



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



RICHARDSON BARBOSA GOMES DA SILVA

**ÂNGULO FOLIAR E LÂMINA DE IRRIGAÇÃO AFETAM A QUALIDADE DAS MUDAS
FLORESTAIS**

Botucatu

2017

RICHARDSON BARBOSA GOMES DA SILVA

**ÂNGULO FOLIAR E LÂMINA DE IRRIGAÇÃO AFETAM A QUALIDADE DAS MUDAS
FLORESTAIS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para
obtenção do título de Doutor em Ciência Florestal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Magali Ribeiro da Silva

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S586a Silva, Richardson Barbosa Gomes da, 1987-
Ângulo foliar e lâmina de irrigação afetam a qualidade das mudas florestais / Richardson Barbosa Gomes da Silva.
- Botucatu : [s.n.], 2017
112 p. : fots. color., grafs., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Magali Ribeiro da Silva
Inclui bibliografia

1. Árvores - Mudas - Desenvolvimento. 2. Viveiros florestais. 3. Irrigação por gotejamento. 4. Lixiviação. I. Silva, Magali Ribeiro da. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

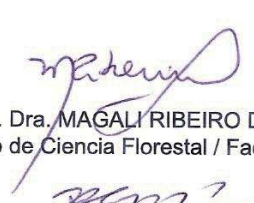
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ÂNGULO FOLIAR E LÂMINA DE IRRIGAÇÃO AFETAM A QUALIDADE DAS MUDAS FLORESTAIS

AUTOR: RICHARDSON BARBOSA GOMES DA SILVA

ORIENTADORA: MAGALI RIBEIRO DA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. MAGALI RIBEIRO DA SILVA
Depto de Ciencia Florestal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu



Profa. Dra. REGINA CÉLIA DE MATOS PIRES
Centro de Ecofisiologia e Biofísica / INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS



Prof. Dr. IVAR WENDLING
Centro Nacional de Pesquisa de Florestas / EMBRAPA



Prof. Dr. LUIZ FERNANDO ROLIM DE ALMEIDA
Depto de Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu



Profa. Dra. MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI
Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 29 de março de 2017.

Pos meus amados avós,

Lourdes e Nelson,

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte maior de amor, solidariedade e esperança nesse mundo, infelizmente, cada vez mais, individual.

À minha família, especialmente aos meus pais, Ana Júlia e Roberto, meu irmão Jayme, meu tio Osni, meus avós Lourdes e Nelson e a Morena pelo incondicional incentivo, paciência e carinho.

À Professora Doutora Magali Ribeiro da Silva, minha orientadora e amiga, por ter me conduzido e acompanhado, da melhor maneira possível, não só nesta pesquisa, mas na jornada acadêmica, iniciada há nove anos.

À Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA e ao Instituto de Biociências - IBB da Unesp de Botucatu, representados pelos servidores Claudinho, João e Dinho por terem apoiado as diversas etapas dessa pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - Fapesp pelo apoio financeiro concedido (Processo no 2013/17447-8).

Ao International Plant Nutrition Institute (IPNI) pela concessão do prêmio Scholar Award 2015.

Aos orientados de iniciação científica Mônica, Leonardo, Thais, Ludmila, Maurício e aos graduandos em Engenharia Florestal André e Gabriela pela contribuição na execução desta pesquisa.

Às pós-graduandas Gláucia Uesugi, Débora Zanoni do Prado e Marília Pizetta, parceiras de trabalho e angústias comuns de quem faz um curso de pós-graduação.

Ao viveiro florestal Camará, representado por Carlos Nogueira Souza Junior, pela parceria no início da pesquisa.

À Faculdade Orígenes Lessa - Facol, representada pelo coordenador Luiz Gustavo Martinelli Delgado, pela oportunidade de aprendizado na docência.

Aos membros da banca de defesa, Professores Doutores Ivar Wendling, Regina Célia de Matos Pires, Luiz Fernando Rolim de Almeida e Maria Márcia Pereira Sartori por, prontamente, terem aceitado participar desse momento importante para mim.

Aos meus amigos Lucas, Ed, Brener, Renato, Paulo, Lucas Ferenzini, Sthefani e Gian por não saber como agradecer-los e, justamente por isso, sei que são de verdade.

RESUMO

Em muitos viveiros, a experiência pessoal dos viveiristas é o principal método utilizado para determinar quando e quanto tempo irrigar. Os viveiros produzem diversas espécies simultaneamente numa mesma área. Entre as espécies, há muita variação na arquitetura foliar, especificamente nos ângulos foliares. A falta de conhecimento sobre a lâmina adequada e como os ângulos foliares afetam a interceptação e captura da água, limitam a eficiência da irrigação e, conseqüentemente, a qualidade das mudas florestais. Este estudo teve como objetivo avaliar se o ângulo foliar das mudas de nove espécies florestais nativas e as lâminas de água aplicadas no viveiro afetam a qualidade morfológica, fisiológica e nutricional das mudas; a fração de lixiviação e a condutividade elétrica da solução lixiviada; e a qualidade morfológica das plantas após o plantio em vaso. As avaliações foram realizadas ao final do ciclo de produção de cada espécie no viveiro, através das variáveis: altura da parte aérea, diâmetro do colo, massa seca aérea, radicular e total, índice de qualidade de Dickson, área de projeção da copa, conformação do sistema radicular, potencial hídrico foliar, índice SPAD, transpiração diária, teores dos pigmentos foliares clorofila a, b, carotenoides e antocianinas, fração de lixiviação, condutividade elétrica da solução lixiviada e acúmulo nutricional. A qualidade morfológica das plantas após o plantio em vaso foi avaliada em intervalos de 30 dias, durante 120 dias, através das variáveis altura da parte aérea e diâmetro do colo. Aqui mostramos que, nas espécies com ângulos foliares maiores, a aplicação de lâminas menores resulta em mudas com maior qualidade. Nas espécies com ângulos menores, é necessária a aplicação de lâminas maiores, exceto quando a área de projeção da copa é pequena. A partir desse conhecimento, o ângulo foliar poderá começar a ser adotado entre os critérios para agrupar as espécies no viveiro, a fim de que a irrigação praticada evite o desperdício de água e fertilizantes, bem como aumente a qualidade morfológica, fisiológica e nutricional das mudas florestais.

Palavras-chave: viveiro, arquitetura foliar, área de projeção da copa, microaspersão, lixiviação, condutividade elétrica, nutrição, desenvolvimento após o plantio.

ABSTRACT

In many nurseries, the personal experience of nurseries is the primary method used to determine when and how much time to irrigate. Nurseries produce several species simultaneously in the same area. Among the species, there is much variation in foliar architecture, specifically in the leaf angles. The lack of knowledge about the proper water depth and how the leaf angles affect the interception and capture of water, limit irrigation efficiency and consequently seedlings quality. The objective of this study was to evaluate if the leaf angle of nine species of tree seedlings and the water depths applied in the nursery affect the morphological, physiological and nutritional seedlings quality; the leaching fraction and the electrical conductivity of the solution leached; and the morphological quality of the plants after planting in pot. The evaluations were performed at the end of the production cycle of each species in the nursery, through the following variables: height, stem diameter, shoot, root and total dry mass, Dickson quality index, crown projection area, conformation root system, leaf water potential, SPAD index, daily perspiration, leaf chlorophyll a, b, carotenoids and anthocyanins, leaching fraction, electrical conductivity of the solution leached and nutritional accumulation. The morphological quality of the plants after planting was evaluated at intervals of 30 days, during 120 days, through the variables height of and stem diameter. Here we show that, in species with larger leaf angles, the application of smaller water depths results in seedlings with higher quality. In species with smaller angles, it is necessary to apply larger water depths, except when crown *projection* area of seedling is small. From this knowledge, leaf angle can begin to be adopted among the criteria to group the species in the nursery, so that the irrigation practiced avoids the waste of water and fertilizers, as well as increase the morphological, physiological and nutritional tree seedlings quality.

Keywords: nursery, leaf architecture, crown *projection* area, microsprinkler, leaching, electrical conductivity, nutrition, development after planting.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Irrigação em viveiros de mudas.....	17
2.2 Arquitetura foliar	23
2.3 Qualidade de mudas florestais	25
2.4 Espécies florestais	32
2.4.1 <i>Heliocarpus popayanensis</i> H.B.K.	32
2.4.2 <i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera.....	32
2.4.3 <i>Croton floribundus</i> Spreng.....	33
2.4.4 <i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	34
2.4.5 <i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	34
2.4.6 <i>Genipa americana</i> L.	35
2.4.7 <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.....	35
2.4.8 <i>Talauma ovata</i> A.St.-Hil.....	36
2.4.9 <i>Psidium cattleianum</i> Sabine	37
3. MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1 Preparação da estrutura física do experimento.....	38
3.1.1 Montagem dos canteiros	38
3.1.2 Montagem do sistema de irrigação e ferti-irrigação.....	38
3.2 Avaliações prévias ao experimento	40
3.2.1 Definição da lâmina de água média	40
3.2.2 Definição dos ângulos foliares a serem utilizados no experimento	40
3.3 Delineamento, tratamentos e repetições	43
3.4 Preparação da estrutura para produção das mudas do experimento.....	44
3.4.1 Formação das plântulas	44
3.4.2 Coleta das sementes.....	44
3.4.3 Beneficiamento e armazenamento das sementes.....	44
3.4.4 Semeadura.....	45
3.4.5 Embalagens e substratos	46
3.4.6 Transplante	47
3.4.7 Seleção	48
3.5 Aplicação das lâminas de água.....	48
3.6 Fertilização de crescimento.....	49
3.7 Fertilização de rustificação	50
3.8 Avaliações ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro	51
3.8.1 Altura da parte aérea e diâmetro do colo	51
3.8.2 Massas secas e índice de qualidade de Dickson	54
3.8.3 Área de projeção da copa	55
3.8.4 Conformação do sistema radicular	56

3.8.5 Potencial hídrico foliar.....	56
3.8.6 Intensidade da coloração verde das folhas (SPAD).....	57
3.8.7 Transpiração diária	58
3.8.8 Teores dos pigmentos foliares	59
3.8.9 Fração de lixiviação	61
3.8.10 Condutividade elétrica da solução lixiviada	62
3.8.11 Acúmulo de nutrientes	63
3.9 Preparação da estrutura para o plantio das mudas em vaso.....	64
3.10 Avaliações após o plantio das mudas em vaso	65
3.10.1 Altura da parte aérea e diâmetro do colo.....	65
3.11 Análise estatística	65
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1 Variáveis morfológicas.....	67
4.2 Conformação do sistema radicular	74
4.3 Variáveis fisiológicas.....	77
4.4 Condutividade elétrica da solução lixiviada	84
4.5 Acúmulo de nutrientes	88
4.6 Resultados morfológicos após o plantio das mudas em vaso	91
5. CONCLUSÕES.....	96
REFERÊNCIAS	97

1. INTRODUÇÃO

O bioma Mata Atlântica se estende por 1.481.946 km², cerca de 17,4% do território brasileiro, incluindo grande variedade de fisionomias florestais distribuídas por mais de 3.300 km ao longo da costa atlântica brasileira, de 3° S a 30° S, a partir do nível do mar até 2.700 m de altitude. Como consequência de um longo histórico de degradação, apenas 11,7% da cobertura florestal original desse bioma foi mantida (RIBEIRO et al., 2009). Como agravante dessa situação, muitos desses remanescentes estão isolados uns dos outros (METZGER, 2009), o que requer manejo específico para facilitar a recuperação (ENGEL; PARROTA, 2001).

No Brasil, na maioria dos casos, os projetos de reflorestamento fazem uso de mudas produzidas em viveiros florestais (THEBALDI et al., 2015). Apesar do aumento considerável na qualidade (CORTINA et al., 2013), muitos viveiros ainda produzem mudas com baixa qualidade. Isto, geralmente é atribuído à falta de habilidades básicas e conhecimentos dos viveiristas na produção de mudas (DEGRANDE et al., 2012).

Nos viveiros, os principais fatores que afetam a qualidade das mudas são os materiais genéticos, os manejos hídricos e nutricionais, as embalagens e os substratos (SILVA et al., 2012). Praticar irrigação precisa, projetada para aplicar água suficiente para atender a necessidade hídrica da muda, sem promover lixiviação excessiva, requer manejo adequado (IRMAK et al., 2004; MATHERS et al., 2005).

A programação dos sistemas de irrigação em viveiros é especialmente desafiadora porque diferentes espécies, em diferentes estágios de crescimento, podem ser cultivadas próximas e submetidas à mesma irrigação (IERSEL et al., 2013; TAWEGOUM et al., 2015).

A eficiência da irrigação pode ser melhorada pelo agrupamento de plantas com necessidades hídricas similares - que depende da espécie e do desenvolvimento da muda - e pela irrigação programada para aplicar a água com base nas necessidades específicas da planta (NIU et al., 2006).

A arquitetura da planta é definida como a organização tridimensional de seu corpo. Nas partes da planta que estão acima do solo, a arquitetura é representada pelo padrão de ramificação, tamanho, forma e a posição das folhas e flores. A arquitetura é específica da espécie, indicando que ela está sob-rigoroso controle genético, embora

também seja influenciada por fatores ambientais, tais como luz, temperatura, umidade e a disponibilidade de nutrientes durante o desenvolvimento (GODIN, 2000; REINHARDT; KUHLEMEIER, 2002).

Os ângulos que as folhas formam com o eixo caulinar são definidos como ângulos foliares (VALLADARES; BRITES, 2004), que podem diferir muito entre as espécies vegetais (BARCLAY, 2001; FALSTER; WESTOBY, 2003).

Diante desse contexto, levantamos a hipótese de que o ângulo foliar das espécies e as lâminas de água afetam a fração de lixiviação, bem como a qualidade das mudas florestais no viveiro e após o plantio em vaso. Se essa hipótese for confirmada, será possível repensar a distribuição das espécies no viveiro, a fim de que recebam irrigações mais apropriadas de acordo com seu ângulo foliar, evitando o desperdício de água e nutrientes e aumentando a qualidade das mudas.

Sendo assim, o objetivo desse estudo foi avaliar se o ângulo foliar das espécies e as lâminas de água aplicadas no viveiro afetam: a) a qualidade morfológica, fisiológica e nutricional das mudas; b) a fração de lixiviação e a condutividade elétrica da solução lixiviada; e c) a qualidade morfológica das plantas após o plantio em vaso.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Irrigação em viveiros de mudas

A escassez de água é preocupação crescente em todo o mundo e está projetada para se tornar mais grave devido ao aumento populacional, ao consumo per capita, à urbanização e à alteração na disponibilidade pelas mudanças climáticas (FAO, 2007).

Quanto aos efeitos das mudanças climáticas, as principais preocupações que pairam sobre o futuro dos recursos mundiais de água doce são as alterações nos padrões de chuva, na neve anual acumulada, nas secas e inundações e na qualidade da água (ARNDT et al., 2010).

Manejar a qualidade e a quantidade dos recursos mundiais de água doce é um dos desafios ambientais mais imperativos do século 21 (FISCHER et al., 2007), indicando a implementação de regulamentações mais restritivas no uso da água, tanto das fontes superficiais quanto subterrâneas, com controle adicional sobre a manutenção da qualidade (LEA-COX et al., 2013).

Além de a água ser recurso natural limitado é também altamente demandada para a produção agrícola. Em todo o mundo, de 60 a 90% da água disponível é utilizada para fins agrícolas (ORON et al., 2008).

O setor de produção de mudas demanda intensivamente água e nutrientes (BEESON Jr., 2010; WILSON; ALBANO, 2011). Nesse setor, cientistas e viveiristas também preveem redução na disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas, bem como aumento na regulamentação a respeito do escoamento de água e nutrientes (BEESON Jr. et al., 2004; WILSON; ALBANO, 2011; FULCHER et al., 2016). Todos esses fatores desafiarão os viveiristas a concentrar seus esforços na busca por maior eficiência na irrigação e fertilização (YEAGER et al., 2010).

A conservação da água é o objetivo sob a perspectiva ambiental e social, ao passo que melhorar a qualidade da muda com menos insumos é um resultado benéfico do ponto de vista econômico do viveirista (FULCHER et al., 2016).

Sem dúvida, a eficiência da irrigação em viveiros precisa ser substancialmente melhorada, a fim de permitir-lhes manter rentabilidade, minimizar o impacto ambiental

(BACCI et al., 2008; KIM et al., 2011; MAJSZTRIK et al., 2011; LEA-COX et al., 2013; INCROCCI et al., 2014) e otimizar os cronogramas de produção (BILDERBACK, 2002).

Os viveiros estão continuamente buscando novas estratégias de irrigação e fertilização para melhorar a eficiência de aplicação, reduzir os custos de produção das mudas florestais e os impactos ambientais negativos. O objetivo dessas estratégias é encontrar equilíbrio entre os ganhos de reduzir a aplicação dos insumos (água e fertilizantes) e os riscos de reduzir o crescimento e a qualidade da muda (BERGERON et al., 2004; MILLION et al., 2010; STOWE et al., 2010; SCAGEL et al., 2012).

Praticar irrigação precisa, projetada para aplicar água suficiente para atender a necessidade hídrica da muda, sem promover lixiviação excessiva, requer excelente manejo (IRMAK et al., 2004; MATHERS et al., 2005).

Grandes volumes de irrigação aplicados lixiviam os nutrientes porque o substrato utilizado na produção de mudas dos viveiros proporciona, mesmo quando possui excelentes propriedades de retenção de água, pouca capacidade de proteção contra o excesso hídrico devido aos menores volumes utilizados (FARE et al., 1994; HUETT, 1997; BEESON Jr., 2004; ARREOLA et al., 2006; BEESON Jr., 2006).

Os viveiristas podem maximizar a eficiência da irrigação através da implementação de melhores práticas de manejo, como: 1) instalar e manter sistemas de irrigação com distribuição uniforme; 2) instalar e manter quebra-ventos em torno do perímetro das áreas de produção; 3) estabelecer grupos de mudas de acordo com as necessidades hídricas; 4) medir o conteúdo de água do substrato ou usar modelos baseados na evapotranspiração e ajustar a quantidade de água aplicada na irrigação; 5) medir os volumes lixiviados para ajustar a quantidade de água aplicada na irrigação; 6) ajustar a quantidade de água aplicada com base na capacidade de retenção do substrato; 7) dispor as mudas no canteiro de forma a reduzir as áreas vazias e aumentar o alcance da irrigação; 8) utilizar dispositivos que cancelem a irrigação em condições de chuva; 9) coletar e reutilizar a chuva e a água de irrigação; 10) usar a irrigação cíclica para minimizar a perda de água e nutrientes pelos recipientes; e 11) usar sensores de umidade no substrato para inicializar a irrigação ao invés de estabelecer horários fixos (PRIDE, 2014).

A diversidade na produção de mudas nos viveiro é diferente de qualquer outra faceta da agricultura. Os tamanhos e formas das mudas e recipientes, o número de espécies, os métodos de irrigação e aplicação dos fertilizantes e o número de plantas por unidade de área tornam o processo muito complexo (BEESON Jr.; YEAGER, 2003). Por isso, não é surpreendente observar que muitos produtores erram por cautela e aplicam mais água do que é necessário, preferindo o risco de aumentar as perdas por lixiviação, em detrimento das consequências do déficit hídrico (BEESON Jr., 2004).

As irrigações muito frequentes ou em quantidades excessivas podem resultar na lixiviação de nutrientes ou de outros produtos químicos do substrato com potencial de degradação das águas superficiais e subterrâneas (JUNTUNEN et al., 2002, 2003). Além disso, o encharcamento do substrato dificulta a aeração e pode provocar o surgimento de doenças, principalmente fúngicas, bem como desperdício do recurso natural (RODRIGUES et al., 2011).

A lixiviação dos nutrientes minerais do substrato aumenta exponencialmente em função do aumento na quantidade de água na rizosfera (LAMHAMED I et al., 2001). Por outro lado, o déficit hídrico reduz a capacidade metabólica do vegetal, podendo levar a muda a atingir o ponto de murcha permanente e posterior morte (RODRIGUES et al., 2011).

Infelizmente, as ferramentas para o manejo da irrigação não são levadas em conta ou não são usadas sistematicamente pela maioria dos viveiristas. Isso ocorre porque, talvez, eles não acreditem no funcionamento confiável dessas ferramentas em condições reais ou porque não podem justificar o tempo e os custos associados com a coleta, interpretação e implementação das informações (STIRZAKER, 2003).

As tecnologias de sensoriamento da umidade nos substratos, por exemplo, exigem conhecimentos específicos para manejá-las, bem como não foram ainda amplamente adotadas (SCHOENE et al., 2006). Por outro lado, a irrigação por aspersão, especialmente a microaspersão, que é a mais utilizada nos viveiros brasileiros (AUGUSTO et al., 2007), enquanto economicamente mais vantajosa do ponto de vista da oferta de materiais e custos de mão de obra, é inerentemente ineficiente na aplicação da água devido ao espaço necessário entre as mudas individuais para permitir o crescimento uniforme. A irrigação por aspersão permanecerá o meio mais

comum pelo qual os viveiristas irrigam as espécies produzidas em recipientes menores, a menos que a disponibilidade da água diminua na mesma proporção que sua conservação seja fator fundamental para permanência no mercado (WEATHERSPOON; HARRELL, 1980; KARAM; NIEMIERA, 1994; FULCHER et al., 2016).

Na irrigação por aspersão, a percentagem de água que é interceptada pela muda ou recipiente varia entre 25% a 37%, significando que, ao longo do período de produção, a maior parte da água aplicada é perdida entre os espaços vazios ou evapora (WEATHERSPOON; HARRELL, 1980).

Além da questão do sistema de irrigação, verifica-se que a observação e a experiência pessoal dos viveiristas, portanto subjetiva, ainda é o principal método utilizado para determinar quando e quanto tempo irrigar. Isso revela que a decisão da irrigação é baseada na aplicação irrestrita de água em detrimento da minimização da lixiviação, que pode ser feito através do monitoramento do escoamento do recipiente e o ajuste da programação (BEESON Jr.; YEAGER, 2003; BEESON Jr., 2004).

Baseados na experiência pessoal, os viveiristas geralmente usam sistemas de irrigação programados para aplicar a água em tempos fixos, que não respondem às mudanças ambientais (precipitação e evapotranspiração) e não se baseiam na demanda hídrica das mudas, acarretando, geralmente, em excesso de água (FARE et al., 1992; BEESON Jr.; BROOKS, 2008; GRANT et al., 2009; WARSAW et al., 2009).

Independente do sistema de irrigação, a primeira pergunta que um viveirista precisa responder é se ele precisa irrigar naquele momento específico. Normalmente, a próxima pergunta é: quanto tempo ele precisa para irrigar e assegurar água suficiente disponível para a planta? Embora estas questões pareçam triviais, a necessidade hídrica das mudas variam por espécie, tamanho da muda, volume radicular, estação do ano e microclima (LEA-COX, 2012).

A programação dos sistemas de irrigação em viveiros é especialmente desafiadora porque diferentes espécies em diferentes estágios de crescimento podem ser cultivadas em conjunto em uma única zona de irrigação (IERSEL et al., 2013; TAWEGOUM et al., 2015).

Na irrigação por aspersão, a tendência é produzir várias espécies nesse sistema. Diferenças no uso da água e captação entre as espécies podem significar que o déficit apropriado em uma espécie é prejudicial em outra (GRANT et al., 2009; DAVIES et al., 2016).

Infelizmente, embora o agrupamento das mudas com características semelhantes seja reconhecido pelos viveiristas como um fator importante, muitas vezes ele é impraticável, considerando a disponibilidade de espaço, a mão de obra e os custos associados (YEAGER et al., 2010).

A eficiência da irrigação pode ser melhorada pelo agrupamento de plantas com necessidades hídricas semelhantes – que depende da espécie e do desenvolvimento da muda – e pela irrigação programada para aplicar a água com base nas necessidades específicas da planta (NIU et al., 2006).

Interessados em descobrir os fatores que interferiam na irrigação por aspersão em duas cultivares da espécie ornamental *Rhododendron* spp. ('Duc Du Rohan' e 'George L. Taber') e *Pittosporum tobira* ('Laura Lee'), Beeson Jr. e Knox (1991) concluíram que a retenção de água pela parte aérea das mudas e os espaços entre os recipientes contribuíram fortemente para essa redução. A curvatura das folhas (côncava ou convexa), apesar de diferir entre as duas cultivares testadas, não foi o fator preponderante, porém, com o crescimento da muda, a área foliar reduziu a quantidade de água que chegou ao substrato.

Para Beeson Jr. e Yeager (2003), o aumento da área foliar, aliado ao maior espaçamento, favoreceu a chegada da água ao substrato nas espécies ornamentais *Viburnum odoratissimum* Ker-Gawl. e *Ligustrum japonicum* Thunb.

Na produção de mudas florestais, Silva e Silva (2015) demonstraram que a chegada de água ao substrato, aplicada via microaspersão, em mudas de *Aspidosperma polyneuron* estava relacionada ao grau de desenvolvimento da parte aérea. As lâminas de água 11 e 14 mm não diferiram entre si. Este resultado foi possível porque as mudas produzidas na lâmina 14 mm apresentaram menor quantidade de parte aérea (altura e massa seca), reduzindo a captação de água e, conseqüentemente, a lixiviação.

