

ELIAS JOSÉ PEDROSO

**ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS E ECOFISIOLOGIA DE MUDAS DE
Eucalyptus urophylla x *Eucalyptus grandis* SUBMETIDAS A DIFERENTES
INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2016

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

T

P372e
2016
Pedroso, Elias José, 1981-
Enraizamento de miniestacas e ecofisiologia de mudas de
Eucalyptus urophylla x *Eucalyptus grandis* submetidas a
diferentes intensidades de radiação solar / Elias José Pedroso. –
Minas Gerais, MG, 2016.
x, 49f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Aristides Ribeiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Eucalipto - Estacas - Enraizamento. 2. Radiação solar.
3. Ecofisiologia vegetal. 4. Estufas de cultivo. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.
Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola.
II. Título.

CDD 22. ed. 634.973766

ELIAS JOSÉ PEDROSO

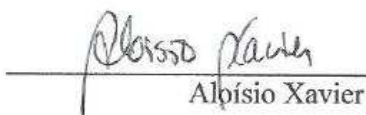
**ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS E ECOFISIOLOGIA DE MUDAS DE
Eucalyptus urophylla x *Eucalyptus grandis* SUBMETIDAS A DIFERENTES
INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR**

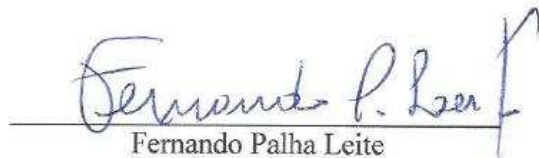
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para Obtenção do título de *Magister Scientiae*.

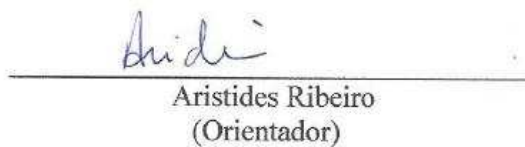
APROVADA: 25 de Julho de 2016.


Juraci Alves de Oliveira


Reginaldo Gonçalves Mafia


Alísio Xavier


Fernando Palha Leite


Aristides Ribeiro
(Orientador)

DEDICO

*À minha família em especial meu pai Ovídio
e minha mãe Maria (in memoriam) e a todos
meus irmãos e sobrinhos.*

*Um dia quando olhares
para trás, verás que o dia
mais belo é aquele que lutares.
(Sigmund Freud)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar saúde, paciência e fé.

Ao meu pai Ovídio José Pedroso e minha mãe Maria da Silva Pedroso (in memoriam) pelo amor e pela educação concedida ensinando-me os melhores valores para vida.

Aos meus irmãos Davi, Daniel, Vilma, Aurélio, Regina, Lucimara e Eliseu. Aos meus sobrinhos e sobrinhas em especial o Denis e sua esposa Daniela.

A minha namorada Maida pela amizade, companheirismo e amor.

Ao meu orientador Aristides Ribeiro pela oportunidade e confiança em meu trabalho.

As pessoas que me ajudaram muito na realização deste trabalho: Prof. Aloísio Xavier, Dr Milton Edgar Pereira Flores, Prof. Edgard Augusto de Toledo Picoli e Prof. Juraci Oliveira e aos professores Sérgio Zolnier, Gilberto Chohaku Sedyama, Paulo José Hamakawa e Flávio Justino, pelo ensino nas disciplinas.

Ao meu amigo Marcel e o Prof. Hélio Garcia e ao aluno de Pós-Graduação Diogo pela ajuda na análise estatística.

Aos meus amigos Adriano, Sarah Tenelli, Enéias, em especial, Eliane e Jonas.

Ao meu grupo de trabalho de pesquisa: Ana Paula, Aloísio, Aline, Luiz Felipe, Mariana Gonçalves, Robert, Marciel, Aylene, Vitor, Andreia, Valéria, Luciano, Hugo, Darlon, Francisca, em especial, a Mariana Reis, pelos ensinamentos com o IRGA e ao Marshall pela ajuda nas atividades.

Aos estagiários Jamille, Daniela, Suellen e Wesley.

Ao viveiro de Pesquisa Florestal do Departamento Engenharia Florestal pelo fornecimento da estrutura física e funcionários (João, Mauricio, Ivo e Josimar) pelos trabalhos na manutenção do viveiro.

Aos funcionários do laboratório de tecnologia da madeira (Fernando e Leila) e à técnica de laboratório do Departamento de Biologia Taline pela ajuda nas análises.

À secretária do Departamento de Meteorologia Agrícola Graça.

Aos meus amigos da República Marcel, Aridiano, Rafael, Gustavo e Elton.

Ao CNPQ, pela concessão de bolsa de estudo.

As empresas CENIBRA, FIBRIA, pela ajuda no financiamento das pesquisas.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Elias José Pedroso, nasceu na cidade de Votorantim, no Estado de São Paulo em 1981.

Trabalhou por oito anos em empresas ligadas a produção de hortifruti em Piedade, no Estado de São Paulo. Foi funcionário concursado da Prefeitura Municipal de Votorantim, por dois anos e meio, e funcionário concursado pelo Estado de São Paulo, onde trabalhou na Superintendência de Controle de Endemias (SUCEN) por oito meses.

Em 2009, iniciou seus estudos na Universidade Federal de Viçosa onde formou-se em agosto de 2014 como Engenheiro Agrônomo. Foi aluno de iniciação científica por 3,5 anos e monitor das disciplinas de Meteorologia Agrícola do curso de Agronomia, Engenharia Floresta e Zootecnia.

Em 2014, iniciou o curso de Mestrado no programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, defendendo sua dissertação em julho de 2016.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO..... | IX |
| ABSTRACT..... | X |
| INTRODUÇÃO GERAL..... | 1 |
| CAPÍTULO 1. ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE <i>Eucalyptus uroplylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR | 3 |
| 1. INTRODUÇÃO | 3 |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS | 5 |
| 2.1. Área experimental..... | 5 |
| 2.2. Caracterização do material genético..... | 5 |
| 2.3. Caracterização do sistema de produção e do experimento..... | 5 |
| 2.4. Controle de irradiação solar na casa de enraizamento e caracterização dos microambientes..... | 6 |
| 2.5. Coletas de dados | 8 |
| 2.5.1. Medições dos elementos meteorológicos..... | 8 |
| 2.5.2. Radiação solar global diária..... | 8 |
| 2.5.3. Medidas biométricas e porcentagem de enraizamento..... | 9 |
| 2.6. Tratamentos e estatística..... | 9 |
| 3. RESULTADO | 10 |
| 3.1. Caracterização microclimáticas | 10 |
| 3.1.1. Comportamento da radiação solar global instantânea | 10 |
| 3.1.2. Irradiância solar global durante o período experimental para os diferentes tratamentos..... | 12 |
| 3.1.3. Modelo de atenuação da irradiância solar pelo sombreamento (plástico e aluminet) em casa de vegetação..... | 12 |
| 3.1.4. Temperatura dentro dos ambientes próximos ao dossel das plantas | 14 |
| 3.1.5. Modelos para estimativa da temperatura do ar dentro da casa de vegetação sobre efeito do uso de Aluminet ®..... | 14 |
| 3.2. Medidas biométricas..... | 15 |
| 3.2.1. Porcentagem de enraizamento..... | 15 |

| | |
|--|----|
| 3.2.2. Biomassa seca, altura e diâmetro do colo..... | 17 |
| 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..... | 19 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 22 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 23 |
| CAPÍTULO 2. ECOFISIOLOGIA DE MUDAS DE <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> PÓS-ENRAIZAMENTO SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR..... | 25 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 25 |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 27 |
| 2.1. Área experimental | 27 |
| 2.2. Caracterização do material genético | 27 |
| 2.3. Caracterização do sistema de produção e do experimento..... | 27 |
| 2.4. Controle de irradiação solar na casa de vegetação utilizada para enraizamento..... | 28 |
| 2.5. Coletas de dados..... | 30 |
| 2.5.1. Medições dos elementos meteorológicos..... | 30 |
| 2.5.2. Determinação do teor de antocianina..... | 31 |
| 2.5.3. Determinação dos pigmentos fotossintéticos..... | 31 |
| 2.5.4. Medidas de trocas gasosas..... | 32 |
| 2.5.5. Quantificação do número de estômatos..... | 32 |
| 2.5.6. Medidas biométricas e de matéria seca..... | 32 |
| 2.6. Análise estatística | 32 |
| 3. RESULTADOS..... | 34 |
| 3.1. Caracterização dos ambientes de produção de mudas..... | 34 |
| 3.1.1. Irradiância solar acumulada nas etapas de enraizamento, aclimação e crescimento a céu aberto..... | 34 |
| 3.1.2. Temperatura na fase de enraizamento e crescimento | 35 |
| 3.2. Análise ecofisiológicas das mudas..... | 36 |
| 3.2.1. Trocas gasosas..... | 36 |
| 3.2.2. Determinações do número de estômatos..... | 38 |
| 3.2.3. Teor de antocianina em folhas de miniestacas exposta a diferentes níveis de radiação Solar na fase de enraizamento..... | 38 |

| | |
|---|----|
| 3.2.4. Teor de pigmentos fotossintéticos em folhas de miniestacas exposta a diferentes níveis de radiação solar na fase de enraizamento | 39 |
| 3.3. Biomassa seca das mudas..... | 41 |
| 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..... | 43 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 46 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 47 |
| 7. CONCLUSÃO GERAL..... | 49 |

RESUMO

PEDROSO, Elias José, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2016. **Enraizamento de miniestacas e ecofisiologia de mudas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* submetidas a diferentes intensidade de radiação solar.** Orientador: Aristides Ribeiro. Coorientador: Milton Edgar Pereira Flores, Edgard Augusto de Toledo Picoli.

No sistema de produção de mudas clonais de eucaliptos propagadas por miniestaquias, a etapa de enraizamento é uma das mais sensíveis e, por isso, com maior potencial de ganhos. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de diferentes níveis de radiação solar na etapa de enraizamento pela correlação com aspectos ecofisiológicos de mudas de eucalipto durante todo o ciclo de produção de mudas, envolvendo as etapas iniciais enraizamento, sombreamento e durante a etapa de crescimento a céu aberto. O experimento foi realizado no viveiro de Pesquisa Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. O período corresponde a estação de verão nos meses de janeiro a abril de 2016. O primeiro experimento avaliou cinco níveis de radiação solar dentro da casa de vegetação, proporcionado pelo uso de malhas redutoras tipo Aluminet® disponíveis no mercado com capacidade de atenuação de 35, 50, 65 e 80 % da radiação solar e foram testados dois clones comerciais híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, denominados de clone A e clone B. O Segundo experimento avaliou o efeito das mudas enraizadas em diferentes níveis de radiação solar, na etapa de crescimento, medindo algumas variáveis ecofisiológicas, como trocas gasosas (fotossíntese, transpiração e condutância), número de estômatos, medidas do teor de antocianina e pigmentos fotossintéticos e biomassa seca. Os ganhos de enraizamento com maiores níveis de sombreamento são mantidos durante todo o ciclo de crescimento das mudas para os dois materiais genéticos estudados. A produção de antocianina durante a etapa de enraizamento foi maior em plantas enraizadas em condição de elevada irradiância solar. Isso indica que a síntese desse flavonoide é um mecanismo de proteção à fotoinibição utilizado pelos híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, sendo isso mais evidente no clone B. Os dois materiais são anfiestomáticos, contudo, o clone B apresenta maior quantidade de estômatos na parte superior da folha que o clone A. Foram propostos modelos para a estimativa da atenuação da irradiância e da temperatura para as malhas Aluminet® comerciais.

ABSTRACT

PEDROSO, Elias Jose, M.Sc., Federal University of Viçosa, July 2016. **Rooting minicuttings and eco-physiology of seedlings of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* under different intensity of solar radiation:** Aristides Ribeiro. Coorientador: Milton Pereira Edgar Flores, Edgard Augusto de Toledo Picoli.

In clonal seedling production system of *eucalyptus* propagated minicuttings, the rooting step is one of the most sensitive and therefore with greater earning potential. The objective of this work was to study the effect of different levels of solar radiation in the rooting stage by correlation with ecophysiological aspects of *eucalyptus* seedlings propagated by minicuttings throughout the seedling production cycle, involving the initial stages (rooting and shading) and during the growth. The experiment was conducted in the nursery of Forest Research of the Federal University of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. The period is the summer season from January to April 2016. The first experiment evaluated five levels of solar radiation in the rooting house, provided by the use of meshes reducing aluminet® type available on the market with attenuation capacity 35, 50, 65, 80 % of solar radiation and were tested two commercial hybrid clones *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* clones A and clones B denominated. The second experiment evaluated the performance of minicuttings rooted in different levels of solar radiation in the growth stage, measuring some ecophysiological variables such as gas exchange (photosynthesis, transpiration and conductance), number of stomata, anthocyanin content of the measures, content photosynthetic pigments and dry biomass. Rooting gains with larger shading levels are maintained throughout the growth cycle of plants for genetic materials. The anthocyanin production during the rooting phase was higher in plants rooted in more solar irradiance. The anthocyanin production during the rooting phase was higher in plants rooted in more solar irradiance. This indicates that the synthesis of this flavonoid is a photoinhibition protection mechanism used by the hybrid *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* , this being more evident in clone B. The two materials are amphistomatic, however, the clone B has a higher number of stomata in the upper part of the sheet that clone A. been proposed models to estimate the attenuation of the radiation and temperature for commercial aluminet® meshes.

INTRODUÇÃO GERAL

Segundo o anuário da indústria brasileira de árvores, em 2014 a área de plantios de eucaliptos totalizou 5.558.653 ha, com média de produtividade de 39 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, sendo considerada a maior do mundo. As atividades da cadeia produtiva de celulose geraram mais de 4,23 milhões de empregos, sendo assim, de grande importância para a economia brasileira (IBÁ, 2015).

