

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

SÉRGIO COSTA JUNIOR

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA LÍQUIDA DE FITOMASSA DE
MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE
PLANTAS, DO AMBIENTE DE CULTIVO E DAS ESTAÇÕES DO ANO**

CURITIBA

2015

SÉRGIO COSTA JUNIOR

**EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA LÍQUIDA DE FITOMASSA DE
MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE
PLANTAS, DO AMBIENTE DE CULTIVO E DAS ESTAÇÕES DO ANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito para a conclusão da disciplina ENGF006 e requisito parcial obtenção de título de Engenheiro Florestal.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Paula Dalla Corte
Co-orientador: Prof. PhD. Carlos Roberto Sanquetta

CURITIBA

2015

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, na pessoa de seu coordenador Prof. Umberto Klock, e a todos os demais professores do curso. Em especial ao Prof. José Henrique Pedrosa Macedo pelos importantes conselhos e ensinamentos, pelo auxílio prestado e por dispor de sua estrutura para condução do experimento.

A empresa KLABIN, pelo apoio na doação das sementes utilizadas no experimento.

Aos amigos pelos muitos conselhos e auxílios prestados, em especial Aurélio Lourenço Rodrigues, Allan Libanio Pelissari, Jonatham Willian Trautenmuller.

Aos amigos e colegas do laboratório que contribuíram diretamente para a realização deste estudo, em especial ao Guilherme Camacho Cadore que muito colaborou tomando a frente em muitos momentos da condução do experimento.

Ao estimado Prof. Carlos Roberto Sanquetta, pelos ensinamentos e conselhos, pelas oportunidades, pela orientação neste e nos demais trabalhos e por disponibilizar a estrutura do laboratório para a realização deste estudo.

A estimada Prof.^a Ana Paula Dalla Corte, pelos seus conselhos e ensinamentos, pela sua dedicação e inúmeras contribuições na orientação deste TCC o que tornou possível a realização do mesmo.

Aos meus pais Andrea Juziane Frazon Costa e Sérgio Costa e minha irmã Athina Costa, por me possibilitarem as condições necessárias para finalizar o curso de Engenharia Florestal e por estarem sempre presentes em cada momento fácil ou difícil.

A minha querida e estimada namorada Débora Orso, que esteve comigo desde o primeiro dia que entrei na universidade, durante os bons e maus momentos, sendo uma ótima companheira muito dedicada e paciente.

E por fim, a Deus por ter me dado saúde e discernimento para alcançar meus objetivos, pois sem isso nada teria sido possível. Muito Obrigado!

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi testar a influência da densidade de plantas, do ambiente de cultivo e da estação do ano na eficiência de conversão (ϵb) de radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Foi conduzido um experimento em que foram avaliadas 2 densidades de mudas por bandeja (100% e 50% de ocupação da bandeja), 2 ambientes de cultivo (ambiente natural e ambiente estufa) e 2 estações de cultivo (verão e outono). No experimento, foram realizadas determinações da produção primária líquida de fitomassa, índice de área foliar e radiação fotossinteticamente ativa, o que possibilitou calcular a ϵb da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa. Foi evidenciada a rejeição da hipótese da nulidade, ou seja, os fatores pesquisados (densidade de plantas, ambiente de cultivo e estações do ano) influenciaram nos valores da ϵb . A melhor ϵb foi de 7,59 g MJ⁻¹ obtida no experimento conduzido no verão, em ambiente estufa e na densidade de 100% de ocupação da bandeja. Não foi observada a dependência dos fatores na ϵb , ou seja, as melhores ϵb foram no ambiente estufa e na densidade de 100%, independente da estação do ano. Portanto, os fatores estudados influenciam a produção primária líquida de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden, resultando em maior ou menor tempo de permanência das mudas no viveiro.

Palavras-chaves: Radiação fotossintética, produção de mudas, densidade, *Eucalyptus dunnii*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS.....	9
2.1	Objetivo geral	9
2.2	Objetivos específicos	9
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3.1	Gênero e espécie	10
3.2	Produção de mudas.....	12
3.3	Variáveis meteorológicas	14
3.4	Variáveis biométricas	17
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6	CONCLUSÕES	34
7	RECOMENDAÇÕES.....	35
8	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil vem ganhando notório destaque quando o assunto é a produtividade de florestas plantadas, resultado de importantes pesquisas que passam por diversas áreas da ciência florestal. Os povoamentos florestais, em especial do gênero *Eucalyptus*, que respondem por 71,9% da área florestal plantada no país (IBÁ, 2015), vem sendo implantados com mudas produzidas em estufas plásticas. Entretanto, o cultivo em ambiente estufa causa alterações nos elementos meteorológicos como, por exemplo, a radiação solar. De acordo com Caron *et al.* (2002) esse elemento é um dos primeiros a ser modificado, o que afeta diretamente o crescimento e o desenvolvimento das mudas, uma vez que é uma função do saldo de fitomassa acumulada pela fotossíntese.

Dessa forma, o efeito do ambiente de cultivo nos processos fotossintéticos é do interesse de profissionais ligados às áreas das ciências agrárias, pois a produtividade vegetal e o rendimento de um cultivo dependem das taxas fotossintéticas em um ambiente (TAIZ e ZEIGER, 2004). Nesse sentido, a produção de fitomassa de uma planta depende da quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa absorvida pelas folhas e da eficiência com que a planta converte essa energia radiante em fotoassimilados, por meio da fotossíntese.

De acordo com Monteith (1965, 1977) plantas em um bom estado fitossanitário que possuem quantidades adequadas de água e nutrientes à disposição, terão a produção de fitomassa seca determinada pela radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Dessa maneira, a RFA interceptada, que é convertida em fitomassa revela a eficiência do uso da radiação (ϵb) pela espécie (MONTEITH, 1977). Alguns trabalhos desenvolvidos por Stape (2002); Stape, Binkley e Ryanh (2008); Behling (2011), Campoe *et al.* (2013), Caron *et al.* (2014) e Sanquetta *et al.* (2014) identificaram que essa relação tem se demonstrado como uma função linear, na qual o coeficiente angular da curva entre a RFA interceptada e a matéria seca acumulada determina a eficiência de uso da radiação para a produção de fitomassa.

Um dos fatores que influenciam a ϵb é o índice de área foliar, característica que pode ser manipulada por meio da densidade de cultivo das plantas por bandeja. Desse modo, experimentos com diversos espaçamentos têm sido conduzidos com o intuito de encurtar o período para que a cultura intercepte o máximo da radiação solar incidente por unidade de área e tempo, resultando conseqüentemente numa maior produtividade. Assim estudos como os de Caron *et al.* (2002, 2012, 2014) têm sido conduzidos em razão de que a eficiência fotossintética é, principalmente, uma função direta da densidade de plantas, posto que o índice de área foliar é o fator que determina a ϵb , conforme destacam Villa Nova, Moreira e Pereira (2003).

Desta maneira, esse estudo teve como objetivo avaliar os efeitos das variáveis: densidade de plantas, ambiente de cultivo e estações do ano no uso eficiente da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada por mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência da densidade de plantas, do ambiente de cultivo e da estação do ano na eficiência de conversão (ϵb) de radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar a incidência de radiação solar global no decorrer do período de avaliação do experimento;
- Estudar a relação entre o incremento em fitomassa seca e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada nos diferentes tratamentos;
- Identificar a correlação entre índice de área foliar, radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada e dias após a emergência.
- Determinar a eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada na fitomassa em função dos tratamentos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Gênero e espécie

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, é originário da Austrália, onde são conhecidas mais de 600 espécies adaptadas a diversas condições de solo e clima distribuídas entre as latitudes de 13° a 44° Sul sob altitudes de 30 a 2.000 m (ELDRIDGE *et al.*, 1994; MARCHIORI e SOBRAL, 1997). De acordo com Mora e Garcia (2000) a maior parte dessas espécies é de árvores típicas de florestas altas, com porte de 30 a 50 m de altura.

Segundo Mora e Garcia (2000) o primeiro país da América do Sul a introduzir o eucalipto foi o Chile em 1823 e, posteriormente, a Argentina e o Uruguai. No Brasil, admite-se que as primeiras mudas foram plantadas no Rio Grande do Sul em 1868 e, também, no mesmo ano na Quinta da Boa Vista, Rio de Janeiro.

O cultivo em escala econômica no Brasil do gênero *Eucalyptus* teve início a partir de 1904 (REVISTA DA MADEIRA, 2007), devido à escassez de lenha para atender à demanda das locomotivas o que obrigou a Companhia Paulista de Estradas de Ferro a buscar soluções. A fim de manter a matriz energética imposta pela economia das máquinas a vapor, Edmundo Navarro de Andrade introduziu 150 variedades do gênero, doadas pelo diretor do Jardim Botânico de Sidney na Austrália (WINK, 2009). Desde então, várias espécies são utilizadas nos florestamentos e reflorestamentos brasileiros (BEHLING, 2011).

Conforme IBÁ (2015) a área com plantios de *Eucalyptus* ocupa em torno de 5,56 milhões de hectares, correspondendo a 71,9% das áreas plantadas com espécies florestais no Brasil. Nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul encontram-se as maiores áreas de florestas plantadas de *Eucalyptus*.

O Brasil encontra-se entre os primeiros países com grandes áreas de plantios florestais, permanecendo atrás da China, Estados Unidos da América e da Rússia (FAO, 2005). No entanto, o crescimento das florestas brasileiras é superior quando comparado ao de países tradicionais como Finlândia, Portugal

e Estados Unidos da América, que alcançam em média rendimentos de 5, 10 e 15 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente (REVISTA DA MADEIRA, 2007).