A falta de conhecimento sobre a quantidade de água necessária e como a copa da muda afeta a captura da água, limita melhorias na eficiência, ou seja, não colabora para

que os viveiristas reduzam a quantidade aplicada de água e fertilizantes lixiviados através da programação da irrigação e agrupamento das mudas (YEAGER et al., 2010).

Em geral, não há dúvida de que temos de tomar medidas mais efetivas para gerir sustentavelmente os recursos. Para fazer isso, precisamos coordenar efetivamente nossos recursos educativos existentes, a fim de capacitar o diversificado grupo de profissionais que servem o setor de produção de mudas e identificar as lacunas no nosso conhecimento que requerem mais pesquisa (LEA-COX et al., 2010).

Ainda assim, mesmo que soluções para conservar a água estejam disponíveis, elas não serão amplamente adotadas até que a quantidade ou qualidade da água represente um impacto econômico negativo imediato ou haja ameaças ao acesso à água por conflitos de interesse, mudanças nas leis ou clima. Somente então, a pesquisa baseada em práticas de conservação da água será demandada de forma generalizada (FULCHER et al., 2016).

2.2 Arquitetura foliar

Na vegetação, coexistem espécies de plantas com grandes variações na forma, tamanho e padrão de venação das folhas (NIINEMETS et al., 2007).

A arquitetura da planta é definida como a organização tridimensional de seu corpo. Nas partes da planta que estão acima do solo, a arquitetura inclui o padrão de ramificação, o tamanho, a forma e a posição das folhas e flores. A arquitetura é específica da espécie, indicando que ela está sob-rigorous controle genético, embora também seja influenciada pelas condições ambientais, tais como luz, temperatura, umidade e o nível de nutrientes durante seu desenvolvimento (GODIN, 2000; REINHARDT; KUHLEMEIER, 2002).

As espécies podem variar bastante quanto à arquitetura, ou seja, no arranjo de suas folhas no espaço. Em função disto, as folhas apresentam diferentes ângulos de inserção nos ramos e caules (PRESS, 1999; FALSTER; WESTOBY, 2003).

Os ângulos que as folhas formam com o eixo caulinar são definidos como ângulos foliares (VALLADARES; BRITES, 2004), que também podem diferir muito entre as espécies vegetais (BARCLAY, 2001; FALSTER; WESTOBY, 2003).

A maioria dos estudos tem investigado o ângulo foliar como uma característica funcional que influencia a interceptação da luz (FALSTER; WESTOBY, 2003; UTSUGI et al., 2006; NIINEMETS, 2010).

Falster e Westoby (2003) forneceram a primeira evidência de que as espécies com ângulos foliares mais íngremes reduziam a exposição à luz excessiva durante o meio-dia, ao invés de maximizar o ganho de carbono.

De acordo com Velázquez-Rosas et al. (2002) e Vernimmen et al. (2007), além da interferência na luz, a arquitetura das copas e das folhas das árvores pode atuar de forma diferenciada na interceptação da água.

Segundo Brewer et al. (1991), a precipitação, formação de orvalho, neblina e a pulverização da irrigação pode levar ao acúmulo de água nas folhas durante boa parte do dia. Nesses casos, os ângulos foliares maiores podem reduzir a retenção hídrica e proporcionar maior difusão do gás carbônico. Além disso, tricomas e pelos nas superfícies foliares parecem aumentar a repelência à água.

De acordo com Aryal e Neuner (2010), a duração e a quantidade de água retida nas folhas e seu significado funcional é altamente variado. A molhabilidade da superfície foliar pode influenciar a absorção de água, as trocas gasosas, a infecção por patógenos, a lixiviação de nutrientes, a contaminação por poluentes e, em ambientes de congelamento, a possibilidade de formação de gelo.

Em ambientes áridos e semiáridos, maiores ângulos foliares, alta hidrofobia foliar e baixa retenção das gotas de água são características funcionais importantes entre as espécies vegetais. Essas características auxiliam nas estratégias seletivas para promover maior eficiência fotossintética durante os períodos de precipitação e aumentar a interceptação, que resulta em maior disponibilidade hídrica para os sistemas radiculares (HOLLOWAY, 1969; KOCH et al., 2009; HOLDER, 2012).

Em grande parte das espécies do gênero *Eucalyptus*, os ângulos foliares maiores, aliado a solos de baixa fertilidade, secas severas e alta luminosidade são mecanismos para proteger a planta nos períodos desfavoráveis à fotossíntese (KING, 1997).

Holder (2007) examinou as diferenças na repelência hídrica de folhas de espécies comuns dentro de uma Floresta Tropical Montana na Guatemala, uma floresta seca tropical na Guatemala e um Semiárido no Colorado, sob a hipótese de que espécies com superfícies foliares altamente repelentes à água coincidem com zonas de nevoeiro persistentes devido à pressão seletiva para maximizar a fotossíntese. No entanto, a repelência foliar das espécies da Floresta Tropical Montana foi menor que a das espécies do Semiárido. No Semiárido, a repelência das folhas pode ser uma resposta funcional para aumentar a remoção de água da copa e direcioná-la pelo tronco até ao solo, a fim de melhorar o balanço hídrico da planta.

Mais trabalhos são necessários para avaliar de forma abrangente a interação funcional entre repelência à água das folhas, ângulo foliar, ocorrência de tricomas e, em última instância, o significado ecológico dessas relações (BREWER et al., 1991), pois, embora as diferenças na fisionomia foliar tenham atraído vários pesquisadores, sua importância na diferenciação de nichos de espécies ainda não é inteiramente compreendida, devido, em parte, à falta de informações sobre os custos e benefícios de formas foliares específicas (NIINEMETS et al., 2007).

2.3 Qualidade de mudas florestais

Na recuperação de áreas degradadas, uma das técnicas mais recomendadas é o replantio de espécies nativas, resultando em uma crescente preocupação com a propagação destas espécies, bem como aumento na demanda por serviços e produtos florestais (JOSÉ et al., 2009; ALVES et al., 2012).

No Brasil, na maioria dos casos, os projetos de reflorestamento fazem uso de mudas produzidas em viveiros florestais, uma vez que as condições edafoclimáticas de grande parte dos locais a serem plantados não permitem que se faça uso da semeadura direta em campo (THEBALDI et al., 2015).

Para se concretizar um empreendimento florestal de qualidade são necessários grandes investimentos. Como o reflorestamento é um investimento de longo prazo, a escolha das mudas deve ser cuidadosa para possibilitar que o povoamento se desenvolva bem e não apresente perdas no futuro (TÉO et al., 2014).

Na busca por mudas florestais de qualidade, produzidas no menor tempo possível, diversos insumos e manejos são utilizados no processo, produzindo resultados diferenciados, haja vista que os fatores interagem. Os manejos de irrigação e fertilização devem ser adequados ao local em que o viveiro se encontra, à espécie, à época do ano, ao tipo de embalagem e ao substrato (CIAVATTA et al., 2014).

Apesar do aumento considerável da qualidade (CORTINA et al., 2013), muitos viveiros ainda ofertam mudas de baixa qualidade aos projetos de reflorestamento. Isto é atribuído, geralmente, à falta de habilidades básicas e conhecimentos dos viveiristas na produção de mudas (DEGRANDE et al., 2012).

O êxito de um plantio florestal depende de inúmeros fatores, dentre eles a qualidade das mudas, que obrigatoriamente devem estar rustificadas, saudáveis e bem nutridas, para atingirem inicialmente seu maior potencial produtivo, estando aptas a competirem com plantas daninhas, bem como outras condições adversas encontradas em campo (OLIVEIRA et al., 2011; LISBOA et al., 2012).

A qualidade das mudas é definida de acordo com a sua finalidade. A muda ideal, adequada para todos os fins, não existe. A muda deve apresentar condições de sobreviver e crescer em um sítio específico após o plantio (DUMROESE et al., 2005).

O período inicial no crescimento das mudas é o mais crítico e, por isso, deve ser superado rapidamente (GRAZIA et al., 2004).

Ainda que as diferenças em altura e diâmetro das mudas implantadas no campo possam diminuir ao longo do tempo, o melhor desenvolvimento inicial permite que as mudas saiam mais rapidamente da competição com as plantas daninhas, reduzindo os custos de manutenção dos plantios florestais (BARROSO et al., 2000).

A qualidade das mudas está diretamente relacionada à composição genética, tamanho, vigor, condições ambientais do local de plantio, bem como sua manipulação no plantio (DAVIS; JACOBS, 2005).

O principal objetivo da avaliação da qualidade das mudas é quantificar com precisão os níveis de atributos morfológicos das mudas que fornecem potencial para desenvolvimento vigoroso (WILSON; JACOBS, 2006).

Características morfológicas ou fisiológicas podem ser usadas como medidas do padrão de qualidade de mudas, sendo que as características morfológicas são, de modo geral, de mais fácil obtenção, pois não exigem equipamentos mais sofisticados (DAVIS; JACOBS, 2005; LI et al., 2011; THEBALDI et al., 2015), bem como tem apresentado sucesso na previsão do desempenho das mudas após o plantio (JACOBS et al., 2005).

A altura da parte aérea é uma característica de fácil medição, determinada por método não destrutivo e, por isso, sempre foi utilizada para estimar o padrão de qualidade das mudas nos viveiros (GOMES et al., 2002; 2003).

Apesar da altura ideal para as mudas deixarem o viveiro e serem plantadas no campo ainda ser um assunto controverso (BALDIN et al., 2015) e, isoladamente, muitas vezes não conseguir explicar as diferenças nas características de mudas (Gazal; Kubiske, 2004; Wilson; Jacobs, 2006), é uma das variáveis mais importantes para estimar o crescimento no campo pós-plantio (REIS et al., 2008; JOSÉ et al., 2009).

O diâmetro do colo também é facilmente mensurável, não destrutivo, e considerado por muitos pesquisadores como uma das mais importantes características para estimar a sobrevivência após o plantio de mudas de diferentes espécies florestais (DANIEL et al., 1997; GOMES et al., 2002; SOUZA et al., 2006; DOWNES et al., 2009; SPECK; BURGERT, 2011), particularmente sob condições de seca (SOUTH et al., 2001).

Isoladamente, o diâmetro do colo é o melhor indicador de qualidade de mudas, dada sua alta correlação com o índice de qualidade de Dickson (BINOTTO et al., 2010).

A altura e o diâmetro do colo são largamente utilizados para avaliar a qualidade das mudas no viveiro e, em muitos casos, estas variáveis foram correlacionadas com a sobrevivência ou o crescimento das mudas após o plantio. No entanto, há muito se percebeu que a altura e o diâmetro do colo, isolados, não se correlacionam com o desempenho em campo em todos os casos (JACOBS et al., 2005).

Considerável parte da literatura científica tem focado em discutir mais a morfologia e o vigor fisiológico da muda como um todo do que a qualidade do sistema radicular (DAVIS; JACOBS, 2005). Isso pode ter ocorrido porque as medições e análises do sistema radicular são difíceis, demoradas e muitas vezes imprecisas (BOUMA et al., 2000; COSTA et al., 2001).

O estabelecimento da muda no campo pode ser melhorado através de tratamentos no viveiro que assegurem alta qualidade das mudas e promovam o desenvolvimento bem estruturado do sistema radicular (TSAKALDIMI et al., 2009).

A morfologia do sistema radicular e o estado fisiológico podem fornecer indicação mais precisa do potencial das mudas (DAVIS; JACOBS, 2005), haja vista que um componente importante da qualidade é a capacidade da planta produzir raízes rapidamente (MAÑAS et al., 2009) e absorver mais água e nutrientes (ALMEIDA et al., 2005) para reduzir o estresse hídrico e aumentar a sobrevivência (LUIS et al., 2009).

As práticas culturais no viveiro que alteram as características morfológicas das mudas podem limitar a susceptibilidade ao plantio em condições de estresse hídrico. É por isso que os atributos morfológicos, tais como maior diâmetro do colo das mudas e o tamanho do sistema radicular podem conferir maior chance de sobrevivência (GROSSNICKLE, 2012).

A massa seca radicular das mudas tem sido reconhecida por diferentes autores como uma das melhores características para se estimar a sobrevivência e o crescimento inicial no campo (CALDEIRA et al., 2000b; GOMES et al., 2002; FREITAS et al., 2005; CALDEIRA et al., 2008a).

A medição da massa seca aérea, apesar de ser por um método destrutivo, deve ser considerada, pois indica a rusticidade das mudas (CALDEIRA et al., 2000a, 2000b, 2008a, 2008b).

Uma grande área foliar indica maior potencial para a fotossíntese e transpiração, podendo beneficiar as mudas recém-plantadas em condições ambientais favoráveis. No entanto, se o sistema radicular não fornecer água suficiente para a parte aérea, a maior área de transpiração pode impactar negativamente sobre o desenvolvimento e a sobrevivência das mudas após o plantio (GROSSNICKLE, 2005). Por isso, as mudas devem apresentar maior tamanho da parte aérea e raízes bem formadas para aumentar as chances de sobrevivência no campo (FERRAZ; ENGEL, 2011).

O maior incremento em massa seca total é resultado de plantas mais eficientes (BARRETTO et al., 2007), sendo essa variável considerada importante para avaliação da qualidade de mudas (BERNARDINO et al., 2005). Mudas maiores ocupam áreas maiores dentro do local de plantio e captam mais radiação solar. A concorrência de luz solar, bem como o ganho de carbono através da fotossíntese, está relacionado com a sobrevivência (JOHNSON; SMITH, 2005).

A escolha das variáveis para avaliar a qualidade das mudas, além da utilização dos resultados, deve ser baseada na eficiência em termos de tempo, custo e se o método é destrutivo ou não. A medição da maioria das variáveis de desenvolvimento das raízes é destrutiva e demorada; da altura da parte aérea e do diâmetro do colo é rápida, fácil e não destrutiva. No entanto, utilizados individualmente, essas variáveis não são suficientes para avaliar a qualidade das mudas (HAASE, 2008).

Na avaliação da qualidade das mudas não se deve utilizar, isoladamente, variáveis morfológicas e suas relações, para evitar o risco de selecionar mudas mais altas, porém fracas ou descartar as menores, mas com maior vigor (FONSECA et al., 2002; JACOBS et al., 2005).

Ponderando os resultados de várias características morfológicas importantes, o índice de qualidade de Dickson (IQD) é apontado como um bom indicador da qualidade de mudas. Para seu cálculo, são utilizadas a robustez (relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do colo) e o equilíbrio da distribuição da biomassa (relação entre a massa seca aérea e radicular) (CALDEIRA et al., 2005, 2007; FONSECA et al., 2002).

Quanto maior o valor do IQD, melhor é a qualidade da muda (GOMES et al., 2002) e o potencial dela sobreviver e crescer no campo (BAYALA et al, 2009;. MAÑAS et al., 2009).

A crescente pressão para a produção de mudas com alta qualidade exige um entendimento melhor da fisiologia do crescimento e das relações hídricas nas espécies florestais. Nesse sentido, é importante conhecer as respostas fisiológicas em função da diminuição da água disponível no substrato e ao aumento do déficit de saturação de vapor atmosférico em mudas de espécies florestais (FERREIRA et al., 1999).

Considerando a carência de conhecimentos sob os aspectos fisiológicos na produção de mudas florestais, tem-se utilizado as variáveis transpiração, teores de clorofila a e b e carotenoides (DUTRA et al., 2012; MOURA et al., 2016), potencial hídrico foliar (COSTA; MARENCO, 2007) e intensidade da coloração verde (SPAD) (SABINO et al., 2016) para auxiliar na determinação dessa qualidade.

Ferreira et al. (1999) concluíram que o potencial hídrico foliar foi a variável mais consistente para evidenciar as alterações fisiológicas em mudas de *Corymbia citriodora* submetidas à cinco frequências de irrigação. De acordo com Taiz e Zeiger (2004), as plantas requerem uma adição contínua de energia livre para manterem e repararem suas estruturas altamente organizadas, assim como para crescerem e se reproduzirem. Reações bioquímicas, acúmulo de solutos e transporte a longa distância são todos movidos por um acréscimo de energia livre na planta. O potencial hídrico da água é uma expressão da energia livre a ela associada, ou seja, do seu potencial para realizar trabalho dividido pelo volume de 1 mol de água. O potencial hídrico é uma grandeza relativa, expresso como a diferença entre o potencial de uma substância em um determinado estado e o potencial da mesma substância em um estado padrão. O crescimento celular, fotossíntese e a produtividade das espécies são fortemente influenciados pelo potencial hídrico e seus componentes, representando o status hídrico da planta. Em folhas de plantas bem hidratadas, o potencial hídrico varia de -0,2 até cerca de -1,0 MPa.

Silva et al. (2004) trabalhando com dois manejos hídricos por subirrigação (-0,01 e -1,5 MPa) na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus grandis* verificaram que a maior restrição hídrica também influenciou na transpiração, de maneira que as mudas

submetidas ao maior estresse (-1,5 MPa) reagiram mais rapidamente à falta de água, fechando seus estômatos. Segundo Taiz e Zeiger (2004), a transpiração foliar depende de dois fatores principais: (1) a diferença de concentração de vapor de água entre os espaços intercelulares das folhas e a atmosfera externa e (2) a resistência à difusão dessa rota. O segundo fator é composto pela: a) resistência associada à difusão pelo poro estomático e b) resistência causada pela camada de ar parado junto à superfície foliar, chamada de resistência da camada limítrofe. A maior parte da transpiração foliar resulta da difusão de vapor de água através do poro estomático. As mudanças na resistência estomática são importantes para a regulação da perda de água pela planta e para o controle da taxa de absorção de dióxido de carbono, necessária à fixação continuada de CO₂ durante a fotossíntese. Todas as plantas terrestres enfrentam demandas competitivas de absorverem CO₂ da atmosfera enquanto limitam a perda de água.

Silva et al. (2016) identificaram que em folhas de plantas jovens de *Cocos nucifera*, sob cinco manejos hídricos (20, 40, 60, 80 e 100% de reposição das perdas de água por evapotranspiração potencial) e quatro solos com crescentes níveis de salinidade, o déficit hídrico foi o fator mais limitante ao aumento do teor de carotenoides. Segundo Taiz e Zeiger (2004), os carotenoides são encontrados em todos os organismos fotossintéticos, constituindo integralmente as membranas dos tilacoides e, em geral, associados aos pigmentos proteicos das antenas e dos centros de reação. A luz absorvida pelos carotenoides é transferida à clorofila para o processo de fotossíntese. Em decorrência do papel que desempenham são chamados de pigmentos acessórios. Além de sua função como pigmento acessório, os carotenoides desempenham papel essencial na fotoproteção, isto é, proteção das membranas fotossintéticas contra grandes quantidades de energia absorvida e não armazenada pela fotoquímica. Os carotenoides exercem sua função protetora, dissipando esse excesso de energia na forma de calor (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Torres Netto et al. (2005) verificaram relação linear entre o teor de carotenoides e o teor total de clorofila nas folhas de *Coffea canephora*. O mais ativo dos tecidos fotossintéticos das plantas superiores é o mesofilo foliar. As células do mesofilo possuem muitos cloroplastos, os quais contêm os pigmentos verdes especializados na

absorção de luz, as clorofilas. As clorofilas a e b são abundantes nas plantas verdes. Todas as clorofilas têm uma complexa estrutura em anel ligada a uma longa cauda de hidrocarbonetos (TAIZ; ZEIGER, 2004). O baixo teor de clorofila pode limitar o potencial da fotossíntese, pois as moléculas de clorofila participam diretamente na captação da luz e transferência de elétrons (NIYOGI, 1999).

Carvalho et al. (2015) estudando o índice SPAD nas folhas das mudas de duas procedências de *Peltophorum dubium* submetidas a dois manejos hídricos (com e sem déficit hídrico) e dois regimes de fertilização (com e sem fertilização), demonstraram que nos tratamentos fertilizados, o déficit hídrico reduziu o índice SPAD. De acordo com Marengo et al. (2009), os métodos mais comuns para determinar o teor de clorofila foliar envolvem a destruição da folha, impedindo avaliações ao longo do tempo. Na década de 1990, a Minolta Corporation desenvolveu o SPAD, um medidor de clorofila portátil que fornece um índice relacionado ao conteúdo de clorofila de uma folha, permitindo medições rápidas e precisas no campo.

Dessa forma, fica evidente que as variáveis relacionadas à qualidade das mudas precisam ser determinadas em cada espécie, considerando as condições ambientais e manejo específicos a que estão submetidas (ZIDA et al., 2008b; BAYALA et al., 2009). Além disso, espera-se que a avaliação sistemática da qualidade das mudas produzidas nos viveiros possa melhorar a compreensão dos fatores que levam ao sucesso ou fracasso dos plantios (TAKOUTSING et al., 2014).

2.4 Espécies florestais

2.4.1 *Heliocarpus popayanensis* H.B.K.

A espécie *Heliocarpus popayanensis* H.B.K. (Malvaceae), popularmente conhecida como Algodoeiro, ocorre no Bioma Mata Atlântica, na Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa e no ambiente ripário. Quanto ao grupo sucessional, é uma espécie pioneira de rápido crescimento, sendo recomendada em plantios puros a pleno sol e mistos com espécies secundárias e clímax na restauração de áreas degradadas, bem como na arborização urbana. Sua madeira pode ser empregada na produção de celulose e papel, energia e obras internas. Suas folhas são alternas, simples, cordiformes, medindo de 10 a 20 cm de comprimento por 5 a 18 cm de largura; as folhas novas são ferrugíneo-tomentosas em ambas as faces, e as adultas, glabras na face ventral com a margem serreada e geralmente com três lóbulos curtos e pontiagudos; o pecíolo é largo e piloso, medindo de 5 a 10 cm de comprimento (CARVALHO, 2008).

2.4.2 *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabrera

A espécie *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabrera (Asteraceae), popularmente conhecida como Candeia, ocorre no Bioma Mata Atlântica, na Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual, no bioma Cerrado e Cerradão, sendo comum em zonas ecotonais entre o Cerrado e a Floresta Estacional Semidecidual, nos campos gerais e campos de altitude. Quanto ao grupo sucessional, é uma espécie secundária inicial, sendo recomendada para restituição de ecossistemas degradados. Por apresentar copa rala, desenvolve processo sucessional rico e diversificado, desde que haja fontes de sementes de outras espécies nas proximidades. Além disso, é uma espécie com alta capacidade de conservação do solo, por poder ser cultivada em solos bem drenados e inundados por pequenos períodos, ajudando na fixação de barrancos de rios. Pode ser utilizada, com certa restrição, na arborização urbana, pois sua copa rala e larga não responde bem às podas e apresenta folhas caducas. Apresenta crescimento simpodial com multitruncos, devido a sua capacidade

de emitir brotações na altura do colo. Recomenda-se planta-la a pleno sol, em função da exigência lumínica. A madeira pode ser utilizada na construção civil, mourões, postes, lenha e carvão. Suas folhas são simples, alternas, espiraladas, discolores, ovadas a ovadas-elípticas, com 7 a 17 cm de comprimento por 2,5 a 7 cm de largura e pecíolo curto e piloso de até 2 cm (CARVALHO, 2003).

2.4.3 *Croton floribundus* Spreng.

A espécie *Croton floribundus* Spreng. (Euphorbiaceae), popularmente conhecida como Capixingui, ocorre no Bioma Mata Atlântica, na Floresta Estacional Semidecidual. Quanto ao grupo sucessional, é uma espécie pioneira, sendo recomendada na colonização de áreas degradadas. Por seu rápido desenvolvimento, fornece proteção ao solo e condições microclimáticas necessárias ao estabelecimento de espécies de estágios sucessionais posteriores. Na restauração de mata ciliar, é indicada para terrenos bem drenados. Apresenta crescimento monopodial quando jovem e desrama natural satisfatória. Recomenda-se planta-la a pleno sol. A madeira é de uso restrito devido à baixa resistência mecânica, mas apropriada para produção de papel e celulose. Suas folhas são simples, alternas, com estípulas; limbo ovado ou elíptico a lanceolado, com 8 a 12 cm de comprimento por 5 a 6 cm de largura; base codiforme ou obtusa; ápice agudo; face superior brilhante, verde-escura quando nova e com tonalidade vermelha e alaranjada quando velha, antes de cair, face inferior branca, com pelos estrelados; ambos os lados bem ásperos, lembrando lixa. Pecíolo provido de indumento estrelado; a folha quando arrancada, exsuda abundante látex aquoso (CARVALHO, 2003).

2.4.4 *Lafoensia pacari* A.St.-Hil.

A espécie *Lafoensia pacari* A.St.-Hil. (Lythraceae), popularmente conhecida como Dedaleiro, ocorre no Bioma Mata Atlântica, na Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual, no Campo Cerrado, no Bioma Cerrado, Cerradão e campos de altitude. Quanto ao grupo sucessional, é uma espécie secundária inicial. O plantio puro, a pleno sol, deve ser evitado em locais com geadas severas. Recomenda-se o plantio misto, a pleno sol, associado com espécies pioneiras. A espécie é polinizada por morcegos grandes que derrubam as pétalas ao se chocarem com a flor. Tal quiropterofilia é valiosa na recuperação de ecossistemas degradados. Essa espécie é recomendada para reposição de mata ciliar, em locais bem drenados ou com inundações periódicas de rápida duração, bem como para arborização urbana. A madeira pode ser utilizada na construção civil em obras externas e internas, lenha. Suas folhas são compostas, opostas, inteiras, lisas, brilhantes, coriáceas, curto-pecioladas, com ápice obtuso; lâmina foliar com até 15 cm de comprimento, verde-amarelo-claro e brilhante (CARVALHO, 2003).

