



ACÚMULO DE RADIAÇÃO SOLAR PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Cordia americana* SOB DIFERENTES MANEJOS

J. W. Trautenmüller^{1*}, J. Borella², F. R. Lambrecht³, J. Valerius¹, S. Costa Júnior¹

¹ UFPR – Univ Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais, Curitiba, PR, Brasil

² UFPR – Univ Federal do Paraná, Departamento de Fitotecnia, Curitiba, PR, Brasil

³ UFSM – Univ Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Florestal, Frederico Westphalen, RS, Brasil

Article history: Received 04 May 2016; Received in revised form 04 June 2016; Accepted 06 June 2016; Available online 30 July 2016.

RESUMO

O crescimento das plantas depende do saldo de biomassa acumulada pela fotossíntese. Dessa maneira, a produção de biomassa vem a ser uma função da eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi) em fotoassimilados, variando conforme as condições nas quais as plantas são cultivadas. O presente trabalho teve como objetivo quantificar a incidência de radiação solar global para a produção de mudas de *Cordia americana* submetidas a diferentes tamanhos de tubetes e densidades de plantas. Para tanto, foi conduzido um experimento, em delineamento de blocos ao acaso, para estudar a produção de mudas em dois tamanhos de tubetes: grande (TG) e médio (TM), e duas densidades de plantas na bandeja, alta (DA), com 100% de ocupação da bandeja e média (DM), com 50% onde foram determinados a RFAi, radiação solar global incidente e a biomassa seca total das mudas. Foi constatado que são necessários 1590,5, 1607,1, 2135,4 e 2094,5 MJ.m⁻² para a produção de mudas padrão de *Cordia americana* para os tratamentos TGDA, TGDM, TMDA e TMDM, respectivamente.

Palavras-chave: Radiação fotossinteticamente ativa, densidade de plantas, tamanho de tubete.

ACCUMULATION OF GLOBAL SOLAR RADIATION FOR THE PRODUCTION OF SEEDLINGS OF *Cordia americana* UNDER DIFFERENT MANagements

ABSTRACT

The plant growth depends on the balance of accumulated biomass through photosynthesis. Thus, biomass production has to be a conversion efficiency of the intercepted function of photosynthetically active radiation (RFAi) for photoassimilates, varying according to the conditions under which plants are grown. This study aimed to quantify the incidence of solar radiation for the production of *Cordia americana* seedlings subjected to different sized tubes and plant densities. Therefore, an experiment was conducted in randomized block design at random, to study the production of seedlings in two tubes sizes: large (TG) and medium (TM), and two plant densities in the tray, high (DA) 100% of the tray and average occupancy (DM), 50% which were determined RFAi, global solar radiation and total dry biomass of seedlings. It has been found that are required 1590.5, 1607.1, 2135.4 and 2094.5

* jwtraute@gmail.com

MJ.m⁻² for the production of standard American *Cordia* seedlings for treatments TGDA, TGDM, TMDA and TMDM, respectively.

Keywords: Photosynthetically active radiation, density of plants, size tubete.

INTRODUÇÃO

A implantação de essências florestais para recuperação de áreas degradadas, em especial do gênero *Cordia*, tem sido realizada com mudas produzidas em estufas plásticas. Este ambiente físico causa alterações nos elementos meteorológicos, entre eles a radiação solar. Assim, no interior do ambiente protegido, esse elemento é um dos primeiros a sofrerem modificação (CARON et al., 2012; SANQUETTA et al., 2014), sendo considerado fator limitante no crescimento e desenvolvimento das mudas. O crescimento das plantas ocorre em função do saldo de biomassa acumulada pela fotossíntese, portanto, produtividade vegetal e o rendimento de um cultivo dependem das taxas fotossintéticas em um ambiente (TAIZ & ZEIGER, 2013).