Nos últimos anos a evolução do IMA (incremento médio anual) nos cultivos de *Eucalyptus* alcançou valores elevados, gerando saltos de produtividade. Em 1980 o IMA era de 25 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, que passou a 40 em 2000 e, em 2009 chegou a atingir 55 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (FONSECA, 2009). Para Behling (2011), o rápido crescimento, a capacidade de adaptação e o potencial econômico de utilização da madeira do gênero vêm fazendo com que o país ganhe destaque no mercado.

As florestas de eucaliptos constituem boas alternativas para suprir diversas demandas da sociedade (SANTOS, 2005). De acordo com Couto (2014) alguns dos principais usos da madeira de *Eucalyptus* no Brasil são: lenha, carvão para uso doméstico e como biorredutor, celulose e papel, chapas de fibras e aglomerados, laminados, compensados, madeira tratada, madeira serrada, cavacos de madeira, pellets, briquetes e biocombustíveis.

De acordo com Paludzyszyn Filho, Santos e Ferreira (2006), Rosa (2006) uma das espécies do gênero *Eucalyptus* que tem se destacado economicamente nas últimas décadas especialmente nas condições mais frias do sul do Brasil e tendo sido objeto de pesquisa é o *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Segundo Lorenzi *et al.* (2003) a espécie *Eucalyptus dunnii* é amplamente cultivada no Sul do Brasil, principalmente nas regiões do planalto catarinense e paranaense, uma vez que tolera muito bem o frio característico da região. Devido às características de sua área de origem a espécie é potencialmente apta para o Sul do Brasil. No planalto Sul ela demonstrou resistência ao frio, suportando temperaturas mínimas de até -5° C (MORA e GARCIA, 2000).

A espécie tem como característica o tronco reto e cilíndrico, com casca lisa, rosa acinzentada na base, verde acinzentada na região superior, descamando em placas longas finas e enroladas (LORENZI *et al.*, 2003). Pode atingir 50 m de altura e 1 a 1,5 m de diâmetro à altura do peito (dap), com fuste livre de galhos de 30 a 35 m (IPEF, 2014).

Na Austrália a espécie tem uma distribuição restrita na região Nordeste de New South Wales e Sudeste de Queensland. A distribuição ocorre aproximadamente a 250 km a Oeste de Coff's Harbour em NSW até o Oeste de Warwick em QLD, aparentemente em duas áreas isoladas. As latitudes variam

de 28 a 30° 15' C e altitudes de 300 a 750 m (MORA e GARCIA, 2000; IPEF, 2014). O clima é quente e úmido, com média das temperaturas máximas do mês mais quente compreendida entre 27 a 30° C, e a média das mínimas do mês mais frio varia de 0 a 3° C. Ocorre principalmente no fundo de vales e baixas altitudes, mas também ocorre próximo aos cumes originados de basalto (IPEF, 2014).

Segundo Lorenzi *et al.* (2003) o *Eucalyptus dunnii* é uma espécie fornecedora de madeira de boa qualidade e fibras para polpa celulósica, podendo também ser empregada na arborização de parques e grandes jardins. Devido a algumas características, como a tolerância as condições de cultivo em muitas regiões de clima frio no Sul do país e o seu uso pela indústria, a espécie foi objeto da presente pesquisa.

3.2 Produção de mudas

O êxito na formação de florestas de alta produção depende, em grande parte, da qualidade das mudas plantadas. Além de terem que resistir às condições adversas encontradas no campo, após o plantio elas deverão sobreviver e, por fim, produzir árvores com crescimento volumétrico economicamente desejável (GOMES *et al.*, 1991).

Segundo Carneiro (1995) o desempenho de mudas no viveiro é importante para o sucesso dos projetos de implantação de povoamentos florestais. Até o momento a atenção tem sido dirigida para os parâmetros morfológicos das mudas, tais como: altura, diâmetro de colo, maturação da parte aérea e o desenvolvimento do sistema radicial. Segundo Sturion, Graça e Antunes (2000) quando as mudas de *Eucalyptus* atingem em torno de 15 a 25 cm de altura e um diâmetro de colo de 2,5 mm elas estão aptas para o plantio.

Atualmente, os recipientes mais utilizados para a produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus* são os tubetes (STURION; GRAÇA; ANTUNES, 2000; SILVA, 2008). Os recipientes para mudas têm como principais funções o suporte do meio de crescimento das mudas e a moldagem das raízes em desenvolvimento, devendo protegê-las de danos mecânicos, da desidratação e da incidência de luz, assim como facilitar o manuseio das mudas, até o plantio

definitivo (CARNEIRO, 1995). A produção de mudas em recipientes pode ser feita por semeadura direta ou repicagem. Na semeadura direta, as sementes são colocadas em recipientes, onde completarão o crescimento, até atingirem o tamanho apropriado para plantio (STURION; GRAÇA; ANTUNES, 2000).

De acordo com Gomes *et al.* (2003) a utilização de tubetes é frequente em locais que necessitam produzir grandes quantidades de mudas e com padrões de qualidade. Gonçalves (1995) destaca que o emprego desse recipiente permite elevar o grau de automatização dos viveiros florestais, reduzir custos e tempo de cultivo e, ainda, observar uma crescente melhoria na qualidade.

Contudo, a quantidade de tubetes que são colocados na bandeja (suporte do recipiente), determina a densidade de mudas e, conseqüentemente, o grau de competição por espaço e sua capacidade de assimilar radiação solar, água e nutrientes (CARNEIRO, 1995). Além disso, exerce influências direta no desenvolvimento e na arquitetura das plantas, apresentando assim, padrões diferenciados em resposta aos variados espaçamentos (ATAÍDE *et al.*, 2010). Em experimentos, esses autores constataram que a fitomassa acumulada por mudas clonais de *Eucalyptus* e sua repartição em componentes (raiz e parte aérea) aumentou à medida que o espaçamento das plantas na bandeja diminuiu. De acordo com Ataíde *et al.* (2010), deve se considerar que os espaços entre os tubetes representam elevado percentual das áreas das bandejas, desperdiçando água e nutrientes, quando utilizado fertirrigação.

Segundo Stewart *et al.* (2003) a densidade é um dos fatores que afetam a distribuição da área foliar no dossel das plantas e, conseqüentemente, a maneira de como é interceptada a radiação solar. Assim, uma das técnicas para aumentar a quantidade de energia captada por unidade de área e de tempo é a modificação do arranjo dos tubetes na bandeja, a qual consiste em encurtar o tempo para que a cultura intercepte o máximo da radiação solar incidente (KUNZ *et al.*, 2007), por meio do maior índice de área foliar obtido.

Como observado acima, a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa por uma cultura sofre grande influência do espaçamento (OTTMAN; WELCH, 1989). Portanto, a escolha do arranjo de plantas é uma importante

prática de manejo para otimizar o aproveitamento da luz, o espaço do viveiro e, sobretudo, os custos de produção das mudas.

O ambiente em que a planta cresce é de fundamental importância, pois a adaptação das plantas a esse ambiente depende do ajuste do seu aparelho fotossintético, de modo que a luminosidade do ambiente seja utilizada da maneira mais eficaz possível. As respostas dessas adaptações serão refletidas no crescimento global da planta (ENGEL; POGGIANI, 1991).

Com o advento do sistema de cultivo protegido, a produção de mudas vem apresentando um nível tecnológico mais elevado, resultando em material de qualidade com riscos bastante reduzidos. O controle fitossanitário pode ser conduzido com mais eficiência, contribuindo para a produção de mudas saudáveis, conforme destacado por Bezerra (2003).

Os cultivos protegidos são caracterizados pelo cultivo dentro de estufas plásticas. Essas estruturas permitem criar e/ou manter microclimas favoráveis ao cultivo, independente das condições ambientais existentes. Nas estufas, as condições ambientais podem ser alteradas ou mantidas por meio de vários equipamentos, como ventiladores e/ou exaustores, aquecedores, nebulizadores, lâmpadas, tela escura, entre outros. Esses equipamentos podem ser controlados manualmente ou por sensores que os ativam (previamente programados) responsáveis pelo controle do ambiente (BEZERRA, 2003).

3.3 Variáveis meteorológicas

A matéria seca acumulada nas plantas durante seu crescimento possui origem no processo fotossintético. Desse modo, qualquer fator ambiental que afeta a fotossíntese influenciará o crescimento e o acúmulo de fitomassa (SYVERTSEN; LLOYD, 1994). De acordo com Taiz e Zeiger (2004) o crescimento de uma planta é o resultado do saldo de biomassa acumulada pela fotossíntese. Assim, a dependência de processos fotossintéticos em relação ao ambiente é de interesse para profissionais ligados às ciências agrárias, pois a produtividade vegetal e, em consequência, o rendimento de um cultivo dependem das taxas fotossintéticas em um ambiente.

A intensidade da luz é um dos fatores ambientais que afeta o crescimento da árvore por seus efeitos diretos sobre a fotossíntese, abertura estomática e a síntese da clorofila. Seus efeitos na distensão e diferenciação da célula afetam o crescimento em altura, a dimensão da folha e a estrutura das folhas e dos caules (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960).

A radiação utilizada pelas plantas para o processo fotossintético está contida na faixa da luz visível (400 nm – 700 nm), denominada de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ou *photosynthetic active radiation* (PAR) (McCREE, 1972), correspondendo de 45% a 50%, aproximadamente, do total de radiação global (Rg) incidente (OMETTO, 1981).