O atual sucesso das empresas florestais, em grande parte, se deu graças as inovações tecnológicas obtidas pela investigação científica, conduzida em conjunto pelos setores público e privado. Na década de 70, iniciou-se a produção de mudas pela clonagem de materiais genéticos superiores, com ganhos expressivos na produtividade das florestas, (ALFENAS et al., 2004; ASSIS, 2011; XAVIER et al., 2013).

Entre as etapas de produção de mudas de eucalipto, as fases de obtenção de brotos e enraizamento são as mais críticas, devido a fragilidade das miniestacas e exigência de condições adequadas de umidade relativa, temperatura e luminosidade. No processo como um todo, deve-se buscar otimizar essas fases por ser de maior potencial de ganhos para a produção de mudas. Na casa de vegetação para enraizamento, tem se adotado coberturas que interceptam 50 % da radiação solar a céu aberto. Todavia, não há estudos que visam otimizar a intensidade e a qualidade da irradiância solar durante o enraizamento adventício de miniestacas de eucaliptos (ALFENAS et al., 2004; XAVIER et al., 2013).

Nos últimos anos, houve a substituição do sombrite® de nylon preto por malhas de plásticos aluminizadas (aluminet®). O aluminet® tem seu uso para bloquear o excesso de radiação solar sobre o dossel de plantas em casa de vegetação, além de diminuir o efeito do aumento de temperatura quando comparado ao ambiente coberto somente com plástico (GUISELINI et al., 2004).

Sob condições mais críticas de excesso térmico e de irradiância solar na fase de enraizamento, é normal que as mudas apresentem comprometimento dos processos fisiológicos que podem reduzir seu desenvolvimento potencial. Nestas condições, as plantas manifestam mecanismos de defesas como a produção de pigmentos, em especial os carotenóides, que funcionam como agente foto protetor ajudando na dissipação de calor (TAIZ e ZEIGER, 2013). Dentre os metabólicos secundários, destacam-se as antocianinas que são compostos fenólicos. As antocianinas estão associadas a proteção

contra o excesso de radiação UV-B (280-320 nm), pois se acumulam em camadas epidérmicas das folhas e caules absorvendo intensamente a radiação solar nesta faixa do espectro sem, contudo, bloquear completamente a irradiância fotossinteticamente ativa (BARNES et al., 2014; LARCHER et al., 2000; STEYN, 2002).

O aprimoramento da metodologia de produção pode gerar ganhos importantes para o setor, seja por reduzir o tempo de produção ou melhorar a eficiência e qualidade das mudas (ASSIS et al., 2004). Neste sentido específico, estudos que estabeleçam os níveis ótimos de radiação solar nas diferentes etapas de produção para materiais genéticos de alto potencial são muito importantes.

Este trabalho foi dividido em dois capítulos. i) no primeiro experimento avaliou-se o efeito de níveis de radiação solar para estimular o enraizamento das miniestacas de eucalipto na casa de enraizamento; ii) no segundo capítulo buscou-se entender as diferenças observadas pelos tratamentos de sombreamento impostos na fase de enraizamento e como isso se refletiu na qualidade das mudas.

CAPÍTULO 1

ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE *Eucalyptus uroplylla* x *Eucalyptus grandis* SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR

1. INTRODUÇÃO

As técnicas de produção de mudas clonais, juntamente com a implantação de programas de melhoramento genéticos, alavancaram os ganhos em produtividade dos plantios de eucalipto. A obtenção de híbridos de eucaliptos mais produtivos, resistentes a doenças e com boa qualidade da madeira, permitiram a ampliação da base florestal com custos competitivos (ASSIS, 2015).

A produção de mudas de eucalipto pode ser dividida em cinco etapas de produção: 1- produção de brotos no minijardim clonal; 2- indução do enraizamento das miniestacas na casa de vegetação; 3- aclimatação das mudas na casa de sombra; 4- crescimento a céu aberto e 5- rustificação a céu aberto. O enraizamento de miniestacas é realizado em casa de vegetação onde as condições de umidade relativa é mantida acima de 80 % e a temperatura varia de 20 a 35 °C em média. Normalmente, utiliza-se cobertura plástica que bloqueia 50 % da radiação solar incidente, embora esse nível de bloqueio da radiação solar não tenha sido testado em relação ao nível ótimo para produção de mudas. Além disso, poucos estudos foram desenvolvidos para definir qual é o nível de radiação solar mais adequado para o enraizamento e crescimento das miniestacas de eucaliptos (ALFENAS et al., 2004; XAVIER et al., 2013).

A formação das raízes em estacas depende da desdiferenciação e o redirecionamento do desenvolvimento das células para a formação de um novo meristema que dará origem as raízes adventícias. O processo de enraizamento pode ser dividido em três fases: A indução que compreende modificações moleculares e bioquímicas; a iniciação que consiste nas divisões celulares formando o meristema dando origem aos primórdios radiculares e a expressão que consiste na emergência e crescimento das raízes (HARTMANN et al., 2002). Este é um processo complexo que envolve mecanismos fisiológicos e bioquímicos onde vários fatores estão envolvidos como radiação solar, temperatura, hormônios, nutrição mineral, características genéticas dos clones e as estações do ano (CUNHA et al., 2009; FETT-NETO et al., 2001).

Alguns estudos pesquisaram a relação da luz, temperatura e o estado nutricional de plantas no minijardim clonal (CUNHA et al., 2009). Outras pesquisas foram realizadas para determinar o tempo ótimo de permanência na casa de vegetação para enraizamento considerando o conceito de graus dias acumulado (OLIVEIRA, 2012) e a velocidade máxima de enraizamento (FERREIRA et al., 2004). Entretanto, na etapa de enraizamento, ao que se conhece, poucos estudos exploraram a influência da radiação solar no enraizamento de miniestacas. Com isso, o objetivo deste trabalho foi estudar influência dos níveis de radiação solar no processo de enraizamento de miniestacas de dois clones híbridos de eucaliptos (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) para aprimorar o manejo de produção de mudas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental

O experimento foi realizado no município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, no viveiro de Pesquisa do Departamento de Engenharia Florestal, pertencente à Universidade Federal de Viçosa no período de 27 de janeiro a 10 de março de 2016.

A área experimental tem como coordenadas geográficas 20°45'45" S de latitude e 42°52'04" W de longitude, sendo localizado a 690 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é temperado quente-mesotérmico (Cwa), com verões chuvosos e invernos secos. A precipitação média anual é de 1.220 mm, com temperaturas média máxima de 26 °C e média mínima de 14 °C.

2.2. Caracterização do material genético

Foram utilizados dois tipos de materiais genéticos, ambos híbridos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus Grandis* (Hill ex Maiden), denominados como Clone A e Clone B, respectivamente. A escolha do material genético foi feita baseado na importância comercial e silvicultural dos clones, uma vez que, híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* são largamente utilizados por empresas florestais.

2.3. Caracterização do sistema de produção e do experimento

As miniestacas dos clones de eucaliptos utilizadas para o enraizamento foram coletadas em minijardim clonal. As minicepas (plantas matrizes fornecedoras das miniestacas) foram cultivadas em canaletas de cimento preenchidas com areia (canaletões) mantidas em uma casa de vegetação. Os canaletões são estruturas de caixas de cimento alongadas suspensas a 1,2 m de altura, com profundidade de 0,30 m e largura de 0,90 m.

A fertirrigação do minijardim clonal foi feita por gotejamento com sistema automatizado, com cinco aplicações diárias, atendendo as lâminas de 9 mm dia⁻¹ em dias de sol pleno e 5 mm dia⁻¹ em dias nublados.

As miniestacas apicais, constituídas de dois pares de folhas apicais, foram coletadas com tamanho de 8 cm. Esta condição foi atingida sete dias após a última coleta

que acontece com frequência semanal. Foi realizada uma classificação das miniestacas em três grupos, separando-as de acordo com diâmetro do colo para homogeneização experimental. Este procedimento teve como objetivo controlar a variação inicial das miniestacas coletadas.

As miniestacas foram acondicionadas em um recipiente com água resfriada e gelo para evitar o estresse térmico, sendo posteriormente, plantadas em tubetes de 55 cm³ preenchidos com substrato. O substrato foi constituído por casca de pinus, vermiculita e carvão vegetal com densidade de base seca de 190 Kg m⁻³ e densidade de base úmida de 400 Kg m⁻³. Para complementar a nutrição do substrato, foram realizadas adubações de base com superfosfatos simples na dose de 8,0 Kg m⁻³. Os tubetes foram colocados dentro da casa de vegetação climatizada em bandejas com capacidade para 90 tubetes suspensas a 90 cm de altura do solo em bancadas de ferro galvanizado. Na saída da casa de enraizamento foi realizada uma adubação de cobertura com o Mono - amônio fosfato (MAP), na proporção de 150 g do adubo para 10 L de água, sendo aplicado 5 ml da solução em cada tubetes.

A casa de vegetação utilizada para o enraizamento das miniestacas desse experimento possuía dimensões de 6 x 6 m com 3 m de pé direito, sendo inteiramente revestida por plástico filme transparente de 150 microns. Dentro da casa de vegetação, onde foi realizado o enraizamento, a irrigação foi feita utilizando um sistema de nebulização intermitente mediante o uso de bicos tipo *fogger* (nevoeiro). Os *setpoint* para acionamento da irrigação se basearam nos limites da umidade relativa e da temperatura do ar, sendo, respectivamente, valores menores que 80 % e maiores que 27 °C. A condição de turgescência das estacas foi acompanhada visualmente durante o período diurno durante todo o experimento, procedendo ajustes na irrigação quando necessário.

2.4. Controle de irradiação solar na casa de enraizamento e caracterização dos microambientes

Para realizar o controle da irradiância solar dentro da casa de vegetação, e estabelecer os diferentes níveis dos tratamentos propostos, foram utilizadas malhas para a redução da incidência da radiação solar feitas de material refletor, conhecido comercialmente como Aluminet[®] que são confeccionados utilizando-se plástico e alumínio.

Os Aluminet's® foram instalados a 2,70 m de altura fixados no pé direito da casa de vegetação, sobre o dossel vegetativo das plantas acima do sistema de nebulização, como é feito em casas de produção de mudas comerciais. Testaram-se telas com capacidade de redução da radiação solar de 35, 50, 65 e 80 %.

Também, nas laterais de cada tratamento, foram construídas estruturas de ferro galvanizado, sendo revestidas com malha Aluminet®, evitando a entrada lateral de irradiância solar conforme demonstrado na Figura1.



Figura 1: Visão interna da estrutura construída dentro da casa de vegetação para fornecer os níveis de radiação solar. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

2.5. Coletas de dados

2.5.1. Medições dos elementos meteorológicos

Uma estação meteorológica padrão foi instalada no viveiro de pesquisas para caracterização das variáveis meteorológicas do ambiente durante os experimentos. As leituras dos sensores foram realizadas a cada 5 segundos e a média armazenada a cada 15 minutos em um datalogger modelo CR1000-ST-SW-NC. A temperatura do ar e a umidade relativa foi medida por termohigrômetro e a radiação global por meio de um piranômetro na parte interna à casa de vegetação e uma estação externa. Em cada tratamento, a 0,15 m do dossel das miniestacas, foi instalado um sensor de temperatura digital da marca DS1820 (Tabela 1).

Tabela 1. Sensores meteorológicos usados no experimento. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

| Sensores | Variável medida | Fabricante e modelo |
|-----------------|--------------------------------------|---|
| Termohigrômetro | Temperatura do ar e umidade relativa | -HC2S3-L34, Campbell Scientific Instruments, Utah, USA) |
| Piranômetro | Radiação solar global | - CMP3-L100, Kipp & Zonen, Röntgenweg, The Netherlands) |
| Sensor digital | Temperatura | - DS1820, Dallas |

2.5.2. Radiação solar global diária

A radiação solar global diária foi medida durante todo o ciclo do experimento na parte externa da casa de vegetação e dentro dos ambientes de cultivo. A relação entre radiação solar global diária medida em cada tratamento e a radiação medida na parte externa, serviram para estimar a atenuação solar proporcionada pelo plástico da casa de vegetação e pelos Aluminet's® em cada ambiente de cultivo.

A radiação solar global externa teve suas médias medidas e armazenadas no datalogger CR1000 a cada quinze minutos. Da mesma forma a radiação global dentro do ambiente (nas parcelas dos tratamentos) foi medida por dois dias, simultaneamente a radiação solar externa. Com isso, foi possível obter a razão entre a radiação solar externa e a radiação solar global que chegava em cada tratamento.

2.5.3. Medidas biométricas, porcentagem de enraizamento

Aos quarenta dias foi determinada a porcentagem de enraizamento conforme a equação 1.

$$E = \left(\frac{e}{S}\right) \times 100 \quad (1)$$

Onde E é a porcentagem de enraizamento, e é o número de miniestacas enraizadas e S é o número de miniestacas estaqueadas.

As medidas das mudas foram feitas aos 40 dias logo após a saída da casa de sombra. Após a lavagem em água corrente, foram medidas os comprimentos de raízes, tamanho da parte aérea e diâmetro do colo. Para determinar a matéria seca das raízes e da parte aérea, as mudas foram colocadas em estufas a 65 °C por 48 h para a secagem, sendo realizada a pesagem para obtenção da matéria seca em balança de precisão de 0,01g.

2.6. Tratamentos e estatística

Foram estudados cinco níveis de radiação solar, sendo eles, sem uso de malha, com redução proporcionada somente do plástico da casa de vegetação (T0%), com malhas de 35 (T35%), 50 (T50%), 65 (T65%) e 80 % (T80%) de redução da radiação solar. Foram testados dois clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, denominados como Clone A e Clone B.

