não é recomendada, uma vez que nesse tempo térmico foi verificado maior altura e menores diâmetro do colo, área foliar e biomassa fresca, sendo as medidas biométricas não favoráveis, o que poderia comprometer o posterior enraizamento das estacas.

Por meio da Tabela 1 é possível verificar as equações de estimativa do incremento das variáveis biométricas em função da soma térmica, geradas a partir do conjunto de dados do segundo ciclo de produção das estacas, com o respectivo desempenho estatístico da validação realizada a partir dos dados obtidos no primeiro ciclo de produção, nas parcelas sem estufim.

Tabela 1. Equações de estimativa e desempenho estatístico da variação das medidas biométricas das estacas em função da soma térmica, nas parcelas sem estufim

Variável	Equações de estimativa	r^2_{ajus}	Índices estatísticos
Altura	$H = \left(\frac{2,4305}{1 + \exp^{-\left(\frac{GDacum - 26,40}{5,9347}\right)}} \right)$	0,99	$r = 0,99$ $d = 0,99$ MBE = -0,002 cm RMSE = 0,043 cm
Diâmetro do colo	$D = \left(\frac{0,1272}{1 + \exp^{-\left(\frac{GDacum - 27,14}{7,1942}\right)}} \right)$	0,97	$r = 0,99$ $d = 0,91$ MBE = -0,018 mm RMSE = 0,066 mm
Área foliar	$AF = 0,1298 \exp(0,0650 GDacum)$	0,99	$r = 0,99$ $d = 0,95$ MBE = -0,494 cm ² RMSE = 1,865 cm ²
Biomassa fresca	$BFM = \left(\frac{0,1780}{1 + \exp^{-\left(\frac{GDacum - 39,28}{8,4321}\right)}} \right)$	0,99	$r = 0,99$ $d = 0,99$ MBE = -0,006 g RMSE = 0,020 g

Verifica-se que os índices estatísticos indicam que as equações foram satisfatórias em estimar o incremento das variáveis biométricas em função do acúmulo dos graus-dia, devido aos altos coeficientes de Pearson (r) e Wilmott (d) e baixos valores da raiz do erro quadrático médio (RMSE). Pela análise do viés médio do erro (MBE), é possível concluir que os modelos tenderam a subestimar os valores das variáveis biométricas.

Na Tabela 2 são apresentadas as equações de estimativa do incremento das variáveis biométricas em função da soma térmica, geradas a partir do conjunto de dados do segundo ciclo de produção das estacas, com o respectivo desempenho estatístico da validação realizada a partir dos dados obtidos no primeiro ciclo de produção, nas parcelas com estufim.

Tabela 2. Equações de estimativa e desempenho estatístico da variação das medidas biométricas das estacas em função da soma térmica, nas parcelas com estufim

Variável	Equações de estimativa	r^2_{ajus}	Índices estatísticos
Altura	$H = \left(\frac{2,4616}{1 + \exp^{-\left(\frac{GDacum - 37,32}{10,8249}\right)}} \right)$	0,95	$r = 0,99$ $d = 0,99$ MBE = -0,036 cm RMSE = 0,184 cm
Diâmetro do colo	$D = \left(\frac{0,1620}{1 + \exp^{-\left(\frac{GDacum - 18,00}{1,6662}\right)}} \right)$	0,87	$r = 0,73$ $d = 0,62$ MBE = 0,0102 mm RMSE = 0,035 mm
Área foliar	$AF = 0,4863 \exp(0,0341 GDacum)$	0,93	$r = 0,99$ $d = 0,89$ MBE = 2,266 cm ² RMSE = 0,503 cm ²
Biomassa fresca	$BFM = \left(\frac{0,0976}{1 + \exp^{-\left(\frac{GDacum - 31,08}{3,6391}\right)}} \right)$	0,97	$r = 0,99$ $d = 0,99$ MBE = 0,0003 g RMSE = 0,004 g

Os índices estatísticos obtidos nesse tratamento também indicam que as equações foram satisfatórias em estimar o incremento das variáveis biométricas em função do acúmulo dos graus-dia, porém foram observados menores precisão e exatidão e maiores erros, quando comparado aos índices obtidos nas parcelas sem estufim.

O uso do conceito de soma térmica pode ser uma importante ferramenta no manejo do jardim clonal, uma vez que pode prever a antecipação ou prorrogação da realização das podas para coleta das estacas, permitindo a obtenção de estacas com padrão adequado para o enraizamento.

3.4. CONCLUSÕES

A soma térmica necessária para a produção de estacas em cepas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* conduzidas em jardim clonal foi igual a 61 graus-dia nas parcelas sem estufim e 76 graus-dia nas parcelas com estufim.

O aumento da temperatura nas parcelas cobertas com estufim permite que a soma térmica necessária para o crescimento das estacas seja alcançada em menor tempo, porém, promove alterações biométricas nas estacas não desejadas como padrão.