A Rg pode ser definida como o total de energia emitida pelo sol, que incide sobre a superfície terrestre, com comprimento de onda compreendido entre 150 e 4.000 nm (ROSENBERG, 1974; SLATER, 1980). De acordo com Casaroli *et al.* (2007) a radiação pode também ser caracterizada por pacotes energéticos denominados fótons, cuja energia varia de acordo com o comprimento de onda (λ) e da frequência (f). Essa energia (E), expressa em joule, pode ser calculada pela equação: $E = (h \times c) / \lambda = h \times f$, em que, h corresponde a constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s) e c a velocidade da luz (3×10^8 m.s⁻¹).

A Rg média decendial apresenta valores com significativa diferença em diferentes épocas do ano, a qual influencia diretamente no crescimento e no desenvolvimento das plantas em determinadas regiões, como é o caso do Sul do Brasil. Cargnelutti, Matzenauer e Trindade (2004) observaram no estado do Rio Grande do Sul que a Rg média decendial apresenta maiores valores no primeiro e no último mês do ano, diminuindo nos meses de junho e julho. Essas condições observadas são decorrentes do solstício de verão que acontece na segunda quinzena de dezembro, com redução gradativa da insolação e aumento da declinação solar até o solstício de inverno, na segunda quinzena de junho.

Segundo Farias *et al.* (1993) a radiação solar é um dos principais elementos meteorológicos alterados em estufas, dependendo principalmente do material utilizado na sua cobertura. Nos estados do Sul do Brasil, o material plástico, polietileno transparente de baixa densidade (PEBD), é o mais

empregado, que, além de ser mais econômico, apresenta alta transmissividade à Rg.

Apesar do fluxo de Rg no interior da estufa ser diminuído, Farias *et al.* (1993) constataram que a radiação difusa é aumentada. Esses autores observaram valores de radiação difusa externa em média 65% daquela observada internamente na maior parte do período pesquisado. Verificaram também que 45% da Rg interna correspondeu à radiação difusa, ao passo que somente 24% a externa.

O aumento do fluxo de radiação difusa pode contribuir na eficiência do processo fotossintético, pois sendo multidirecional, penetra melhor no dossel vegetal, o isso pode compensar em parte a opacidade do filme plástico à Rg (RADIN, 2002). Dessa maneira, as folhas do interior do dossel recebem mais radiação solar no ambiente de estufa, com menor auto sombreamento, quando comparadas com o ambiente natural (AIKMAN, 1989; WARREN WILSON; HAND; HANNAH, 1992).

Outros estudos foram conduzidos para identificar as relações que ocorrem, como por exemplo, com a precipitação e temperatura do ar com o crescimento das culturas. Em espécies agrícolas, essas pesquisas são frequentes, enquanto que em espécies florestais há poucos estudos relatados (SANDS; LANDSBERG, 2002).

De acordo com Kramer e Kozlowski (1960) as flutuações na temperatura do ar influenciam o crescimento e a distribuição das plantas face a alteração na intensidade de diversos processos fisiológicos muito importantes, como: fotossíntese, respiração, divisão da célula e seu alongamento, atividade enzimática, síntese da clorofila e transpiração. Normalmente o crescimento intensifica-se com o aumento da temperatura até se atingir uma temperatura elevada crítica para uma dada espécie, sendo que após esse pico, declina rapidamente.

Medina *et al.* (2002) observaram em mudas de laranja em casa de vegetação que o excesso de radiação solar acarreta elevação da temperatura foliar e fechamento parcial dos estômatos, causando fotoinibição transiente da fotossíntese. Em relação às plantas sob o mesmo ambiente, porém com redução de 40% da radiação solar, utilizando-se telas refletoras, a temperatura foliar foi menor e a taxa de assimilação de dióxido de carbono mais elevada.

A temperatura foliar afeta a taxa de assimilação de dióxido de carbono por efeitos causados na condutância estomática e na eficiência de carboxilação. A queda da taxa de assimilação de dióxido de carbono com o aumento do déficit de pressão de vapor é maior em função do aumento da temperatura foliar (MACHADO *et al.*, 2005).

Em um estudo realizado por Silva *et al.* (2015), os autores constataram que não houve diferença significativa entre as temperaturas médias e mínimas do ar entre os ambientes internos e externos estudados. A umidade relativa do ar média e a máxima não apresentaram diferença significativa entre os ambientes. A maior influência da estufa foi observada na temperatura máxima e na umidade relativa mínima do ar.

A baixa umidade causa excessiva perda de água fechamento dos estômatos, restringindo as trocas de dióxido de carbono e por consequência a diminuição das taxas de fotossíntese e redução do crescimento da planta. Por outro lado, alta umidade do ar pode estimular a ocorrência de doenças e causar distúrbios fisiológicos, afetando o crescimento e desenvolvimento da planta (GRANGE; HAND, 1987).

O conhecimento das respostas das plantas à variação das condições do ambiente possibilita que se maneje o ambiente visando condições mais propícias para que os mecanismos fisiológicos ocorram com máxima eficiência (MACHADO *et al.*, 2005).

3.4 Variáveis biométricas

De acordo com Fonseca *et al.* (2002) as características morfológicas empregadas para avaliação da qualidade das mudas não devem ser aplicadas isoladamente na classificação do padrão da qualidade. Para Schubert e Adams (1971) existe uma forte correlação entre o diâmetro do colo e a sobrevivência da muda após o plantio. Barnett (1983) afirma que o desempenho das mudas no campo é melhor, à medida que as dimensões de altura e diâmetro das mudas, na ocasião do plantio, forem maiores.

Borges *et al.* (1980) trabalhando com mudas de *Eucalyptus grandis*, encontraram correlações positivas entre altura das mudas no viveiro e no

campo aos seis meses após o plantio. Enquanto Carneiro (1976) estudando mudas de *Pinus taeda* L. de 11 e 8 meses de idade, com médias de 29 e 15 cm de altura e com média de diâmetro do colo de 3,7 e 2,3 mm, respectivamente, constatou maior sobrevivência para as mudas mais velhas, com diâmetros superiores à média, mesmo que apresentassem altura inferior à média, concluindo que o diâmetro foi o melhor indicador do desempenho das mudas no campo. South, Zwolinski e Donald (1993) trabalhando com *Pinus radiata*, também verificaram a correlação do diâmetro do colo das mudas com a percentagem de sobrevivência após o plantio. Segundo os autores, mudas com 2 mm de diâmetro de colo apresentaram 62% de sobrevivência, enquanto as com 5 mm tiveram 85%.

Segundo Fonseca *et al.* (2002) a qualidade de mudas é influenciada pelo regime de manejo. Os autores constataram que a altura da parte aérea, o diâmetro de colo, o peso de matéria seca do sistema radicular e valores do índice de qualidade de Dickson são influenciados pelo sombreamento. Já Lopes, Salgado e Lopes (2004) observaram que o crescimento em altura de mudas é favorecido em condições de espaçamento adensado, mas, por outro lado, o crescimento em diâmetro pode ser prejudicado. Para Gomes *et al.* (2002) mudas sombreadas ou adensadas possuem maiores alturas e apresentam, na maioria das vezes, menor diâmetro do colo e menor peso de matéria seca, resultando em uma menor capacidade de resistência às condições adversas encontradas no sítio de plantio.

Aguiar *et al.* (2005) verificaram que mudas de *Caesalpinia echinata* Lam., apresentaram melhor qualidade, expressa pelo maior valor de diâmetro de colo, quando seu manejo foi conduzido a pleno sol. Scalon *et al.* (2001) avaliaram mudas de pitangueira durante sete meses em ambientes com diferentes sombreamentos, onde constataram que a altura, o diâmetro de colo e o peso seco foram maiores naquelas submetidas a pleno sol. Esses dados indicam que as mudas a pleno sol apresentaram maior crescimento, uma vez que o maior diâmetro de caule sugere maior particionamento de fotoassimilados da parte aérea. Os mesmos autores constataram que a área foliar foi maior sob sombreamento, o que é normalmente observado nessa condição, uma vez que há necessidade de ampliar a superfície fotossintetizante para maximizar a absorção luminosa.

Boyer e South (1984) verificaram que o crescimento do diâmetro do colo foi influenciado pelo sombreamento das mudas. Segundo os autores mudas de *Pinus taeda* produzidas em condições de casa de vegetação tiveram maior altura da parte aérea e foram mais delgadas do que as produzidas a pleno sol.

Segundo Kozlowski (1962) a redução do diâmetro do colo em mudas sob sombreamento é causada pela diminuição da fotossíntese e, conseqüentemente, a quantidade de fotoassimilados e reguladores de crescimento. O autor considera ainda, que a fotossíntese, aparentemente, guarda uma relação mais direta com o crescimento em diâmetro do que em altura.

Para Carneiro (1995) as características morfológicas são as mais empregadas na classificação da qualidade das mudas, mas os parâmetros fisiológicos não devem ser esquecidos, pois também são muito importantes para a previsão do desempenho das mudas após o plantio. Principalmente quando se leva em conta as diferentes condições edafoclimáticas dos diferentes sítios de plantio.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foi conduzido um experimento com a espécie *Eucalyptus dunnii* Maiden durante o período de novembro de 2012 a julho de 2013 no viveiro do Laboratório de Inventário Florestal (LIF) e do Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação Carbono na Biomassa (BIOFIX) da Universidade Federal do Paraná - UFPR, no município de Curitiba – PR, sob coordenadas geográficas 25°26'49" S e 49°14' 14" W, a 935 m de altitude (Figura 1).

FIGURA 1 - LOCAL DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO COM MUDAS DE *Eucalyptus dunnii*.



FONTE: O autor (2013).