O êxito de um plantio depende diretamente do potencial genético, poder germinativo e qualidade das mudas (SANTOS et al., 2000). As mudas devem apresentar sistema radicular bem formado, raízes sem enovelamento e raízes secundárias bem distribuídas, proporcionando uma maior resistência das mesmas a fatores ambientais adversos (BAMBERG et al., 2013). Assim, a qualidade da muda está diretamente relacionada à sobrevivência, estabelecimento e frequência com que os tratos silviculturais são aplicados no crescimento inicial da floresta (CARON et al., 2012; BEHLING et al., 2012).

A escolha do recipiente esta relacionada com a qualidade, quantidade, aspectos econômicos, facilidade de manuseio e mecanização pelo qual as mudas passam. A disponibilidade de nutrientes e água é influenciada pelo volume do recipiente, sendo que o maior volume promove melhor forma e distribuição do sistema radicular (BRACHTVOGEL & MALAVASI, 2010; FERRAZ et al., 2015).

Porém, maiores volumes de recipiente acarretam maiores custos de produção, transporte, distribuição e plantio (BRACHTVOGEL & MALAVASI, 2010; BEHLING et al., 2012).

A utilização de tubetes é frequente em viveiros que precisam produzir grandes quantidades de mudas e com qualidade (ATAÍDE et al., 2010). A utilização de tubetes permite reduzir custos e tempo de cultivo, dessa forma, otimizando os viveiros florestais e aumentando a qualidade das mudas (BEHLING et al., 2012).

A densidade de plantas é recorrente da quantidade de tubetes que são colocados na bandeja, indicando o grau de competição por espaço e sua capacidade de interceptar a radiação solar (SANQUETTA et al., 2014). Além disso, o desenvolvimento e arquitetura das plantas são influenciados diretamente pela densidade, apresentando assim, diferentes padrões de resposta aos variados espaçamentos (ATAÍDE et al., 2010) resultando em distintas taxas de crescimento (BEHLING et al., 2012).

A densidade das plantas afeta a distribuição da área foliar no dossel vegetativo e a maneira na qual os indivíduos interceptam a radiação solar (KUNZ et al., 2007). Assim, para aumentar a quantidade de energia captada pelas plantas por unidade de área e no tempo, uma das técnicas é a modificação da distribuição dos indivíduos, a qual consiste em aumentar o índice de área foliar para que a cultura intercepte o máximo da radiação solar incidente (KUNZ et al., 2007; BEHLING et al., 2012).

Dessa maneira, esse trabalho teve como objetivo quantificar a incidência de radiação solar global para a produção de mudas de *Cordia americana* (Linnaeus) Gottshling & J.E. Mill cultivadas em diferentes tamanhos de tubetes e densidades de plantas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado com a espécie *Cordia americana* (Linnaeus) Gottshling & J.E. Mill no período de setembro de 2014 a fevereiro de 2015, em ambiente protegido do tipo Pampeana, com cobertura de polietileno de baixa densidade, com 150 μm de espessura. O experimento foi conduzido no viveiro florestal da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, sob coordenadas geográficas 27°23'46" S e 53°25'38" W a 480 m de altitude.

O clima da região é Subtropical muito úmido, com regime de chuvas equilibrado, porém, há redução da precipitação na estação do inverno. A média anual de precipitação varia entre 1.700 e 1.900 mm. A temperatura do mês mais frio varia de 14 a 17° C e do mês mais quente de 23 a 29° C e a temperatura média anual oscila entre 20 e 23° C (ROSSATO, 2014).

O acúmulo em massa seca total de mudas de *Cordia americana* foi avaliado em dois tamanhos de tubetes cônicos de plástico rígido, sendo eles médios e grandes, com capacidade de 90 (TM) e 170 cm^3 (TG), respectivamente. Para os dois tamanhos de tubetes foram testados dois níveis de densidades de plantas na bandeja, com 100 e 50% de ocupação, denominados como densidade alta (DA) e média (DM). A densidade alta equivaleu a 434 e 237 plantas por m^2 para os tubetes médio e grande, respectivamente e, para a densidade média, 217 e 118 plantas por m^2 , respectivamente.

No planejamento dos tratamentos, utilizou-se esquema bifatorial de 2 x 2: dois tamanhos de tubete, duas densidades de plantas na bandeja, realizados em cinco repetições, sendo o experimento conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso. Cada bloco foi constituído por quatro unidades experimentais, distribuindo-se ao acaso a combinação do tamanho de tubete e densidades de plantas na bandeja.