2.4.5 *Esenbeckia leiocarpa* Engl.

A espécie *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae), popularmente conhecida como Guarantã, ocorre no Bioma Mata Atlântica, na Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual e no Bioma Pantanal. Quanto ao grupo sucessional, é uma espécie secundária tardia a clímax, típica de estágios finais de sucessão. Apesar de ser uma espécie de floresta clímax, pode ser usada em adensamento na recuperação de florestas degradadas, bem como na arborização urbana. É uma espécie umbrófila, muito tolerante à sombra. Devem-se evitar plantios puros a pleno sol, sendo recomendado o plantio misto, desde que sombreado por outras espécies. A madeira pode ser utilizada na construção civil em obras externas, postes, mourões, lenha e carvão. Suas folhas são simples, alternas e subopostas, medindo de 5 a 20 cm de comprimento por 3,3 a 7 cm de largura; os pecíolos são semicilíndricos, levemente canaliculados na face superior e pubescentes medindo de 1,8 a 2,5 mm de

comprimento; a lâmina foliar é obovada a largo elíptica, com base aguda e atenuada, apresentando ápice obtuso, arredondado, raramente emarginado, com margem revoluta, glabra e pubérula (CARVALHO, 2010).

2.4.6 *Genipa americana* L.

A espécie *Genipa americana* L. (Rubiaceae), popularmente conhecida como Jenipapo, apresenta alta plasticidade ecológica, ocorrendo em várias formações florestais de toda América Tropical. No Brasil, essa espécie é encontrada no Bioma Mata Atlântica, na Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Estacional Semidecidual Submontana, no Cerradão, no Bioma Pantanal e no Bioma Caatinga. Quanto ao grupo sucessional, não há consenso e a espécie pode ser classificada como pioneira, secundária inicial ou secundária tardia. A espécie apresenta grande potencial de uso em recuperação de áreas alteradas, com inundação temporária ou mesmo em locais secos, bem como na arborização urbana. É fundamental na recomposição de matas ciliares, em margens de represas com piscicultura, pois seus frutos são fonte de alimento para a fauna. Recomendam-se os plantios mistos para essa espécie. A madeira é de muita qualidade, elástica e flexível, sendo usada na construção naval e civil e produção de papel e celulose. Além da madeira, a espécie é fonte de óleo, tinta, resina e tanino. Suas folhas ao simples, opostas, oblongo-obovadas, coriáceas, curto-pecioladas, com duas estípulas interpeciolares, de inserção oposta, persistentes, com até 5 cm de comprimento; de cor verde-escura e lustrosa, com 15 a 35 cm de comprimento e 3 a 10 cm de largura, agrupadas ao extremo dos ramos (CARVALHO, 2003).

2.4.7 *Guazuma ulmifolia* Lam.

A espécie *Guazuma ulmifolia* Lam. (Sterculiaceae), popularmente conhecida como Mutambo, ocorre no Bioma Mata Atlântica, na Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa, Contato Floresta Estacional Semidecidual com a Floresta Ombrófila Mista, Restinga e nos Biomas Amazônia,

Cerrado, Caatinga e Pantanal. Quanto ao grupo sucessional, não há consenso e a espécie pode ser classificada como pioneira, secundária inicial ou clímax exigente em luz. Os frutos dessa espécie são muito apreciados por macacos e outros animais. Por essa qualidade e pelo rápido crescimento, tem grande importância nos programas de recuperação de áreas degradadas, através de plantios puros ou heterogêneos, bem como na arborização urbana. É recomendada também para revegetação natural de voçorocas. A madeira pode ser utilizada na construção civil, postes, lenha, carvão e papel e celulose. Além da madeira, a espécie é fonte de fibras e óleo. Suas folhas são de filotaxia alterna, simples, ovaladas ou lanceoladas, medindo de 5 a 18 cm de comprimento e de 2 a 6 cm de largura, membranáceas, mais ou menos agudas no ápice, com a margem levemente denteada ou crenada, a face dorsal pilosa, tomentosa com pelos estrelados em ambas as faces. Quando velhas, as folhas são glabras e luzidias (CARVALHO, 2006).

2.4.8 *Talauma ovata* A.St.-Hil.

A espécie *Talauma ovata* A.St.-Hil. (Magnoliaceae), popularmente conhecida como Pinha do brejo, ocorre no Bioma Mata Atlântica, na Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Decidual Aluvial, campos de altitude e matas ciliares. Quanto ao grupo sucessional, não há consenso e a espécie pode ser classificada como intermediária tardia ou clímax. A espécie pode ser plantada em plantios puros a pleno sol e em solos férteis em plantio misto, bem como na arborização urbana. Observa-se em plantios puros boa deposição das folhas, formando espessa camada no solo e dificultando o aparecimento de vegetação invasora. É uma espécie recomendada para áreas inundadas, restauração de mata ciliar em locais com período longo de encharcamento e em áreas com o solo permanentemente encharcado. A madeira pode ser utilizada na construção civil e papel e celulose. Além da madeira, a espécie é fonte de óleo. Suas folhas são simples, alternas, glabras, coriáceas, oblongo-elípticas, ápice obtuso, verde-escuras na face superior e verde-pálidas na face inferior; lâmina do limbo com 25 a 30 cm de comprimento por 10 a 15 cm de largura e pecíolo com 2,5 a 7 cm de comprimento (CARVALHO, 2003).

2.4.9 *Psidium cattleianum* Sabine

A espécie *Psidium cattleianum* Sabine (Mytaceae), popularmente conhecida como Araçá amarelo, ocorre no Bioma Mata Atlântica, da Bahia ao Rio Grande do Sul, na Floresta Ombrófila Densa, campos de altitude, restingas e capoeiras de várzeas úmidas. Quanto ao grupo sucessional, não há consenso e a espécie pode ser classificada como pioneira, secundária tardia ou clímax exigente em luz. A espécie é indispensável em plantios mistos de áreas degradadas. A madeira pode ser utilizada para produzir lenha e carvão. Além da madeira, a espécie fornece fruto comestível e muito apreciado para consumo ao natural, sendo também procurada avidamente por pássaros. Suas folhas são simples, obovadas, coriáceas, glabras, de 5 a 10 cm de comprimento por 3 a 6 cm de largura com pecíolo de 0,4 a 10 mm de comprimento (LORENZI, 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Preparação da estrutura física do experimento

3.1.1 Montagem dos canteiros

A montagem dos canteiros iniciou-se em janeiro de 2014 com a implantação dos pilares de concreto. Os pilares serviram para sustentar as vigas de madeira, que por sua vez suportariam as bandejas das mudas. Ainda nas vigas, foram instalados arcos metálicos para suportar a cobertura plástica. Essa cobertura foi colocada para evitar a interferência dos fatores externos, como a chuva e o vento (Figuras 1A e 1B). Por fim, a cobertura plástica foi fixada nas extremidades de cada canteiro por dois mourões de madeira (Figura 1C).

Figura 1 - Pilares de concreto, vigas e mourões de madeira e arcos metálicos (A); Plástico difusor de luz utilizado na cobertura dos canteiros (B); canteiros finalizados (C)



3.1.2 Montagem do sistema de irrigação e ferti-irrigação

Após a montagem dos canteiros, iniciou-se a montagem do sistema de irrigação e ferti-irrigação.

Para compor o sistema de irrigação localizada, do tipo microaspersão, microaspersores invertidos com válvula antigotas foram instalados, em linha, em cada canteiro. Os microaspersores apresentavam vazão de 129 L h^{-1} sob pressão de 3,0 bar (Figura 2A), sendo acionados automaticamente por painel elétrico.

Foi instalada caixa de água com capacidade de 1.500 litros conectada à tubulação do sistema de irrigação. Na saída da caixa de água foi instalado filtro de disco de 200

mesh (duzentas aberturas por polegada) para filtrar partículas sólidas e precipitados químicos e, conseqüentemente, evitar o entupimento dos microaspersores. Além do filtro, foi instalado manômetro para medir e controlar a pressão da água na saída da caixa de água. Para bombear toda a água do sistema de irrigação, foi instalada motobomba centrífuga multiestágio monobloco e mancalizada de 3500 rpm (rotações por minuto) (Figura 2B).

Para armazenar as soluções nutritivas, foram instaladas duas caixas de água com capacidade de 500 litros conectadas a tubulação do sistema de irrigação, devido à incompatibilidade da mistura de fertilizantes, ou seja, quando se mistura dois fertilizantes solúveis e forma-se um terceiro de baixa solubilidade. É o caso, por exemplo, dos fertilizantes sulfatados (SO_4^{2-}), que nunca devem ser misturados com aqueles que apresentam cálcio (Ca^{2+}), pois formam o gesso (CaSO_4^{2-}), um sal de baixa solubilidade. As soluções nutritivas foram aplicadas por uma motobomba injetora monobloco e mancalizada de 3500 rpm (Figura 2C).

Figura 2 - Microaspersor invertido com válvula antigotas (A); painel de controle (ao fundo), caixa d'água de 1500 litros, filtro de disco, manômetro e motobomba centrífuga (B); caixas d'água de 500 litros e motobomba injetora (C)



3.2 Avaliações prévias ao experimento

3.2.1 Definição da lâmina de água média

Após o término da montagem dos canteiros e do sistema de irrigação, foi possível iniciar a avaliação para definir a lâmina de água média aplicada pelo sistema. Para isso, foram distribuídos 114 pluviômetros de forma equidistante ao longo de cada canteiro (Figura 3A). O sistema de irrigação foi ativado por 5 minutos sob pressão de 3,0 bar. Após esse tempo, o volume de água nos pluviômetros foi medido com proveta graduada (Figuras 3B e 3C).

Figura 3 - Pluviômetros distribuídos de forma equidistante ao longo do canteiro (A); volume de água nos pluviômetros após o teste (B); proveta graduada (C)

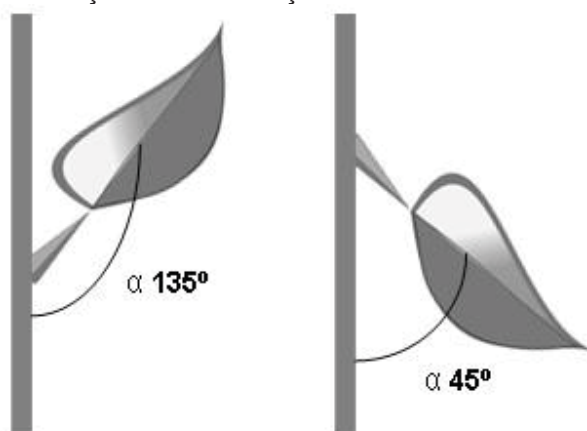


Dividindo-se o volume de água médio nos pluviômetros (49 cm^3) pela área de cada pluviômetro (121 cm^2), verificamos que o sistema de irrigação fornecia lâmina média de $0,81 \text{ mm min}^{-1}$. Com esse valor, foi possível determinar o tempo de ativação do sistema para fornecer as lâminas de água de cada tratamento.

3.2.2 Definição dos ângulos foliares a serem utilizados no experimento

Os ângulos foliares são aqueles formados entre o eixo caulinar e o limbo foliar, podendo variar de 0° (folha totalmente inclinada para baixo) a 180° (folha totalmente inclinada para cima) (Figura 4).

Figura 4 - Medida do ângulo de inclinação foliar em relação à linha vertical do caule



Devido à ausência de informações na literatura a respeito dos ângulos foliares das mudas de espécies florestais nativas, foi necessário avaliar esse fator previamente ao início do experimento. Para isso, mudas de 21 espécies, frequentemente produzidas em viveiros comerciais no bioma Mata Atlântica, em padrão para expedição, foram trazidas do viveiro florestal comercial Camará, localizado na cidade de Ibaté/SP para o viveiro florestal de pesquisa do Departamento de Ciência Florestal da Unesp de Botucatu. Os ângulos foliares foram medidos com transferidor nos dois pares de folhas recém-maduras de cada espécie, partindo do caule em direção ao limbo foliar. Após a avaliação, nove espécies, com diferentes ângulos foliares médios, foram selecionadas para o experimento (Quadro 1 e Figuras 5, 6 e 7).

Quadro 1 - Espécies escolhidas para compor o experimento

Nome científico	Nome popular	Ângulo foliar médio (α)
<i>Genipa americana</i>	Jenipapo	148
<i>Talauma ovata</i>	Pinha do brejo	147
<i>Psidium cattleianum</i>	Araçá amarelo	145
<i>Gochnatia polymorpha</i>	Candeia	132
<i>Lafoensia pacari</i>	Dedaleiro	128
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Guarantã	121
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutambo	76
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	Algodoeiro	36
<i>Croton floribundus</i>	Capixingui	34

Figura 5 - *Genipa americana* (148°) (A); *Talauma ovata* (147°) (B); *Psidium cattleianum* (145°) (C)

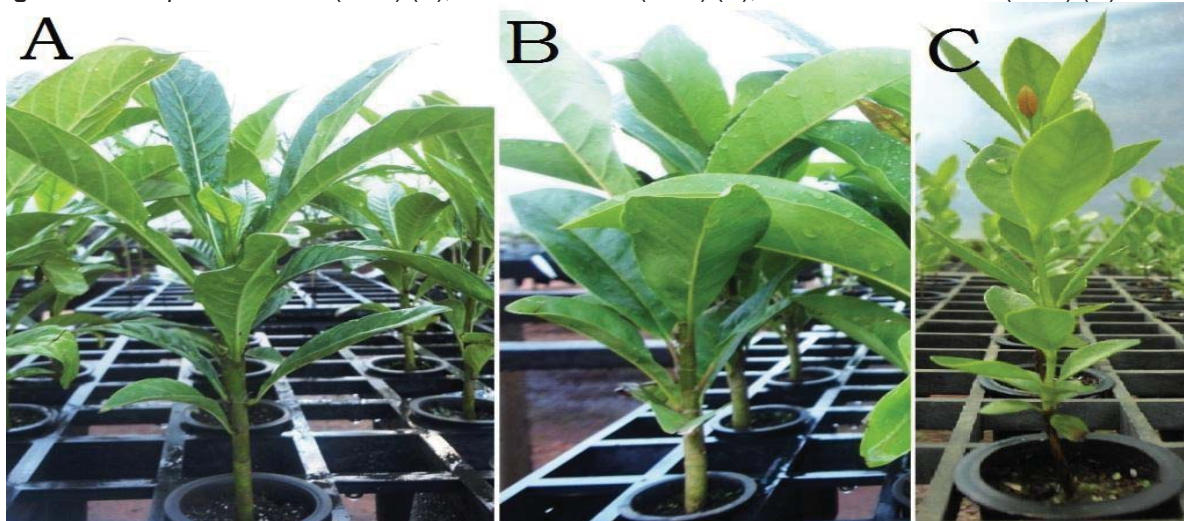
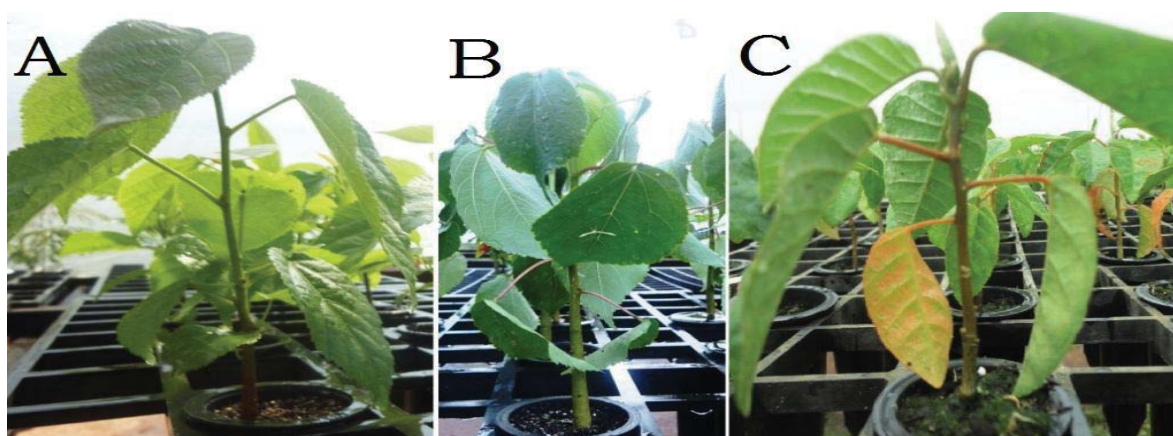


Figura 6 - *Gochnatia polymorpha* (132°) (A); *Esenbeckia leiocarpa* (121°) (B); *Lafoensia pacari* (128°) (C)



Figura 7 - *Guazuma ulmifolia* (76°) (A); *Heliocarpus popayanensis* (36°) (B); *Croton floribundus* (34°) (C)



3.3 Delineamento, tratamentos e repetições

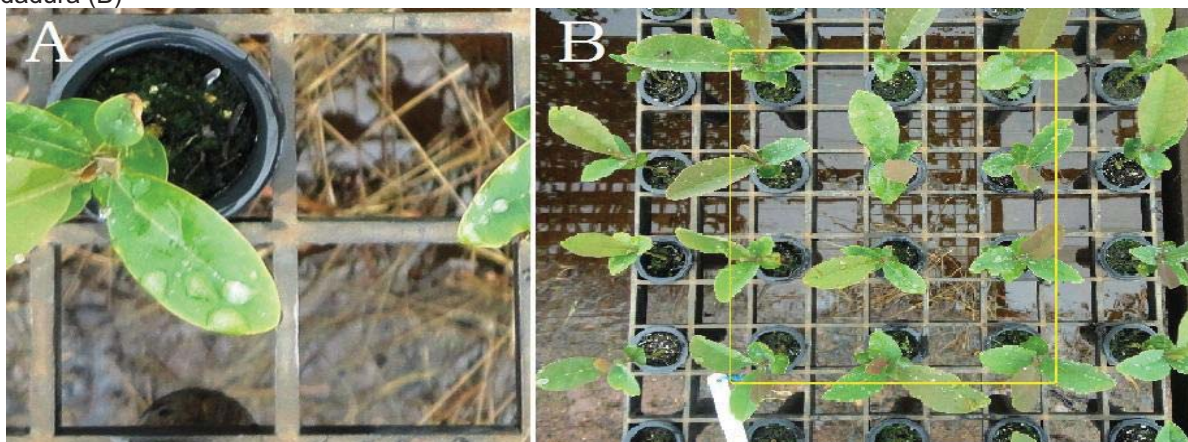
O delineamento experimental adotado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 9x4: nove ângulos foliares (espécies) x quatro lâminas de água aplicadas parceladamente duas vezes ao dia. As lâminas testadas, de acordo com Silva e Silva (2015b), são comumente utilizadas nos viveiros florestais (Quadro 2).

Quadro 2 - Lâminas de água utilizadas no experimento

Lâminas de água (mm)	Composições
8	4 mm às 10 h e 4 mm às 15 h
10	5 mm às 10 h e 5 mm às 15 h
12	6 mm às 10 h e 6 mm às 15 h
14	7 mm às 10 h e 7 mm às 15 h

Em cada tratamento, foram adotadas quatro repetições (bandejas). Em cada bandeja, a porcentagem de ocupação das mudas foi de 25% (Figura 8A), sendo que as 12 mudas centrais constituíram as plantas úteis e outras 18 circundantes formaram a bordadura (Figura 8B), totalizando 48 mudas úteis por tratamento e 1.728 mudas úteis no experimento. A partir da definição dos tratamentos e das repetições foi possível preparar a estrutura para produção das mudas do experimento.

Figura 8 - Ocupação das mudas em 25% (A); mudas amostrais (delimitadas pelo traço amarelo) e a bordadura (B)



3.4 Preparação da estrutura para produção das mudas do experimento

3.4.1 Formação das plântulas

Após concluir a estrutura física, definir a lâmina de água média, os ângulos foliares, bem como o número de tratamentos e repetições a serem utilizadas no experimento, iniciou-se a formação das plântulas das nove espécies no viveiro comercial Camará, localizado na cidade de Ibaté-SP.

3.4.2 Coleta das sementes

As sementes utilizadas para formação das plântulas foram coletadas entre agosto de 2013 e setembro de 2014 em diversos fragmentos florestais da região de Ibaté-SP (Quadro 3).

Quadro 3 - Informações sobre a coleta das sementes

Nome científico	Nome popular	Data	Método	Local
<i>Genipa americana</i>	Jenipapo	03/14	Chão	Jaboticabal-SP
<i>Talauma ovata</i>	Pinha do brejo	08/14	Podão	Ibaté-SP
<i>Psidium cattleianum</i>	Araçá amarelo	02/14	Chão	Matão-SP
<i>Gochnatia polymorpha</i>	Candeia	03/14	Podão	Ibaté-SP
<i>Lafoensia pacari</i>	Dedaleiro	05/14	Chão/podão	Ibaté-SP
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Guarantã	08/13	Podão	Jaboticabal-SP
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutambo	10/13	Chão/podão	Araraquara-SP
<i>Croton floribundus</i>	Capixingui	01/14	Podão	Matão-SP
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	Algodoeiro	09/14	Podão	Ibaté-SP

3.4.3 Beneficiamento e armazenamento das sementes

Após as coletas, os frutos das nove espécies foram acondicionados em sacos de anagem e transportados até o viveiro florestal Camará, Ibaté-SP, para serem beneficiados.

Os frutos das espécies *Genipa americana* (Jenipapo) e *Psidium cattleianum* (Araçá amarelo) foram imersos em água e, em seguida, esfregados em peneira para abri-los. Por fim, foram levados ao sol para facilitar a separação entre o fruto e a semente. Os frutos de *Talauma ovata* (Pinha do brejo) foram secos ao sol para facilitar a abertura e consequentemente a retirada das sementes de forma manual. Os frutos de *Esenbeckia leiocarpa* (Guarantã) e *Croton floribundus* (Capixingui) foram secos ao sol para facilitar a abertura e, em seguida, foi feita a separação do fruto da semente com auxílio de peneira. Os frutos de *Heliocarpus popayanensis* (Algodoeiro) foram secos ao sol para facilitar a abertura e, em seguida, as sementes foram passadas em peneira para retirar a parte alada. Os frutos de *Gochnatia polymorpha* (Candeia) foram secos à sombra para facilitar a abertura e, consequentemente, a retirada das sementes de forma manual. Os frutos de *Lafoensia pacari* (Dedaleiro) e *Guazuma ulmifolia* (Mutambo) foram quebrados manualmente e a separação do fruto das sementes foi feita por meio de peneiras.

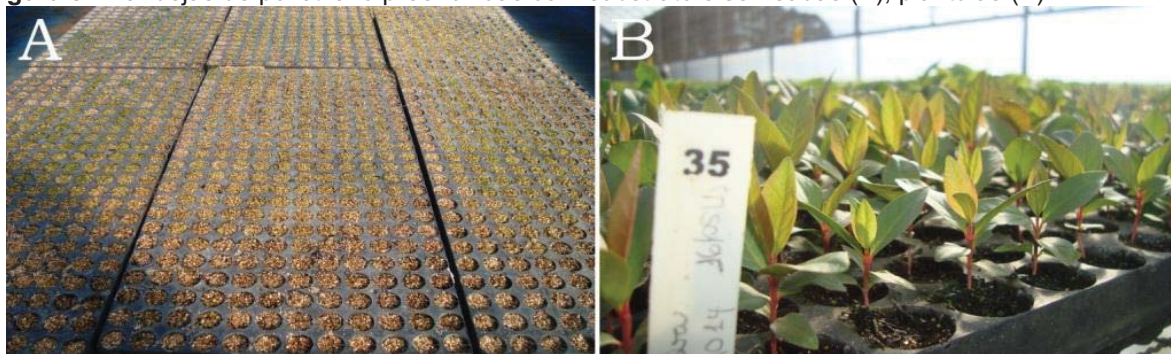
Até o momento da semeadura, exceto a *Talauma ovata* (Pinha do brejo), cuja semeadura foi feita imediatamente após a coleta, as sementes das demais espécies ficaram armazenadas em sacos plásticos, guardados em tambores de papelão, em câmara fria a temperatura de 12 °C e umidade relativa de 8-12%.

3.4.4 Semeadura

As bandejas de polietileno foram preenchidas com substrato composto por turfa de *Sphagnum*, perlita e casca de arroz carbonizada (2:1:1 v:v) e alocadas em casa de sombra, onde foi realizada a semeadura (setembro/2014) (Figura 9A). A casa de sombra possuía sistema de irrigação por microaspersão, com vazão por bocal de 200 L h⁻¹, acionados automaticamente por painel elétrico durante 20 segundos a cada 30 minutos, das 9 às 16 horas. Na semeadura, uma semente foi colocada, manualmente, em cada célula da bandeja. Em seguida, as bandejas foram cobertas com fina camada de substrato e irrigadas, a fim de favorecer o processo de germinação. Após a germinação, as bandejas com 576 plântulas de cada espécie, totalizando 5.184

plântulas para o experimento, foram trazidas ao viveiro florestal de pesquisa do Departamento de Ciência Florestal da Unesp de Botucatu (Figura 9B).