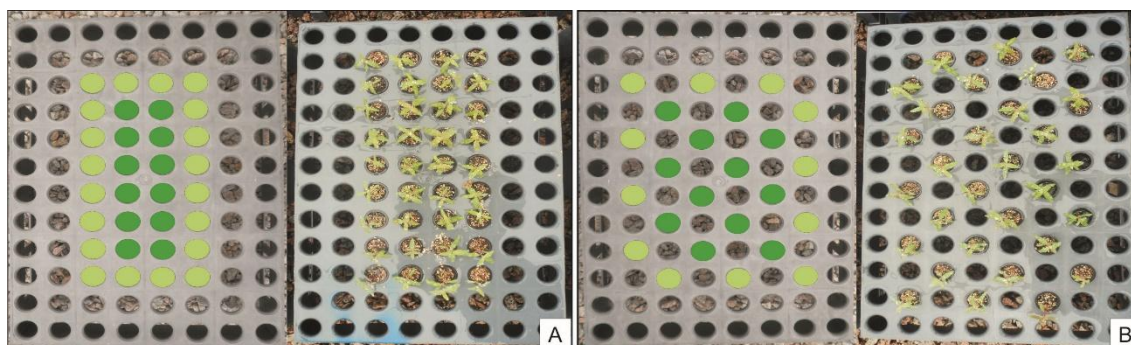
LEGENDA: A) Casa de vegetação do tipo Pampeana, B) Experimento conduzido no ambiente estufa, C) Unidade experimental sob densidade alta de cultivo.

Foram cultivadas 1.120 mudas de *Eucalyptus dunnii*, das quais 480 foram avaliadas. As 640 restantes foram produzidas para evitar que as mudas avaliadas fossem expostas ao efeito de borda. No planejamento dos tratamentos utilizou-se um arranjo fatorial de 2x2x2: duas estações, dois ambientes e duas densidades de cultivo, que foram conduzidos em cinco repetições em delineamento experimental inteiramente casualizado. Cada unidade experimental foi composta por 32 e 24 plantas, respectivamente para 100% e 50% de ocupação da bandeja, sendo que foram avaliadas apenas as 12 mudas centrais (Figura 2).

O acúmulo em massa seca total de mudas de *Eucalyptus dunnii* foi avaliado em duas estações do ano: verão e outono e em dois ambientes de cultivo: natural (externo) e protegido (estufa) e em dois níveis de densidades de plantas nas bandejas: 100% e 50%, denominados respectivamente de densidade alta e média. A densidade alta equivaleu a 736 plantas/m² e para a média de 368 plantas/m². O ambiente protegido foi caracterizado por uma casa de vegetação do tipo Pampeana, com cobertura de polietileno de baixa

densidade com 150 μm de espessura. O ambiente natural foi caracterizado por não ter qualquer tipo de cobertura ou proteção.

FIGURA 2 - ARRANJO EXPERIMENTAL UTILIZADO PARA SIMULAR DENSIDADES DE CULTIVO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii*.



FONTE: O autor (2013).

LEGENDA: A) Mudras sob densidade alta - 100% de ocupação da bandeja, B) Mudras sob densidade média - 50% de ocupação da bandeja.

A produção das mudras foi realizada a partir de sementes oriundas de povoamentos da empresa KLABIN® de Telêmaco Borba – PR. Na semeadura colocou-se de 3 a 5 sementes por tubete o qual foi preenchido com substrato comercial (Tropstrato HT®). No 15º dia após a germinação efetuou-se o raleio das plântulas, deixando somente aquela com maior altura e mais central.

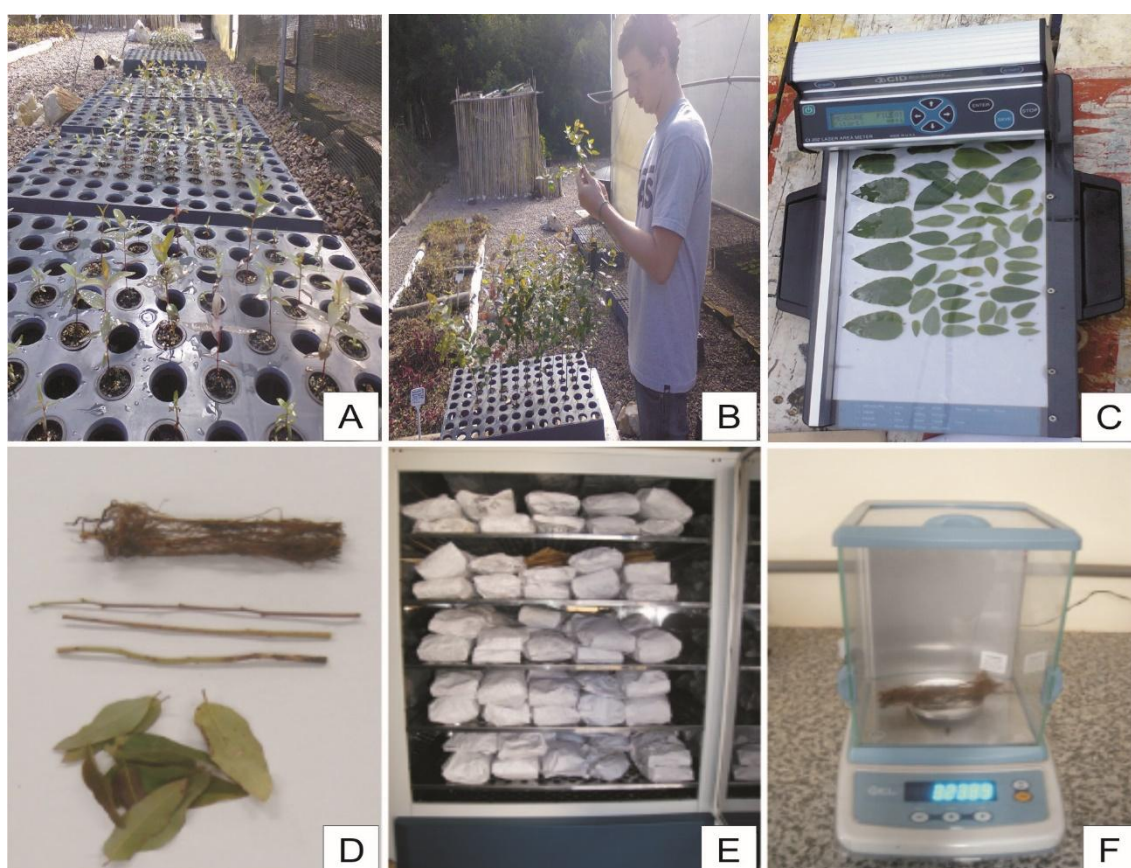
Durante a condução do experimento realizaram-se regas diárias utilizando-se um sistema de microaspersão, mantendo-se sempre a capacidade de campo do substrato. Além disso, foram realizadas quatro fertilizações, por meio da aplicação de fertilizante foliar (*Folly Fertil*) com composição de: N 15% (202 g L⁻¹), P₂O₅ 22% (297 g L⁻¹) e K₂O 2% (27 g L⁻¹).

A partir do 50º dia após a germinação realizaram-se seis avaliações de fitomassa com intervalos de 15 dias, em que duas mudras por tratamento e repetição foram amostradas, totalizando 480 mudras avaliadas ao fim do experimento.

Para a determinação da área foliar, primeiramente as folhas foram separadas dos demais componentes (caule e raiz), para então, ser mensurada a área foliar utilizando-se o integrador CI – 202 *portable laser leaf area meter* (CID Bio-science).

A fitomassa seca total das plantas foi determinada a partir da soma da massa dos componentes folhas, caule e raízes (BENINCASA, 2003). Cada componente foi colocado em embalagem de papel devidamente identificado, sendo levados à estufa de circulação forçada à temperatura de 65 °C até atingir massa constante (SILVA *et al.*, 2007; RESENDE *et al.*, 2011). Posteriormente, pesou-se o material em balança de precisão (FA2104N, Bioprecisa) para obtenção da massa seca (Figura 3).

FIGURA 3 - EXPERIMENTO E PROCEDIMENTOS REALIZADOS NA AVALIAÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii*.



FONTE: O autor (2013).

LEGENDA: A) Mudas a serem avaliadas, B) Mensuração de variáveis biométricas, C) Determinação da área foliar das mudas, D) Separação da biomassa das mudas por componente (raiz, caule e folhas), E) Secagem da biomassa dos componentes, F) Pesagem dos componentes secos em balança de precisão.

A produção de fitomassa seca foi estudada com base no modelo proposto por Monteith (1977), em que essa é uma variável dependente da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada multiplicada pela eficiência de conversão (ϵb) dessa radiação em fitomassa seca. Dessa forma, o

modelo foi ajustado utilizando a análise de regressão o que permitiu o cálculo da ϵb por meio da relação entre a produção média de fitomassa seca acumulada e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada envolvida na produção de fitomassa, conforme a seguinte expressão:

$$PFS = \epsilon b * RFAi$$

Em que:

PFS é a produção de fitomassa seca (g.m^{-2});

RFAi é a radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada (MJ.m^{-2});

ϵb é a eficiência de conversão da radiação RFAi em fitomassa seca produzida (g.MJ^{-1}).

O ajuste do modelo foi avaliado pelas estatísticas: coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa.

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada foi estimada com base no modelo proposto por Varlet-Grancher *et al.* (1989):

$$RFAi = 0,95 * (RFAinc) * (1 - e^{(-k*IAF)})$$

Em que:

RFAi é a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (MJ.m^{-2});

K é o coeficiente de extinção de luz, sendo uma constante adimensional que depende das propriedades óticas das folhas e da geometria do dossel vegetal (0,28);

IAF é o índice de área foliar (adimensional);

RFAinc é a radiação fotossinteticamente ativa incidente (MJ.m^{-2}).