Cada unidade experimental foi composta por 35 e 28 plantas, respectivamente para 100 e 50% de ocupação na bandeja, sendo as 10 centrais avaliadas. Os tratamentos formaram as

seguintes combinações; tubete grande (190 cm^3) em arranjo de densidade alta (100%) (TGDA), tubete grande em arranjo de densidade média (50%) (TGDM), tubete médio (90 cm^3) em arranjo 100% (TMDA) e tubete médio em arranjo 50% (TMDM).

A produção das mudas foi realizada a partir de sementes oriundas da empresa MP[®] sementes. Na semeadura, realizada em 26 de setembro de 2014, colocaram-se quatro sementes por tubete preenchidos com substrato comercial (Tecnomax[®]); aos 40 dias após a semeadura, foi efetuado um raleio das plântulas, deixando-se somente a melhor e mais central. Durante o experimento, as regas diárias foram efetuadas na forma automatizada, mantendo sempre a capacidade de campo do substrato. A partir dos 60 dias após a semeadura, realizaram-se cinco avaliações das variáveis alométricas, sendo elas diâmetro do colo, altura de planta e biomassa de planta, com intervalos de 20 dias, quando duas mudas por tratamento e repetição foram amostradas. No total, 200 mudas foram avaliadas.

A fim de determinar a quantidade necessária de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi) acumulada para expedir mudas a campo utilizou-se a seguinte expressão (CARON et al., 2012; CARON et al., 2014):

$$\text{RFAiacn} = \text{BIO} / \epsilon b$$

Em que: RFAiacn: radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada acumulada necessária para atingir a BIO (MJ.m^{-2}); conforme desenvolvimento apresentado por BEHLING (2011). BIO: biomassa total de mudas com padrões em altura e diâmetro de colo recomendados para o plantio (g.m^{-2}) e ϵb : eficiência de conversão da RFAi em biomassa produzida (g.MJ^{-1}), cuja citada por TRAUTENMULLER (2016).

A estimativa de BIO foi obtida para cada tratamento através do emprego de equações de biomassa seca total de mudas de *Cordia americana*, que foram gradados

com dados provenientes do próprio experimento utilizando o método de seleção de variáveis *stepwise* a 5% de probabilidade. Para o cálculo de estimativa da BIO utilizou-se o tamanho médio de altura de 20 cm e cinco mm de diâmetro de colo, padrões recomendados por SCREMIN-DIAS et al. (2006).

Como a radiação solar incidente dentro da estufa (Rge) é de mais fácil obtenção quando comparada com a RFAiacn, estas apresentam relação linear. Assim estabeleceu-se a seguinte relação para estimar a quantidade necessária de Rge acumulada para expedir mudas a campo (CARON et al., 2012; CARON et al., 2014):

$$Rgea = RFAiacn / \alpha$$

Em que: Rgea: radiação solar incidente acumulada dentro da estufa (MJ m⁻²); RFAiacn: radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada acumulada necessária para atingir a biomassa seca de mudas padrões (MJ.m⁻²), conforme proposto por BEHLING (2011); e α : coeficiente angular da relação entre a RFAiacn e a Rgea (adimensional).

A radiação solar global dentro da estufa (Rge) foi estimada considerando a transmissividade da cobertura plástica de

75% da radiação solar global incidente sobre a cobertura da estufa (Rg), que foi medida no início da condução do experimento utilizando-se um piranômetro (LI200X, Li Cor). Os valores de Rg foram obtidos junto a Estação Climatológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) situada a cerca de 150 m do experimento. Desta maneira, a Rge foi calculada com base na seguinte expressão (CARON et al., 2012; CARON et al., 2014):

$$Rge = 0,75 \times Rg$$

Em que: Rge: radiação solar global dentro da estufa (MJ.m⁻²); e Rg: radiação solar global incidente sobre a cobertura da estufa (MJ.m⁻²).