Figura 9 - Bandejas de polietileno preenchidas com substrato e semeadas (A); plântulas (B)



3.4.5 Embalagens e substratos

As embalagens escolhidas para produção das mudas no experimento foram tubetes cilindro cônicos de polietileno com dimensões de 13 cm de comprimento, 3,7 cm de diâmetro da abertura superior, 1,2 cm de diâmetro de abertura inferior e volume de 92 cm³, com oito estrias internas salientes. Foram utilizados 5.184 tubetes. Nessa etapa, os tubetes foram acondicionados em 48 bandejas de polietileno, contendo 108 células cada, com ocupação de 100% (Figura 10A). Os tubetes foram preenchidos com substrato constituído por turfa de *Sphagnum*, perlita e casca de arroz carbonizada (2:1:1 v:v) (Figura 10B). Foram utilizados 0,572 m³ de substrato, equivalente a 13 sacos. A porosidade e a retenção de água do substrato foram determinadas de acordo com Guerrini e Trigueiro (2004) (Figura 10C) e o pH e a condutividade elétrica de acordo com Brasil (2008) (Quadro 4).

Figura 10 - Tubetes acondicionados nas bandejas (A); preenchimento dos tubetes com substrato (B); determinação da porosidade e retenção de água do substrato (C)



Quadro 4 - Porosidade, retenção de água, condutividade elétrica e pH do substrato utilizado no experimento

Porosidade (%)			Retenção de água (mL tubete ⁻¹)
Macro	Micro	Total	
24,2	59,3	83,4	54,6
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)			pH
0,5			6,5

3.4.6 Transplante

A partir das plântulas das nove espécies (Figura 11A) e das bandejas contendo tubetes preenchidos com substrato, foi possível iniciar a operação de transplante (outubro/2014), isto é, retirar as plântulas das células da bandeja de polietileno (Figura 11B) e replantá-las nos tubetes (Figura 11C).

Figura 11 - Plântulas das nove espécies (A); plântula retirada da bandeja (B); operação de transplante para o tubete (C)



3.4.7 Seleção

Após o transplante, foi realizada seleção nas mudas (novembro/2014), a fim de garantir que a média da altura da parte aérea não diferisse estatisticamente ($p < 0,05$) entre as repetições dos tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 - Altura inicial e desvio padrão das espécies utilizadas no experimento

Ângulo foliar (°)	Nome científico	Altura (cm)	Desvio padrão (cm)
148	<i>Genipa americana</i>	3,4	± 0,9
147	<i>Talauma ovata</i>	4,5	± 0,5
145	<i>Psidium cattleianum</i>	8,8	± 1,2
132	<i>Gochnatia polymorpha</i>	4,8	± 1,2
128	<i>Lafoensia pacari</i>	13,3	± 1,3
121	<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	7,9	± 1,0
76	<i>Guazuma ulmifolia</i>	9,6	± 1,0
36	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	11,7	± 1,6
34	<i>Croton floribundus</i>	5,0	± 0,8

Após a seleção, as mudas amostrais foram enumeradas e as bandejas identificadas com o número da repetição e o respectivo tratamento a que seriam submetidas.

3.5 Aplicação das lâminas de água

Para iniciar a aplicação das lâminas de água (novembro/2014), as bandejas das nove espécies foram distribuídas de forma casualizada (Figura 12A) em quatro canteiros suspensos (um canteiro para cada lâmina de água) cobertos com plástico difusor de luz (Figura 12B). O sistema de irrigação foi acionado automaticamente por painel elétrico, programado para atender o tempo exigido por cada lâmina de água (Figura 12C).

Figura 12 - Bandejas distribuídas em delineamento inteiramente ao acaso recebendo irrigação (A); canteiros suspensos cobertos com plástico difusor de luz (B); painel elétrico (C)



3.6 Fertilização de crescimento

Juntamente com o início da aplicação das lâminas de água, iniciaram-se as fertilizações de crescimento, na qual as mudas de todos os tratamentos receberam 4 mm de solução nutritiva, via ferti-irrigação pelo sistema de microaspersão, duas vezes por semana. A solução de macronutrientes foi composta pelos fertilizantes monoamôniofosfato purificado, sulfato de magnésio, cloreto de potássio, nitrato de cálcio e ureia nas concentrações de 295; 84; 200; 160; 38 e 52 mg L⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. A solução de micronutrientes foi composta por ácido bórico, molibdato de sódio e sulfatos de manganês, zinco, cobre e ferro nas concentrações de 4,6; 3,9; 1,2; 0,6; 0,3 e 25 mg L⁻¹ de B, Mn, Zn, Cu, Mo e Fe, respectivamente (Figura 13).

Figura 13 - Solução nutritiva para adubação de crescimento, contendo todos os fertilizantes (na caixa à esquerda), exceto o nitrato de cálcio (na caixa à direita).



Como esperado, em função dos diferentes ritmos de crescimento, o período de aplicação das fertilizações de crescimento variou entre as espécies. Nas espécies *Talauma ovata* (Pinha do brejo), *Esenbeckia leiocarpa* (Guarantã) e *Croton floribundus* (Capixingui) esse período foi de 120 dias. Nas espécies *Guazuma ulmifolia* (Mutambo) e *Genipa americana* (Jenipapo), 90 dias. Nas espécies *Psidium cattleianum* (Araçá amarelo), *Gochnatia polymorpha* (Candeia), *Lafoensia pacari* (Dedaleiro) e *Heliocarpus popayanensis* (Algodoeiro), 60 dias. Esses períodos foram definidos em função da conformação do sistema radicular das espécies, ou seja, para encerrar as fertilizações de crescimento e iniciar as fertilizações de rustificação, o sistema radicular das mudas produzidas, em pelo menos uma das lâminas de água, deveria apresentar agregação junto ao substrato, formando torrão.

3.7 Fertilização de rustificação

Em todas as espécies, o período de aplicação das fertilizações de rustificação foi de 30 dias, no qual as mudas de todos os tratamentos receberam 4 mm de solução nutritiva, via ferti-irrigação pelo sistema de microaspersão, duas vezes por semana. A solução foi composta pelo fertilizante cloreto de potássio na concentração de 700 mg L⁻¹ e os micronutrientes nas mesmas concentrações utilizadas na fertilização de crescimento.

Sendo assim, após o início da aplicação das lâminas de água, o ciclo de produção das mudas no viveiro das espécies *Talauma ovata* (Pinha do brejo), *Esenbeckia leiocarpa* (Guarantã) e *Croton floribundus* (Capixingui) foi de 150 dias. Das espécies *Guazuma ulmifolia* (Mutambo) e *Genipa americana* (Jenipapo), 120 dias; e *Psidium cattleianum* (Araçá amarelo), *Gochnatia polymorpha* (Candeia), *Lafoensia pacari* (Dedaleiro) e *Heliocarpus popayanensis* (Algodoeiro), 90 dias.

3.8 Avaliações ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro

Para determinar se o ângulo foliar das espécies e as lâminas de água aplicadas no viveiro afetaram a qualidade morfológica das mudas ao final do ciclo de produção foram avaliadas as seguintes variáveis: altura da parte aérea, diâmetro do colo, massa seca aérea, radicular e total, índice de qualidade de Dickson, área de projeção da copa e conformação do sistema radicular.

Com relação à qualidade fisiológica das mudas ao final do ciclo de produção no viveiro foram avaliadas as seguintes variáveis: potencial hídrico foliar, intensidade da coloração verde das folhas (SPAD), transpiração diária e teores dos pigmentos foliares clorofila a, b, carotenoides e antocianinas. Além disso, foram avaliadas a fração de lixiviação e a condutividade elétrica da solução lixiviada.

Com relação à qualidade nutricional das mudas ao final do ciclo de produção no viveiro foi avaliado o acúmulo dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn e Cu.

3.8.1 Altura da parte aérea e diâmetro do colo

As variáveis altura da parte aérea (cm) e diâmetro do colo (mm) foram avaliadas nas 12 mudas úteis de cada repetição, totalizando 48 mudas por tratamento e 192 por espécie. A altura da parte aérea foi medida com régua milimetrada, a partir da borda do tubete até a gema apical que deu origem à última folha (Figuras 14, 15 e 16).

O diâmetro do colo (mm) foi medido rente à borda do tubete com paquímetro digital (Figuras 17, 18 e 19).

Figura 14 - Medição da altura da parte aérea das espécies: *Genipa americana* (148°) (A); *Talauma ovata* (147°) (B); *Psidium cattleianum* (145°) (C)

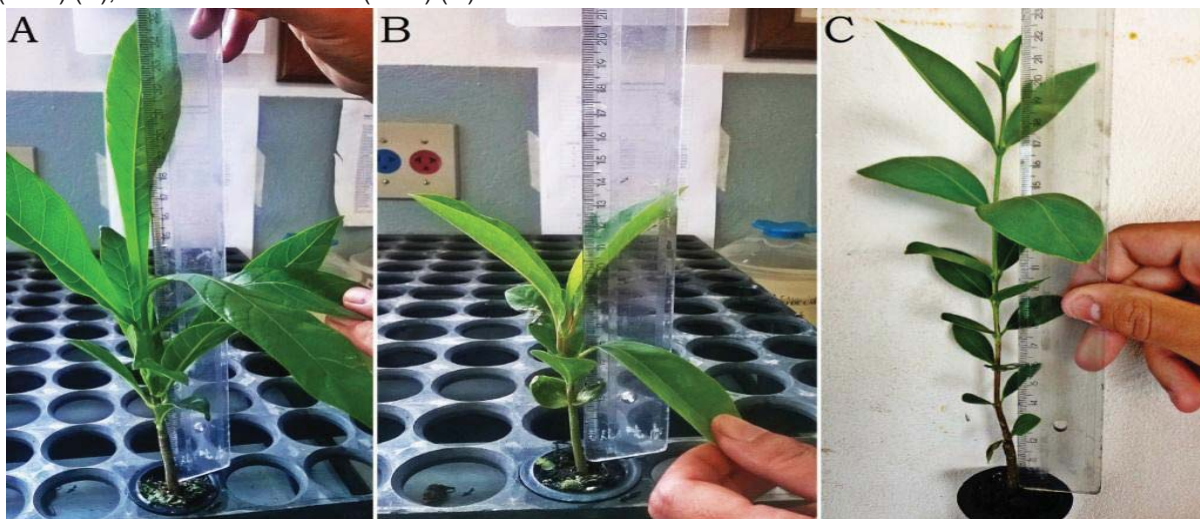


Figura 15 - Medição da altura da parte aérea das espécies: *Gochnatia polymorpha* (132°) (A); *Esenbeckia leiocarpa* (121°) (B); *Lafoensia pacari* (128°) (C)

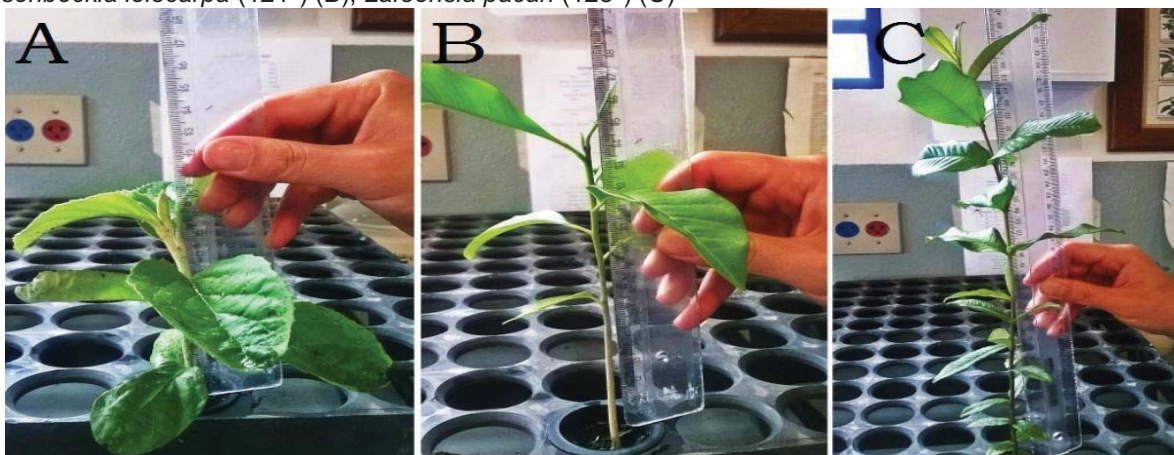


Figura 16 - Medição da altura da parte aérea das espécies: *Guazuma ulmifolia* (76°) (A); *Heliocarpus popayanensis* (36°) (B); *Croton floribundus* (34°) (C)

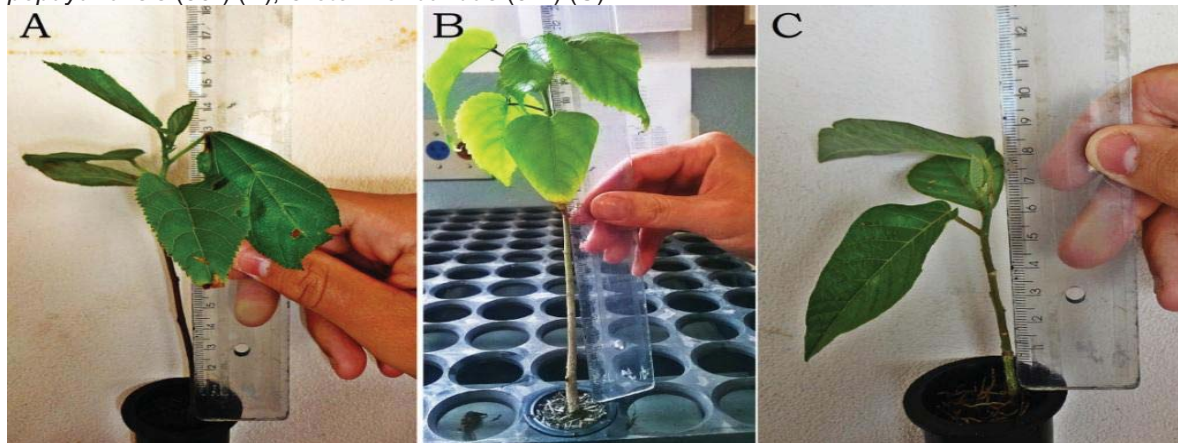


Figura 17 - Medição do diâmetro do colo das espécies: *Genipa americana* (148°) (A); *Talauma ovata* (147°) (B); *Psidium cattleianum* (145°) (C)

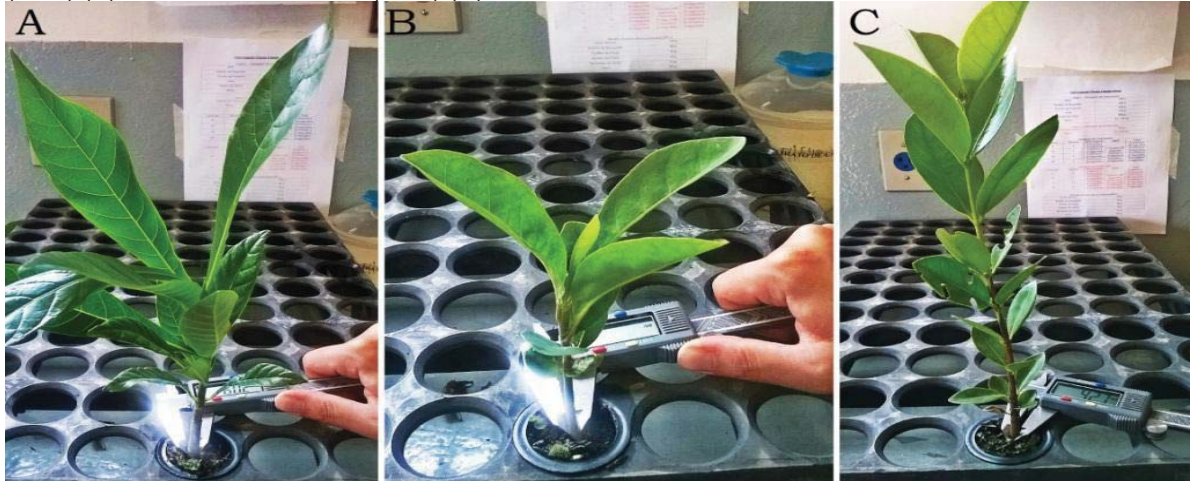


Figura 18 - Medição do diâmetro do colo das espécies: *Gochnatia polymorpha* (Candeia) (A); *Esenbeckia leiocarpa* (121°) (B); *Lafoensia pacari* (128°) (C)

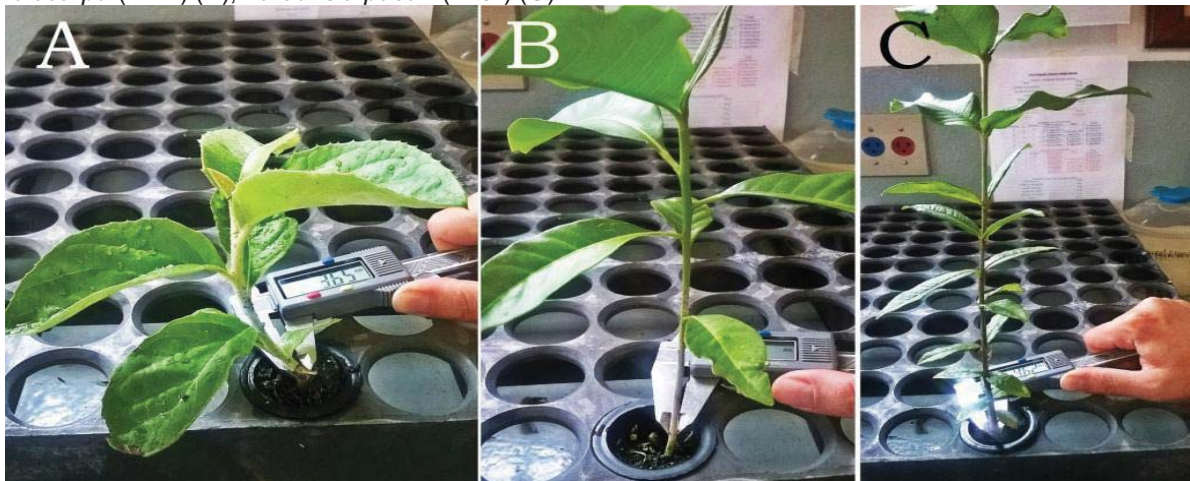
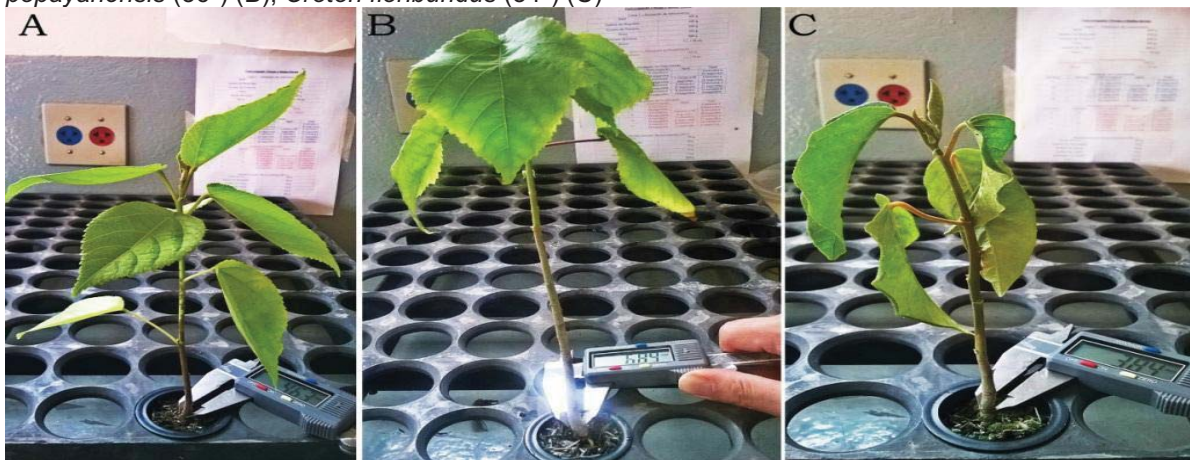


Figura 19 - Medição do diâmetro do colo das espécies: *Guazuma ulmifolia* (76°) (A); *Heliocarpus popayanensis* (36°) (B); *Croton floribundus* (34°) (C)



3.8.2 Massas secas e índice de qualidade de Dickson

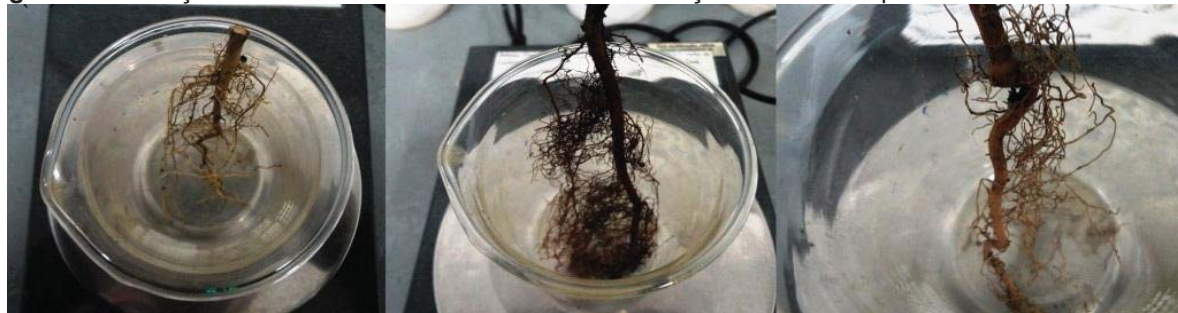
Para medir a massa seca aérea (g) e radicular das mudas (g), foi realizado o seccionamento do caule próximo ao substrato, dividindo-as em duas partes. Os sistemas radiculares foram lavados em água corrente sobre peneira (Figura 20).

Figura 20 - Lavagem dos sistemas radiculares das mudas



Em seguida, as partes aéreas e radiculares foram, separadamente, colocadas em sacos de papel e levadas à estufa a 70 °C até atingirem massa constante, as quais foram medidas em balança eletrônica de precisão de duas casas. Essas variáveis foram avaliadas em cinco mudas úteis de cada repetição, totalizando 20 mudas por tratamento e 80 por espécie (Figura 21).

Figura 21 - Medição das massas secas radiculares em balança eletrônica de precisão



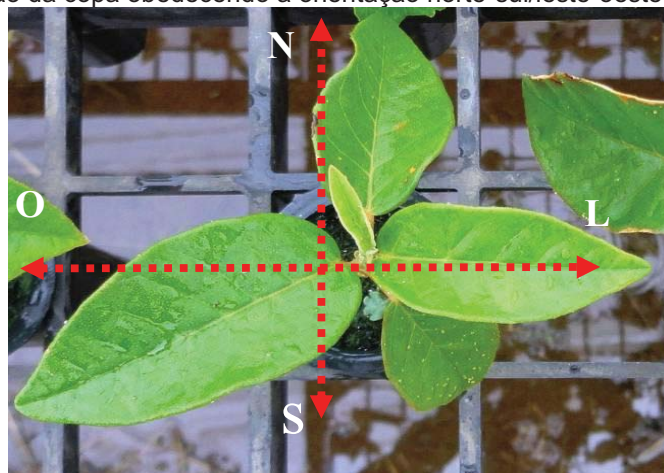
A partir da soma da massa seca aérea com a radicular foi determinada a massa seca total (g) e, em seguida, o índice de qualidade de Dickson (IQD), conforme a fórmula:

$$IQD = \frac{\text{Massa seca total}}{\left(\frac{\text{Altura da parte aérea}}{\text{Diâmetro do colo}} \right) + \left(\frac{\text{Massa seca aérea}}{\text{Massa seca radicular}} \right)} \quad (1)$$

3.8.3 Área de projeção da copa

A variável área de projeção da copa (APC) foi avaliada nas duas mudas centrais de cada repetição, totalizando 8 mudas por tratamento e 32 por espécie. Para obter os valores dessa variável, segundo Wink et al. (2002), foram medidos com régua milimetrada dois diâmetros da copa, conforme orientação norte-sul x oeste-leste, obtendo-se o diâmetro médio de copa (dm) (Figura 22).