O índice de área foliar foi determinado a partir da área foliar total de cada planta e da área de bandeja explorada por essa (densidade de mudas), calculado por meio da expressão:

$$IAF = AF / AEB$$

Em que:

IAF: índice de área foliar (adimensional);

AF: área foliar total da planta (m^2);

AEB: área de bandeja explorada pela planta (m^2).

No ambiente natural os valores de radiação solar global foram obtidos na Estação Climatológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), situada a cerca de 500 m do experimento. A radiação fotossinteticamente ativa incidente foi estimada considerando-se como sendo 50% da radiação solar global (HEINEMANN *et al.*, 2006; SPOLADOR; SANCHES; COSTA, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2007). Ao passo que no ambiente estufa, a radiação fotossinteticamente ativa foi estimada considerando a transmissividade da cobertura plástica de 56% da radiação solar incidente sobre a cobertura da estufa, constante que foi medida em intervalos de 10 minutos por um piranômetro (LI200X, Li Cor) instalado a 50 cm de altura do nível do solo durante 2 meses.

A hipótese da nulidade, ou seja, que os fatores de estudo: ambiente de cultivo, estações do ano e densidade de plantas não influenciam a ϵb foi testada pela análise de covariância (ANACOVA) utilizando-se o método de Snedecor. A análise foi aplicada para verificar a necessidade do uso de funções independentes entre a radiação fotossinteticamente ativa interceptada e o acúmulo de fitomassa seca total nos diferentes tratamentos estudados, determinando assim, se houve diferenças entre os mesmos. Se a diferença não for significativa para a inclinação, ao nível de 5% de significância, uma regressão única pode ser ajustada, ou vice e versa.

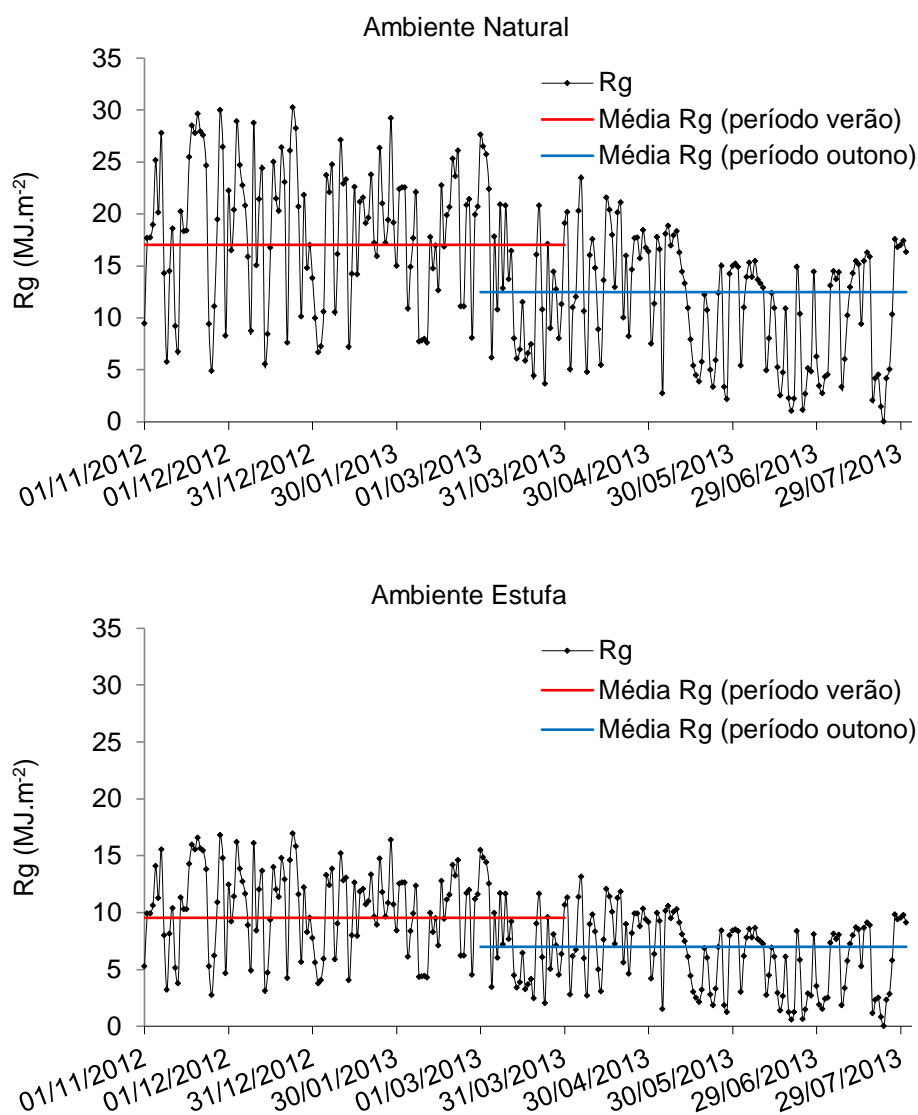
O teste dos níveis não foi realizado, tendo em vista que o objetivo foi verificar somente o coeficiente angular, visto que é o que determina o valor da eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa.

Foi também calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis: índice de área (IAF), radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFAiac) e dias após a emergência (DAE), com intuito de verificar a força e a direção da correlação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro ciclo de condução das mudas que compreendeu a estação do verão, o fluxo de radiação solar global foi em média de $17 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com variação de $3,6$ a $30,2 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, ao passo que dentro da estufa, foi em média de $9,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com variação de 2 a $16,9 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. No segundo ciclo, que compreendeu a estação do outono, o fluxo de radiação solar global foi em média de $12,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com variação de 1 a $27,6 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, enquanto dentro da estufa, foi em média de $7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com variação de $0,6$ a $15,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (Figura 4).

FIGURA 4 - VARIACÃO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM MJ.m^2 NO DECORRER DO PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.



FONTE: O autor (2013).

A disponibilidade de radiação solar global incidente no ambiente estufa foi menor devido à transmissividade do plástico. Conforme destacado por Buriol *et al.* (1995) tal redução pode ser compensada em parte pelo aumento da fração da radiação difusa, que é importante por ser multidirecional e penetrar melhor no interior do dossel vegetativo. Alguns autores encontraram valores maiores de radiação difusa dentro de estufas de plástico do que ao ambiente externo, tal como Farias *et al.* (1993) que verificaram que a radiação difusa externamente foi em média inferior a 65% daquela observada no interior da estufa.

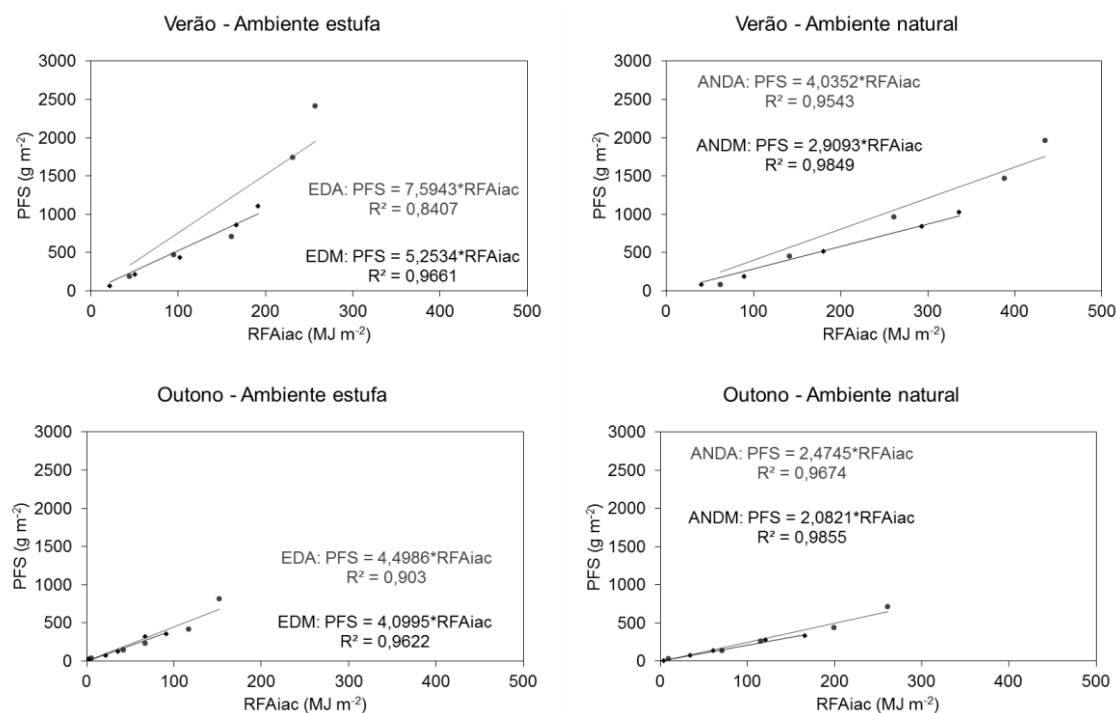
A produção primária líquida de matéria seca dos tratamentos apresentou relação linear positiva com a radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada, com altos coeficientes de determinação e com padrão de resposta dependente da densidade de mudas, do ambiente de cultivo e das estações do ano (Figura 5).

Ao elevar a densidade de mudas na bandeja, a fitomassa acumulada pelas mudas aumentou, o que também foi constatado por Ataíde *et al.* (2010) e Caron *et al.* (2014). Essas situações evidenciam que o arranjo de plantas é uma importante prática de manejo, tendo em vista que a interação com a interceptação de radiação solar é um dos principais fatores determinantes do crescimento e desenvolvimento de uma dada cultura.