A biomassa seca total das plantas foi determinada a partir da soma dos compartimentos: folha, caule e raiz (SANQUETTA et al, 2014). Todos os compartimentos alocados em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 60 °C até atingir peso constante (SILVA et al., 2007; RESENDE et al., 2011). Posteriormente, pesou-se o material em balança de precisão, para obtenção do peso da matéria seca.

Para o ajuste dos modelos alométricos utilizou-se o *Software Excel* versão 2013.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estimativa de biomassa (BIO) foi obtida por equações alométricas para cada tratamento, pois quando se fez o ajuste com todos os tratamentos não se observou a

melhora dos mesmos. Além disso, podem-se gerar estimativas para cada tratamento, no qual estão demonstrados na Tabela 1 juntamente com algumas combinações.

TABELA 1. Modelos para estimativa de biomassa seca total de mudas de *Cordia americana* (Linnaeus) Gottshling & J.E. Mill

Tratamento	Modelo	R ²	Syx%
TMDA	BIO = 0,37399*dc	0,85	21,67
TMDM	BIO = 0,36956*dc	0,83	25,37
TGDA	BIO = 0,49721*dc	0,83	25,94
TGDM	BIO = 0,44165*dc	0,86	19,41
TMDA+TMDM	BIO = 0,37164*dc	0,90	23,05
TGDA+TGDM	BIO = 0,46891*dc	0,90	23,05
TMDA+TMDM+TGDA+TGDM	BIO = 0,2902*dc+0,04468*h	0,92	25,29

Onde: BIO = Biomassa das plantas; h = altura (cm); e dc = diâmetro de colo (mm).

Tendo em vista que a radiação solar incidente dentro da estufa (Rge) é de mais fácil obtenção em relação à radiação fotossinteticamente ativa, estima-se que são necessários, aproximadamente, 1590,5 MJ.m⁻² para produção de biomassa de 118 mudas padrões por m² e 1607,1 MJ.m⁻² para produção de 217 mudas, em TG,

respectivamente e 2135,4 MJ.m⁻² para 237 mudas em TM e 2094,5 MJ.m⁻² para 434 mudas, também em TM. A partir deste total de radiação incidente no interior da estufa prediz-se que as mudas estão com padrões recomendados de altura (20 cm) e diâmetro de colo (5 mm) para serem submetidas a campo (Figura 1).