O experimento foi estabelecido em arranjo fatorial 5 x 2, contemplando cinco níveis de radiação solar e dois clones de eucalipto num total de 10 tratamentos. O delineamento foi em blocos casualizados ao acaso composto por três blocos de 240 miniestacas totalizando 720 miniestacas. Com isso, cada unidade experimental foi composta de 8 miniestacas, num total de 24 miniestacas por tratamento.

Os dados foram submetidos a análises de variância (ANOVA), com nível de significância de 5 %. Foi utilizado o software Statística® 13 da empresa Dell para fazer as análises.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização microclimáticas

3.1.1. Comportamento da radiação solar global instantânea

Com relação a radiação solar global medida dentro da casa de vegetação, observou-se que o tratamento sem uso de malha redutora recebeu aproximadamente 67 % da radiação solar a céu aberto, enquanto que nos tratamentos com Aluminet® correspondente aos ambientes T35 %, T50 %, T65 % e T80 %, a irradiação solar incidente foi de 35, 30, 23 e 17 % da radiação externa, respectivamente (Figura 2).

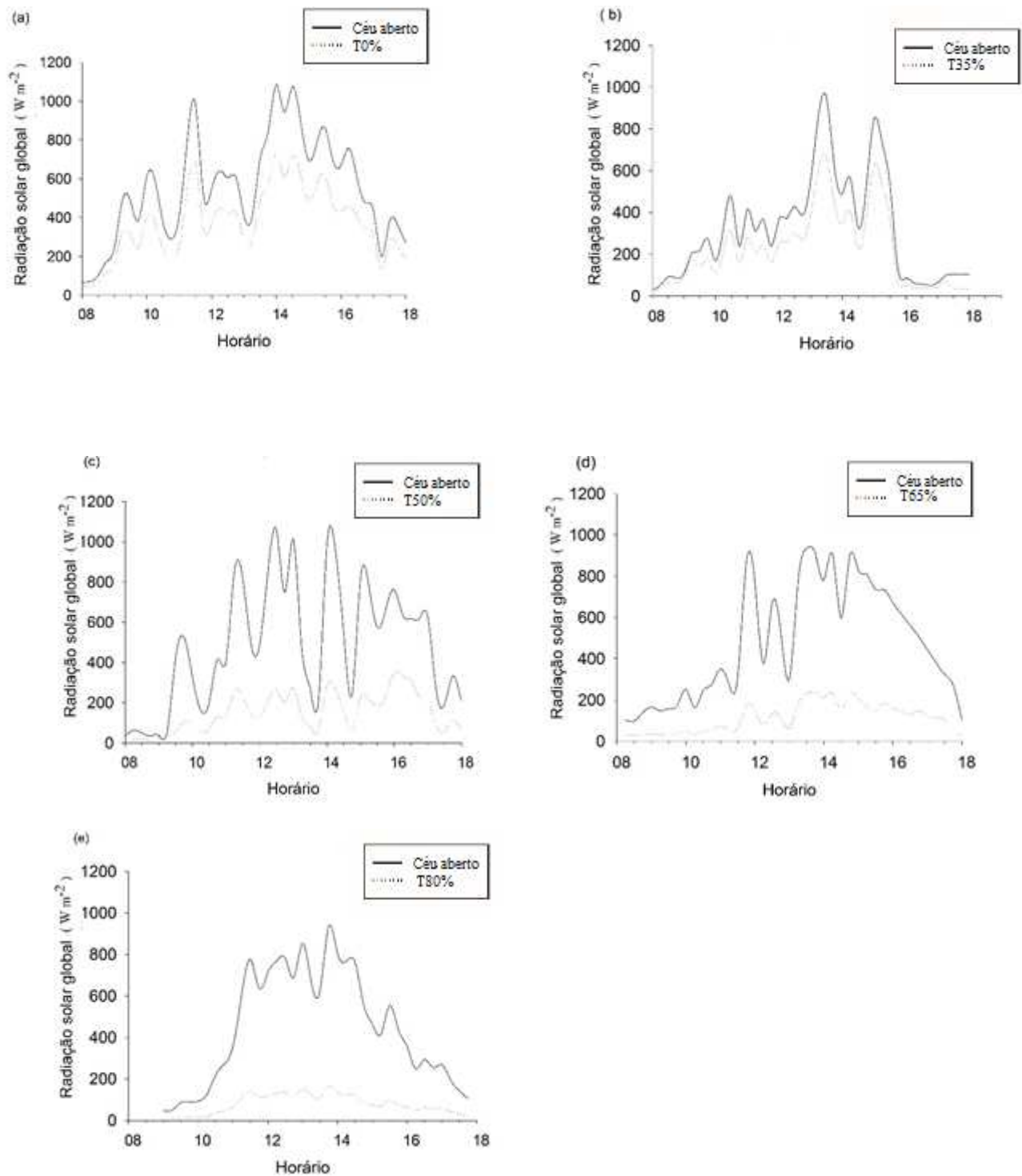


Figura 2: Irradiância solar global instantânea (W m^{-2}) medidas no exterior e no interior da casa de vegetação, para um dia típico para os diferentes tratamentos T0%, T35%, T50%, T65% e T80%, respectivamente (a, b, c, d, e). Viçosa-MG, Brasil, 2016.

3.1.2. Irradiância solar global durante o período experimental para os diferentes tratamentos

Durante o período de enraizamento, observou-se que em 65 % dos dias a radiação global diária medida ultrapassou a $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Em média, a radiação solar diária estimada durante o ciclo dentro da casa de vegetação sem o uso do Aluminet® foi de $14,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. No ambiente T35% a radiação solar global diária acumulada estimada foi em média $7,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto que no tratamento T50% a radiação acumulada na média diária foi de $6,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Os tratamentos T65% e T80% a radiação diária estimada teve média de 4,9 e $3,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Figura 3).

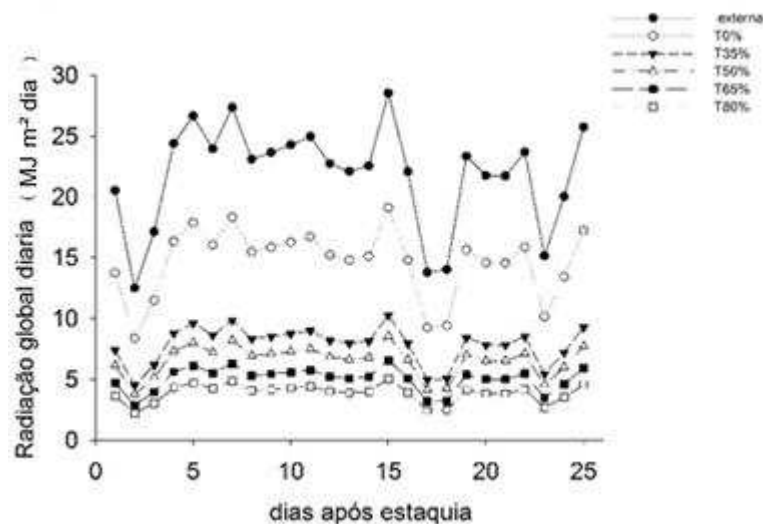


Figura 3: radiação solar global diária à céu aberto e dentro da casa de enraizamento para os diferentes tratamentos. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

3.1.3. Modelo de atenuação da irradiância solar pelo sombreamento (plástico e aluminet) em casa de vegetação

Para a estimativa da radiação solar dentro dos ambientes de produção, foram ajustados os modelos que estimam a radiação solar transmitida até o dossel das miniestacas utilizando-se a lei de Lambert - Beer para obter a radiação transmitida através da malha atenuadora.

Os modelos tiveram os coeficientes testados e foram ajustados com boa precisão para os quatro tipos Aluminet® trabalhados e para o sombrite® de malha preta que bloqueia 50 % da radiação solar, utilizada na casa de sombra (figura 4).

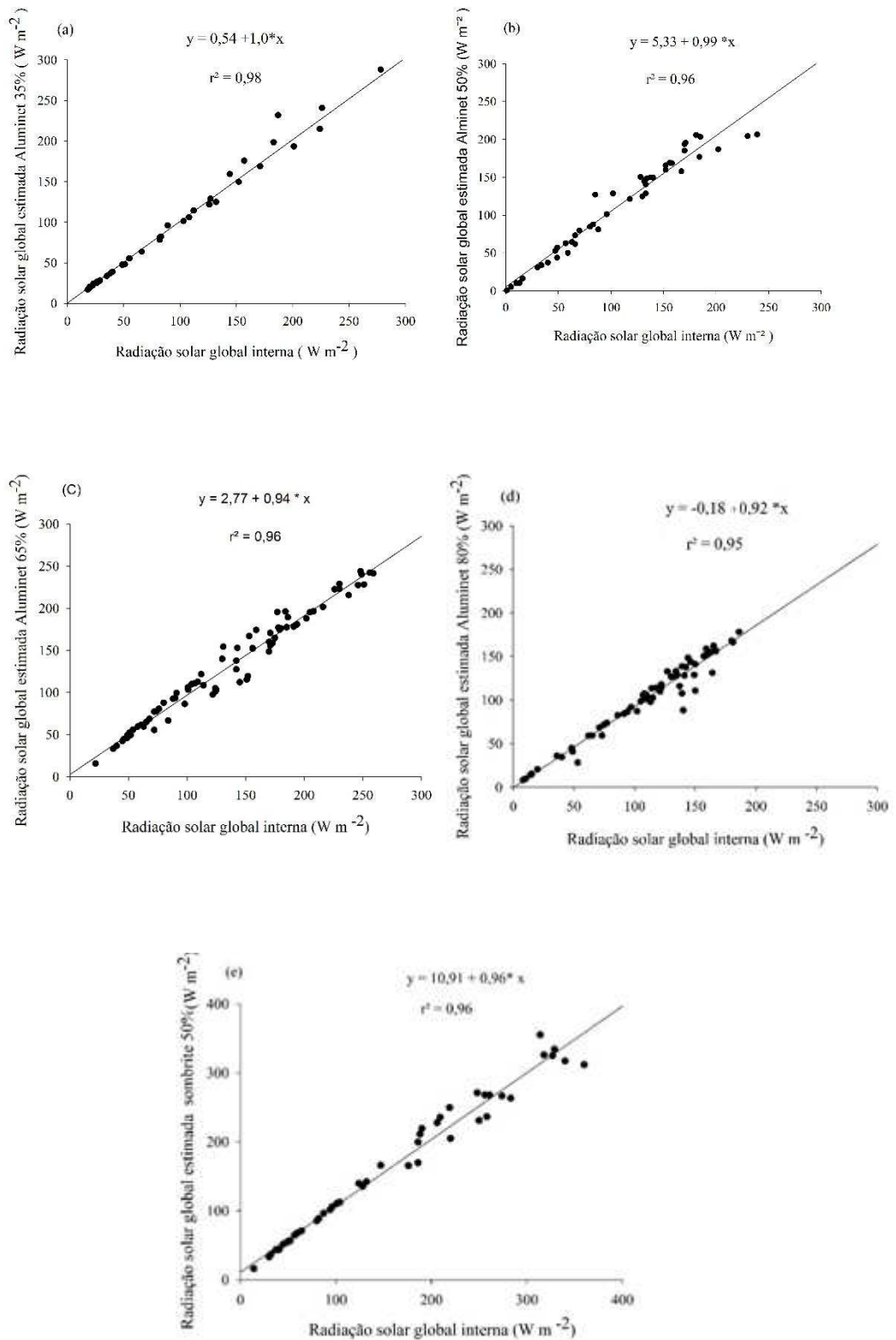


Figura 4. Modelos de estimativa da radiação global em casa de vegetação para o uso de aluminet® que bloqueiam 35, 50, 65, 80 % e sombrites® que bloqueia 50 % da radiação solar global. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

3.1.4. Temperatura dentro dos ambientes próximos ao dossel das plantas

A média e o desvio padrão calculado somente durante o período em que as plantas estiveram dentro da casa de enraizamento expostas a diferentes níveis de radiação solar, foi de 31,1 °C ($\pm 6,1$) nos tratamentos sem Aluminet® e de 29,7 ($\pm 5,0$); 29,0 ($\pm 4,6$); 28,7 ($\pm 4,5$) e 28,4 °C ($\pm 4,2$) nos tratamentos T35%, T50% e T65% e T80% (Tabela 2).

Em média o tratamento que recebeu menos radiação solar (T80%), a temperatura foi 2,5 °C menor do que o tratamento que recebeu maior radiação solar. Entretanto, observou-se que o desvio padrão do ambiente sem Aluminet® foi de 6,2, indicando que este tratamento chegou a registrar temperaturas de 37,2 °C, enquanto que os dois tratamentos que receberam menos radiação solar as temperaturas máximas atingidas foram de 33,2 e 32,6 °C, ou seja, além de oferecer temperaturas menores nesses tratamentos, a temperatura oscilou menos.

Tabela 2: Temperatura média (°C) e desvio padrão medidos durante a fase de enraizamento próximo ao dossel das miniestacas (0,15 m). Viçosa-MG, Brasil, 2016.

| Tratamento | T0% | T 35% | T 50% | T65% | T 80% |
|---------------|------|-------|-------|------|-------|
| Média diária | 31,1 | 29,7 | 29,0 | 28,7 | 28,4 |
| Desvio padrão | 6,1 | 5,0 | 4,6 | 4,5 | 4,2 |

3.1.5. Modelos para estimativa da temperatura do ar dentro da casa de vegetação sobre efeito do uso de Aluminet®

Foi realizado a obtenção de modelos para a estimativa da temperatura próximo ao dossel das miniestacas, relacionando a temperatura medida no tratamento sem uso de Aluminet® e o tratamento com diferentes Aluminet's® utilizados (Figura 5).