Figura 22 - Área de projeção da copa obedecendo à orientação norte-sul/leste-oeste



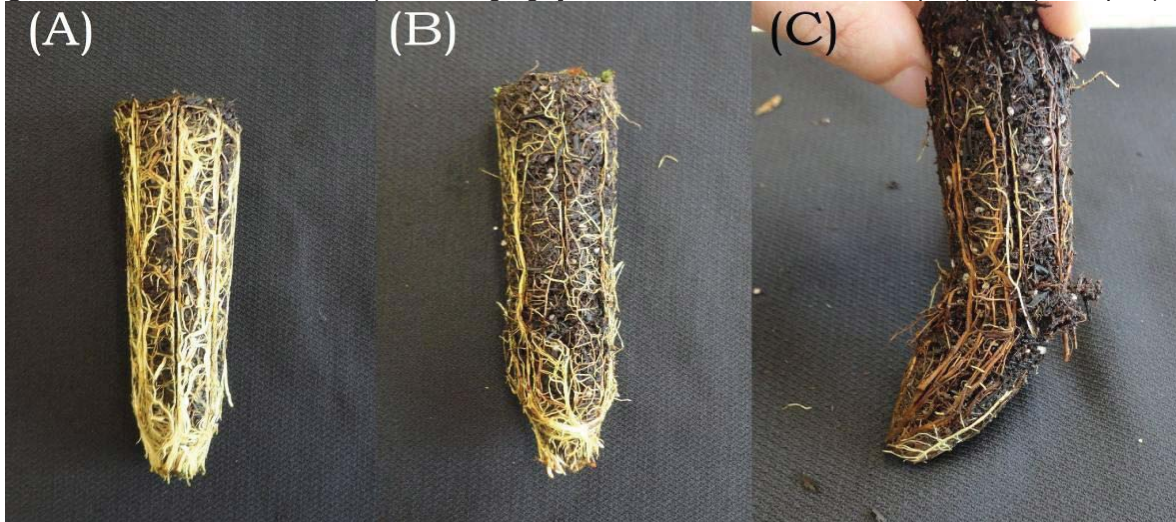
Para cada muda amostrada foi calculada a APC (cm²), conforme a fórmula:

$$APC = \left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot dm^2 \quad (2)$$

3.8.4 Conformação do sistema radicular

A conformação do sistema radicular foi avaliada nas mesmas mudas utilizadas para obtenção das massas secas. A esta variável foi atribuída, segundo Simões et al. (2012), dois conceitos qualitativos: “apto e inapto para o plantio”. O conceito “apto para o plantio” (%) foi atribuído ao sistema radicular formado por torrão com pouca ou nenhuma flexibilidade e com presença de raízes novas (Figuras 23A e 23B, respectivamente). O conceito “inapto para o plantio” (%) foi atribuído ao sistema radicular desagregado e com ausência de raízes novas (Figura 23C).

Figura 23 - Conceitos atribuídos quanto à agregação dos sistemas radiculares: apto (A e B) e inapto (C)

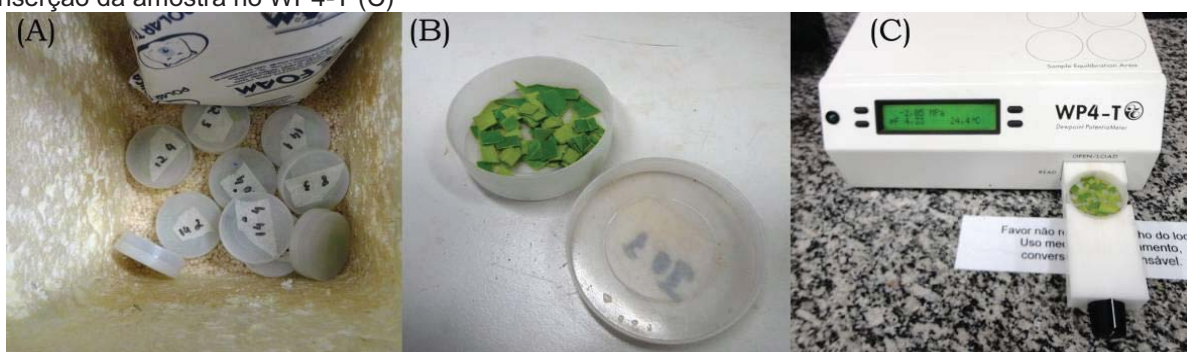


3.8.5 Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (MPa) foi analisado por meio do psicrômetro modelo Dewpoint Potential Meter (WP4-T). Para isso, foram coletadas às 12:00 h (Midday) as duas folhas recém maduras da muda central de cada repetição, totalizando quatro mudas por tratamento e 16 por espécie. As folhas foram armazenadas em cápsulas de amostragem circular (4 cm de diâmetro e 1 cm de altura) e transportadas em caixa de isopor com gelo até o Laboratório de Fisiologia Vegetal, pertencente ao Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Unesp de Botucatu (Figura 24A). No

laboratório, as folhas de cada repetição foram, uma a uma, cortadas em pequenos retângulos (Figura 24B) e inseridas imediatamente no WP4-T para análise (Figura 24C).

Figura 24 - Amostras na caixa de isopor com gelo (A); folhas cortadas em pequenos retângulos (B); e inserção da amostra no WP4-T (C)



3.8.6 Intensidade da coloração verde das folhas (SPAD)

A intensidade da coloração verde das folhas foi analisada por meio do aparelho Soil Plant Analysis Development (SPAD). Para isso, foram efetuadas três medições por folha, na região central do limbo foliar de cada muda (Figura 25).

Figura 25 - Medição da intensidade da coloração verde com o SPAD



Em cada muda, essas medições foram feitas no par de folhas recém-maduro, sendo avaliadas quatro mudas por repetição, totalizando 16 mudas por tratamento e 64 por espécie.

3.8.7 Transpiração diária

A transpiração diária ($\text{mg água m}^{-2} \text{ foliar s}^{-1}$) foi avaliada pelo método das pesagens (SILVA et al., 2004). Para isso, quatro mudas por repetição, totalizando 16 mudas por tratamento e 64 por espécie, foram irrigadas, às 18:00 h, por subsuperfície até a saturação completa do substrato e, em seguida, submetidas à drenagem. Após a drenagem, os tubetes foram envolvidos por sacos plásticos e vedados com fita crepe no colo da muda, para impedir a perda de água por evaporação durante a avaliação (Figura 26A).

Às 8:00 h da manhã do dia seguinte, a massa inicial dos conjuntos (muda+tubete+saco plástico+fita crepe) foi medida em balança eletrônica de precisão e, em seguida, os conjuntos foram mantidos a pleno sol (Figura 26B). A medição da massa dos conjuntos foi feita a cada duas horas, até as 18:00 h. A última medição foi efetuada 24 horas após o início da avaliação (Figura 26C). Ao final desse período, as folhas de cada muda foram retiradas e levadas ao Departamento de Horticultura da Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp de Botucatu, para medição da área foliar (Figura 26D).

Figura 26 - Vedação da abertura superior dos tubetes (A); mudas submetidas a pleno sol (B); medição das massas das mudas (C); mudas após a retirada das folhas (D)



A área foliar foi obtida através de integrador de área da marca LI-COR®, modelo LI-3100C (Figura 27A). Todas as folhas de cada muda foram inseridas no aparelho (Figura 27B), sendo os valores obtidos em cm^2 (Figura 27C).

Figura 27 - Medidor de área foliar (A); folhas de uma muda antes de serem inseridas no aparelho (B); valor da área foliar total, em cm², de uma muda (C)



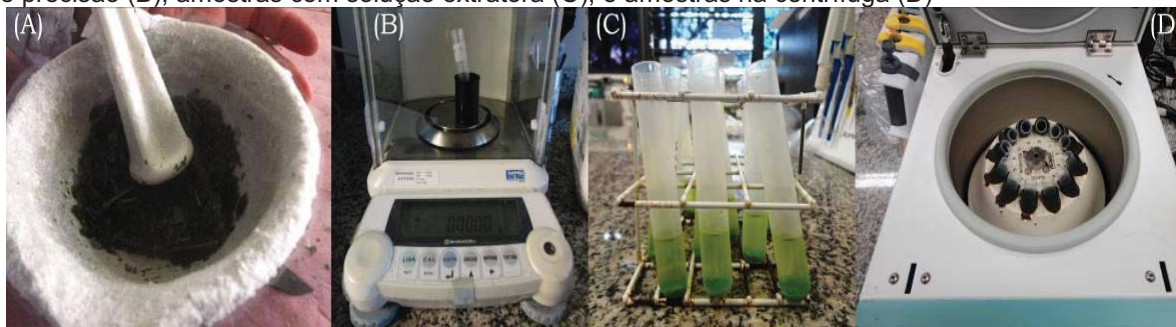
Para o cálculo da transpiração diária das mudas em cada tratamento foi utilizada a fórmula:

$$T = \frac{\frac{\text{massa inicial} - \text{massa final}}{\text{área foliar}}}{\text{tempo}} \quad (3)$$

3.8.8 Teores dos pigmentos foliares

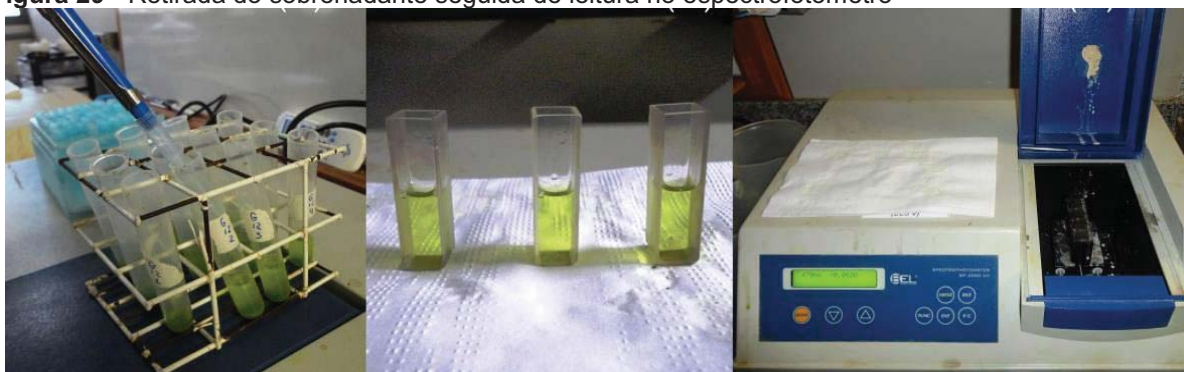
Os teores de clorofila a, clorofila b, antocianinas e carotenoides (mg g de massa fresca⁻¹) foram determinados de acordo com o método proposto por Sims e Gamon (2002). Para isso, foi coletado o par de folhas recém-maduro de quatro mudas por repetição, totalizando 16 mudas por tratamento e 64 por espécie. As folhas foram armazenadas em sacos plásticos, previamente identificados com o tratamento e a repetição referida, e transportadas em caixa de isopor com gelo até o Laboratório de Bioquímica - Pós-colheita, pertencente ao Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências da Unesp de Botucatu. No laboratório, as folhas de cada repetição foram maceradas em nitrogênio líquido (Figura 28A) e armazenadas em freezer a -20 °C. Para iniciar a preparação das amostras, três alíquotas do material macerado foram medidas em balança eletrônica de precisão (Figura 28B), formando triplicatas com massas similares. Em cada amostra foram adicionados 3 mL de solução contendo 80% de acetona p.a. e 20% de Tris HCl 0,02 M (pH 7,8) (Figura 28C). A suspensão foi homogeneizada e centrifugada por cinco minutos a 6.000 rpm (Figura 28D).

Figura 28 - Maceração das folhas em nitrogênio líquido (A); medição das alíquotas em balança eletrônica de precisão (B); amostras com solução extratora (C); e amostras na centrifuga (D)



A leitura direta do sobrenadante obtido foi realizada em espectrofotômetro a A_{663} nm (clorofila a), A_{647} nm (clorofila b), A_{470} nm (carotenoides) e A_{537} nm (antocianinas). O controle consistiu da solução extratora (Figura 29).

Figura 29 - Retirada do sobrenadante seguida de leitura no espectrofotômetro



Os valores das absorbâncias obtidas foram aplicados nas seguintes fórmulas:

$$\text{Clorofila a} = 0,01373 A_{663} - 0,000897 A_{537} - 0,003046 A_{647} \quad (4)$$

$$\text{Clorofila b} = 0,02405 A_{647} - 0,004305 A_{537} - 0,005507 A_{663} \quad (5)$$

$$\text{Antocianinas} = 0,08173 A_{537} - 0,00697 A_{647} - 0,002228 A_{663} \quad (6)$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{[A_{470} - (17,1 (\text{Clorofila a} + \text{Clorofila b})) - 9,479 \text{ Antocianinas}]}{119,26} \quad (7)$$

Os valores obtidos em $\mu\text{mol mL}^{-1}$ foram corrigidos de acordo com os pesos moleculares (clorofila a = $893,5 \text{ g mol}^{-1}$; clorofila b = $907,5 \text{ g mol}^{-1}$; antocianinas = $449,2 \text{ g mol}^{-1}$; carotenoides = 550 g mol^{-1}) e posteriormente expressos em mg g de massa fresca⁻¹.

3.8.9 Fração de lixiviação

A fração de lixiviação (FL), segundo Lea-Cox et al. (2001), é uma medida do excesso hídrico aplicado durante um evento de irrigação, calculada pelo volume de água drenado pelo fundo do tubete após a irrigação (V_d) dividido pelo volume de água total aplicado (V_t), multiplicado por 100 para convertê-lo em porcentagem:

$$FL = \frac{V_d}{V_t} \cdot 100 \quad (8)$$

O volume de água total aplicado (V_t) é o resultado da soma entre: o volume de água retido no substrato após a irrigação + o volume de água drenado pelo fundo do tubete após a irrigação.

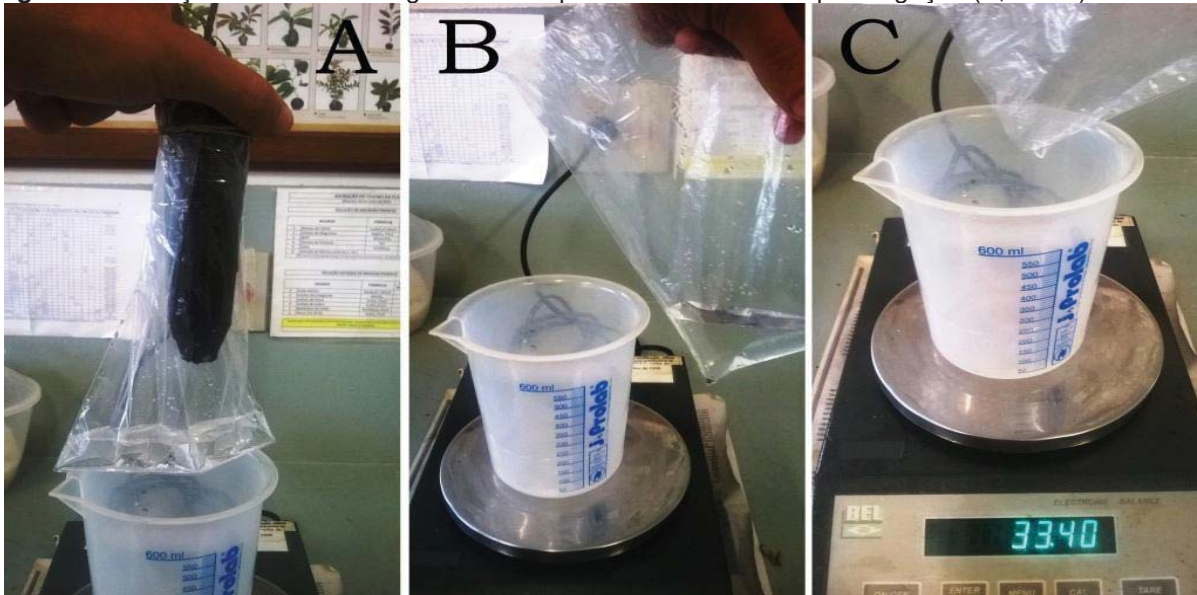
Para quantificar o volume de água retido no substrato, antes da segunda irrigação diária, foi preso saco plástico com elástico em cada muda. A massa do conjunto (tubete+muda+saco plástico preso com elástico) (Figura 30A) foi medida antes e depois da aplicação das lâminas de água em balança eletrônica de precisão (Figura 30B e 30C, respectivamente).

Figura 30 - Conjunto tubete+muda+saco plástico preso com elástico (A); medição da massa do conjunto antes e depois da irrigação (B e C, respectivamente)



Para captar o volume de água drenado pelo fundo do tubete após a irrigação (Figura 31A), foram usados sacos plásticos, presos com elástico, na parte inferior dos tubetes. O volume captado foi medido em balança eletrônica de precisão (Figura 31B e 31C).

Figura 31. Medição do volume de água drenado pelo fundo do tubete após irrigação (A, B e C)



A fração de lixiviação da irrigação foi medida nas duas mudas úteis centrais de cada repetição, totalizando 8 mudas por tratamento e 32 por espécie.

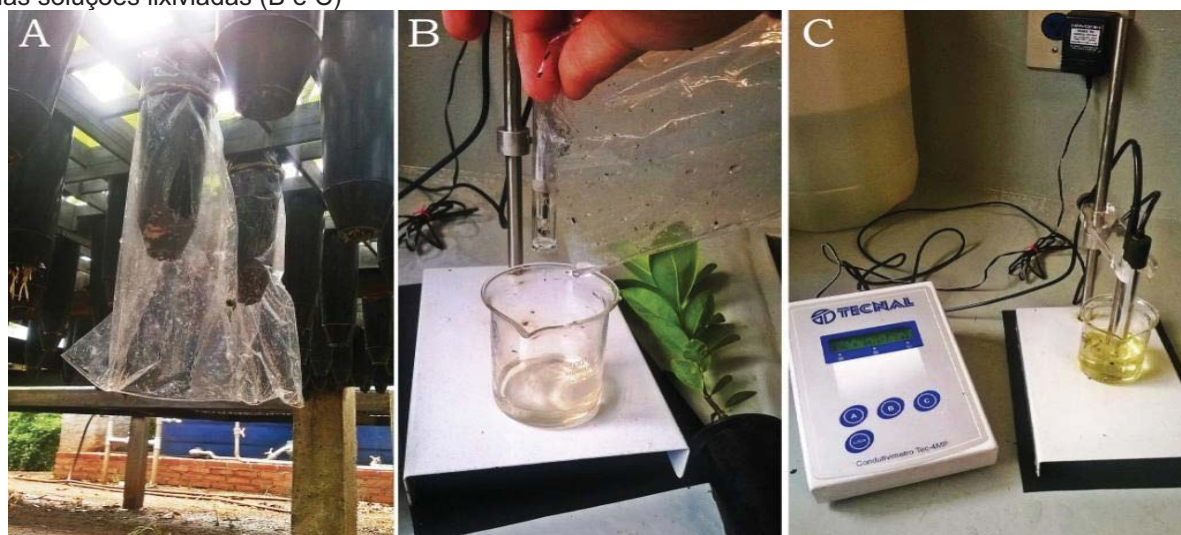
3.8.10 Condutividade elétrica da solução lixiviada

A condutividade elétrica (CE) (dS m^{-1}) de uma substância é definida como a capacidade dessa substância em conduzir corrente elétrica. A CE da solução lixiviada foi medida a partir do dia seguinte a ferti-irrigação e comparada à CE da água sem fertilizantes ($0,070 \text{ dS m}^{-1}$). A avaliação foi repetida diariamente até que a CE da solução lixiviada, em pelo menos uma das lâminas, fosse inferior ao dobro (100%) da CE da água sem fertilizantes, como sugere Bilderback (2001).

Para coletar as soluções lixiviadas, sacos plásticos foram presos com elástico, antes da primeira irrigação diária, em cinco mudas de cada repetição, totalizando 20 mudas por tratamento e 80 por espécie (Figura 32A). Após a segunda irrigação diária, a CE

dessas soluções foi medida em condutivímetro de bancada microprocessado (Figuras 32B e 32C).

Figura 32 - Sacos plásticos para coleta das soluções lixiviadas (A); medição da condutividade elétrica das soluções lixiviadas (B e C)



3.8.11 Acúmulo de nutrientes

A massa seca total de duas mudas de cada repetição, totalizando 8 mudas por tratamento, foi moída em moinho tipo Wiley e encaminhada ao Laboratório de Fertilidade do Solo da FCA/Unesp de Botucatu para serem analisados os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S (g kg^{-1}) e dos micronutrientes B, Fe, Zn, Mn e Cu (mg kg^{-1}).

O acúmulo de macro (mg planta^{-1}) e micronutrientes ($\mu\text{g planta}^{-1}$) foi calculado pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Acúmulo de macronutrientes} = \text{massa seca total} \cdot \text{teor do macronutriente} \quad (9)$$

$$\text{Acúmulo de micronutrientes} = \text{massa seca total} \cdot \text{teor do micronutriente} \quad (10)$$

3.9 Preparação da estrutura para o plantio das mudas em vaso

Após a finalização da fase de viveiro, seis mudas de cada tratamento foram plantadas em vasos de 7 L, contendo a mistura solo+areia (3:1; v:v) (Figura 33A, 33B e 33D). O solo utilizado foi coletado da camada superficial (0-20 cm de profundidade), classificado como Latossolo Vermelho distrófico com textura média. A mistura recebeu fertilização de base contendo fertilizante com formulação N-P-K (4:14:8) na dosagem 2 kg m⁻³ solo (Figura 33C), os quais foram misturados por cinco minutos em betoneira.

Figura 33 - Latossolo Vermelho distrófico (A); areia (B); fertilizante N-P-K (4:14:8) (C); e vasos contendo a mistura solo+areia (3:1 v:v) fertilizada (D)



Os vasos foram alocados em estufa coberta com plástico transparente. O plantio foi feito em aberturas feitas com haste de madeira acoplada em tubete, no formato do torrão da muda (Figura 34).

Figura 34 - Plantio das mudas em vaso



Após o plantio, cada vaso foi irrigado até a capacidade de campo. As plantas foram dispostas na estufa em delineamento inteiramente ao acaso, onde permaneceram por 120 dias, sendo irrigadas com 500 mL de água a cada cinco dias.

3.10 Avaliações após o plantio das mudas em vaso

3.10.1 Altura da parte aérea e diâmetro do colo

Imediatamente após o plantio, foram medidas as seguintes variáveis morfológicas: altura da parte aérea (cm), com régua milimetrada, medindo-se da base do colo até a gema apical que deu origem à última folha (Figura 35A) e o diâmetro do colo (mm), com paquímetro digital (Figura 35B). Essas avaliações foram repetidas a cada 30 dias, durante 120 dias.

Figura 35 - Medição da altura da parte aérea (A); medição do diâmetro do colo (B)



3.11 Análise estatística

Os dados das variáveis morfológicas, fisiológicas e fração de lixiviação foram submetidos à análise multivariada de componentes principais com o objetivo de reduzir as variáveis estudadas, selecionando aquelas que explicam a maior parte da variabilidade original dos dados, bem como auxiliar na compreensão das correlações entre elas. Para definir o número de componentes principais utilizadas na redução da dimensionalidade foi utilizado o critério da raiz latente, onde qualquer componente individual deve explicar a variância de pelo menos uma variável. Logo, apenas as componentes que tenham raízes latentes ou autovalores maiores que 1, em valor absoluto, são considerados significantes (HAIR et al., 2009). Além dessas variáveis, a área de projeção da copa e o potencial hídrico foliar foram utilizados na discussão dos resultados. Foi realizada análise de variância em esquema fatorial. Quando o valor do

teste F apresentou significância ($p < 0,05$) foi aplicado o teste de Scott-Knott para comparar os tratamentos ($p < 0,05$).

Os dados da variável conformação do sistema radicular foram comparados percentualmente, em cada ângulo foliar, entre as lâminas de água.

Em cada ângulo foliar, os dados da variável condutividade elétrica da solução lixiviada em cada lâmina, foram comparados percentualmente, dia a dia, com a condutividade elétrica da água sem fertilizantes.

O grau de associação ($p < 0,05$) entre o acúmulo de nutrientes e as lâminas de água foi obtido, em cada ângulo foliar, através da análise de correlação de Pearson.

Em cada espécie, os dados das variáveis morfológicas após o plantio das mudas em vaso, foram submetidos à análise de variância a cada 30 dias. Quando o valor do teste F apresentou significância ($p < 0,05$) foi aplicado o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para comparar o efeito das lâminas de água aplicadas durante a fase de viveiro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis morfológicas

Após a entrada da informação original das oito variáveis: altura da parte aérea, diâmetro do colo, massa seca aérea, radicular e total, índice de qualidade de Dickson, área de projeção da copa e fração de lixiviação foram designadas as componentes principais CP1 (eixo x), CP2 (eixo y) e CP3 (eixo z).