As mudas quando cultivadas em ambiente protegido atingem maiores valores de matéria seca com menores quantidades de RFAiac, apesar de o fluxo de Rg no interior da estufa ser diminuído, diferença atribuída a radiação difusa que é aumentada nesse ambiente, como explicam Farias *et al.* (1993).

Em relação às estações do ano, constatou-se que no período do verão ocorreu maior incremento de matéria seca quando comparado com o outono. Isso se deve ao fato de Rg média apresentar maiores valores no primeiro e último mês do ano, diminuindo nos meses de junho e julho. Essa situação é típica para o Sul do Brasil e influência diretamente no crescimento e o desenvolvimento das plantas, como observado por Cargnelutti Filho, Matzenauer e Trindade (2004). O efeito da luz no crescimento das mudas pode ser constatado em diversos trabalhos, como por exemplo: Alvarenga *et al.* (2003); Mazuchowski, Silva e Maccari (2007); Silva *et al.* (2007); Dantas *et al.* (2009) e Rezende *et al.* (2011).

FIGURA 5 – PRODUÇÃO PRIMÁRIA LÍQUIDA DE FITOMASSA SECA (PFS) DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA INTERCEPTADA ACUMULADA (RFAiac).



FONTE: O autor (2013).

LEGENDA: EDA - ambiente estufa e arranjo de densidade alta, EDM - ambiente estufa e arranjo de densidade média, ANDA - ambiente natural e arranjo de densidade alta, ANDM - ambiente natural e arranjo de densidade média.

O índice de área foliar teve forte correlação com a radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada e com os dias após a emergência (Tabela 1). O índice de área foliar sempre foi maior nos cultivos em densidade alta, independente do ambiente de cultivo e da estação do ano. Dessa forma, a densidade de plantas influenciou o incremento do índice de área foliar, a qual afetou diretamente a distribuição da área foliar no dossel das plantas. Conseqüentemente, o acúmulo em matéria seca obtida em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada no cultivo em densidade alta foi o que apresentou maiores valores quanto ao índice de área foliar. Essa tendência também foi observada por Stewart *et al.* (2003).

TABELA 1 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA INTERCEPTADA ACUMULADA E DIAS APÓS A EMERGÊNCIA DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii*.

Verão - Estufa - Densidade alta				Verão - Estufa - Densidade média			
	IAF	RFAiac	DAE		IAF	RFAiac	DAE
IAF	1	0,991	0,972	IAF	1	0,968	0,954
RFAiac	0,991	1	0,993	RFAiac	0,968	1	0,983
DAE	0,972	0,993	1	DAE	0,954	0,983	1
Verão - Ambiente natural - Densidade alta				Verão - Ambiente natural - Densidade média			
	IAF	RFAiac	DAE		IAF	RFAiac	DAE
IAF	1	0,973	0,965	IAF	1	0,963	0,960
RFAiac	0,973	1	0,990	RFAiac	0,963	1	0,982
DAE	0,965	0,990	1	DAE	0,960	0,982	1
Outono - Estufa - Densidade alta				Outono - Estufa - Densidade média			
	IAF	RFAiac	DAE		IAF	RFAiac	DAE
IAF	1	0,983	0,952	IAF	1	0,996	0,968
RFAiac	0,983	1	0,992	RFAiac	0,996	1	0,985
DAE	0,952	0,992	1	DAE	0,968	0,985	1
Outono - Ambiente natural - Densidade alta				Outono - Ambiente natural - Densidade média			
	IAF	RFAiac	DAE		IAF	RFAiac	DAE
IAF	1	0,972	0,936	IAF	1	0,998	0,975
RFAiac	0,972	1	0,992	RFAiac	0,998	1	0,980
DAE	0,936	0,992	1	DAE	0,975	0,980	1

FONTE: O autor (2013).

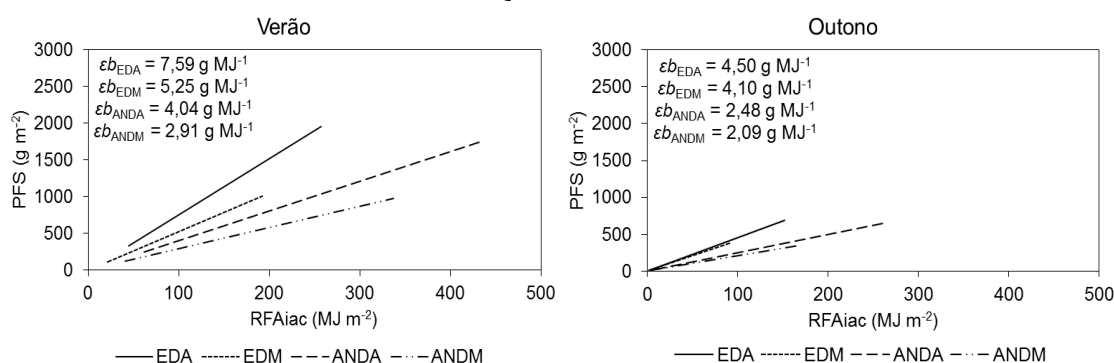
LEGENDA: IAF - Índice de Área Foliar, RFAiac - Radiação Fotossinteticamente Ativa interceptada acumulada, DAE - Dias Após a Emergência de mudas.

Quando observado os coeficientes angulares obtidos, constatou-se que eles foram dependentes da estação do ano, do ambiente de cultivo e da densidade de plantas, sendo esses fatores independentes. Ao comparar os respectivos tratamentos quanto às estações do ano, verificou-se que os valores de ϵb foram maiores no verão. Comparando os ambientes, os valores de ϵb na estufa tenderam a serem maiores, enquanto ao comparar as densidades de cultivo, a densidade alta tendeu a ter valores de ϵb maiores.

Durante o verão no ambiente estufa a eficiência de conversão de fitomassa seca total das mudas em relação à quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada acumulada foi de $7,59 \text{ g.MJ}^{-1}$ no tratamento densidade alta e $5,25 \text{ g.MJ}^{-1}$ para em densidade média. Ao passo que no ambiente natural, a ϵb foi de $4,04 \text{ g.MJ}^{-1}$ no tratamento densidade alta e $2,91 \text{ g.MJ}^{-1}$ para em densidade média. No outono e no ambiente estufa foi de $4,50 \text{ g.MJ}^{-1}$ no tratamento densidade alta e $4,10 \text{ g.MJ}^{-1}$ na densidade média, e

no ambiente natural a ϵb foi de 2,48 g MJ⁻¹ no tratamento densidade alta e 2,09 g.MJ⁻¹ em densidade média (Figura 6).

FIGURA 6 – EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA INTERCEPTADA EM FITOMASSA SECA (ϵb) DE PLANTAS, DOIS AMBIENTE DE CULTIVO E DUAS ESTAÇÕES DO ANO.



FONTE: O autor (2013).

LEGENDA: EDA - ambiente estufa e arranjo de densidade alta, EDM - ambiente estufa e arranjo de densidade média, ANDA - ambiente natural e arranjo de densidade alta, ANDM - ambiente natural e arranjo de densidade média.

Os valores de eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa obtidos foram próximos aos observados por Caron *et al.* (2014) em mudas *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, cultivadas dentro de estufa, sendo, por sua vez, de 7,33 g.MJ⁻¹ naquelas submetidas a densidade alta, e de 3,26 g.MJ⁻¹ para a densidade média.

A análise de covariância (ANACOVA) aplicada para regressões independentes para todos os tratamentos dentro de cada estação do ano (densidade alta no ambiente estufa * densidade média no ambiente estufa * densidade alta no ambiente natural * densidade média no ambiente natural) revelou existir diferença significativa entre os valores de eficiência, indicando que as regressões apresentam inclinações diferentes com a variação dos mesmos.

Quando verificadas regressões independentes para os diferentes ambientes de cultivo submetidos à mesma densidade, a análise indicou a existência de diferença significativa. O mesmo resultado foi obtido quando comparado dentro de um mesmo ambiente as densidades de plantas, tanto na estação do verão quanto do outono.

A ANACOVA quando aplicada para regressões independentes para todos os tratamentos contemplando as duas épocas do ano (densidade alta no

ambiente estufa no verão * densidade alta no ambiente estufa no outono * densidade média no ambiente estufa no verão * densidade média no ambiente estufa no outono * densidade alta no ambiente natural no verão * densidade alta no ambiente natural no outono * densidade média no ambiente natural no verão * densidade média no ambiente natural no outono) também revelou existir diferença significativa entre os valores de eficiência, indicando que as regressões apresentam inclinações diferentes com a variação dos mesmos.

Quando verificadas regressões independentes para diferentes estações do ano com diferentes ambientes de cultivo submetidos à mesma densidade, a análise indicou a existência de diferença significativa. O mesmo resultado foi obtido quando comparado diferentes estações do ano dentro de um mesmo ambiente com diferentes densidades de plantas e, ainda, também quando comparado diferentes estações do ano dentro de um mesmo ambiente com as mesmas densidades, indicando assim, que as inclinações variaram com a estação do ano, com o ambiente de cultivo e com a densidade de plantas de forma independente (Tabela 2).

Os tratamentos com as maiores densidades de plantas por bandeja foram os que obtiveram os maiores valores para o índice de área foliar e, conseqüentemente, os maiores valores de eficiência de conversão. Assim, conforme o aumento do índice de área foliar houve uma ocupação mais rápida pela área foliar dos espaços entre as mudas, que, por conseqüência, elevaram a interceptação da RFA. Proporcionalmente, a produção de fitomassa também foi maior, pois essa, como constatado, é uma função linear do acúmulo de radiação fotossinteticamente ativa interceptada. Mayers, Lawn e Byth (1991) destacaram que a eficiência de conversão está diretamente relacionada ao índice de área foliar da cultura, pois esse fator influencia no desenvolvimento, na manutenção da área foliar e no potencial de produção da fitomassa, visto que seu aumento proporciona um incremento na interceptação de radiação.