A análise de regressão permitiu estimar a temperatura, com coeficiente de determinação acima de 90 % nas condições determinadas. Os coeficientes b_0 e b_1 foram significativos pelo teste F a 5 % de significância para todos os modelos obtidos na análise de regressão.

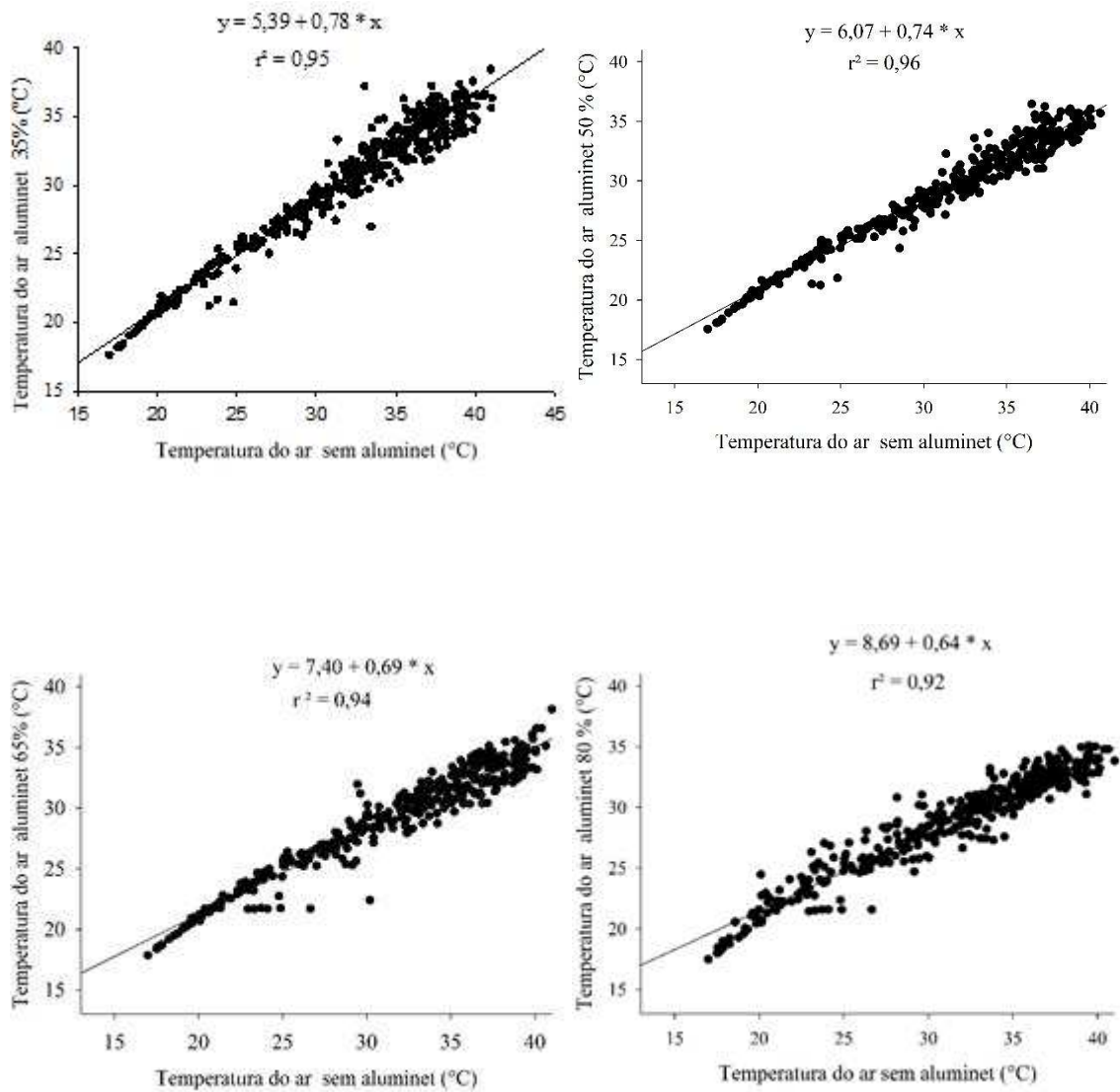


Figura 5: Modelos para determinação do efeito da temperatura do ar dentro da casa de vegetação sob uso de diferentes Aluminet's®. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

3.2. Medidas biométricas

3.2.1. Porcentagem de enraizamento

De maneira geral, os tratamentos expostos a maiores níveis de irradiância solar tiveram menores enraizamentos (figura 6). O aumento da irradiância solar promoveu o aumento da temperatura do ar conforme verificado, por isso, fica difícil separar um efeito de temperatura do ar e irradiância solar. Diante disso, optou-se por realizar uma análise de variância, seguido de um teste de médias, entendendo, que diante das condições

oferecidas nos tratamentos propostos, as miniestacas estavam sob efeito da radiação solar e temperatura não sendo possível separar um efeito do outro.

A análise de variância permitiu concluir que os dois clones não tiveram interação para efeito de clone e tratamentos, ou seja, concluir-se que ambos tiveram o mesmo comportamento. Diante disso, é recomendado que os resultados sejam expressos pela média dos tratamentos.

É possível inferir que os níveis de irradiância solar que promovem os maiores enraizamentos são de 4,9 e 3,8 MJ.m⁻² dia⁻¹ (T65% e T80%). Os menores enraizamentos foram verificados com irradiância solar acumulada acima de 7,7 MJ.m⁻² dia⁻¹ obtido pelo uso de Aluminet® 35 % e sem aluminet® (Figura 6).

É importante esclarecer que nos cálculos realizados foram considerados o número de miniestacas estaqueadas no início do processo. Muitas vezes as miniestacas que morrem ao longo do processo de produção, tem sua morte relacionadas a falhas no processo de produção como entupimento de bicos de irrigação, quedas de energia elétrica, entre outras.

Se considerarmos o cálculo de enraizamento levando em conta o número de miniestacas sobreviventes, ou seja, aquelas que chegaram até o final do experimento, mas que não enraizaram, a porcentagem de enraizamento seria acima de 80 % para os tratamentos T80%.

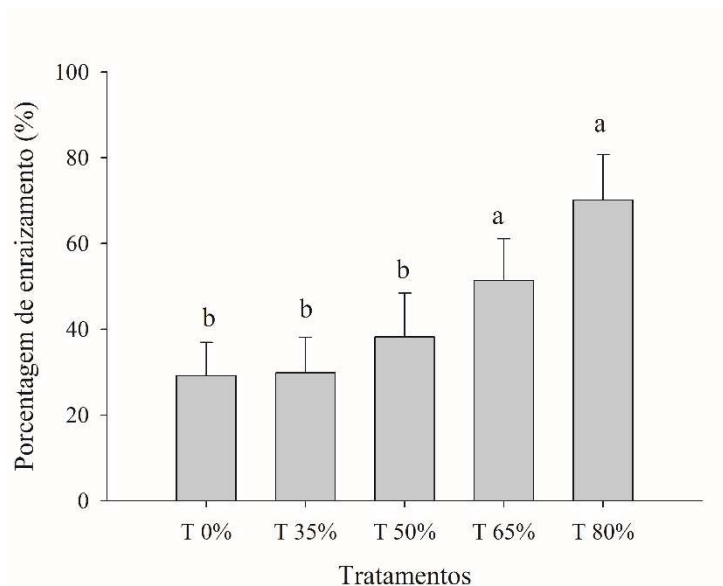


Figura 6: Teste de Tukey para porcentagem de enraizamento. Médias com letras iguais não difere entre si a 5 % de probabilidade. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

3.2.2. Biomassa seca, altura e diâmetro do colo

Para a variável biomassa seca total e biomassa seca da parte aérea não houve diferença. Para a variável biomassa seca radicular, verifica-se que em menores níveis de radiação solar proporcionados pelo uso do Aluminet® 65 e 80 % a biomassa acumulada nas raízes foram maiores. A relação entre biomassa seca na raiz sobre a parte aérea também foi maior nos tratamentos com menores níveis de irradiância solar (Figura 7).

A comparação entre as alturas das partes aéreas para os tratamentos propostos permitiu verificar que os tratamentos onde as miniestacas foram expostas a menores níveis de radiação solar tiveram crescimento maior em quase 2 cm comparados a outros tratamentos. O diâmetro do colo não teve diferença para os tratamentos propostos ficando em média com 2,15 mm (Figura 7).

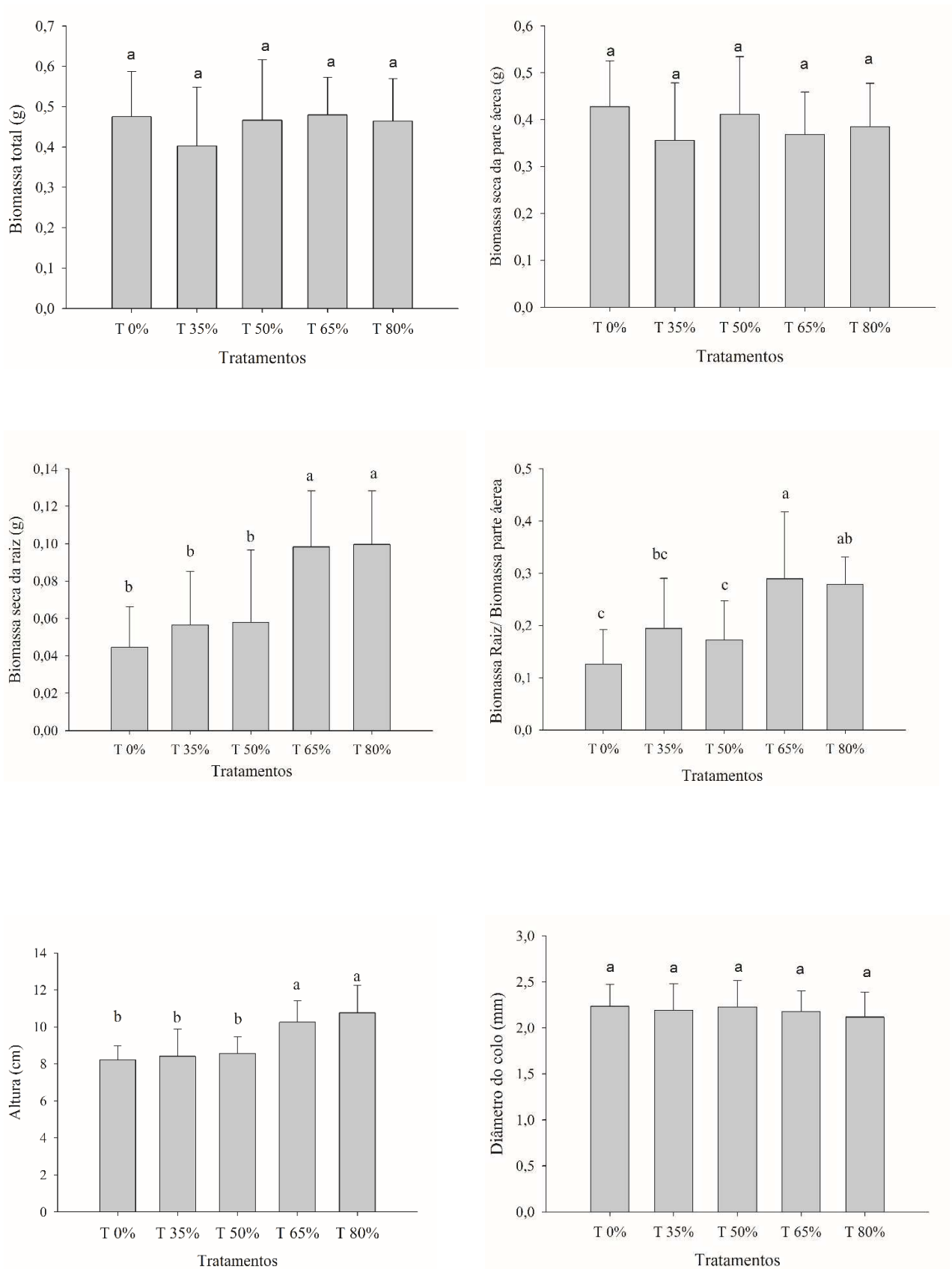


Figura 7: Biomassa total, parte aérea e raiz, relação biomassa de raiz e parte aérea, altura e diâmetro do colo. Médias com letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos permitiram verificar que o uso de Aluminet's® para bloqueio da radiação solar reduzem de forma eficiente a radiação solar sobre o dossel das miniestacas. A radiação solar global medida dentro da casa de vegetação, foi de 35, 30, 23 e 17 % da radiação solar a céu aberto para os Aluminete's ® com especificação 35, 50, 65, 80 % de redução, respectivamente. É preciso salientar que o plástico da casa de vegetação proporcionou uma redução de 23 % da radiação solar externa. O uso de malhas permite alterar as condições de ambiência, podendo oferecer maior controle sobre as variações ambientais dentro da casa de vegetação para a variável radiação solar e para os elementos meteorológicos relacionados como a temperatura do ar concordando com os trabalhos de Guiselini et al., 2004.

As medidas de temperatura próximo as parcelas experimentais permitiram verificar que o uso de aluminet'® que bloqueiam mais a radiação solar diminuem a temperatura próximo ao dossel vegetativo em até dois graus em média, além de diminuir a amplitude térmica do ambiente. Os Aluminete's ® que bloqueiam mais a radiação solar diminuem a chegada de energia solar direta nas plantas, pois possuem uma malha mais fina. Em contrapartida, esta característica diminui a perda de energia do ambiente em comprimento de onda longa reduzindo a amplitude térmica. Outros trabalhos que verificaram o uso de malhas para atenuação de radiação em ambiente protegido encontraram médias de temperatura de até 3 °C menores em ambientes protegidos com malhas (GUISELINI et al., 2004).