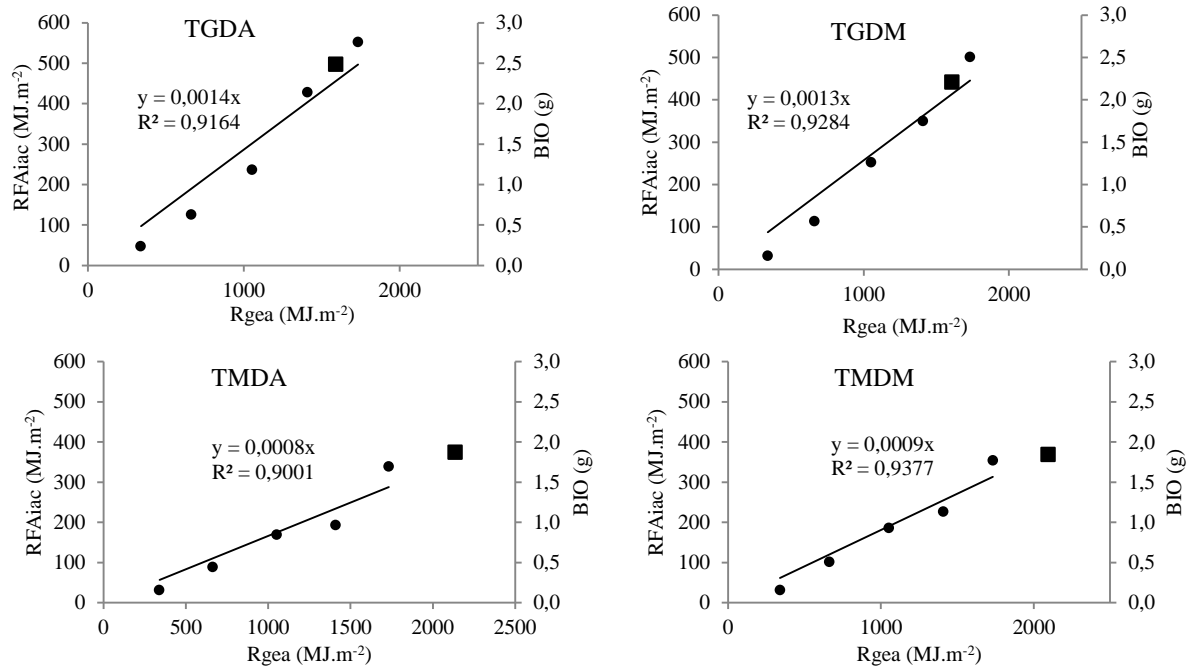


FIGURA 1. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFAiac) e radiação solar incidente (demonstrado por bolas) dentro da estufa acumulada (Rgea) e estimativa da Rgea necessária (demonstrado por quadrados) para produção de biomassa seca de mudas padrões (BIO) de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Frederico Westphalen – RS.

Em trabalho desenvolvido com *Eucalyptus grandis*, Behling et al. (2012) encontraram 896 e 689 MJ.m⁻² para expedição de mudas padrão para tubete pequeno (50 cm³), com 736 e 368 mudas por m², respectivamente, 647 MJ.m⁻² para 528 plantas por m² em TM (90 cm³) e 557 MJ.m⁻² para 264 mudas por m², demonstrando as diferenças existentes entre tamanhos de recipientes.

Ajala et al. (2012) investigaram o crescimento de mudas de *Jatropha curcas* L. produzidas em diferentes tamanhos de recipientes (120, 180 e 1.178 cm³) e concluíram que os volumes devem ser considerados no planejamento da produção,

pois o crescimento foi semelhante nos diferentes recipientes. Dessa forma, tubetes menores propiciam maiores número de plantas por unidade de área e facilitando o manejo, tanto em viveiro como no transporte. Já Paulino et al. (2011) testaram diferentes recipientes (120, 180, 290 e 500 cm³) e concluíram que o recipiente de 290 cm³ produziram as melhores mudas de *Jatropha curcas* L. Dessa maneira, devem ser indicados recipientes maiores para a produção de mudas de espécies com crescimento lento a moderado.

No cultivo de mudas, o suprimento de água e nutrientes não se apresentam como fatores limitantes, devido à possibilidade de

controle desses elementos. Assim, a produção de biomassa é controlada pela radiação solar, o que foi observado e também proposto por Monteith (1965). Desta maneira, o crescimento de mudas de *Cordia americana* dependerá da quantidade de radiação fotossintética interceptada e da eficiência de utilização dessa energia no processo fotossintético para produção de biomassa.

O planejamento da produção de mudas da espécie pode ser realizado com boa confiabilidade, tendo em vista os altos coeficientes de determinação obtidos. Para

tanto, é necessário saber a transmissividade do plástico da estufa (que pode ser dada pelo fabricante) e os valores de radiação solar global, que podem ser adquiridos junto a estações meteorológicas mais próximas ou em cartas de radiação solar.

Os resultados da eficiência do uso da radiação obtidos neste trabalho poderão ser aplicados para diversos tópicos de pesquisa, como recomendado por Manzanares et al., (1993), tais como, análise de crescimento de plantas, previsão do tempo de cultivo, competição entre plantas e estimativa do potencial de produção.

CONCLUSÃO

São necessários 1590,5, 1607,1, 2135,4 e 2094,5 MJ.m⁻² para a produção de mudas padrão de *Cordia americana* para os tratamentos TGDA, TGDM, TMDA e TMDM, respectivamente.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a CAPES pela concessão de bolsa do primeiro autor e ao LAGRO (Laboratório de Agrometeorologia da UFSM, campus Frederico Westphalen) por ceder os dados.

REFERÊNCIAS

AJALA, M.C.; AQUINO, N.F.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Efeito do volume do recipiente na produção de mudas e no crescimento inicial de *Jatropha curcas* L. no Oeste Paranaense. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33(6), 2039-2046, 2012.