Nos dois ambientes de cultivo a eficiência da conversão do cultivo sob densidade alta foi aproximadamente 28% e 11% maior quando comparada com as submetidas à densidade média, nos períodos de verão e de outono, respectivamente. Dessa forma, a maior eficiência de conversão obtida nas densidades altas favoreceu o maior acúmulo de fitomassa, diminuindo o tempo e o espaço necessário para a produção de uma mesma quantidade de mudas.

A maior eficiência de uso da radiação na densidade alta de plantas por bandeja também pode ser explicada pelo aumento da contribuição relativa das folhas sombreadas para o acúmulo de fitomassa das mudas, o que também foi constatado no tomateiro por Radin *et al.* (2003), enquanto Caron *et al.* (2012) observaram nas maiores densidade de mudas de eucalipto um aumento em 44% a eficiência de conversão.

TABELA 2 - ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENTRE AS EQUAÇÕES OBTIDAS PARA DESCRIVER A PRODUÇÃO DE FITOMASSA SECA POR MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA INTERCEPTADA NOS DIFERENTES TRATAMENTOS.

ANACOVA: Verão					
Fator de Variação	GL	QM	F	α F	IP
Diferença para um único grupo (EDA*EDM*ANDA*ANDM)	3	327699,39	22,69	3,10E-05	Não
Diferença - grupo EDA*EDM	1	161778,03	7,42	3,45E-02	Não
Diferença - grupo ANDA*ANDM	1	93113,08	13,14	1,10E-02	Não
Diferença - grupo EDA*ANDA	1	634808,32	24,20	2,66E-03	Não
Diferença - grupo EDM*ANDM	1	139338,87	52,42	3,52E-04	Não
ANACOVA: Outono					
Diferença para um único grupo (EDA*EDM*ANDA*ANDM)	3	3325355,22	14980,48	1,06E-21	Não
Diferença - grupo EDA*EDM	1	5302424,39	23999,31	4,88E-12	Não
Diferença - grupo ANDA*ANDM	1	4665990,02	20922,05	7,36E-12	Não
Diferença - grupo EDA*ANDA	1	7776823,64	20925,68	7,36E-12	Não
Diferença - grupo EDM*ANDM	1	2198120,11	30395,10	2,40E-12	Não
ANACOVA: Verão e Outono					
Diferença para um único grupo (VEDA*VEDM*VANDA*VANDM*OED A*OEDM*OANDA*OANDM)	3	5000474,64	681,93	2,37E-23	Não
Diferença - grupo VEDA*OEDM	1	3277403,94	167,34	1,31E-05	Não
Diferença - grupo VEDA*OANDA	1	6128692,21	310,53	2,14E-06	Não
Diferença - grupo VEDM*OANDM	1	1531463,96	669,39	2,20E-07	Não
Diferença - grupo VEDA*OEDA	1	6750953,07	341,94	1,61E-06	Não
Diferença - grupo VEDM*OEDM	1	1747453,45	766,754	1,47E-07	Não
Diferença - grupo VANDA*OANDA	1	5102933,66	744,088	1,60E-07	Não
Diferença - grupo VANDM*OANDM	1	1282052,02	2839,464	2,93E-09	Não

FONTE: O autor (2013).

LEGENDA: IP - Igualdade de Parâmetros, EDA - ambiente estufa e arranjo de densidade alta, EDM - ambiente estufa e arranjo de densidade média, ANDA - ambiente natural e arranjo de densidade alta, ANDM - ambiente natural e arranjo de densidade média, VEDA - verão, ambiente estufa e arranjo de densidade alta, VEDM - verão, ambiente estufa e arranjo de densidade média, VANDA - verão, ambiente natural

e arranjo de densidade alta, VANDM - verão, ambiente natural e arranjo de densidade média, OEDA - outono, ambiente estufa e arranjo de densidade alta, OEDM - outono, ambiente estufa e arranjo de densidade média, OANDA - outono, ambiente natural e arranjo de densidade alta, OANDM - outono, ambiente natural e arranjo de densidade média.

Desta forma, pode-se inferir que o cultivo sob condições de alta densidade de plantas foi a mais eficiente, permitindo maior interceptação de RFA em um menor espaço de tempo. Tal situação ocorre devido à ocupação mais rápida do espaço entre as mudas pela área foliar durante o período de crescimento, o que também foi observado por Kunz *et al.* (2007).

Em ambas as estações do ano e densidades de plantas a eficiência da conversão do cultivo das mudas no ambiente estufa foi aproximadamente 46% maior, quando comparada às submetidas ao ambiente natural. Os maiores valores de eficiência de uso da radiação em cultivos dentro de estufas plásticas, quando comparados aos em ambiente natural, é explicado pelo aumento da radiação difusa nesse ambiente, conforme demonstrado por Hammer e Vanderlip (1989). O aumento da radiação difusa promove maior uniformidade da radiação no interior do dossel, fazendo com que as folhas inferiores aumentam a interceptação de radiação e também o seu uso.

Em ambos os ambientes e densidades de cultivo observou-se uma diferença em torno de 67% para os valores de eficiência de conversão quando comparado às estações do ano em que foi conduzido o estudo. Durante o verão, todos os tratamentos resultaram em valores mais elevado de eficiência de conversão da RFAi, estando associado as melhores condições meteorológicas para essas estações, a qual influência diretamente no crescimento e no desenvolvimento das plantas.

No cultivo de mudas, o suprimento de água e nutrientes são fatores limitantes, porém há a possibilidade de controle desses elementos. Sendo assim, a produção de fitomassa vem a ser controlada pela radiação solar, o que foi observado e também proposto por Monteith (1965). Dessa maneira, o crescimento de mudas de eucalipto dependerá da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, da eficiência de utilização dessa energia durante o processo fotossintético, da densidade de plantas por bandeja, do ambiente de cultivo e da estação do ano.

As equações obtidas revelaram que a ϵb pode explicar mais que 96% da produção de fitomassa, com um erro padrão da estimativa menor que 26% para todos os casos. A modelagem da eficiência pela qual a radiação solar incidente é utilizada no acúmulo de fitomassa de mudas de eucalipto se demonstra consistente para modelos potenciais, e apropriadas para a análise do crescimento de mudas, o que também foi identificado por Müller e Bergamaschi (2005) para outros cultivos. Essa situação também é evidenciada por meio das excelentes estatísticas de ajuste das relações obtidas entre ϵb e a produção de fitomassa.

Neste estudo, foi demonstrado que a densidade de plantas, o ambiente de cultivo e a estação do ano influenciam no crescimento das plantas e no seu uso eficiente da RFA. Verificou-se, ainda, que os valores de eficiência de conversão consistem em uma importante variável de entrada a ser considerada em modelos de crescimento para mudas, sendo útil para subsidiar o planejamento da produção de mudas.

6 CONCLUSÕES

O fluxo de radiação solar global é maior na estação do verão, tanto em ambiente natural quanto em ambiente estufa, quando o comparado aos mesmos ambientes na estação do outono.

A estação do ano, o ambiente e a densidade de cultivo de plantas influenciam de maneira independente nos valores de eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa.

A ϵb é maior na estação do verão, no ambiente estufa e na densidade alta. A ϵb no período do verão foi de 7,59 g.MJ⁻¹ no tratamento densidade alta e 5,25 g.MJ⁻¹ para em densidade média no ambiente estufa e de 4,04 g.MJ⁻¹ e 2,91 g.MJ⁻¹ no ambiente natural, respectivamente.

No período do outono a ϵb é de 4,5 g.MJ⁻¹ e 4,1 g.MJ⁻¹ no ambiente estufa para o tratamento de densidade alta e densidade média, respectivamente, e de 2,48 g.MJ⁻¹ e 2,09 g.MJ⁻¹ no ambiente natural, respectivamente.

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada tem forte correlação com os dias após a emergência e índice de área foliar.

Para um mesmo valor de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, obtém-se a maior eficiência de uso da radiação no acúmulo em matéria seca quando as mudas de *Eucalyptus dunnii* são cultivadas em densidade alta e no ambiente estufa durante o verão, reduzindo o tempo de permanência das mudas no viveiro.

7 RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista a possibilidade de aprofundamento de estudos com a espécie *Eucalyptus dunnii*, recomenda-se realizar o experimento nas demais estações do ano, como: primavera e inverno.

Recomenda-se, ainda, realizar o estudo com outras espécies florestais, das quais se produzem mudas em viveiros e se busca aperfeiçoar sua produção.

8 REFERÊNCIAS

AGUIAR, F. F. A. *et al.* Germinação de sementes e formação de mudas de *Caesalpinia echinata* Lam. (Pau-Brasil): Efeito de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.6, p.871-875, 2005.

AIKMAN, D. P. Potential increase in photosynthetic efficiency from the redistribution of solar radiation in a crop. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.40, n.217, p.885-864, 1989.

ALVARENGA, A. A. *et al.* Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n.1, p. 53-57, 2003.

ATAÍDE, G. M. *et al.* Efeito da densidade na bandeja sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Trópica**, Chapadinha, v.4, n.2, p.21-26, 2010.

BARNETT, J. P. Relating seedling morphology of container grown southern pines to field success. Separata de: CONVENTION OF THE SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS (1983: Portland) **Proceedings of the...** New Orleans: USDA For. Serv, Southern Forest Experiments Station, p.405-407.