Os dois tratamentos mais expostos a radiação solar tiveram picos de temperaturas de até 35 e 37 °C, demonstrando que estas condições ambientais podem comprometer as condições necessárias para o bom enraizamento das miniestacas de eucalipto. Os tratamentos que ficaram menos expostos a radiação solar (T65 e T80%), estão dentro dos valores recomendados que são de 25 a 30 °C (BERTOLOTI; GONÇALVES, 1980). Trabalhando com efeito da temperatura em plantas doadoras de microestacas em enraizamento de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus glóbulos*, concluiu-se que o *Eucalyptus globulos* é mais sensível a altas temperaturas, enquanto que *Eucalyptus saligna* apresentou melhor resposta com temperatura diária de 30 °C e noturna de 20 °C. (CORREA et al., 2004).

Os resultados encontrados neste trabalho, verificou-se que os ambientes com a radiação solar em torno de 3,8 e 4,9 MJ m⁻² dia⁻¹ proporcionaram melhores resultados para porcentagem de enraizamento, acúmulo de biomassa na raiz e altura de parte aérea.

A maioria das pesquisas com enraizamento de estacas que verificaram o efeito da radiação solar consultados são de espécies diferentes. Entretanto, os ambientes de enraizamentos de estacas, têm características muito parecidas para a maioria das plantas propagadas por estaquia, caracterizados por alta umidade e temperaturas maiores. Por isso, estes trabalhos podem fornecer uma referência para os resultados encontrados.

Vários estudos sobre a influência da radiação solar durante a fase de enraizamento de estacas, associam ganhos quando as estacas são submetidas a menor radiação (HANSEN et al.,1978; HANS, 1983; PALANISAMY & KUMAR, 1987). A alta irradiância favoreceu a formação de raízes somente quando as estacas foram tratadas com auxina, indicando que este hormônio pode ser o limitante do enraizamento, visto que tem um importante papel no processo de formação de raízes e é fotodegradável (JARVIS & SHAHEED, 1987; TAIZ e ZEIGER, 2013).

Assim que as miniestacas de eucalipto são estaqueadas não possuem raízes, portanto, não estão em condição de crescimento. Logo, os baixos níveis de radiação solar podem oferecer um ambiente mais favorável para as miniestacas desenvolverem raiz, reduzindo o estresse provocado pelo excesso de radiação solar e de maneira indireta por temperaturas mais altas. Loach & Grange (1985) concluiu que baixa radiação é ideal para iniciação da raiz. Da mesma forma, Palanisamy (1997), também concluiu que baixa radiação pode induzir melhor a formação de raízes.

Este trabalho de pesquisa verificou que a diminuição da radiação solar dentro da casa de enraizamento, promoveu um aumento do acúmulo de biomassa na raiz e da parte aérea. Foi observado que nestas condições o processo de formação de raízes ocorreu primeiro, com isso, a planta adquiriu condição de crescimento mais rápido. Santos, (2010), trabalhando com mudas de eucalipto propagadas por sementes, encontrou valores de biomassa seca da raiz melhores a 30 % de bloqueio da radiação solar, entretanto esta condição se distingui da propagação por estaquia, visto que a planta estabelece sistema radicular mais rápido, ficando menos sujeitas as variações ambientais.

A maioria dos estudos consultados recomendam baixos níveis de irradiação solar para estímulos do processo de enraizamento. Entretanto, deve-se observar que assim que as plantas estabelecem condição de crescimento, ou seja, tenham suas raízes formadas a radiação solar deve ser aumentada. Se no início do processo de enraizamento, o ambiente

com menor radiação pode estimular o enraizamento, a partir de certo ponto ele pode limitar. Com isso, é importante estipular para cada clone a quantidade de dias necessários nestas condições para otimizar o processo de produção.

Por fim, a radiação solar tem um efeito considerável sobre o enraizamento de miniestacas para os dois materiais estudados, e seu controle dentro da casa de vegetação, ao que tudo indica, deve ser considerado. Nos primeiros dias na casa de vegetação as miniestacas ainda não formaram raízes e, por isso, o maior controle da irradiância solar além de conferir uma condição de ambiente mais favorável ao enraizamento, oferece uma segurança a mais, visto que em dias de irradiância solar alta, sua atenuação não deixa a temperatura do ambiente subir muito, evitando o estresse causado por fotoinibição e altas temperaturas das miniestacas.

5. CONCLUSÕES

1. Os tratamentos expostos a menores níveis de irradiação solar durante a etapa de enraizamento, em condições de verão, tiveram maior porcentagem de enraizamento, assim como, o acúmulo de biomassa na raiz a altura da parte aérea em ambos os clones.
2. Níveis de radiação acumulada de 3,9 a 4,8 MJ m² dia⁻¹ em condição de verão dentro da casa de vegetação é o ideal para estimular um melhor enraizamento.
3. Os Aluminet's® com especificação para reduzir 65 e 80 % da irradiância solar apresentaram melhores condições de temperatura e radiação solar dentro da casa de enraizamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFENAS, A. C.; ZAUZA E. A. V.; MAFIA, G. R.; ASSIS T. F. Clonagem e Doenças do Eucalipto. **Editora UFV 2ª edição**, Viçosa, MG, p. 53 e 118, 2004.

ASSIS, T. F. Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the Eucalyptus clonal forestry. **BMC proceedings**, p. 118, 2015. [Disponível em: < 10.1186/1753-6561-5-S7-118.>](https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-118) . Acesso em 22 junho 2016.

ASSIS, T. F.; FETT-NETO, A. G.; ALFENAS, A. C. Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwoods with emphasis on *Eucalyptus*. **Plantation Forest Biotechnology for the 21 century**, Kerala, India, 2004.

BARNES, P.W.; FLINT, S. D.; RYEL, R. J.; TOBLER, M. A.; BARKLEY, A.E.; WARGENT, J. J. Rediscovering leaf optical properties: New insights into plant acclimation to solar UV radiation. **Plant Physiology Biochemistry**, Amsterdam, p. 1-7, 2014.

BERTOLOTI, G; GONÇALVES, A. N. Enraizamento de estacas: especificações técnicas para construção do módulo de propagação. Piracicaba, SP: ESALQ, (Circular Técnica), n. 94, 1980.

CHRISTENSEN, M. V. ERIKSEN, E. N. ANDERSEN A. S. Interaction of stock plant irradiance and auxin in the propagation of Apple tootstocks by cuttings. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, p. 11-17, 1980.

CORREA, L. R.; FETT-NETO, A. G. Effects of temperature on adventitious root development in microcutting of *Eucalyptus Saligna Smith* and *Eucalyptus globulus Labil*. **Journal of Thermal Biology** n. 29, p. 315 - 324, 2004. [Disponível em: doi:10.1016/j.jtherbio.2004.05.006](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2004.05.006).

CUNHA, C.M.C.M.; PAIVA, H.N.; BARROS, N.F.; LEITE, H.G. LEITE F.P. Relações do estado nutricional de minicepas com enraizamento de miniestacas de Eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa - MG, n. 33, p. 591 - 599, 2009.

CUNHA, C.M.C.M.; PAIVA, H.N.; LEITE, H.G.; BARROS, N.F.; LEITE, F.P. Relações entre variáveis climáticas com a produção e enraizamento de miniestacas de Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 2, p.195 - 23, 2009.

CUNHA, C.M.C.M.; XAVIER, A; LEITE, F.P; SANTANA, R. C.; LEITE, H. G. Padrões de miniestacas e sazonalidade na produção de mudas clonas de *Eucalyptus grandis* HIL x *E. urophylla* S.T. BLACK. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.37, n.1, p.67-77, 2013.

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

FETT-NETO, A. G.; FETT, J. P.; GOULART, G. P.; TEMIGNONI, R. R.; FERREIRA, A. G.; Distinct effects of auxin and lighth on adventitious root development in *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus globulus*. **Tree physiology**, Victoria, Canada, n.21, p. 457- 464, 2001.

- GISLERØD, H. R. Physical conditions of propagation media and their influence on the rooting of cuttings. **Plant and Soil**, Netherlands, n.74, p. 19-29, 1983.
- GUISELINI, C.; SENTELHA, P.C.; OLIVEIRA, R.C.; PRELA, A. Uso de Malhas de sombreamento em ambiente protegido I: efeito na temperatura e na umidade relativa do ar. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n.1, p. 27-34, 2004.
- GUISELINI, C.; SENTELHA, P.C.; OLIVEIRA, R.C.; PRELA, A. Uso de malhas de sombreamento em ambiente protegido III: efeito sobre o crescimento e a produção comercial da *Gerbera jamesonii*. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n.1, p. 27-34, 2004.
- HANSEN, J.; STROMQUIST, L.H.; ERICSON, A. Influence of the Irradiance on carbohydrate content and rooting of cuttings of Pine Seedlings (*Pinus Sylvestris L.*). **Plant Physiology**, Umea - India, n. 61, p. 975-979, 1978.
- HARTMANN, H. T. et al. Plant propagation: principles and practices. 7^a ed., New Jersey: Prentice-Hall, p. 880, 2002.
- JARVIS, B.C.; SHAHED, A. I. Adventitious root formation in relation to irradiance and auxin supply. **Biologia Plantarum**, Western Bank, n. 29 (5), p. 321-333, 1987.
- LARCHER, W.; Ecofisiologia vegetal. **São Carlos Rima Artes e Textos**, Viçosa, MG, p. 354, 2000.
- LOACH, K. AND GRANGE, R. I. The effect of light on the rooting of leafy cuttings. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, n. 27, p.105 - 111, 1985.
- OLIVEIRA, A.S.; NETO, A.S.; RIBEIRO, A.; RASCON, N.L.; RODY, P.; ALEMIDA, A.Q. Determinação do tempo térmico para desenvolvimento de mudas de eucalipto na fase de enraizamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n. 11, p. 1223 - 1228, 2012.
- PALANSAMY, K.; KUMAR, P. Efecto position, size of cuttings and environmental factors on adventitious in nem (*Azadirachata indica A. juss*). **Forest Ecology and Management**, Jabalpur, n. 98, p. 277-280, 1997.
- SANTOS, R. F.; MORAIS, L.; BORSOL, A.; SECCO, D.; MOREIRA, G.C. Níveis de sombreamento na produção e desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis Hill ex Maiden*, **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava - PR v. 3, n. 3, p. 201-206, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 5^a Edição, p. 354, Editora ARTMED, 2013.
- STEYN, W.J.; WAND, S.J.E., HOLCROFT, D.M.; JACOBS, G.. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. **New Phytologist**, Lansing, MI, n.155, p. 349-361, 2002.
- XAVIER, A., WENDLING, I.; SILVA, R.J. Silvicultura clonal: princípios e técnicas. Editora UFV. Viçosa - MG, 2013.

CAPÍTULO 2

ECOFISIOLOGIA DE MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* PÓS-ENRAIZAMENTO SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o desenvolvimento de novas técnicas de propagação clonal e o melhoramento genético aumentaram o potencial florestal, que adquiriu grande destaque mundial na produção de florestas renováveis. No contexto atual, a maior competitividade econômica, as constantes evoluções das tecnologias, assim como, a demanda por sistemas de produção mais sustentáveis, exigem constantes investimentos em pesquisas visando melhorar todo o processo produtivo (ASSIS, 2004; ASSIS, 2015).

No processo de produção de mudas clonais, diminuir o tempo de permanência no viveiro e aumentar a porcentagem de enraizamento das miniestacas pode reduzir custos e aumentar a competitividade. Atualmente, os viveiros florestais produzem grande diversidade de materiais genéticos, que muitas vezes, possuem características diferentes referentes a demanda por água, nutrição mineral, tempo de permanência na casa de enraizamento e manejo (ALFENAS et al., 2009; FERREIRA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2012). Isso constitui-se em desafio para adaptar o sistema de produção de modo que atenda todas estas necessidades.

O controle da radiação solar na casa de vegetação para enraizamento constitui-se de grande importância, visto a influência desta variável na temperatura e umidade relativa da casa de vegetação e, conseqüentemente, para o metabolismo fisiológicos das plantas. Soma-se a isto ao fato das miniestacas, principalmente nos primeiros dias dentro da casa de vegetação, quando colocadas para enraizar, estarem muito mais susceptíveis as variações ambientais, visto que não estão em condições de crescimento, pois o processo de formação de raízes leva alguns dias.

É sabido que as plantas sofrem com excesso de radiação solar em suas folhas, fazendo uso de diversos mecanismos de adaptação a condições de estresse. A produção de metabólitos secundários do tipo flavonóides, entre eles a antocianina, tem sido relacionado a diversas condições como excesso de radiação solar ou deficiência de nutrientes. Alguns trabalhos apontam o papel das antocianinas como mecanismo de

defesa do excesso de radiação solar (BARNES et al., 2014; LARCHER et al., 2000; STEYN, 2002).

A maioria das substâncias responsáveis pela coloração das plantas pertence à classe dos flavonóides. Existem vários tipos de flavonóides, mas entre eles as classes mais importantes são os flavonóis e as antocianinas. As antocianinas absorvem fortemente na região visível do espectro e confere uma infinidade de cores de acordo com o meio de ocorrência (MARÇO & POPPIR, 2008).

A adequação do ambiente de enraizamento pode ajudar a amenizar algumas limitações impostas por fatores associados ao processo de rizogênese (ASSIS E TEIXEIRA, 1994). Diante disso, pesquisas que buscam melhorias no ambiente de enraizamento das miniestacas podem ajudar a aperfeiçoar o sistema de produção de mudas.