ATAÍDE, M. G; CASTRO, R.; SANTANA, R.; DIAS, B.; CORREIA, A.; MENDES, A. Efeito da densidade na bandeja sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Trópica**, Chapadinha, v. 4(2), 21, 2010.

BAMBERG, R.; BEHLING, A.; PERRANDO, E.R.; SANQUETTA, C.R.; NAKAJIMA, N.Y.; SCHREINER, T.; PELISSARI, A.L. Relação entre nutrição e tempo de permanência de mudas de *Bauhinia forficata* em casa de vegetação. **Silva Lusitana**, v.21(1), 87-101, 2013.

BEHLING, A. **Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de *Eucalyptus grandis* w. hill ex maiden**. Frederico Westphalen: 2011. 44f. Trabalho

de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul - CESNORS.

BEHLING, A.; CARON, B.O.; SOUZA, V.Q.; BAMBERG, R.; ELOY, E. Acúmulo de radiação solar para a produção de mudas de Eucalipto. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.8(15), 1-8, 2012.

BRACHTVOGEL, E.L.; MALAVASI, U.C. Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert em viveiro. **Revista Árvore**. Viçosa, v.34(2), 223-232, 2010.

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

CARON, B.O.; SCHIMIT, D.; MANFRON, P. A.; BEHLING, A.; ELOY, E.; BUSANELLO, C. Eficiência do uso da

- radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* A. ST. HIL. cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24(2), 257-265, 2014.
- FERRAZ, M.V.; CEREDA, M.P.; IATAURO, R.A. Produção de mudas de petúnia comum em tubetes biodegradáveis em substituição aos sacos plásticos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.9(1), 74-83, 2015.
- KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42(11), 1511-1520, 2007.
- MANZANARES, M. et al. Yield and development of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) crop in relation to water and interception radiation. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 5(5), 337-345, 1993.
- MONTEITH, J. L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annals of Botany**, v.29, 17- 37, 1965.
- PAULINO, J.; FOLEGATTI, M.V.; FLUIMIGNAN, D.L.; ZOLIN, C.A.; BARBOZA JÚNIOR, C.R.A.; PIEDADE, S.M.S. Crescimento e qualidade de mudas de pinhão-manso produzidas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.15(1), 37-46, 2011.
- RESENDE, S. V.; CREPALDI, I. C.; PELACANI, C. R.; BRITO, A. L. Influencia da luz e substrato na germinação e desenvolvimento inicial de duas espécies de *Calliandra* Benth: (Mimosoideae-Leguminosae) endêmicas da Chapada Diamantina, Bahia. **Revista Árvore**, v. 35(1), 107-117, 2011.
- ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, F. (Org.). **Os climas do Sul: Em tempos de mudanças climáticas globais**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217-271.
- SANQUETTA, C.R.; BEHLING, A.; CORTE, A.P.D.; CADORI, G.C.; JUNIOR, S.C.; MACEDO, J.H.P. Eficiência de conversão da radiação fotossintética interceptada em fitomassa de mudas de *Eucalyptus dunii* Maiden em função da densidade de plantas e do ambiente de cultivo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42(104), 573-580, 2014.
- SANTOS, C. B. et al. Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L. F.) D. Don. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10(2), 1-15, 2000.
- SCREMIN-DIAS, E.; KALIFE, C.; MENEGUCCI, Z.R.H.; SOUZA, P.R. **Produção de mudas de espécies florestais nativas**. Ed. Campo Grande: UFMS, 59.p, 2006.
- SILVA, B. M. S.; LIMA, J. D.; DANTAS, V. A. V.; MORAES, W. S.; SABONARO, D. Z. Efeito da luz no crescimento de mudas de *Hymenaea parvifolia* Huber. **Revista Árvore**, Vicosa, v. 31(6), 1019-1026, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TRAUTENMÜLLER, J.W. Eficiência de conversão da radiação fotossintética em biomassa de mudas de Guajuvira. **Dados não publicados**, 2016.