BEHLING, A. **Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa Interceptada em fitomassa de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Centro de Educação Superior Norte do RS, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2011.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas).** Jaboticabal: FCAVUNESP, 2003.

BEZERRA, F. C. **Produção de Mudas de Hortaliças em Ambiente Protegido.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 19 p. (Documentos, 72).

BORGES, R. C. G. *et al.* Correlações entre caracteres de crescimento em *Eucalyptus grandis* S. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.4, n.2, p.146-156. 1980

BOYER, J.; SOUTH, D. A morphological comparison of greenhouse-grown loblolly pine seedlings with seedlings grown outdoors. **Tree Planters**, v.35, n.3, p.15-18. 1984.

BURIOL, G. A. *et al.* Transmissividade da radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.1-4, 1995.

CAMPOE; O. C. *et al.* Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.288, p.14-20, 2013.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J. K. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p. 1157-1166, 2004.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; 1995.

CARNEIRO, J. G. de A. **Determinação do padrão de qualidade de mudas de *Pinus taeda*, L. para plantio definitivo**. 70 p. Dissertação (Mestrado em Silvicultura), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1976.

CARON, B. O. *et al.* 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, n. 2, p. 257-265, 2014.

CARON, B. O. *et al.* Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 833-842, 2012.

CARON, B. O. *et al.* Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa e distribuição de fitomassa produzida no meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São José dos Campos, v.10, n.2, p.215-219, 2002.

CASAROLI, D. *et al.* Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja – uma revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.14, n.2, p.102-120, 2007.

COUTO, L. **Uso da madeira do eucalipto no Brasil**. Disponível em: <http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/3.Usosmúltiplosdoeucalip to_CNA.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2014.

DANTAS, B. F. *et al.* Taxas de crescimento de mudas de catingueira submetidas a diferentes substratos e sombreamentos. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.3, p.413-423, 2009.

ELDRIDGE, K. *et al.* **Eucalypt domestication and breeding**. Oxford: Clarendon Press, 1994.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.3, n.1, p.39-45, jun. 1991.

FARIAS, J. R. B. *et al.* Efeito da cobertura plástica sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p. 31-36, 1993.

FONSECA, F. H. Câmara Setorial de Silvicultura. **Agenda Estratégica do Setor de Florestas Plantadas**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.veracel.com.br/LinkClick.aspx?fileticket=JUait0yO3EM=&tabid=115&mid=468>>. Acesso em: 01 jul. 2014.

FONSECA, E. P. *et al.* Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, p.515-523. 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Global Forest Resources Assessment, Country Reports, Brazil**. Rome: FAO, 2005. 104 p.

GOMES, J. M. *et al.* Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p.113-127, 2003.

GOMES, J. M. *et al.* Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa v.26, n.6, p.655-664, 2002.

GOMES, J. M. *et al.* Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em “Win-Strip”. **Revista Árvore**, Viçosa, v.15, n.1, p.35-42, 1991.

GONÇALVES, A. L. Substratos para a produção de plantas ornamentais. In: MINAMI, K. *et al.* **Produção de mudas de alta qualidade em horticultura**. São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf, 1995.

GRANGE, R. I.; HAND, W. D. A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. **Journal of horticultural science**, 1987, West Sussex, v.62, n.2, p.125-134, 1987. Disponível em: <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=7462660>>. Acesso em 17 de julho de 2014.

HAMMER, G. L.; VANDERLIP, R. L. Genotypeby- environment interaction in *Grain sorghum* – I: effects of temperature on radiation use efficiency. **Crop Science**, Madison, v.29, p.370-376, 1989.

HEINEMANN, A. B. *et al.* Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.352–356, 2006.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ) **Relatório IBÁ 2015**, p.88 Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em 30 de out. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF). ***Eucalyptus dunnii* Maiden**. Piracicaba, Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/dunnii.asp>>. Acesso em: 30 jun. 2014.

KOZLOWSKI, T. T. **Tree growth**. New York: The Ronald Press, 1962.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das Árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Guilbenkian, 1960.

KUNZ, J. H. *et al.* Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.11, p.1511-1520, 2007.

LOPES, J. L. W.; SALGADO, M. H.; LOPES, C. F. **Qualidade e ciclo de produção de mudas de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* produzidas em diferentes substratos.** In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XI., Bauru, 2004.

LORENZI, H. *et al.* **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas.** Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003.

MACHADO, E. C. *et al.* Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1161-1170, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v40n12/27505.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das Angiospermas: Myrtales.** Santa Maria: UFSM, 1997.

MAYERS, J. D., LAWN, R. J., BYTH, D. E. Agronomic studies on soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) in the dry seasons of the tropics. Limits to yield imposed by phenology. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v. 42, n. 7, p. 1075-1092, 1991.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; SILVA, E. T.; MACCARI, J. A. Efeito da luminosidade e da adição de nitrogênio no crescimento de plantas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.4, p.619-627, 2007.

McCREE, K. J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.10, p. 443-453, 1972.

MEDINA, C. L. *et al.* Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, v.96, p.115-125, 2002.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production en Britain. **Proceedings of the Royal Society of London**, London, v.281, n.980, p.277-294, 1977.

MONTEITH, J. L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annals of Botany**, Oxford, v.29, p.17-37, 1965.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: SBS, 2000.

MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H. Eficiências de interceptação, absorção e uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas e verificação do modelo energético de estimativa da massa seca acumulada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São José dos Campos, v.13, n.1, p.27-33, 2005.

OLIVEIRA, A. S. *et al.* Eficiência de utilização da radiação fotossinteticamente ativa na produção de matéria seca de uma pastagem mista no cerrado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São José dos Campos, v.15, n.3, p.299-303, 2007.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.

OTTMAN, M. J.; WELCH, L. F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n. 2, p. 167-174, 1989.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 45 p. (Documentos, 129).

RADIN, B. *et al.* Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.9, n.38, p.1017-1023, 2003.

RADIN, B. **Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo tomateiro cultivado em diferentes ambientes**. 127 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002.

RESENDE, S. V. *et al.* Influência da luz e substrato na germinação e desenvolvimento inicial de duas espécies de *Calliandra* Benth: (Mimosoideae - Leguminosae) endêmicas da Chapada Diamantina, Bahia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 107-117, 2011.

REVISTA DA MADEIRA. Plantações de Eucalipto no Brasil. Curitiba: REMADE, ed. 107, 2007. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1132&subject=Eucalipto&title=Planta%E7%F5es%20de%20Eucalipto%20no%20Brasil>. Acesso: 14 out. 2015.

ROSA, L. S. **Adubação nitrogenada e substratos na miniestaqueia de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 89f. Dissertação (mestrado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ROSENBERG, N. J. **Microclimate: the biological environment**. New York: J. Wiley & Sons, 1974.

SANDS, P. J.; LANDSBERG, J. J. Parameterization of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.163, p.273-292, 2002.

SANQUETA, C. R. *et al.* Eficiência de conversão da radiação fotossintética interceptada em fitomassa de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden em função da densidade de plantas e do ambiente de cultivo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.42, n.104, p.573-580, 2014.

SANTOS, S. N. **Genes de lignificação de *Eucalyptus*: estrutura e diversidade genética dos genes 4cl e ccoaomt**. 208f. (Mestrado em Ciências Genômicas e Biotecnologia) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2005.

SCALON, S. P. Q. *et al.* Germinação e crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) sob condições de sombreamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.3, n.23, p.652-655, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v23n3/8045.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2014.

SCHUBERT, G. H.; ADAMS, R. S. **Reforestation practices for conifers in California**. Sacramento: State of California, Division of Forestry, 1971.

SILVA, B. M. S. *et al.* Efeito da luz no crescimento de mudas de *Hymenaea parvifolia* Huber. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.6, p.1019-1026, 2007.

SILVA, M. A. A. *et al.* **Avaliação de temperatura e umidade relativa do ar em estufa com cobertura de polietileno**. Departamento de Recursos Naturais –

FCA/UNESP, Botucatu. Disponível em:
<<http://seila.do.sapo.pt/invest/ag00005.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2015.

SILVA, P. H. M. **Produção de Mudas e Recomendações de Adubação no Viveiro para Pequenos Produtores**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2008. Disponível em:
<<http://www.ipef.br/silvicultura/producaomudas.asp>>. Acesso em: 01 jul. 2014.

SLATER, P. N. **Remote sensing, optics and optical systems**. Massachussets: Addison-Wesley, 1980. 575 p.

SOUTH, D. B.; ZWOLINSKI, J. B.; DONALD, D. G. M. Interactions among seedling diameter grade, weed control and soil cultivation for *Pinus radiata* in South Africa. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.23, n.10, p.2078-2082. 1993.

SPOLADOR, J.; SANCHES, L.; COSTA, M. Radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta de transição cerrado-amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.21, n.3b, 301-307, 2006.

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

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in northeastern Brazil**. 225p. Thesis (PhD in Forest Sciences) – Colorado State University, For Collins, 2002.

STEWART, D. W. *et al.* Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.95, p.1465-1474, 2003.

STURION, J. A.; GRAÇA, L. R.; ANTUNES, J. B. M. **Produção de mudas de espécies de rápido crescimento por pequenos produtores**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 20 p. (Circular Técnica, 37).

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P.C. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC, 1994. p.65-99.

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

VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 419-439, 1989.

VILLA NOVA, N. A., MOREIRA, P. R., PEREIRA, A. B. Eficiência de captura de energia solar por um dossel de *Eucalyptus pellita* F. Muell sob várias densidades de plantio. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 63-68, 2003.

WARREN WILSON, J.; HAND, D. W.; HANNAH, M. A. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.43, n.248, p.363-373, 1992.

WINK, C. **Estoque de carbono em plantações de Eucalyptus sp. Implantados em campo nativo**. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.