Por isso, a avaliação de características ecofisiológicas de clones comerciais, assim como, o entendimento de características anatômicas de sua folha ou medidas de trocas gasosas como fotossíntese, transpiração e condutância estomática podem fornecer subsídios para melhorar as condições ambientais de manejo, e assim, otimizar a produção. É necessário entender o processo como um todo, relacionando o comportamento das variáveis ecofisiológicas nas diversas fases de produção das mudas.

O objetivo deste trabalho de pesquisa foi avaliar o desempenho de mudas de eucaliptos enraizadas sob diferentes níveis de radiação solar global, medindo parâmetros ecofisiológicos na fase de enraizamento e crescimento e como isso se refletiu na qualidade das mudas

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área experimental

O experimento foi realizado no município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, no viveiro de pesquisa do Departamento de Engenharia Florestal, pertencente a Universidade Federal de Viçosa no período de 27 de janeiro a 10 de março de 2016.

A área experimental tem como coordenadas geográficas 20°45'45"S de latitude e 42°52'04"W de longitude, sendo localizado a 690 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é temperado quente-mesotérmico (Cwa), com verões chuvosos e invernos secos. A precipitação média anual é de 1.220 mm, com temperaturas média de máxima de 26 °C e média mínima de 14 °C.

2.2. Caracterização do material genético

Foram utilizados dois tipos de materiais genéticos, ambos híbridos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden), denominados como Clone A e Clone B, respectivamente. A escolha do material genético foi feita baseada na importância comercial e silvicultural dos clones, uma vez que, híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* são largamente utilizados por empresas florestais.

2.3. Caracterização do sistema de produção e do experimento

As miniestacas dos clones de eucaliptos utilizadas para o enraizamento foram coletadas em minijardim clonal. As minicepas foram cultivadas em canaletas de cimento preenchidas com areia (canaletões) mantidas em uma casa de vegetação. Os canaletões são estruturas de caixas de cimento alongadas suspensas a 1,2 m de altura, com profundidade de 0,30 m e largura de 0,90 m. A fertirrigação do minijardim clonal foi feita por gotejamento com sistema automatizada, com cinco aplicações diárias, atendendo a lâminas de 9 mm dia⁻¹ em dias de sol pleno e 5 mm dia⁻¹ em dias nublados.

As miniestacas apicais, constituídas de dois pares de folhas apicais, foram coletadas com tamanho aproximado de 8 cm. Esta condição foi atingida sete dias após a última coleta que acontece com frequência semanal. Foi realizada uma classificação das

miniestacas em três grupos, separando-as de acordo com diâmetro do colo para homogeneização experimental. Este procedimento teve como objetivo controlar a variação inicial das miniestacas coletadas.

As miniestacas foram acondicionadas em um recipiente com água resfriada e gelo para evitar o estresse térmico, sendo posteriormente, plantadas em tubetes de 55 cm³ preenchidos com substrato. O substrato foi constituído por casca de pinus, vermiculita e carvão vegetal com densidade de base seca de 190 Kg m⁻³ e densidade de base úmida de 400 Kg m⁻³. Para complementar a nutrição do substrato foram realizadas adubações de base com superfosfatos simples na dose de 8,0 Kg m⁻³. Os tubetes foram colocados dentro da casa de vegetação climatizada em bandejas com capacidade para 90 tubetes suspensas a 90 cm de altura do solo em bancadas de ferro galvanizado. Na saída da casa de enraizamento foi realizada uma adubação de cobertura com o Mono - amônio fosfato (MAP), na proporção de 150 g do adubo para 10 L de água, sendo aplicado 5 ml da solução em cada tubetes.

A casa de vegetação utilizada para o enraizamento das miniestacas neste experimento possuía dimensões de 6 x 6 m de largura com 3 m de pé direito, sendo inteiramente revestida por plástico filme transparente de 150 microns. Dentro da casa de vegetação onde foi realizado o enraizamento, a irrigação foi feita utilizando um sistema de nebulização intermitente mediante o uso de bicos tipo *fogger* (nevoeiro). Os *setpoint* para acionamento da irrigação se basearam nos limites da umidade relativa e da temperatura do ar, sendo, respectivamente, valores menores que 80 % e maiores que 27 °C. A condição de turgescência das estacas foi acompanhada visualmente durante o período diurno durante todo o experimento, procedendo ajustes na irrigação quando necessário.

2.4. Controle de irradiação solar na casa de vegetação utilizada enraizamento

Para realizar o controle da irradiância solar dentro da casa de vegetação, e estabelecer os diferentes níveis dos tratamentos propostos, foram utilizadas malhas para a redução da incidência da radiação solar feitas de material refletor, conhecido comercialmente como Aluminet® e confeccionados utilizando plástico e alumínio.

Os Aluminete's® foram instalados a 2,70 m de altura fixadas no pé direito da casa de vegetação, sobre o dossel vegetativo das plantas acima do sistema de nebulização,

como é feito em casas de produção de mudas comerciais. Testaram-se malhas com capacidade de redução da radiação solar de 35, 50, 65 e 80 %.

Também, nas laterais de cada tratamento, foram construídas estruturas de ferro galvanizado, sendo revestidas com malha Aluminet[®], evitando a entrada lateral de irradiação solar conforme demonstrado na Figura 1.



Figura 1: Visão interna da casa de vegetação (instalações e sensores ambientais) da casa de vegetação experimental. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

As plantas ficaram pelo período de trinta dias dentro da casa de vegetação para enraizamento. Após 25 dias, as malhas Aluminet[®] foram retiradas até as mudas completarem 30 dias. Posteriormente, as mudas foram transferidas para casa de sombra por 10 dias para aclimatação e depois mais 25 dias para crescimento a céu aberto.

Foram determinados cinco ambientes com diferentes níveis de radiação solar na casa de vegetação para o enraizamento das miniestacas:

- T0% - miniestacas enraizadas sem cobertura de malha Aluminet[®].
- T35% - miniestacas enraizadas em ambiente com malha Aluminet[®] que bloqueia 35 % da radiação solar.
- T50% - miniestacas enraizadas em ambiente com malha Aluminet[®] que bloqueia 50 % da radiação solar.
- T65% - miniestacas enraizadas em ambiente com malha Aluminet[®] que bloqueia 65 % da radiação solar.

- T80% - miniestacas enraizadas em ambiente com malha Aluminet[®] que bloqueia 80 % da radiação solar.

2.5. Coletas de dados

Ao longo do experimento foram realizadas várias medidas conforme ilustrado na figura 2. O teor de pigmentos e antocianina foi determinado na etapa de enraizamento. O número de estômatos foi realizado após a expansão completa das primeiras folhas, aos 50 dias após o plantio das miniestacas. Este critério foi adotado devido a necessidade de se ter folhas completamente expandidas para contagem dos estômatos. Também optou-se por medir as trocas gasosas após a ida das plantas para campo aberto para verificar se a exposição a diferentes níveis de radiação solar na casa de vegetação onde foi realizado o enraizamento trariam consequências no desempenho fisiológico na etapa de crescimento.

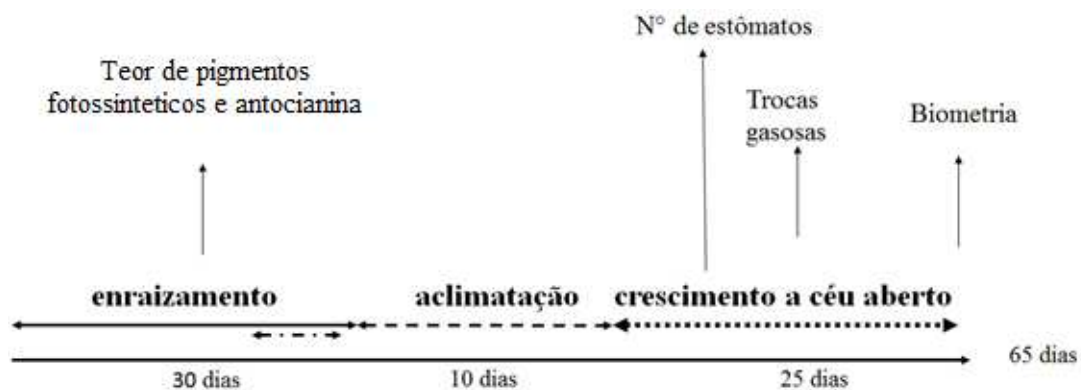


Figura 2: Cronologia de medidas ecofisiológicas ao longo do experimento. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

2.5.1. Medições dos elementos meteorológicos

Uma estação meteorológica padrão foi instalada no viveiro de pesquisas para caracterização das variáveis meteorológicas do ambiente durante os experimentos. As leituras dos sensores foram realizadas a cada 5 segundos e a média armazenada a cada 15 minutos em um datalogger modelo CR1000-ST-SW-NC. A temperatura do ar e a umidade relativa foi medida por termohigrômetro e a radiação solar global por meio de um piranômetro na parte interna à casa de vegetação e uma estação externa (Tabela 1).

Tabela 1. Sensores meteorológicos usados no experimento. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

| Sensores | Variável medida | Fabricante e modelo |
|-----------------|---|---|
| Termohigrômetro | Temperatura do ar e Umidade relativa | -HC2S3-L34, Campbell Scientific Instruments, Utah, USA), |
| Piranômetro | Radiação global | - CMP3-L100, Kipp & Zonen, Röntgenweg, The Netherlands) |
| Sensor digital | Temperatura | - DS1820, Dallas |

2.5.2. Determinação do teor de antocianina

Para cada amostra, dez discos foliares foram retirados e tiveram as massas frescas determinadas em balança de precisão de 0,01 g com três repetições para cada tratamento.

Em seguida, foram homogeneizadas em metanol (HCL 1 % (v/v) em banho de gelo e centrifugadas a 10.000 x g por 30 min, a 4 °C. O teor de antocianina foi determinado pela diferença entre a absorvância a 536 e 600 nm conforme Hodges et al., (1999). Os resultados foram expressos em ug /g MF como equivalentes de cianidina-3-glucosídeo com coeficiente de extinção molar (26900 L cm⁻¹ mol⁻¹).

2.5.3. Determinação dos pigmentos fotossintéticos

Para cada amostra, dez discos foliares foram retirados e tiveram as massas frescas determinadas em balança de precisão de 0,01 g com três repetições por tratamento. Os teores de clorofilas a, b, clorofilas totais foram determinados utilizando-se quatro discos foliares com 6,1 mm de diâmetros, retiradas de uma folha totalmente expandida, e incubadas em 5 ml de dimetilsufóxido (DMSO), saturado com CaCO₃ a temperatura ambiente por 48 horas. As absorvâncias das amostras foram determinadas em espectrofotômetro (UV - visível Quimis 0790U2 M) e os valores foram utilizados para o cálculo dos teores de clorofila a, b, e totais, conforme a metodologia proposta por Wellburn, (1994).

2.5.4. Medidas de trocas gasosas

As medidas de fotossíntese foram realizadas 50 dias após o plantio das miniestacas, na etapa de crescimento, com auxílio de um analisador de gás infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400xt, LI-COR Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA). Foram feitas medidas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática. As medidas foram realizadas em três dias ensolarados no período da manhã das 8 às 12 horas em uma folha totalmente expandida. A cada dia de medida foram realizadas as leituras em nove plantas por tratamento num total de 27 plantas medidas nos três dias em cada tratamento.

2.5.5. Quantificação do número de estômatos

Para a obtenção do número de estômatos, foram realizadas amostragem em seis plantas por tratamento. Empregou-se a técnica da impressão da epiderme adaxial e abaxial em lâminas de vidro contendo uma gota de cola super bonder®. As lâminas foram fotografadas no microscópio gerando 10 imagens por lâmina, num total de 600 imagens analisadas. Em seguida, utilizando-se o programa image-Pro-Plus foi realizada a contagem dos estômatos.

2.5.6. Medidas biométricas e de biomassa seca

As medidas das mudas foram feitas aos 65 dias. Após a lavagem em água corrente foram medidos os comprimentos de raízes e tamanho da parte aérea, num total de 360 plantas medidas. Posteriormente, as mudas foram levadas para uma estufa e ficaram a 65 °C por 48 horas e depois foi realizada a obtenção do peso da biomassa seca em uma balança de precisão.

2.6. Análise estatística

Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento de blocos ao acaso com arranjo fatorial 5 x 2 (cinco diferentes formas de condução das mudas e 2 clones) com 3 blocos (3 repetições), sendo que cada um continha 120 miniestacas. Os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) a 5 % de significância, e um teste F

com p valor $< 0,05$ seguido de um teste de médias Tukey. Foi utilizado o programa Statística® 13/ Dell para fazer as análises.

3. RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados serão divididos em duas etapas. A primeira parte (item 3.1) será destinada a caracterização do ambiente onde as miniestacas foram enraizadas (casa de vegetação), ambiente onde foi realizada a aclimação (casa de sombra) e o ambiente de crescimento das mudas a céu aberto.

Na segunda parte (item 3.2) são analisadas as diferenças no desenvolvimento de mudas sob diferentes tratamentos de sombreamento, imposto na fase de enraizamento, buscando entender possíveis efeitos manifestados por variáveis ecofisiológicas, medidas na etapa de enraizamento e crescimento.