As equações de estimativa do incremento das variáveis biométricas em função dos graus-dia acumulados apresentaram coeficientes de determinação satisfatórios. Além disso, a alta precisão e exatidão e baixos erros estatísticos indicaram que a validação dos modelos foi satisfatória em ambos os tratamentos, principalmente nas parcelas sem estufim.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. C.; LANDSBERG, J. J., SANDS, P. J. Parameterization of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v.193, n. 2, p.179-195, mar. 2004.

ASSIS, T. F. Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the Eucalyptus clonal forestry. **BMC Proceedings**, n. 5 (Suppl 7): I18, 2011. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1753-6561/5/S7/I18>>. Acesso em 10 jul. 2016. doi:10.1186/1753-6561-5-S7-I18

BERGAMASCHI, H. O clima como fator determinante da fenologia das plantas. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B.; MORELLATO, L. C. (Org.). **Fenologia ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. p. 291-310.

DAMATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERIDGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, p. 1814 – 1823, 2010.

DAVIS, T. D.; HAISSIG, B. E.; SANKHLA, N. Ed. **Adventitious root formation in cuttings**. Portland: Dicorides Press, 1988. 315p.

FERREIRA, E. M.; ALFENAS, A. C., MAFIA; R. G.; LEITE, H. G.; SARTORIO, R. C.; PENCHEL Filho, R. M. Determinação do tempo ótimo do enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus spp*. **Revista Árvore**, v.28, n. 2, p.183-187, 2004.

GILMORE, E. C.Jr.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, n. 10, p. 611-615, 1958.

GONÇALVES, E. R.; SOUZA, F. C.; SANTOS, L. N.; SILVA, J. V.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L. Morphological and photosynthetic adaptations of *Tabebuia aurea* seedlings in the nursery. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1201–1209, 2013.

IBÁ. (2014) Indústria Brasileira de Árvores. **Indicadores do setor brasileiro de árvores plantadas, Ano base 2013**. Brasília, 100 p. Disponível em: < http://iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em 24 jul. 2016.

IBÁ. (2015) Indústria Brasileira de Árvores. **Indicadores do setor brasileiro de árvores plantadas, Ano base 2014**. Brasília, 85 p. Disponível em: < http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em 10 jul. 2016.

MARTINS, F. B. SILVA, J. C. da.; 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, jun. 2007.

OLIVEIRA, A. S.; STEIDLE NETO, A. J.; RIBEIRO, A.; RASCON, N. J. L.; RODY, Y. G.; ALMEIDA, A. Q. Determinação do tempo térmico para o desenvolvimento de mudas de eucalipto na fase de enraizamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1223-1228, 2012.

RÉAUMUR, R. A. F. **Observation du thermometer, faites à Paris pendant l'année 1735, compares avec celles qui ont été faites sous la ligne, à l'Isle de France, à Alger et en quelques-unes de nos isles de l'Amérique.** Paris: Mémoires de l'Académie des Sciences, 1735. 545p.

SALISBURY, F. B.; ROSS C. W. **Plant physiology.** Califórnia: Wadsworth Publishing Company, 1992. 682 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

VILLA NOVA, N. A. A. et al. **Estimativa de graus dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima.** São Paulo: Instituto de Geografia, USP, 1972. 8p. (Caderno de ciência da terra, n.30).

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R.L. da. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas.** Viçosa: Editora UFV, 2009. 272 p.

CONCLUSÕES GERAIS

Diante do exposto, é possível concluir que o uso do estufim promoveu significantes alterações microclimáticas no ambiente de desenvolvimento das minicepas de eucalipto, sendo observado principalmente aumento da temperatura e diminuição da luminosidade.

Essas alterações microclimáticas promoveram aumento na produção de miniestacas por minicepa, principalmente no período climático mais quente, e melhoria no enraizamento das miniestacas.

Além disso, o uso do estufim permitiu a obtenção de distintas respostas ecofisiológicas das miniestacas em função da época climática. No período de maior disponibilidade de radiação solar e temperatura, o uso do estufim não promoveu alterações significativas nas taxas fotossintéticas das estacas em comparação ao tratamento sem estufim. No período de menor disponibilidade de radiação solar foram observadas maiores taxas fotossintéticas nas estacas produzidas no tratamento com estufim devido à maior temperatura apresentada nessas parcelas.

Nas parcelas conduzidas com estufim foram observadas maiores taxas de condutância estomática, transpiração e relação entre a concentração de carbono interna e externa, porém com menor eficiência do uso da água.

Também foi observada maior eficiência quântica e menor ponto de compensação da radiação, que podem ter sido favorecidos pela maior temperatura e/ou menor disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa observadas nesse tratamento, o que pode ter promovido a aclimação fisiológica das plantas às novas condições de crescimento.

O aumento da temperatura nas parcelas cobertas com estufim permite que a soma térmica necessária para o crescimento das estacas seja alcançada em menor tempo, porém promove alterações biométricas nas estacas não desejadas como padrão.

Sendo assim, é possível concluir que o uso do estufim no minijardim clonal de eucalipto pode ser uma técnica promissora para aumentar a capacidade produtiva do minijardim.