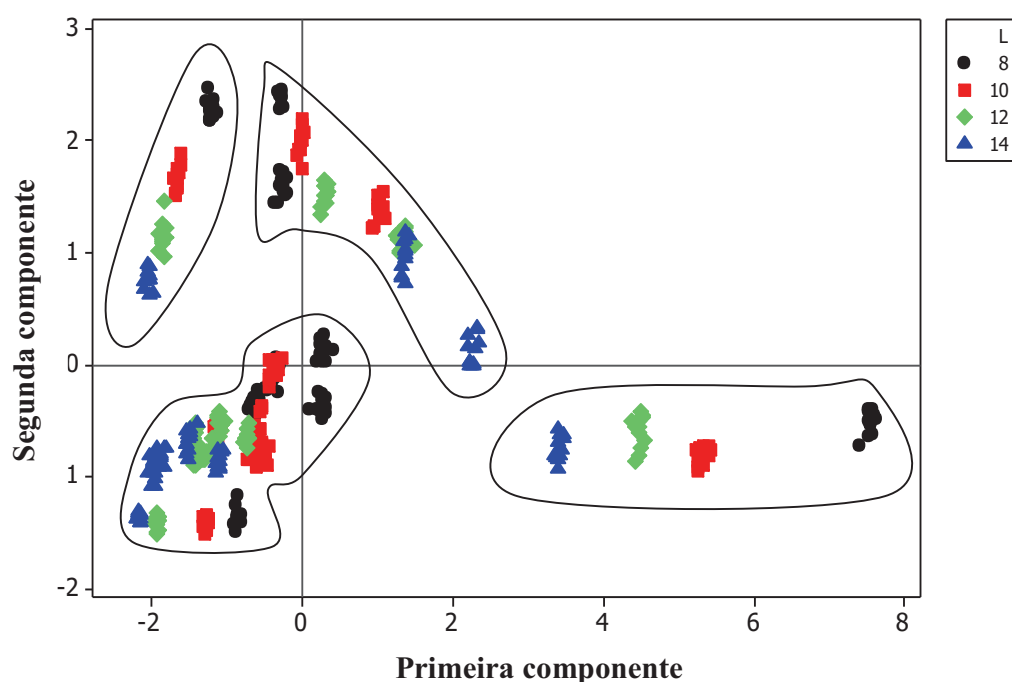
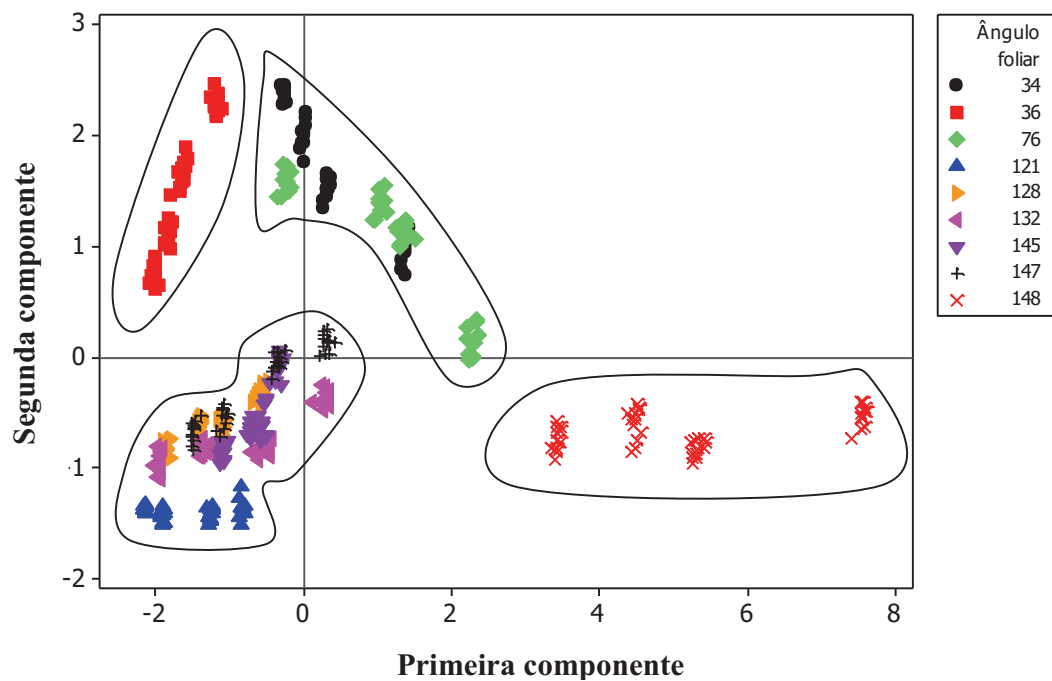
As três componentes principais responderam por 90% da variância total das variáveis citadas. As variáveis que mais discriminaram os grupos de resposta foram a massa seca total (CP1), a fração de lixiviação (CP2) e a altura da parte aérea (CP3) (Tabela 2).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação, autovalores, variância explicada e acumulada (%) das variáveis morfológicas e da fração de lixiviação com as três primeiras componentes principais em função dos ângulos foliares e lâminas de água

Variáveis	CP1	CP2	CP3
Altura da parte aérea	0,21	0,58	-0,77
Diâmetro do colo	0,76	0,35	0,03
Massa seca aérea	0,89	-0,17	-0,34
Massa seca radicular	0,90	0,02	0,31
Massa seca total	0,97	-0,11	-0,10
Índice de qualidade de Dickson	0,91	-0,16	0,36
Área de projeção da copa	0,84	-0,23	-0,20
Fração de lixiviação	0,22	0,83	0,44
Autovalor	4,72	1,27	1,18
Variância (%)	59	16	15
Variância Acumulada (%)	59	75	90

Considerando a primeira e a segunda componentes principais (eixos x e y), pode-se observar a formação de quatro grupos de resposta, sendo dois superiores e dois inferiores, discriminados pela variável fração de lixiviação (Figura 36).

Figura 36 - Representação gráfica das duas primeiras componentes principais em função dos ângulos foliares e lâminas de água



Nos grupos superiores, as espécies com ângulos foliares 34 e 76° se distanciaram da espécie com ângulo 36°. Nos grupos inferiores, as espécies com ângulos 121, 128, 132, 145 e 147° se distanciaram da espécie com ângulo 148°. Além disso, nos grupos superiores, a distância entre a menor e a maior lâmina foram maiores do que nos grupos inferiores. Na primeira componente principal (eixo x), discriminada pela variável massa seca total, a espécie com ângulo foliar 148° destoou dos demais. A terceira componente principal (eixo z) não foi representada no gráfico de duas dimensões.

Na análise de variância das três variáveis selecionadas, a interação entre os ângulos foliares e as lâminas de água foi significativa ($p < 0,05$), indicando dependência entre os efeitos desses fatores.

Na fração de lixiviação, em todos os ângulos, o aumento das lâminas aumentou, em diferentes níveis, os valores dessa variável.

Comparadas às demais, as espécies com ângulos 34, 36 e 76°, em todas as lâminas, apresentaram menores frações de lixiviação, confirmando o agrupamento realizado pela análise de componentes principais utilizando todas as variáveis estudadas (Tabela 3).

Tabela 3 - Efeito da interação entre os ângulos foliares e as lâminas de água sobre a fração de lixiviação (%) ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro

Ângulos foliares (°)	Lâminas de água (mm)			
	8	10	12	14
148	40,9 Ed	62,5 Cc	66,7 Cb	72,7 Da
147	46,7 Dd	54,1 Dc	74,5 Bb	81,6 Ba
145	44,8 Dd	60,3 Cc	62,8 Db	73,1 Da
132	57,4 Cc	71,9 Bb	73,1 Bb	78,7 Ca
128	61,0 Bd	72,4 Bc	74,8 Bb	83,8 Ba
121	75,9 Ac	82,0 Ab	87,7 Aa	88,5 Aa
76	6,3 Gd	11,1 Fc	17,8 Gb	40,9 Fa
36	8,6 Fd	27,3 Ec	43,2 Eb	54,6 Ea
34	2,1 Hd	12,7 Fc	27,8 Fb	40,0 Fa

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); CV (%) = 5,86

Em todas as lâminas, a fração lixiviada nas espécies com ângulos 34, 36 e 76° foi menor, demonstrando que esses ângulos dificultaram, em diferentes níveis, a chegada da água ao substrato. Interessados em descobrir os fatores que interferiam na irrigação por aspersão em duas cultivares da espécie ornamental *Rhododendron* spp. ('Duc Du Rohan' e 'George L. Taber') e *Pittosporum tobira* ('Laura Lee'), Beeson Jr. e Knox (1991) concluíram que a retenção de água pela parte aérea das mudas e os espaços entre os recipientes contribuíram fortemente para essa redução. A curvatura das folhas (côncava ou convexa), apesar de diferir entre as duas cultivares, não foi o fator preponderante, porém, com o crescimento da muda, a área foliar reduziu a quantidade de água que chegou ao substrato.

Nas espécies com ângulos 121, 128, 132, 145, 147 e 148°, a fração lixiviada foi maior, demonstrando que esses ângulos facilitaram a chegada da água ao substrato. No estudo de Beeson Jr. e Yeager (2003), o aumento da área foliar, aliado ao maior espaçamento, favoreceu a chegada da água ao substrato nas espécies ornamentais *Viburnum odoratissimum* Ker-Gawl. e *Ligustrum japonicum* Thunb.

Na produção de mudas florestais, Silva e Silva (2015) demonstraram que a chegada de água ao substrato, aplicada por microaspersão, em mudas de *Aspidosperma polyneuron* estava relacionada com o grau de desenvolvimento da parte aérea. As lâminas de água 11 e 14 mm apresentaram os mesmos resultados. Isso foi possível porque as mudas produzidas na lâmina 14 mm apresentaram menor quantidade de parte aérea (altura e massa seca aérea), o que reduziu a captação de água e, consequentemente, a lixiviação.

Sem dúvida, a eficiência da irrigação em viveiros precisa ser substancialmente melhorada a fim de permitir-lhes manter sua rentabilidade e minimizar o impacto ambiental (BACCI et al., 2008; KIM et al., 2011; MAJSZTRIK et al., 2011; LEA-COX et al., 2013; INCROCCI et al., 2014).

Um objetivo ideal seria zerar a quantidade de água lixiviada, no entanto, é muito difícil manter a quantidade de água adequada à planta sem produzir lixiviação, uma vez que alguma perda sempre ocorre ao tentar repor a água ao recipiente. Além disso, zerar a lixiviação não implica simplesmente em reduzir o volume de irrigação, pois se baixos volumes de água são aplicados para eliminar a lixiviação, sem considerar a

manutenção adequada de água no recipiente, poderá ocorrer o fechamento dos estômatos, redução da fotossíntese e, conseqüentemente, redução do crescimento das plantas (GROVES et al., 1998; WARREN; BILDERBACK, 2005).

Com relação à massa seca total e à altura da parte aérea, exceto nas espécies com ângulos 34 e 76°, o aumento das lâminas reduziu, em diferentes níveis, os valores dessas variáveis. Nos ângulos excetuados, o maior desenvolvimento morfológico só foi verificado na lâmina 14 mm (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4 - Efeito da interação entre os ângulos foliares e as lâminas de água sobre a massa seca total (g) ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro

Ângulos foliares (°)	Lâminas de água (mm)			
	8	10	12	14
148	15,89 Aa	12,63 Ab	11,11 Ac	9,89 Ad
147	5,66 Ea	4,77 Fb	4,11 Fc	3,73 Ed
145	6,99 Ca	6,79 Cb	6,57 Cc	5,82 Dd
132	7,44 Ba	6,26 Db	5,04 Ec	4,06 Ed
128	5,97 Da	5,15 Eb	4,59 Fc	3,88 Ed
121	4,96 Fa	4,49 Fb	3,61 Gc	3,25 Fd
76	5,09 Fd	7,20 Bc	7,90 Bb	9,19 Ba
36	3,35 Ga	2,79 Gb	2,60 Hc	2,41 Gd
34	4,86 Fd	5,40 Ec	5,97 Db	7,91 Ca

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); CV (%) = 6,22

Tabela 5 - Efeito da interação entre os ângulos foliares e as lâminas de água sobre a altura da parte aérea (cm) ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro

Ângulos foliares (°)	Lâminas de água (mm)			
	8	10	12	14
148	26,8 Ca	24,2 Db	22,4 Dc	20,7 Dd
147	25,2 Da	22,8 Eb	19,2 Fc	18,7 Ec
145	32,0 Ba	31,5 Ca	29,2 Cb	28,4 Cc
132	16,2 Ga	14,9 Gb	12,5 Hc	12,1 Fc
128	40,2 Aa	37,6 Bb	36,5 Bc	33,4 Bd
121	22,9 Fa	19,9 Fb	19,6 Fb	17,5 Ec
76	31,4 Bd	40,8 Ac	44,1 Ab	47,7 Aa
36	24,4 Ea	22,3 Eb	21,2 Ec	20,9 Dc
34	14,1 Hd	15,0 Gc	15,9 Gb	20,4 Da

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); CV (%) = 5,73

A altura da parte aérea é uma das variáveis mais importantes para estimar o crescimento no campo após o plantio (REIS et al., 2008; JOSÉ et al., 2009), porém, há muito tempo já se percebeu que essa variável analisada isoladamente pode apresentar desempenho contraditório no campo (JACOBS et al., 2005). Por outro lado, o maior incremento em massa seca total é seguramente o resultado de plantas mais eficientes (BARRETTO et al., 2007), sendo as massas secas consideradas boas variáveis para avaliação da qualidade de mudas (BERNARDINO et al., 2005). Mudas maiores ocupam áreas maiores dentro do local de plantio, captando mais radiação solar. A concorrência de luz solar e o ganho de carbono através da fotossíntese estão relacionados com a sobrevivência (JOHNSON; SMITH, 2005).

Com o aumento das lâminas, a redução da massa seca total e da altura da parte aérea nas espécies com ângulos 121, 128, 132, 145, 147 e 148° se mostrou relacionada à maior fração de lixiviação. Nesses ângulos, a lixiviação foi maior, favorecendo, principalmente nas maiores lâminas, a perda dos nutrientes aplicados. Grandes volumes de irrigação aplicados lixiviam os nutrientes porque o substrato utilizado na produção de mudas dos viveiros proporciona, mesmo quando possui excelentes propriedades de retenção de água, pouca capacidade de proteção contra o excesso hídrico devido aos menores volumes utilizados (FARE et al., 1994; HUETT, 1997; BEESON Jr., 2004; ARREOLA et al., 2006; BEESON Jr., 2006).

Não é incomum observar que muitos viveiristas erram por cautela e aplicam mais água do que é necessário, preferindo o risco de aumentar as perdas por lixiviação, em detrimento das consequências do déficit hídrico (BEESON Jr., 2004).

No entanto, pesquisadores estão explorando a possibilidade de reduzir a lixiviação, a fim de obter ganhos significativos na conservação da água e, ao mesmo tempo, produzir mudas com qualidade (WARREN; BILDERBACK, 2005). Inserido nesse contexto, este estudo demonstrou que a aplicação da lâmina 8 mm nas espécies com ângulos 36°, 121, 128, 132, 145, 147 e 148° produziu, simultaneamente, a menor lixiviação e a maior qualidade morfológicas das mudas, resultando em economia de água e nutrientes.

Nas espécies com ângulos 34 e 76°, que mais dificultaram a chegada da água ao substrato, foi necessária a lâmina 14 mm para produzir maior massa seca total e altura

da parte aérea. Isso demonstra que as menores lâminas de água não conseguiram suprir integralmente a necessidade hídrica das mudas, bem como favorecer a absorção dos nutrientes aplicados. De acordo com Silva e Silva (2016), a redução das frações de lixiviação não produzem, necessariamente, maior desenvolvimento morfológico e qualidade do sistema radicular das mudas no viveiro. Para Groves et al. (1998) e Warren e Bilderback (2005), se baixos volumes de água são aplicados, poderá haver redução da lixiviação, no entanto, se a manutenção adequada de água no recipiente for desconsiderada, poderá ocorrer redução do crescimento das plantas.

As espécies com ângulos 34, 36 e 76° apresentaram as menores frações de lixiviação. Apesar disso, deferiram no comportamento das variáveis morfológicas. Com o aumento das lâminas de água, as espécies com ângulos 34 e 76° aumentaram a massa seca total e a altura da parte aérea, enquanto a espécie com ângulo 36° diminuiu. Ressalta-se que, apesar da espécie com ângulo 36° (*Heliocarpus popayanensis*) também propiciar baixa lixiviação, sua área de projeção da copa foi a menor entre todas as espécies, atenuando a dificuldade da água chegar ao substrato e permitindo, já na lâmina 8 mm, o maior desenvolvimento das variáveis morfológicas (Tabela 6).

Tabela 6 - Efeito da interação entre os ângulos foliares e as lâminas de água sobre a área de projeção da copa (cm²) ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro

Ângulos foliares (°)	Lâminas de água (mm)			
	8	10	12	14
148	1060,11 Aa	849,04 Ab	741,68 Ac	622,07 Ad
147	473,91 Ca	419,57 Bb	266,68 Dc	167,78 Dd
145	108,90 Ga	91,65 Gb	74,49 Hc	68,82 Gd
132	242,60 Ea	210,38 Eb	153,26 Ec	112,28 Ed
128	172,00 Fa	139,28 Fb	121,28 Fc	89,37 Fd
121	515,82 Ba	408,85 Cb	306,83 Cc	265,00 Cd
76	366,14 Dd	387,34 Dc	423,32 Bb	574,69 Ba
36	60,12 Ia	43,00 Ib	34,55 Ic	26,10 Hd
34	75,28 Hd	82,01 Hc	91,18 Gb	123,88 Ea

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); CV (%) = 3,58

Durante as irrigações, uma fração da água aplicada não atinge o solo ou substrato e evapora. Esta evaporação pode ser dividida em deriva pelo vento e intercepção (XIAO et al., 2000; STAMBOULI et al., 2013). Nos viveiros florestais, o sistema de irrigação e a

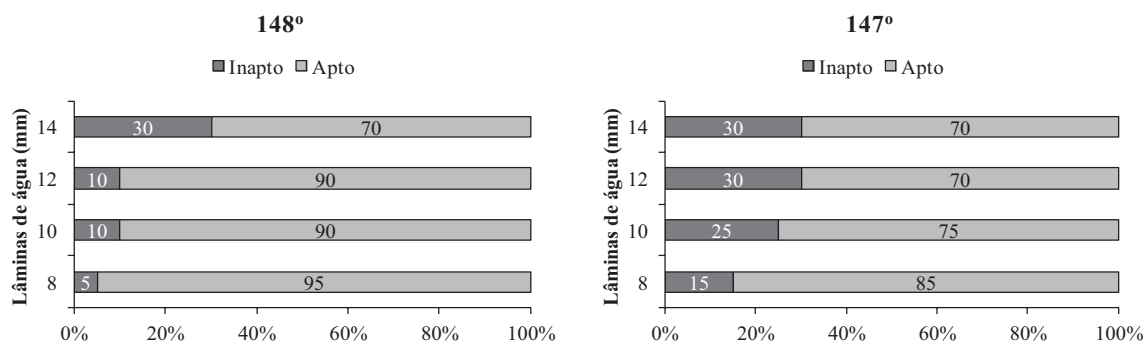
interceptação ainda desperdiçam uma fração dessa água, direcionando-a para os espaços vazios entre as mudas.

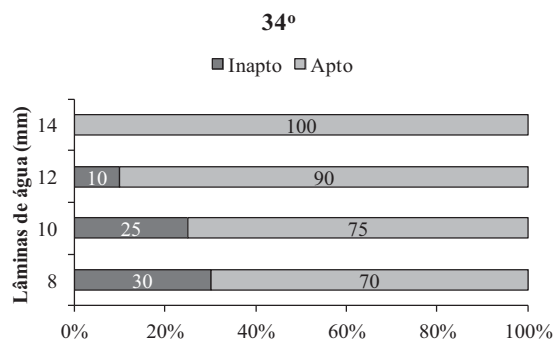
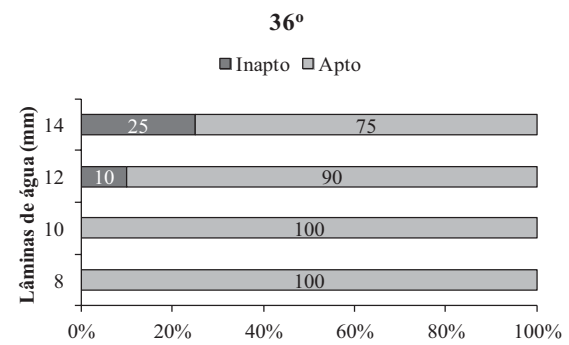
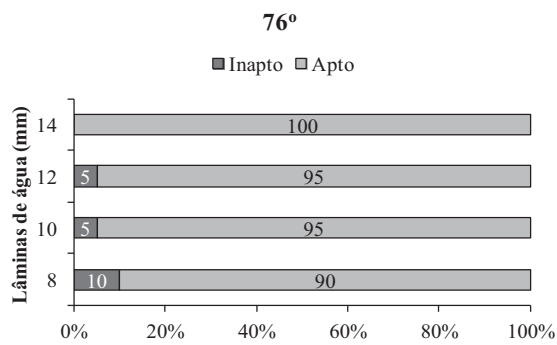
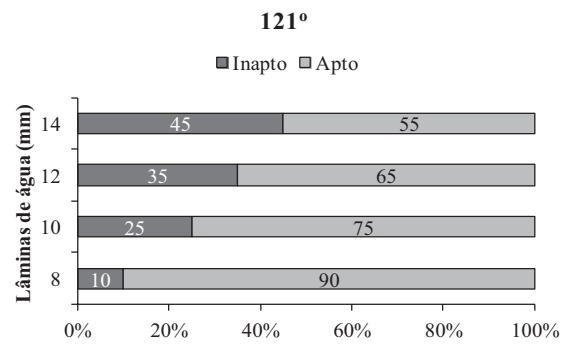
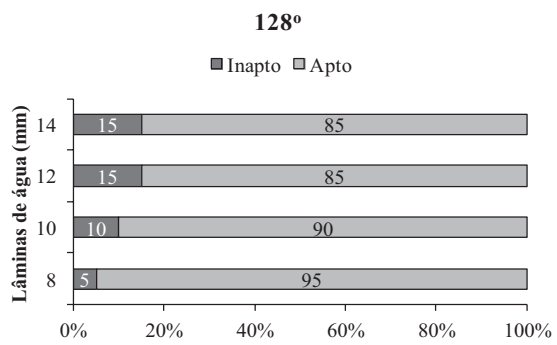
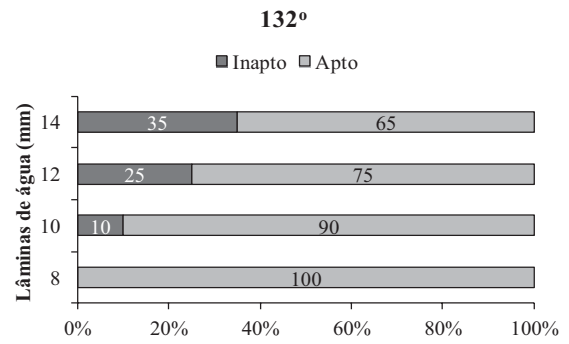
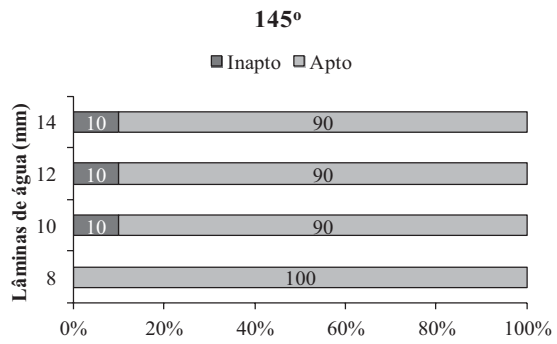
4.2 Conformação do sistema radicular

O comportamento da variável conformação do sistema radicular foi semelhante ao das variáveis morfológicas. Nesse mesmo sentido, Silva et al. (2012) verificaram em mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* que os sistemas radiculares aptos apresentaram correlação positiva ($p < 0,05$) com o diâmetro do colo, as massas secas aérea e a radicular e o IQD. Por outro lado, sistemas radiculares inaptos apresentaram correlação negativa ($p < 0,01$) com a altura da parte aérea, o diâmetro do colo, as massas secas aérea e radicular e o IQD. Kratz e Wendling (2013), Kratz et al. (2013), Kratz et al. (2015) e Kratz e Wendling (2016), também verificaram, respectivamente, em mudas de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus benthamii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus camaldulensis*, que a agregação do sistema radicular apresentou correlação positiva significativa com diversas variáveis morfológicas.

Os resultados da variável conformação do sistema radicular evidenciaram a formação de dois grupos. No primeiro grupo, das espécies com ângulos 36, 121, 128, 132, 145, 147 e 148°, a redução das lâminas aumentou, em diferentes níveis, o percentual de mudas com sistemas radiculares aptos ao plantio. Na lâmina 8 mm, esse percentual variou de 85 a 100% (Figura 37).

Figura 37 - Efeito das lâminas de água, em cada ângulo foliar, sobre a conformação do sistema radicular das mudas





Esses altos percentuais podem ser explicados pelo mesmo mecanismo descrito para as variáveis morfológicas: a menor lixiviação produzida pela lâmina 8 mm resultou na maior capacidade das mudas produzirem raízes agregadas ao substrato. Segundo Epstein e Bloom (2006), como as raízes são os órgãos em contato mais estreito com o ambiente nutricional da planta, elas são especialmente propensas a serem afetadas por este ambiente. A capacidade de produzir raízes rapidamente e estas raízes se agregarem ao substrato é um componente importante da qualidade das mudas (MAEDA et al., 2006; WENDLING; DELGADO, 2008; MAÑAS et al., 2009), pois permite maior absorção de água e nutrientes (ALMEIDA et al., 2005), que reduz o estresse hídrico e aumenta a sobrevivência em campo (LUIS et al., 2009). Além disso, Wendling et al. (2007) estudando mudas de *Ilex paraguariensis*, verificaram que a agregação do sistema radicular apresentou correlação significativa positiva com a facilidade de retirada das mudas do tubete, denotando que um substrato que promova uma boa agregação das raízes resulta em melhorias no processo de embalagem e expedição das mudas produzidas para o local de plantio definitivo.