3.1. Caracterização dos ambientes de produção de mudas

3.1.1. Irradiância solar acumulada nas etapas de enraizamento, aclimação e crescimento a céu aberto

A radiação solar global acumulada na parte externa durante os primeiros 30 dias de enraizamento das miniestacas foi de 490 MJ m⁻². Dentro da casa de vegetação, no tratamento T0% a radiação acumulada foi de 329 MJ m⁻², enquanto que nos ambientes com aluminet® T35%, T50%, T65%, T80% a radiação solar foi de 208, 184, 157, 136 MJ m⁻², respectivamente (Figura 3). Em média o tratamento T0%, T35%, T50%, T65% e T80% receberam 10,9; 6,9; 6,1; 5,2; 4,5 MJ m⁻² dia⁻¹.

A radiação solar acumulada em todo o período de aclimação na casa de sombra foi de 99 MJ m⁻², num período de dez dias dando uma média de 9,9 MJ m⁻² dia⁻¹. Nesta etapa, todos os tratamentos ficaram na mesma condição para aclimação antes de ir para céu aberto para crescimento (Figura 3).

A radiação solar acumulada na etapa crescimento a céu aberto, para todos os tratamentos, foi de 466,8 MJ m⁻² por um período de 25 dias, dando em média de 18,6 MJ m⁻² dia⁻¹ (Figura 3).

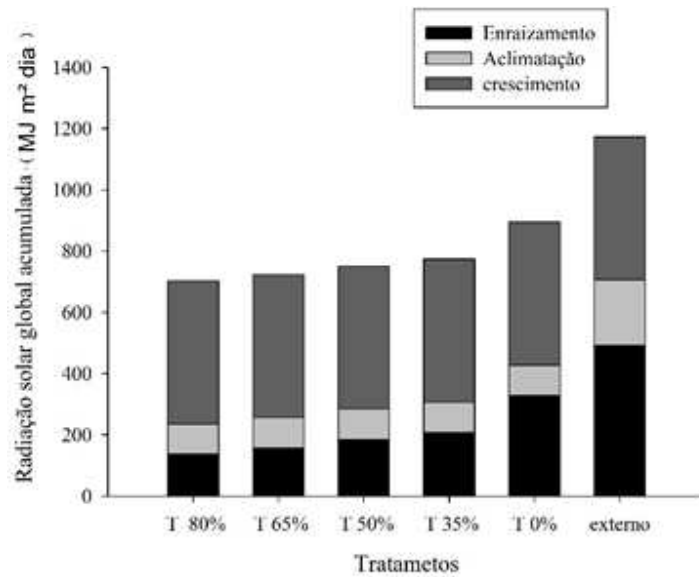


Figura 3: Radiação solar global acumulada durante 30 dias na etapa de enraizamento (casa de vegetação) e na etapa de aclimação durante 10 dias (casa de sombra) e na etapa de crescimento a céu aberto por 25 dias. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

3.1.2. Temperatura na fase de enraizamento e crescimento

Verificou-se que houve um aumento da temperatura registrada na etapa de enraizamento dentro da casa de vegetação que ficou na média de 27 °C. Na etapa de crescimento, a temperatura média diária foi de 23 °C (Figura 4).

Durante o enraizamento verificou-se que o efeito estufa promoveu um aumento médio da temperatura do ar em relação ao ambiente externo de 3 °C em média.

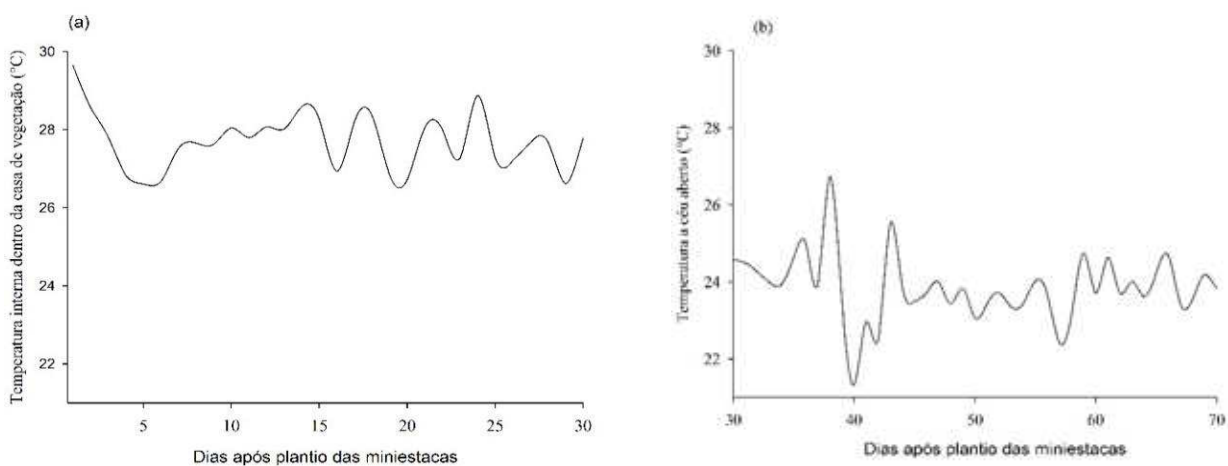


Figura 4: Temperatura do ar na casa de vegetação (a) e na etapa de aclimação e crescimento (b). Viçosa-MG, Brasil, 2016.

3.2. Análise ecofisiológicas das mudas

3.2.1. Trocas gasosas

O resultado da análise de variância permitiu concluir que não houve efeito do fator clone e da interação entre clone e o tratamento. Isso indica que ambos os clones têm comportamento parecido, com isso, não se fez a comparação entre clones num mesmo tratamento.

Verifica-se não existir diferença entre tratamentos para o clone A para as variáveis transpiração e condutância estomática. Em ambos os clones, o tratamento de maior intensidade de radiação solar durante a etapa de enraizamento das miniestacas (T0%) apresentou menor fotossíntese na etapa de crescimento. Os tratamentos que foram enraizados a níveis de irradiância solar em torno de 35 %, 30 %, 23 % e 17 % da radiação solar global externa, apresentaram maiores valores de fotossíntese, e pelo resultado da análise estatística podem ser considerados iguais (Tabela 2).

A transpiração foliar medida não teve diferença entre os clones com média de $7,58 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o clone A e $6,67 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o clone B. Para efeito do tratamento, o clone B apresentou maiores valores medidos para os tratamentos expostos a menores níveis de irradiância solar, enquanto que o clone A não apresentou diferença estatística para efeito do tratamento (Tabela 2).

A condutância estomática não apresentou diferença entre os clones. Para efeito do tratamento, o clone A não apresentou diferença, enquanto que o clone B apresentou maior condutância nos tratamentos T35%, T50%, T65% e T80% (Tabela 2).

Tabela 2: Medidas de trocas gasosas em mudas de eucalipto na fase de crescimento. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

| Tratamentos | Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | | Transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | | Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | |
|-------------|--|----------------------|---|---------------------|--|---------------------|
| | Clone A | Clone B | Clone A ^{ns} | Clone B | Clone A ^{ns} | Clone B |
| T 0% | 10,74 b | 10,06 b | 7,75 | 5,79 b | 0,30 | 0,24 b |
| T 35% | 13,57 ab | 12,49 ab | 7,63 | 6,72 ab | 0,36 | 0,38 ab |
| T 50% | 14,67 a | 13,09 ab | 7,80 | 7,64 a | 0,40 | 0,43 a |
| T 65% | 12,91 ab | 12,74 ab | 7,52 | 7,03 ab | 0,29 | 0,37 ab |
| T 80% | 12,28 ab | 14,03 a | 7,17 | 6,19 ab | 0,26 | 0,45 a |
| Clones | 12,48 ^{ns*} | 12,83 ^{ns*} | 7,58 ^{ns*} | 6,67 ^{ns*} | 0,32 ^{ns*} | 0,37 ^{ns*} |

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Diferença não significativa dentro mesmo clone^{ns} para efeito do tratamento (coluna) ; não significativo na comparação da média para efeito dos clones^{ns*}.

3.2.2. Determinações do número de estômatos

O número de estômatos/mm², em ambos os clones, apresentou uma tendência a ser maior nos tratamentos expostos a quantidade de irradiação solar mais intensa, sendo isso, mais claramente observado no clone A. O clone B apresentou uma leve tendência a ter maiores números de estômatos em condição de alta irradiância solar nos tratamentos T0% e T50%, mas não no tratamento T35%. É importante relatar que pelo fato das folhas das mudas serem jovens elas estão em processos de expansão o que aumenta a variabilidade dos resultados (Tabela 3).

Em relação ao número de estômatos na parte superior das folhas, o clone B apresentou maior quantidade de estômatos se comparado ao clone A. Em média o clone B apresentou 122 estômatos/mm² enquanto que o clone A apresentou 22 estômatos /mm² (Tabela 3).

Tabela 3: Número de estômatos/mm² em mudas de eucaliptos na etapa de crescimento. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

| Tratamentos | Face inferior (n° de estômatos / mm ²) | | Face superior (n° de estômatos / mm ²) | |
|-------------|---|----------|---|---------|
| | Clone B | Clone A | Clone B | Clone A |
| T 0% | 876,4 ab | 896,2 a | 166,9 a | 31,2 ab |
| T 35% | 669,2 c | 801,5 a | 110,7 b | 4,5 c |
| T 50% | 896,9 a | 791,3 a | 121,8 b | 41,5 a |
| T 65% | 758,3 bc | 648,8 b | 97,9 b | 17,3 bc |
| T 80% | 728,2 c | 555,6 b | 118,1 b | 14,0 bc |
| clones | 787,0 A* | 739,0 B* | 122,0 A | 22,00 B |

Teste de médias Tukey a 5 % de probabilidade: Mesma letra minúscula na coluna não difere entre si para efeito do tratamento; mesma letra maiúscula não difere entre si para efeito do clone.

3.2.3. Teor de antocianina em folhas de miniestacas exposta em diferentes níveis de radiação solar na fase de enraizamento

O clone B teve maior produção de antocianina nos tratamentos mais expostos a radiação solar. Para o clone B estes tratamentos apresentaram 190,87 e 78,24 ug/g MF. Os tratamentos expostos a menores índices de radiação, apresentaram baixa produção de antocianinas nestas condições.

O clone A, apresentou baixa produção de antocianina em todas condições de tratamento (Tabela 4).

Tabela 4: Determinação do teor de antocianina na casa de vegetação 25 dias após estaquia. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

| Teor de antocianina (ug/g MF) | | |
|-------------------------------|---------|----------|
| Tratamentos | Clone A | Clone B |
| T0% | 32,82 a | 190,87 a |
| T35% | 23,79 a | 78,24 a |
| T50% | 8,10 a | 9,54 b |
| T65% | 0,0 a | 4,93 b |
| T80% | 0,00 a | 0,00 b |
| Média | 12,94 | 56,71 |
| Desvio padrão | 12,29 | 62,27 |

Teste de média Tukey para comparação do efeito dos tratamentos a 5 % de probabilidade. Letras iguais não diferem entre si na comparação entre as médias para efeito do tratamento.

3.2.4. Teor de pigmentos fotossintéticos em folhas de miniestacas exposta a diferentes níveis de radiação solar na fase de enraizamento

Verificou-se que o teor de clorofila a, b e total nas folhas das miniestacas foi menor nos tratamentos mais exposto a radiação solar. No clone A o tratamento exposto a $10,9 \text{ MJ.m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (T0%) apresentou menor teor de clorofila a, b e total se comparado aos demais. Já para o clone B quando exposta a radiação acima de $6,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ os teores de clorofila a, b e total foram menores se comparado aos tratamentos com radiação solar menor (Tabela 5).

Tabela 5: Teor de pigmentos fotossintético clorofila a, b e clorofila Total ug/mm² na casa de vegetação aos 25 dias após a estaquia. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

| Tratamentos | Clorofila a | | Clorofila b | | Clorofila Total | |
|-------------|-------------|---------|-------------|---------|-----------------|---------|
| | Clone A | Clone B | Clone A | Clone B | Clone A | Clone B |
| T0% | 0,39 b | 0,49 b | 0,13 b | 0,17 b | 0,52 a | 0,68 b |
| T35% | 0,53 ab | 0,52 b | 0,16 ab | 0,18 b | 0,69 ab | 0,69 b |
| T50% | 0,57 ab | 0,61 a | 0,19 ab | 0,22 a | 0,76 ab | 0,83 a |
| T65% | 0,58 a | 0,63 a | 0,19 ab | 0,22 a | 0,77 ab | 0,86 a |
| T80% | 0,66 a | 0,65 a | 0,23 a | 0,23 a | 0,88 a | 0,88 a |
| médias | 0,55 | 0,60 | 0,18 | 0,20 | 0,72 | 0,79 |

Teste de média Tukey para efeito do tratamento a 5 % de probabilidade: Letras iguais não diferem entre si na comparação entre as médias para efeito do tratamento.

3.3. Biomassa seca das mudas

Para o acúmulo de biomassa seca na raiz pela análise de variância, não houve efeito do clone e nem efeito de interação entre clone e tratamento. Em média o clone A teve 0,187g, enquanto que o clone B teve 0,2 g de biomassa seca na raiz na média de todos os tratamentos. Se observou para o clone A que os tratamentos expostos a menores níveis de irradiância solar tiveram melhor desempenho, enquanto que para o clone B não houve diferença (Tabela 6).

Para biomassa seca total, foi possível verificar que o clone A apresentou menor acúmulo de biomassa seca quando comparado ao clone B. O clone A apresentou maior acúmulo de matéria seca nos tratamentos T65% e T80%, com médias de 0,84 e 0,90 g respectivamente. O clone B não apresentou diferença para efeito do tratamento, tendo média de 0,87 g de biomassa seca total acumulada (Tabela 6).

Com relação à altura da parte aérea, o clone B apresentou maior média se comparado ao clone A. Os tratamentos enraizados a menores níveis de irradiância solar (T65% e T 80%) tiveram maior crescimento para o clone A com médias de 14,9 e 16,2 cm. Já o clone B não apresentou diferença para efeito do tratamento e variou de 14,4 à 16,2 (Tabela 6).

Tabela 6: Biomassa seca da parte aérea, raiz, total e altura da parte aérea na etapa de crescimento aos 65 dias em miniestacas enraizadas em diferentes níveis de radiação solar. Viçosa-MG, Brasil, 2016.

| Tratamentos | Parte aérea (g) | | Raiz (g) | | Total (g) | | Altura da parte aérea (cm) | |
|-------------|-----------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| | Clone A | Clone B ^{ns} | Clone A | Clone B ^{ns} | Clone A | Clone B ^{ns} | Clone A | Clone B ^{ns} |
| T 0% | 0,39 ab | 0,70 | 0,14 c | 0,23 | 0,53 bc | 0,89 | 11,4 c | 14,29 |
| T 35% | 0,39 ab | 0,71 | 0,15 abc | 0,20 | 0,54 bc | 0,91 | 12,9 bc | 14,42 |
| T 50% | 0,34 b | 0,53 | 0,14 bc | 0,17 | 0,48 c | 0,70 | 12,5 bc | 15,02 |
| T 65% | 0,62 ab | 0,70 | 0,23 ab | 0,21 | 0,84 ab | 0,89 | 14,9 ab | 16,02 |
| T 80% | 0,64 a | 0,73 | 0,26 a | 0,20 | 0,90 a | 0,93 | 16,2 a | 16,25 |
| Clones | 0,48 * | 0,67 * | 0,18 ^{ns*} | 0,20 ^{ns*} | 0,66 * | 0,87* | 13,60* | 15,20* |

Teste de média Tukey para efeito do tratamento e dos clones a 5 % de probabilidade: ^{ns} diferença não significativo para efeito do tratamento; ^{ns*} não significativo na comparação entre as médias dos clones.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O efeito de diferentes níveis de radiação solar na casa de vegetação influenciaram no desenvolvimento das mudas durante as etapas seguintes de aclimatação e crescimento.

Analisando as trocas gasosas, a comparação entre tratamentos, permitiu apenas constatar que a transpiração e a condutância estomática, medida na fase de crescimento das mudas, foram sempre menores nas miniestacas que foram enraizadas em nível alto de irradiância solar, embora para o clone A, não se constate diferença para condutância e transpiração, mas houve diminuição na fotossíntese de ambos os clones.

O eucalipto é uma espécie anfiestomática, ou seja, apresenta estômatos na parte inferior e superior das folhas (TATAGIBA, 2008; TONELLO, 2013). Contudo, o predomínio foi na parte inferior das folhas com 97 % destas estruturas na parte de baixo para o clone A, e 84 % para o clone B. O clone B apresenta maior densidade estomática em relação ao clone A, sendo interessante notar que isso não garante diferenças na fotossíntese líquida entre os clones.

A presença de mais estômatos na parte superior da folha e o mecanismo de síntese de antocianina, características observadas no clone B, conferem maior adaptação a condições de alta irradiância solar. A presença de estômatos na parte superior, garante mais rapidez de resposta ao fechamento de estômatos, em contrapartida, a entrada de CO₂ na célula, teria menos resistência quando os estômatos ficassem abertos (SMITH, 1981; MOTT et al., 1982). O mecanismo de síntese de antocianina contribui para dissipação de calor nas folhas embora haja maior reflexão de fótons passíveis de serem absorvidos pelos vegetais (STEYN, 2002).

De outra forma, o clone A com grande parte dos seus estômatos localizados na parte inferior das folhas, poderia conferir alguma vantagem para espécie em condição de irradiação solar alta. Devido a folha não ser um bom condutor de calor, ela pode suportar níveis de irradiância solar maiores por mais tempo e, com isso, demoraria mais para fechar seus estômatos, ou seja, maior tempo de transpiração e conseqüentemente maior entrada de CO₂ nas células. A transpiração também é uma forma de dissipação de calor que ajuda a folha das plantas a suportar mais estresse por alta irradiância solar (MARENCO & LOPES, 2005).

Ao se comparar a densidade de estômatos entre os tratamentos, verificou-se uma

tendência de se ter maiores valores para os tratamentos com maior nível de irradiância, sendo isso, mais evidente no clone A. Isso pode indicar que esse material genético busca diminuir a temperatura foliar com o aumento do número desta estrutura na face inferior das folhas que teoricamente ganha mais capacidade de trocas gasosas, com destaque para o clone A em relação ao clone B, que é mais eficiente metabolicamente para a situação de fotoinibição (MARENCO & LOPES, 2005; STEYN, 2002).

Como o esperado, verificou-se uma tendência das miniestacas sintetizarem maiores quantidades de antocianina, medida durante o enraizamento na casa de vegetação, quanto mais exposta ao sol. Contudo, isso é significativo e detectado no clone B nos tratamentos onde o enraizamento foi realizado com níveis altos de irradiância solar. O clone B sintetiza quase seis vezes mais antocianina que o clone A quando exposta ao sol, apenas com a atenuação da radiação solar do plástico que cobre a casa de vegetação.

Alguns metabólicos secundários como os flavonóides (antocianinas) estão associados a proteção contra o excesso de radiação UV-B (280 - 320 nm), pois se acumulam em camadas epidérmicas das folhas e caules e absorvem intensamente a luz da região UV-B, enquanto permitem a passagem contínua do comprimento de luz fotossinteticamente ativa. (BARNES et al, 2014; LARCHER et al, 2000; STEYN, 2002).

Observou-se que ambos os clones apresentaram maiores teores de pigmentos fotossintéticos em condição de radiação solar menor. O maior acúmulo de clorofilas em níveis mais sombreadas pode ser devido ao efeito compensatório da espécie a menor quantidade de radiação solar disponível no ambiente, ou seja, seria uma forma da planta otimizar a energia incidente (BOARDMAN, 1977).

A análise de biomassa seca da parte aérea, raiz e a altura das plantas demonstra que os ganhos promovidos pelos maiores níveis de sombreamentos na casa de vegetação, foram mantidos até a fase de crescimento. Isso acontece para os dois clones estudados para os níveis de sombreamento maior que 65 %. Várias pesquisas, embora realizadas com outras espécies, demonstraram que o enraizamento de estacas em níveis baixos de irradiância solar é o mais adequado para estimular o enraizamento de estacas (HANSEN et al.,1978; HANS, 1983; PALANISAMY & KUMAR, 1987).

Apesar do clone B ter se desenvolvido bem quando exposto a condições de campo, o enraizamento em nível baixo de radiação seria mais recomendado, visto que esta faixa contempla também o clone A. Analisando as variáveis ecofisiológicas é possível verificar mecanismos diferentes nos dois clones estudados. Este entendimento pode

ajudar as empresas a adaptarem melhor os ambientes de produção, de forma que, ofereça melhores condições de crescimento às mudas nas diferentes etapas de produção.

5. CONCLUSÕES

- Os ganhos de enraizamento com maiores níveis de sombreamento são mantidos durante todo o ciclo de crescimento das mudas para os dois materiais genéticos estudados.
- A produção de antocianina durante a etapa de enraizamento foi maior em plantas enraizadas em condição de maior irradiância solar. Isso indica que a síntese desse flavonoide é um mecanismo de proteção à fotoinibição utilizado pelos híbridos de eucalipto, sendo isso mais evidente no clone B.
- Os dois clones são anfiestomática, contudo, o clone B apresenta maior número de estômatos que o clone A e também maior percentagem dessas estruturas na face superior da folha. Isso pode indicar que clone B permite manter a taxa de transpiração com maior potencial de aquisição de CO₂ para biossíntese. Por outro lado, o clone A mantém as condições de transpiração por mais tempo, visto que os estômatos na parte inferior, a resposta a radiação solar seria mais demorada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFENAS, A. C.; ZAUZA E. A. V.; MAFIA, G. R.; ASSIS, T. F. Clonagem e Doenças do Eucalipto. **Editora UFV**, Viçosa, MG, 2ª edição p. 66, 2009.

ASSIS, T. F.; FETT-NETO, A. G.; ALFENAS, A. C. Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwoods with emphasis on *Eucalyptus*. **Plantation Forest Biotechnology for the 21 century**, Kerala, India, 2004.

ASSIS, T. F. Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the Eucalyptus clonal forestry. **BMC proceedings, suppl 7**; p.118, 2015. [Disponível em: 10.1186/1753-6561-5-S7-I18](https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-I18).

BARNES, P.W.; FLINT, S. D.; RYEL, R. J.; TOBLER, M. A.; BARKLEY, A.E.; WARGENT, J. J. Rediscovering leaf optical properties: New insights into plant acclimation to solar UV radiation. **Plant Physiology Biochemistry** p.1-7, 2015. [Disponível em : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S098194281400357X](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S098194281400357X).

BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Maryland, v. 24, p.355-377, 1977.

CUNHA, C.M.C.M.; XAVIER, A; LEITE, F.P; SANTANA, R. C.; LEITE H. G. Padrões de miniestacas e sazonalidade na produção de mudas clonas de *Eucalyptus grandis* HIL x *E. urophylla* S.T. BLACK. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 37, n.1, p.67-77, 2013.

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

HANSEN, J.; STROMQUIST, L.H.; ERICSON, A. Influence of the Irradiance on carbohydrate content and rooting of cuttings of Pine Seedlings (*pinus Sylvestris L.*). **Plant Physiol**, Umea – India, n. 61, p. 975-979, 1978.

LARCHER, W.; *Ecofisiologia Vegetal*. **São Carlos Rima Artes e Textos**, p. 354, 2000.

MARÇO, P. H.; POPPI P. H. M.; SCARMINIO, I. S. Procedimentos Analíticos para identificação de antocianinas presentes em extratos naturais. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 31, n° 5, p. 1218-1223, 2008.

MARENCO, R. F.; LOPES N. F. Fisiologia vegetal; Fotossíntese, Respiração, Relações hídricas e Nutrição mineral. **Editora UFV**, Viçosa-MG, p. 225, 2005.

MOTT, K. A.; GIBSON, A. C.; O'LEARY, J. W. The adaptative significance of amphistomatous leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 5, p. 455 - 460,

1982. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-3040.ep11611750/epdf>. Acesso em 18/06/2016.

PEER, W. A.; MURPHY, A. S. Flavonóides and auxin transport: modulators or regulators? **Trends in plant Science**, Lafayette, IN, v. 12, n. 12, 2008.

PALANSAMY, K.; KUMAR, P. Efecto position, size of cuttings and environmental factors on adventitious in nem (*Azadirachata indica A. juss*). **Forest Ecology and management**, Jabalpur- India, n. 98, p. 277-280, 1997.

SMITH, W.K. Temperatura and water relations patterns in subalpine understory plants. **Oecologia**, Laramie, WY, EUA, v 48, p. 353 – 359, 1981.

Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia Vegetal, 5º Edição, p. 254, **Editora. ARTMED**, 2013.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E.F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de Eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, 2008.

TONELLO, K. C. E FILHO, J. T. Transpiração e condutância estômática de *Eucalyptus sp* em resposta a radiação global e diferentes condições hídricas. **Irriga Botucatu**, Botucatu-SP, v. 18, n. 4, p. 607 – 623, 2013.

W.J. STEYN; S.J.E. WAND, D.M.; HOLCROFT, G.; JACOBS. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. **New Phytologist**, Lansing, MI n. 155, p. 349-361, 2002.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **J. Plant Physiol**, Stuttgart, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.

XAVIER, A., WENDLING, I.; SILVA, R.J. Silvicultura clonal princípios e técnicas. **Editora UFV**, Viçosa, MG, 2013.

7. CONCLUSÃO GERAL

Neste trabalho, observou-se que o enraizamento das miniestacas de eucaliptos à menores níveis de radiação solar apresentaram maior porcentagem de enraizamento, além de ganhos no tamanho da parte aérea e biomassa da raiz. Esse resultado, aponta que o maior controle da radiação solar na casa de vegetação pode resultar em ganhos para produção de mudas de eucalipto para os dois materiais estudados.

Os maiores teores de antocianinas nos níveis maiores de radiação solar determinadas em miniestacas na casa de vegetação, na etapa de enraizamento, confirmam a condições de estresse em níveis mais alto de radiação solar, evidenciando, este como um mecanismo de defesa da planta em condição de fotoinibição.

A mensuração das variáveis anatômicas e ecofisiológicas podem ajudar a elucidar o desempenho e tipos de mecanismos que os clones utilizam para se desenvolverem no campo, permitindo otimização do ambiente de produção de mudas.

O uso de radiação solar em menor nível, ao que tudo indica, poderá trazer benefícios para o estimular o enraizamento das miniestacas, visto que nos primeiros dias as miniestacas não se encontram em condição de crescimento, por isso, estão muito sensíveis a condição ambiental. Como no verão a radiação incidente pode facilmente ultrapassar a 1000 w m^{-2} , os Aluminet's® que bloqueiam mais radiação solar podem oferecer uma condição ambiental mais adequada para o estímulo do enraizamento, como ficou evidente nas medidas mostrando a maior temperatura quando se tinha mais radiação solar incidente.

Entretanto, o controle da radiação solar deve ser mais criterioso até as raízes começarem a se desenvolverem, por volta dos 15 a 20 dias, devendo ser aumentado, assim que as raízes começarem a formarem-se. Diante disso, o uso de ambientes automatizados para controle das malhas de sombreamento, podem ser uma alternativa para futuros trabalhos.

Entende-se também a necessidade de realizar mais estudos em clones de difícil enraizamento e em mais estações do ano. Em estações mais frias, sugere-se a hipótese das miniestacas toleram um intervalo de radiação solar maior, pelo fato, da temperatura ser menor, e com isso, a condição de estresse diminui.