No segundo grupo, das espécies com ângulos 34 e 76°, todas as mudas apresentaram sistemas radiculares aptos na lâmina 14 mm. Por outro lado, na lâmina 8 mm, o percentual de mudas com sistemas radiculares inaptos foi de 30 e 10%, respectivamente. O fato da lâmina 14 mm não ter formado sistemas radiculares inaptos demonstrou que as lâminas menores não supriram integralmente a necessidade hídrica das mudas, bem como não propiciaram a absorção dos nutrientes. A adaptação das raízes das plantas à irrigação é essencial para obter resultados satisfatórios (PIRES et al., 2011), pois, a proliferação das raízes depende da disponibilidade de água e nutrientes no microambiente que circunda a raiz, a chamada rizosfera, sendo que, se esse microambiente for pobre em nutrientes ou muito seco, o crescimento radicular será lento (TAIZ; ZEIGER, 2004). A persistência das deformações radiculares após o plantio pode atrasar o crescimento das plantas no campo, o que acarretaria maiores custos com o controle de plantas daninhas e atraso da produção esperada (FREITAS et al., 2005).

4.3 Variáveis fisiológicas

Após a entrada da informação original contida nas oito variáveis: potencial hídrico foliar, transpiração diária, intensidade da coloração verde das folhas (SPAD), clorofila a, clorofila b, antocianina, carotenoides e fração de lixiviação foram designadas as componentes principais CP1 (eixo x), CP2 (eixo y) e CP3 (eixo z).

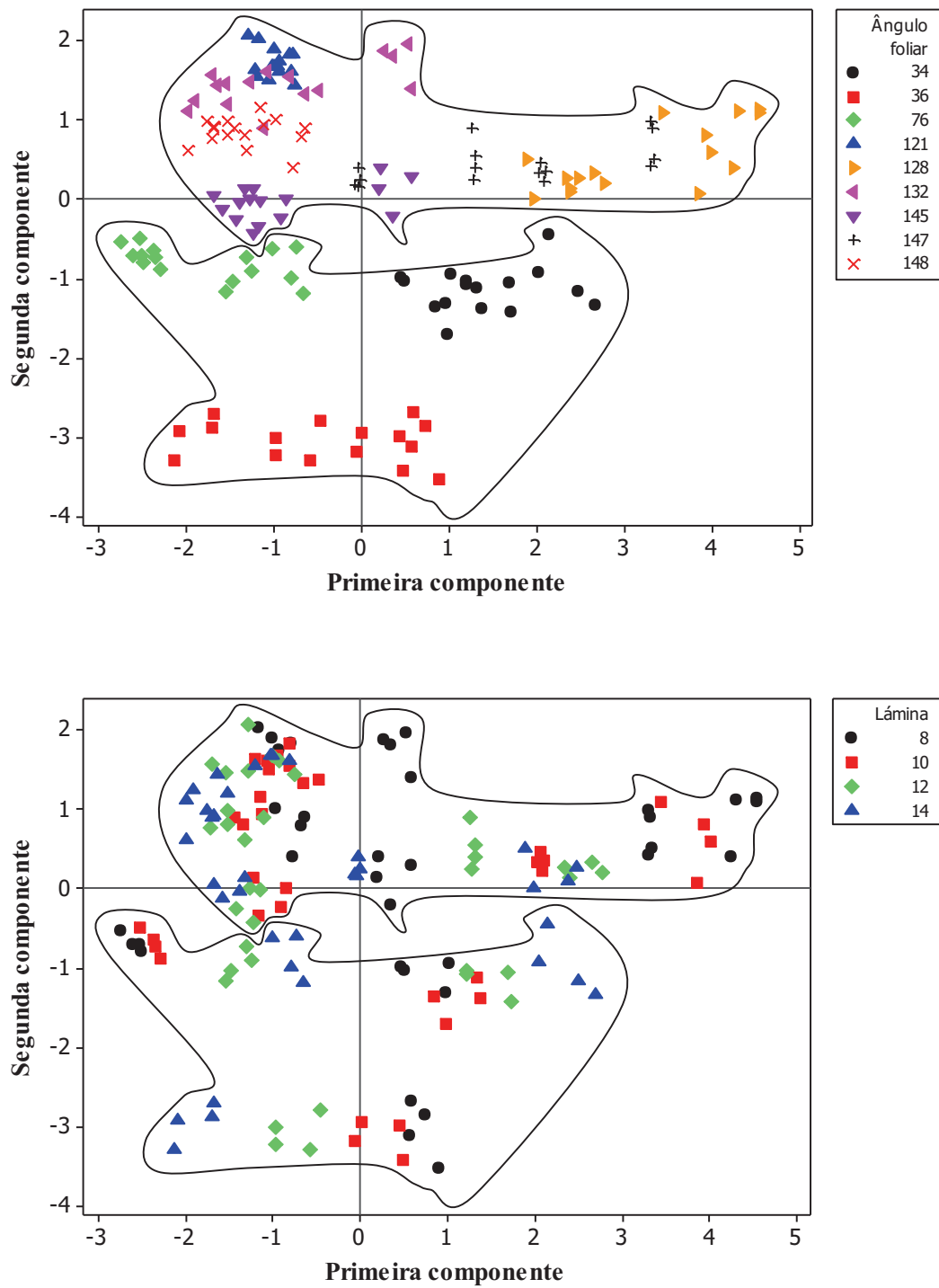
A três componentes principais responderam por 81% da variância total das variáveis citadas. As variáveis que mais discriminaram os grupos de resposta foram: carotenoides (CP1), transpiração diária (CP2) e intensidade da coloração verde das folhas (SPAD) (CP3) (Tabela 7).

Tabela 7 - Coeficientes de correlação, autovalores, variância explicada e acumulada (%) das variáveis fisiológicas e fração de lixiviação com as três primeiras componentes principais em função dos ângulos foliares e lâminas de água

Variáveis	CP1	CP2	CP3
Potencial hídrico foliar	0,17	-0,58	-0,69
Transpiração diária	0,10	-0,89	-0,07
Intensidade da coloração verde das folhas (SPAD)	0,13	0,53	-0,70
Clorofila a	0,92	0,27	-0,12
Clorofila b	0,95	0,15	-0,07
Antocianina	0,69	-0,23	0,52
Carotenoides	0,97	-0,12	0,04
Fração de lixiviação	-0,01	-0,68	-0,11
Autovalor	3,21	2,02	1,27
Variância (%)	40	25	16
Variância acumulada (%)	40	65	81

Considerando a primeira e a segunda componente principal (eixos x e y), as espécie com ângulos foliares 34, 36 e 76° apareceram somente na parte inferior do gráfico, enquanto os demais ângulos, predominantemente, na parte superior (Figura 38).

Figura 38 - Representação gráfica das duas primeiras componentes principais em função dos ângulos foliares e lâminas de água



Na primeira componente principal (eixo x), discriminada pela variável teor de carotenoides foliar, as espécies com ângulos 36, 76, 121, 132, 145, 148° apareceram, predominantemente, do lado esquerdo do gráfico, enquanto as espécies com ângulos 34, 128 e 147° do lado direito. A terceira componente principal (eixo z) não foi representada no gráfico de duas dimensões.

Na análise de variância das três variáveis selecionadas, a interação entre os ângulos foliares e as lâminas de água foi significativa ($p < 0,05$), indicando uma dependência entre os efeitos desses fatores.

Nas espécies com ângulos 34, 36 e 76°, a lâmina 8 mm proporcionou menor transpiração diária, confirmando o agrupamento realizado pela análise de componentes principais utilizando todas as variáveis estudadas (Tabela 8).

Tabela 8 - Efeito da interação entre os ângulos foliares e as lâminas de água sobre a transpiração diária ($\text{mg água m}^{-2} \text{ foliar s}^{-1}$) ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro

Ângulos foliares (°)	Lâminas de água (mm)			
	8	10	12	14
148	7,29 Da	7,34 Da	7,57 Ea	7,90 Ea
147	6,86 Eb	7,38 Db	7,84 Da	8,56 Da
145	11,69 Ba	11,80 Ba	11,91 Ca	11,97 Ca
132	4,90 Fa	4,97 Ea	5,27 Fa	5,43 Fa
128	8,04 Da	8,15 Ca	8,42 Da	8,51 Da
121	3,21 Gb	3,68 Fb	4,17 Ga	4,28 Ga
76	6,31 Ec	6,71 Db	7,03 Ea	7,22 Ea
36	17,15 Ac	18,34 Ab	19,94 Aa	20,41 Aa
34	10,76 Cc	12,00 Bb	13,27 Ba	13,94 Ba

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); CV (%) = 6,29

Além disso, nas espécies com ângulos 34° e 76°, a lâmina 14 mm proporcionou maiores potenciais hídricos foliares (menos negativos), confirmando que a redução da transpiração e, conseqüentemente, do desenvolvimento morfológico foi devido à restrição causada pelas lâminas menores (Tabela 9).

Tabela 9 - Efeito da interação entre os ângulos foliares e as lâminas de água sobre o potencial hídrico foliar (MPa) ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro

Ângulos foliares (°)	Lâminas de água (mm)			
	8	10	12	14
148	-2,14 Ca	-2,06 Ba	-2,06 Ba	-1,96 Ba
147	-1,65 Ca	-1,44 Ca	-1,44 Ca	-1,27 Ca
145	-1,97 Ca	-1,96 Ba	-1,87 Ba	-1,86 Ba
132	-3,55 Aa	-3,55 Aa	-3,41 Aa	-3,28 Aa
128	-2,65 Ba	-2,44 Ba	-2,35 Ba	-2,20 Ba
121	-2,12 Ca	-2,09 Ba	-2,08 Ba	-2,07 Ba
76	-2,49 Ba	-2,37 Ba	-2,11 Ba	-1,61 Cb
36	-1,61 Ca	-1,44 Ca	-1,37 Ca	-1,35 Ca
34	-1,72 Ca	-1,34 Cb	-1,33 Cb	-1,07 Cc

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); CV (%) = 14,88

O estado da água nos diversos órgãos da planta é uma propriedade dinâmica, afetada pelo balanço entre a perda do vapor d'água pelas folhas para a atmosfera e a absorção de água pelas raízes. As taxas de transpiração, fotossíntese e de crescimento das plantas são afetadas pelas alterações no estado de água das folhas (KLAR, 1984). Com menor disponibilidade hídrica, os estômatos abrirão menos ou até mesmo permanecerão fechados durante o dia. Mantendo os estômatos fechados a planta evita a desidratação, no entanto, reduz as trocas gasosas (TAIZ; ZEIGER, 2004). Silva et al. (2004) trabalhando com dois manejos hídricos por subirrigação (-0,01 e -1,5 MPa) na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus grandis* verificaram que a maior restrição hídrica também influenciou na transpiração, de maneira que as mudas submetidas ao maior estresse (-1,5 MPa) reagiram mais rapidamente à falta de água, fechando seus estômatos.

Nas espécies com ângulos 128, 132, 145 e 148°, a transpiração diária não diferiu entre as lâminas, indicando que, a lâmina 8 mm ofertou quantidade de água suficiente para não haver restrição hídrica e, juntamente com a menor lixiviação dos nutrientes do substrato, promoveu o maior desenvolvimento morfológico. Quando a água não é limitante, a solução funcional é a regulação temporal das aberturas estomáticas – abertas durante o dia, fechada à noite. A radiação solar incidente nas folhas favorece alta atividade fotossintética, a demanda por CO₂ dentro da folha é grande e os poros estomáticos estão amplamente abertos, diminuindo a resistência estomática à difusão do CO₂. A perda de água por transpiração é também substancial em tais condições,

mas, uma vez que o suprimento hídrico não é limitante, é vantajoso para a planta intercambiar a água por produtos da fotossíntese, essenciais para o crescimento e reprodução (TAIZ; ZEIGER, 2004). Lopes et al. (2005) trabalhando com cinco lâminas de água (6, 8, 10, 12 e 14 mm) aplicadas, parceladamente, três vezes ao dia, em quatro substratos para produção de mudas de *Eucalyptus grandis* verificaram que as transpirações diárias também não diferiram entre as lâminas de água, dentro de cada substrato.

Nas espécies com ângulos 36, 121 e 147°, apesar da lâmina 8 mm ter apresentado menor transpiração diária, promoveu maior desenvolvimento morfológico, demonstrando que essas espécies podem ser mais eficientes no uso da água. A eficiência das plantas em moderar a perda de água ao mesmo tempo em que permitem absorção suficiente de CO₂ para a fotossíntese, pode ser abordada por um parâmetro denominado razão de transpiração ou eficiência no uso da água. Esse valor é definido como a quantidade de água transpirada pela planta dividida pela quantidade de dióxido de carbono assimilado pela fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004). Olbrich et al. (1993) estudando as variações de eficiência no uso da água em quatro clones de *Eucalyptus grandis* na África do Sul, afirmaram que esse tipo de estudo auxiliaria na seleção dos clones para reflorestamento de áreas marginais, haja vista que essa maior eficiência significa maior produção de madeira em locais onde a água é um fator limitante.

Com relação ao teor de carotenoides foliar, exceto nas espécies com ângulos 34, 76 e 121°, o aumento das lâminas reduziu, em diferentes níveis, o valor dessa variável. O comportamento da variável intensidade da coloração verde das folhas (SPAD) foi semelhante ao do teor de carotenoides foliar, exceto na espécie com ângulo 121° (Tabelas 10 e 11).

Tabela 10 - Efeito da interação entre os ângulos foliares e as lâminas de água sobre o teor de carotenoides foliar (mg g de massa fresca⁻¹) ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro

Ângulos foliares (°)	Lâminas de água (mm)			
	8	10	12	14
148	0,048 Fa	0,035 Eb	0,035 Eb	0,025 Ec
147	0,117 Ba	0,098 Bb	0,086 Bc	0,061 Cd
145	0,058 Ea	0,038 Eb	0,035 Eb	0,025 Ec
132	0,048 Fa	0,038 Eb	0,028 Ec	0,025 Ec
128	0,135 Aa	0,125 Ab	0,118 Ac	0,115 Ac
121	0,045 Fa	0,045 Da	0,045 Da	0,045 Da
76	0,018 Gd	0,028 Fc	0,035 Eb	0,048 Da
36	0,098 Ca	0,085 Cb	0,055 Cc	0,025 Ed
34	0,065 Dc	0,085 Cb	0,085 Bb	0,095 Ba

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); CV (%) = 8,57

Tabela 11 - Efeito da interação entre os ângulos foliares e as lâminas de água sobre a intensidade da coloração verde das folhas (SPAD) ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro

Ângulos foliares (°)	Lâminas de água (mm)			
	8	10	12	14
148	49,0 Aa	44,6 Ab	42,0 Ac	41,1 Ac
147	35,3 Da	34,1 Ca	33,6 Ca	31,5 Cb
145	47,5 Aa	38,8 Bb	36,8 Bb	36,3 Bb
132	34,0 Da	26,2 Eb	25,6 Eb	23,6 Eb
128	40,0 Ca	31,3Db	28,5 Dc	27,7 Dc
121	42,1 Ba	37,3 Bb	37,1 Bb	35,8 Bb
76	24,5 Eb	25,4 Eb	25,8 Eb	28,6 Da
36	22,1 Ea	19,3 Fb	19,2 Fb	19,1 Fb
34	35,9 Db	36,2 Bb	36,9 Bb	39,6 Aa

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); CV (%) = 5,39

A redução do teor de carotenoides foliar e da intensidade da coloração verde das folhas (SPAD) se mostrou relacionada à maior fração de lixiviação de água e nutrientes. Torres Netto et al. (2005) verificaram relação linear entre o teor de carotenoides e o teor total de clorofila nas folhas de *Coffea canephora*. Nesse mesmo sentido, Cruz et al. (2007) identificaram que os menores teores de carotenoides e clorofila *a* e *b* nas folhas de *Carica papaya* estavam relacionados à menor disponibilidade de nitrogênio. De com Daughtry et al. (2010), o nitrogênio é essencial para a produção de aminoácidos, enzimas e clorofila e, conseqüentemente, a concentração de clorofila foliar está correlacionada com o teor de nitrogênio da planta.

Cada vez mais, pesquisadores têm buscado correlacionar o índice SPAD com os teores de nitrogênio e clorofilas em espécies florestais (RICHARDSON et al., 2002; MADEIRA et al., 2009; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2011; CARVALHO et al., 2015; UESUGI et al., 2015; MOURA et al., 2016). No entanto, as relações matemáticas entre o índice SPAD e o teor de nitrogênio variam entre as espécies, as condições ambientais e o estágio de desenvolvimento da planta de uma mesma espécie (BERG; PERKINS, 2004).

Nas espécies com ângulos 34 e 76°, foi necessária a aplicação da lâmina 14 mm para produzir o maior teor de carotenoides foliar e a intensidade da coloração verde das folhas (SPAD). Isso demonstra que as lâminas menores não suprimiram totalmente a necessidade hídrica das mudas e desfavoreceram a absorção dos nutrientes. Carvalho et al. (2015) estudando o índice SPAD nas folhas das mudas em vaso de duas procedências de *Peltophorum dubium* submetidas a dois manejos hídricos (com e sem déficit hídrico) e dois regimes de fertilização (com e sem fertilização), demonstraram que nos tratamentos fertilizados, o déficit hídrico reduziu o índice SPAD. Silva et al. (2016) identificaram que em folhas de plantas jovens de *Cocos nucifera*, sob cinco manejos hídricos (20, 40, 60, 80 e 100% de reposição das perdas de água por evapotranspiração potencial) e quatro solos com crescentes níveis de salinidade, o déficit hídrico foi o fator mais limitante ao aumento do teor de carotenoides.

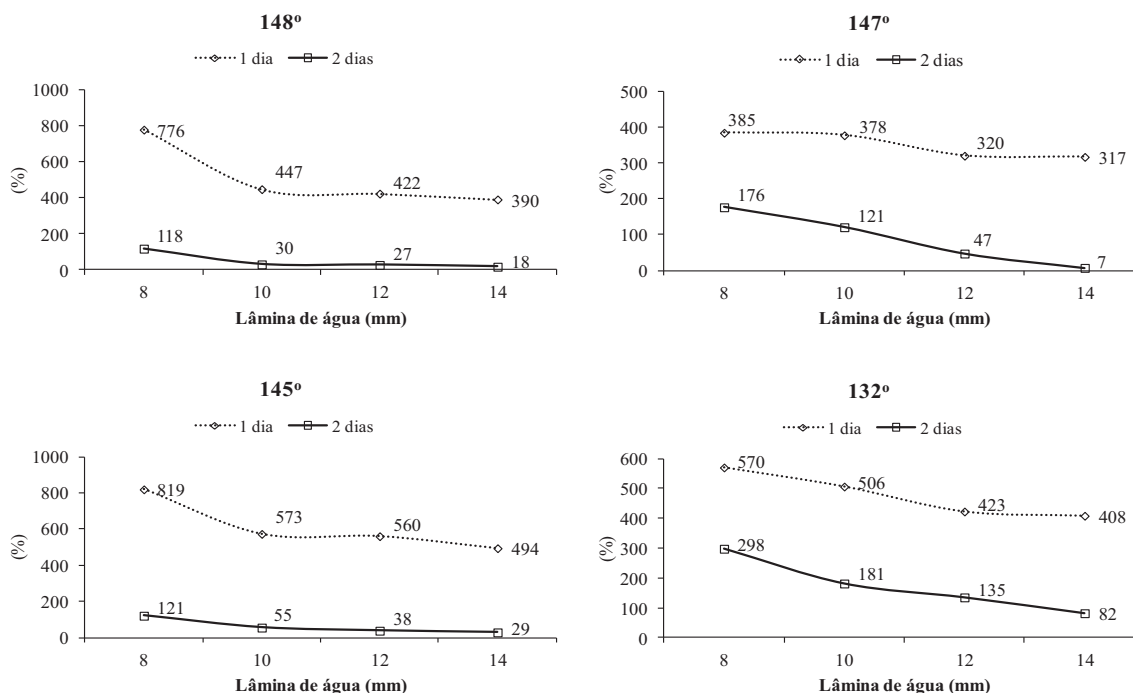
Na espécie com ângulo 121°, as lâminas aplicadas não promoveram teores diferenciados de carotenoides nas folhas, indicando que, apesar do excesso de água ter prejudicado o desenvolvimento morfológico, não comprometeu a produção desse pigmento. Nesse sentido, Silveira et al. (2015) estudando o efeito de três manejos hídricos (capacidade de campo, e alagamentos permanente e intermitente) sobre o teor de carotenoides foliar em mudas da espécie *Coffea arabica* cultivar Catuaí Vermelho IAC 44, verificaram que, apesar do teor não diferir entre os tratamentos, o excesso de água reduziu as taxas fotossintéticas proporcionalmente ao estresse.

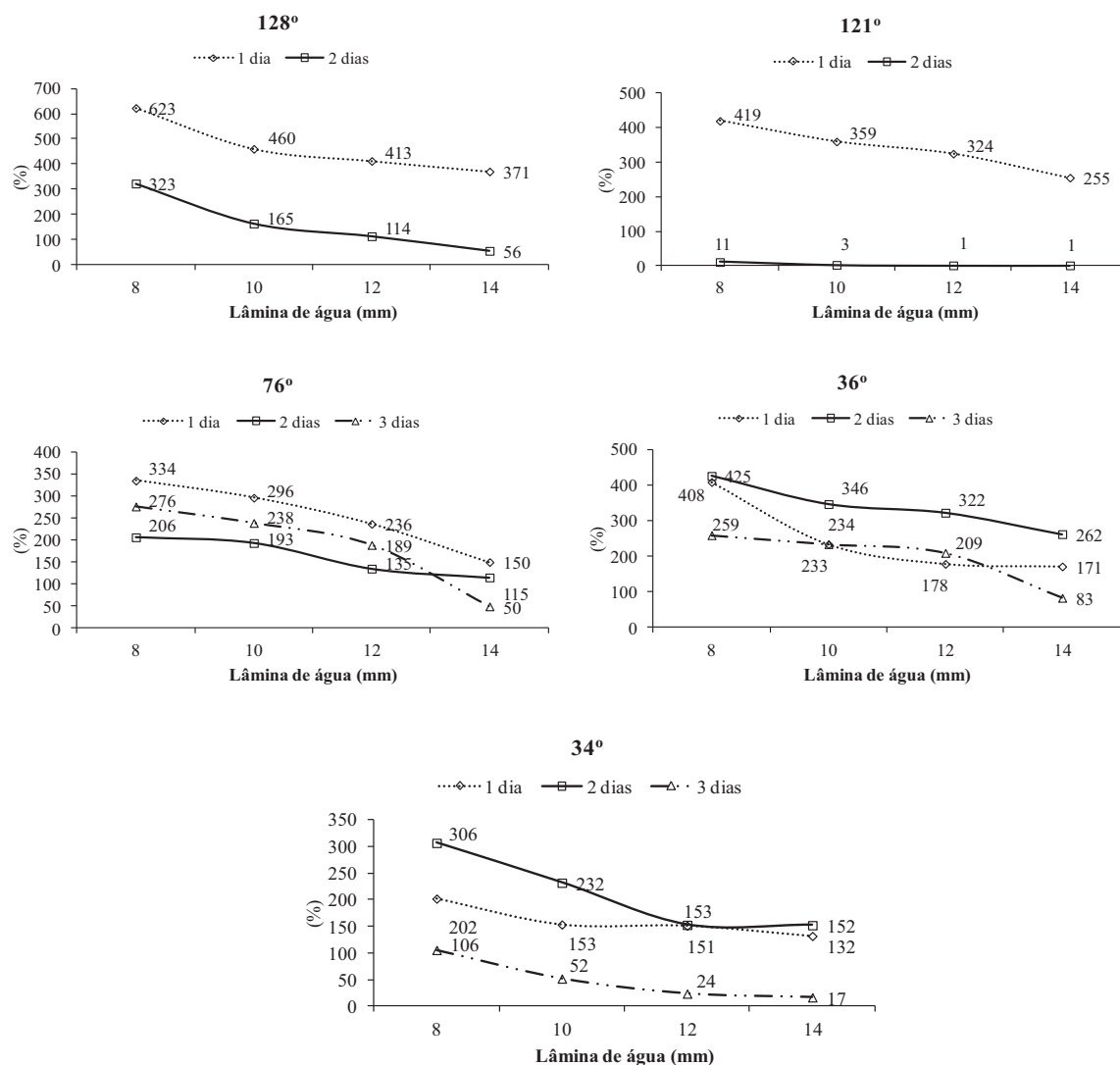
4.4 Condutividade elétrica da solução lixiviada

Com base na duração dessa avaliação foi possível distinguir dois grupos. No primeiro grupo, das espécies com ângulos foliares 121, 128, 132, 145, 147 e 148°, a avaliação foi realizada em dois dias, isto é, no segundo dia após a ferti-irrigação, a CE da solução lixiviada, em pelo menos uma das lâminas, foi inferior ao dobro (100%) da CE da água sem fertilizantes. No segundo grupo, das espécies com ângulos 34, 36 e 76°, a avaliação requereu três dias.

No primeiro dia, em todos os ângulos, a CE das soluções lixiviadas reduziram com o aumento das lâminas. Isso ocorreu porque o aumento das lâminas elevou o volume lixiviado e, conseqüentemente, a diluição dos íons na solução captada (Figura 39).

Figura 39 - Comparação percentual entre a condutividade elétrica da solução lixiviada, em cada lâmina de água e ângulo foliar, e a condutividade elétrica da água sem fertilizantes, dias após a ferti-irrigação





A dinâmica dos nutrientes na nutrição de plantas cultivadas em contêineres com substrato está muito ligada ao manejo hídrico (BOAVENTURA et al., 2004). O monitoramento da CE das soluções lixiviadas fornecem informações sobre o esgotamento dos nutrientes e se os volumes de irrigação têm sido suficientes ou excessivos (BILDERBACK, 2001). Além de permitir a rápida tomada de decisão na modificação do número de ferti-irrigações e impedir o movimento dos nutrientes para longe das raízes (SANTORO et al., 2016).

A lixiviação dos nutrientes minerais do substrato aumenta exponencialmente em função da maior quantidade de água na rizosfera (LAMHAMEDI et al., 2001), seja

através de irrigações muito frequentes ou em quantidades excessivas, podendo resultar na degradação de águas superficiais e subterrâneas (JUNTUNEN et al., 2002, 2003).

Do ponto de vista ambiental, o maior impacto negativo dos nutrientes lixiviados, especialmente o nitrogênio e o fósforo, reside em sua capacidade de eutrofização de corpos hídricos. Nesses casos, o excesso de nutrientes nas águas estimula o crescimento de mais fitoplâncton, que bloqueiam a luz solar e, durante sua decomposição, reduzem o oxigênio dissolvido na água para níveis prejudiciais aos peixes e invertebrados aquáticos (TAYLOR et al., 2006).

A partir do segundo dia, o comportamento da CE da solução lixiviada entre os dois grupos diferiu. No primeiro grupo (espécies com ângulos 121, 128, 132, 145, 147 e 148°), o aumento das lâminas continuou reduzindo a CE da solução lixiviada até níveis próximos da CE da água sem fertilizantes, determinando o fim da avaliação. Nesses ângulos, principalmente nas maiores lâminas, a lixiviação foi maior, resultando maior perda dos íons. No meio de cultivo, os nutrientes podem mover-se em direção à superfície radicular tanto por fluxo de massa quanto por difusão. Quando a absorção de nutrientes pelas raízes é alta e a concentração no meio de cultivo é baixa, o fluxo de massa supre apenas uma pequena fração das necessidades totais. Nessas condições, as taxas de difusão limitam o movimento de nutrientes até a superfície da raiz. Quando a difusão é muito baixa para manter as concentrações elevadas de nutrientes próximos à raiz, forma-se uma zona de esgotamento de nutrientes adjacente à superfície radicular, a qual se estende 0,2 a 2,0 mm da superfície radicular, dependendo da mobilidade do nutriente. Devido ao fato de as raízes esgotarem o suprimento mineral da rizosfera, sua eficácia em buscar nutrientes no meio de cultivo é determinada não só pela taxa pela qual elas podem remover nutrientes da solução, mas pelo crescimento continuado das mesmas. Sem crescimento, as raízes iriam rapidamente esgotar o meio de cultivo adjacente à sua superfície (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Esses resultados, associados aos resultados morfológicos e fisiológicos, demonstraram que nesses ângulos, a lâmina 8 mm supriu a necessidade hídrica das mudas, bem como reduziu a perda dos nutrientes aplicados. Reduzir a lixiviação pode garantir mais tempo para que os nutrientes aplicados sejam absorvidos pela planta (BIERNBAUM, 1992). Além disso, quando a CE da solução lixiviada é baixa, por

exemplo, 0,200 a 0,300 dS m⁻¹, o volume de irrigação pode ser diminuído para evitar a lixiviação dos nutrientes (BILDERBACK, 2001) ou pode indicar a necessidade de uma nova fertilização.

No segundo dia, no outro grupo (espécies com ângulos 34, 36 e 76°), nenhuma lâmina drenou solução que apresentasse CE inferior ao dobro (100%) da CE da água sem fertilizantes. Além disso, nas espécies com ângulos 34 e 36° a CE aumentou, comparadas ao primeiro dia de avaliação. No terceiro dia, a espécie com ângulo 76°, exceto na lâmina 14 mm, também aumentou a CE, enquanto nas espécies com ângulos 34 e 36° voltaram a reduzir, atingindo níveis próximos da CE da água sem fertilizantes.

Comparativamente, as espécies com ângulos 34, 36 e 76° apresentaram menor fração de lixiviação, ou seja, menor quantidade de água escoou pelo fundo do tubete. Esse menor fluxo de água não foi suficiente para lixiviar a maior quantidade dos íons no primeiro dia após a ferti-irrigação, o que ocorreu no segundo dia de avaliação nas espécies com ângulos 34 e 36° e no terceiro dia na espécie com ângulo 76°.

Esses resultados, associados aos resultados morfológicos e fisiológicos, demonstraram que nas espécies com ângulos 34 e 76°, a lâmina 8 mm também reduziu a perda dos nutrientes aplicados, porém, foi insuficiente para mover esses nutrientes em direção à superfície radicular e conferir maior qualidade às mudas. De acordo com Taiz e Zeiger (2004), no fluxo de massa, os nutrientes são carregados pela água que se move através do meio de cultivo em direção à planta, a qual depende de taxas de transpiração e dos níveis de nutrientes na solução. Quando tanto a taxa de fluxo de água quanto as concentrações de nutrientes são baixas, o fluxo de massa deixa de desempenhar importante papel no suprimento de nutrientes. A desidratação de apenas parte das raízes pode causar fechamento estomático, mesmo que uma porção bem hidratada do sistema subterrâneo ainda absorva e forneça grande quantidade de água para a parte aérea. Com a diminuição do conteúdo de água da planta, suas células tipicamente contraem-se e as paredes afrouxam. Esse decréscimo de volume celular resulta em pressão de turgor menor e na subsequente concentração de solutos nas células. Nesses casos, as atividades dependentes do turgor, como a expansão foliar e o alongamento das raízes são mais afetadas pelos déficits hídricos.

4.5 Acúmulo de nutrientes

Nas espécies com ângulos foliares 34 e 76° a correlação foi significativa e positiva, isto é, na medida em que as lâminas de água aumentaram, o acúmulo de macro e micronutrientes aumentou. Isso demonstra que, nesses ângulos, as lâminas menores desfavoreceram o movimento da água no substrato, o que reduziu o contato dos íons com o sistema radicular e prejudicou a absorção dos nutrientes e a formação de biomassa (Tabela 12).

Tabela 12 - Correlações de Pearson, em cada ângulo foliar, entre as lâminas de água e o acúmulo de nutrientes ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro

	Ângulos foliares (°)								
	148	147	145	132	128	121	76	36	34
N	-0,77 **	-0,76 **	-0,58 *	-0,82 **	-0,86 **	-0,71 **	0,68 **	-0,77 **	0,72 **
P	-0,68 **	-0,69 **	-0,64 **	-0,81 **	-0,85 **	-0,81 **	0,59 *	-0,89 **	0,72 **
K	-0,71 **	-0,74 **	-0,65 **	-0,78 **	-0,79 **	-0,76 **	0,63 **	-0,69 **	0,70 **
Ca	-0,67 **	-0,78 **	-0,10 ns	-0,80 **	-0,67 **	-0,78 **	0,83 **	-0,74 **	0,69 **
Mg	-0,61 **	-0,75 **	-0,40 ns	-0,72 **	-0,70 **	-0,83 **	0,77 **	-0,77 **	0,68 **
S	-0,74 **	-0,84 **	-0,53 *	-0,79 **	-0,75 **	-0,80 **	0,80 **	-0,74 **	0,66 **
B	-0,65 *	-0,75 **	-0,43 ns	-0,71 *	-0,59 *	-0,44 ns	0,28 ns	-0,57 *	0,73 **
Cu	-0,72 **	-0,49 ns	-0,42 ns	-0,74 **	-0,81 **	-0,81 **	0,80 **	-0,83 **	0,70 **
Fe	-0,57 *	-0,41 ns	-0,09 ns	-0,49 *	-0,14 ns	-0,84 **	0,17 ns	-0,56 *	0,16 ns
Mn	-0,71 **	-0,75 **	-0,59 *	-0,83 **	-0,72 **	-0,70 **	0,64 *	-0,75 **	0,58 *
Zn	-0,49 *	-0,59 *	-0,42 ns	-0,81 **	-0,64 **	-0,80 **	0,78 **	-0,71 **	0,77 **

** e * = significativo ao nível de 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente; e ns = não significativo

O potencial matricial pode ser decomposto em potencial osmótico (Ψ_s) e potencial pressão hidrostática (Ψ_p). Para meios de cultivo que contêm uma concentração substancial de sais o Ψ_s pode atingir -0,2 MPa ou menos. O Ψ_p para meios de cultivo úmidos é muito próximo de zero. À medida que seca, pode tornar-se muito negativo. Além desse gradiente de pressão, à medida que o conteúdo de água de um meio de cultivo decresce (e, por consequência, o potencial hídrico), sua condutividade hidráulica diminui drasticamente. Isso ocorre devido à substituição da água nos poros por ar, o que restringe a facilidade com que a água se move pelo meio de cultivo (TAIZ; ZEIGER, 2004). O contato íon com a raiz é o primeiro passo para que o íon da solução do meio

de cultivo, nativo ou proveniente de fertilizante, seja absorvido. Por fluxo de massa (maior participação nos casos do N, Ca, Mg, S e micronutrientes, exceto Mn), o contato dos íons com a raiz se estabelece em consequência do movimento desses íons numa fase aquosa móvel, a favor de um gradiente de umidade, isto é, de uma região umedecida distante da raiz para outra mais seca na superfície do sistema radicular. Por difusão (contribui de modo quase exclusivo para o P e, em grande parte, para o K), trata-se do movimento do íon a curta distância dentro de uma fase aquosa, a solução do solo, estacionária, a favor do gradiente de concentração, isto é, de uma região de maior concentração para outra de concentração menor (superfície da raiz) (MALAVOLTA, 2006).

A exigência de maiores lâminas de água para produzir maior acúmulo de nutrientes também foi verificada por Lopes et al. (2007), que estudando o efeito de cinco lâminas de água (6, 8, 10, 12 e 14 mm) e quatro substratos sobre o acúmulo dos nutrientes em mudas de *Eucalyptus grandis*, verificaram que nos substratos casca de *Pinus* + vermiculita e fibra de coco, as lâminas 10, 12 e 14 mm proporcionaram o maior acúmulo.

Nas espécies com ângulos 36, 121, 128, 132, 145, 147 e 148°, quando significativa, a correlação foi negativa, ou seja, na medida em que as lâminas aumentaram, o acúmulo de macro e micronutrientes diminuiu. Nas lâminas maiores, essa diminuição se mostrou relacionada à maior lixiviação, representada pela redução mais rápida da CE. Esse processo desfavoreceu a absorção dos nutrientes e a formação de biomassa. A lixiviação atua fortemente, principalmente, na perda dos nutrientes N, K, S e B (MALAVOLTA, 2006). Considerando os papéis funcionais dos nutrientes, o nitrogênio e o enxofre são classificados como nutrientes que integram compostos de carbono. A disponibilidade de nitrogênio limita a produtividade das plantas na maioria dos ecossistemas naturais e agrícolas, pois é o elemento mineral que as plantas exigem em maiores quantidades. Ele serve como constituinte de muitos componentes da célula vegetal, incluindo aminoácidos e ácidos nucleicos. Portanto, a deficiência de nitrogênio rapidamente inibe o crescimento vegetal. O enxofre é encontrado em dois aminoácidos e é constituinte de várias coenzimas, além de vitaminas essenciais ao metabolismo. Muitos dos sintomas de deficiência do enxofre são similares ao do nitrogênio, incluindo

clorose e redução do crescimento, pois ambos são constituintes de proteínas. Com relação ao potássio, seu papel funcional é classificado como nutrientes que permanecem na forma iônica, presente nas plantas como cátion K^+ . Desempenha papel importante na regulação do potencial osmótico das células vegetais. Ele também ativa muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese. O boro tem seu papel funcional classificado como nutrientes que são importantes na armazenagem de energia ou na integridade estrutural. Embora o papel preciso do boro no metabolismo vegetal não seja claro, evidências sugerem que ele desempenha funções no alongamento celular, síntese de ácidos nucleicos, respostas hormonais e funcionamento de membranas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

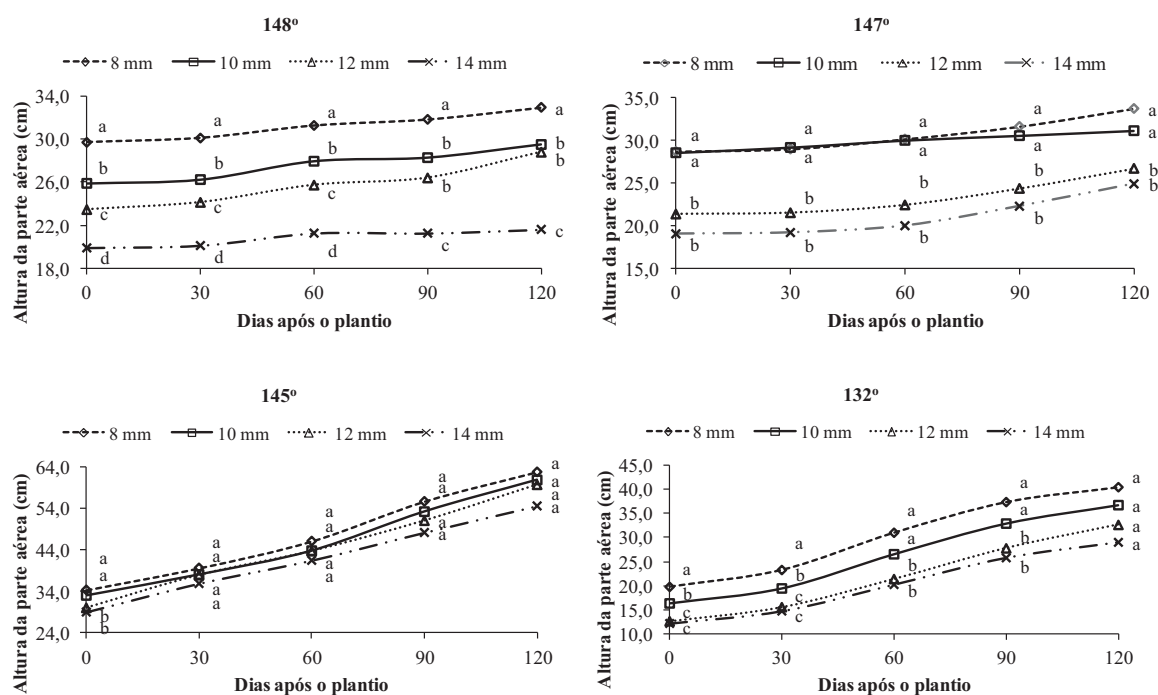
4.6 Resultados morfológicos após o plantio das mudas em vaso

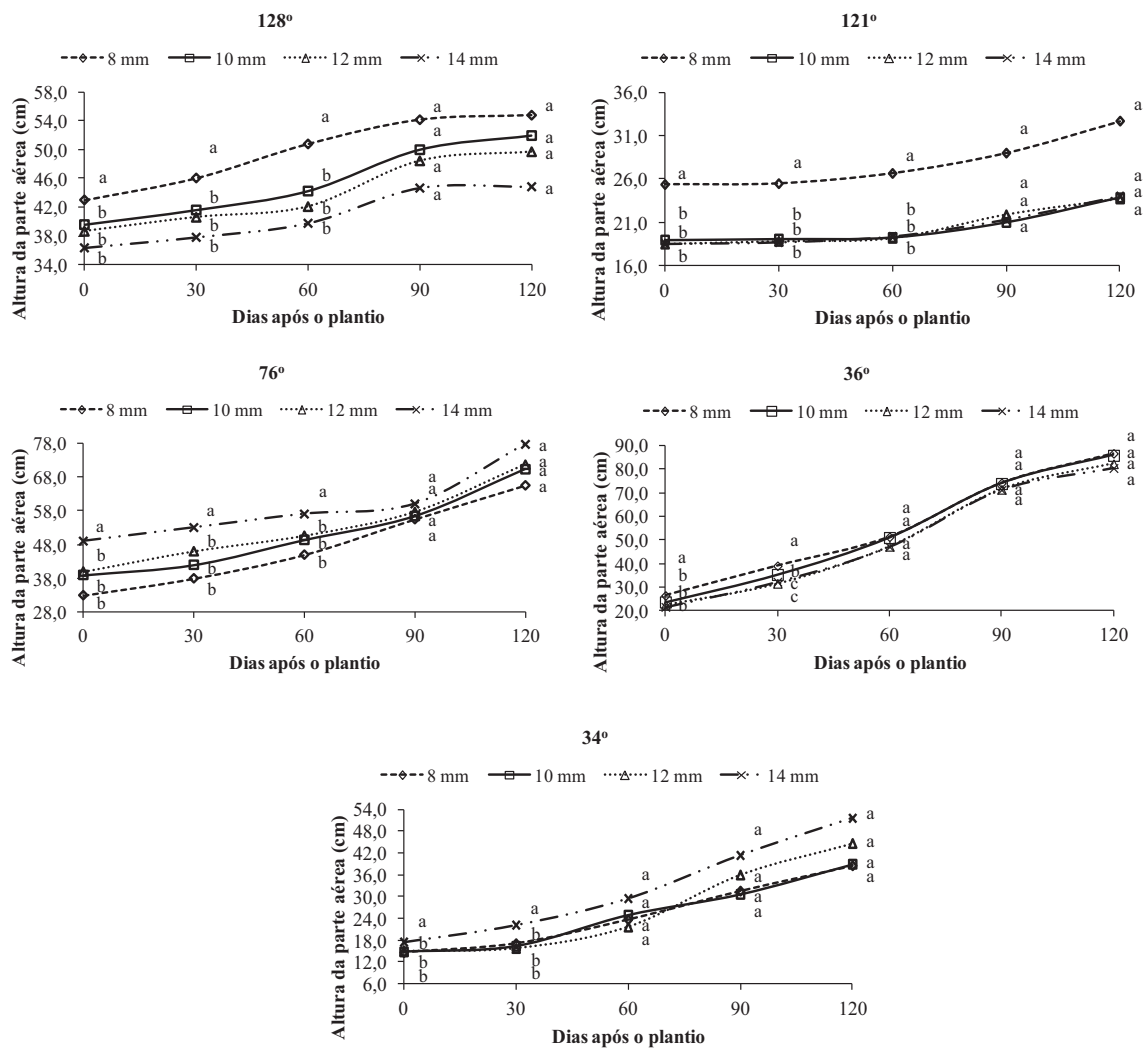
O efeito dos tratamentos aplicados durante a fase de viveiro influenciou, em diferentes níveis, o desenvolvimento morfológico das mudas após plantio em vaso.

Com relação à altura da parte aérea, nas espécies com ângulos 147 e 148° houve diferença entre as lâminas aplicadas durante a fase de viveiro até a última avaliação (120 dias após o plantio das mudas em vaso); na espécie com ângulo 132° (90 dias); 76, 121 e 128° (60 dias); 34 e 36° (30 dias). A espécie com ângulo 145° foi a único em que as lâminas diferiram apenas no momento do plantio.

Nos respectivos períodos citados, as espécies com ângulos 36, 121, 128, 132, 147 e 148° irrigadas com a lâmina 8 mm durante a fase de viveiro, mantiveram o maior crescimento, sendo que nas espécies com ângulos 132, 145 e 147° as lâminas 8 e 10 mm não diferiram entre si. As espécies com ângulos 34 e 76° irrigadas com a lâmina 14 mm no viveiro, mantiveram o maior crescimento (Figura 40).

Figura 40 - Efeito das lâminas de água aplicadas durante a fase de viveiro, em cada ângulo foliar, sobre a altura da parte aérea (cm) até 120 dias após o plantio das mudas em vaso





Com o maior desenvolvimento das mudas, nos meses subsequentes ao plantio, tem-se verificado diminuição na necessidade de limpeza do povoamento, o que implica em considerável redução de custos de implantação (CARNEIRO, 1995).

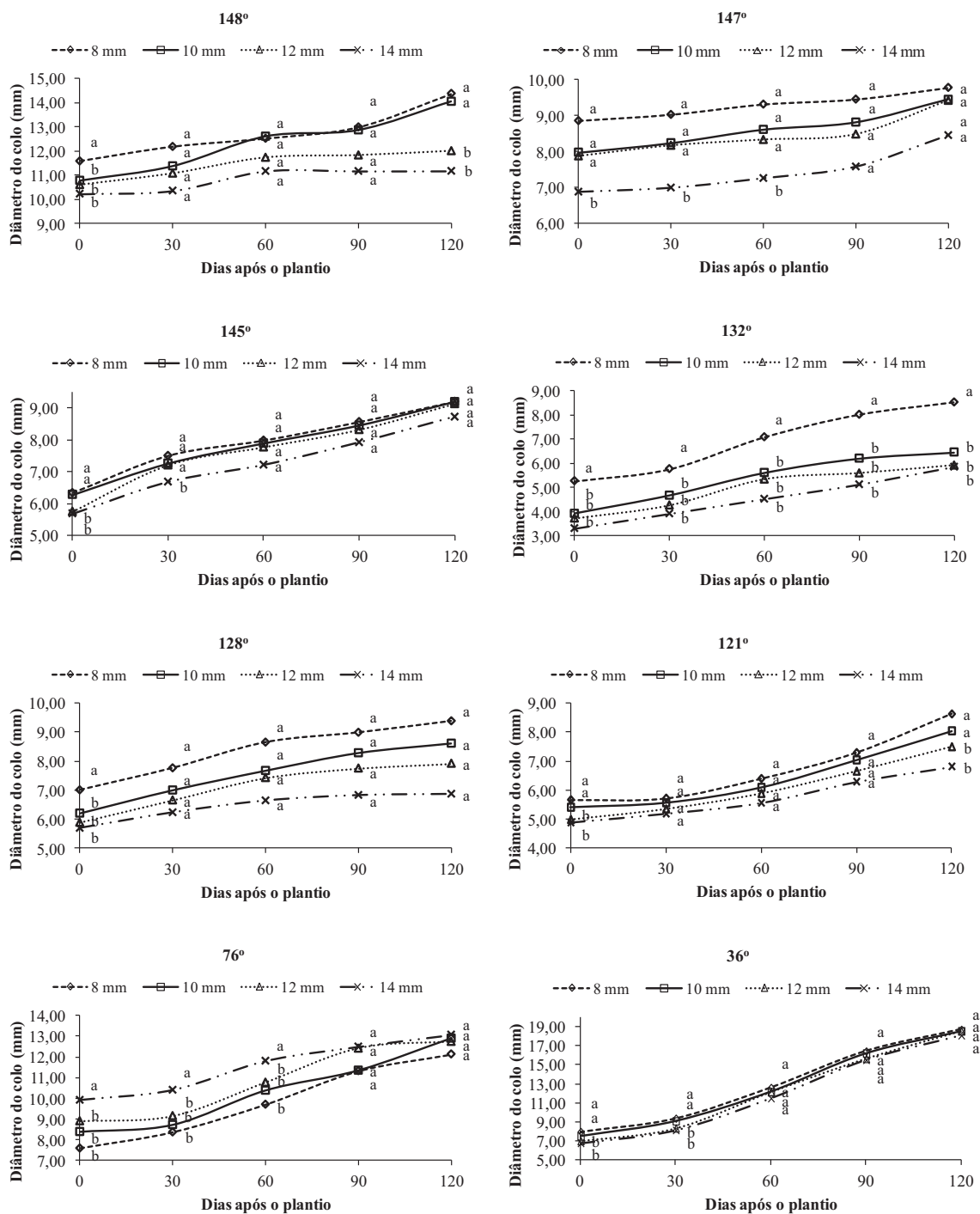
Todos aqueles que produzem mudas de espécies florestais visam à sobrevivência e o crescimento após o plantio (MATTSSON, 1997), portanto, mudas de qualidade são aquelas que sobreviverão e atingirão um nível desejado de crescimento após o plantio (DIERAUF; GARNER, 1996; STAPE et al., 2001; CAMPBELL; HAWKINS, 2004; OLIVO; BUDUBA, 2006) a custo acessível. Nesse cenário, estímulo importante tem sido dado à melhoria da qualidade morfológica, fisiológica e genética das mudas florestais (WILSON; JACOBS, 2006).

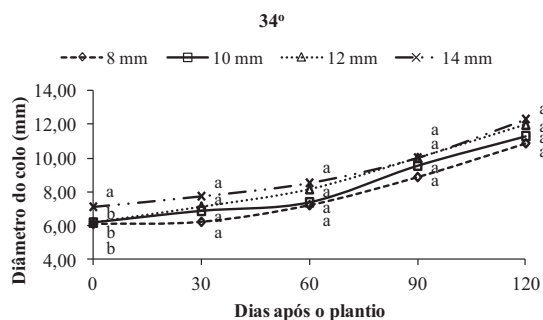
As possibilidades de prever o desempenho em campo através de algum tipo de avaliação da qualidade da muda no viveiro também aumentaram substancialmente, permitindo utilizar diferentes medições no viveiro na identificação de mudas que não são aptas a sobreviver ou crescerão muito pouco no campo. O uso dos parâmetros morfológicos continua sendo ferramenta comum para medir a vitalidade das mudas (MATTSSON, 1997), sendo a altura da parte aérea e o diâmetro do colo os parâmetros mais utilizados na grande escala operacional de classificação de qualidade das mudas em viveiros (SUTTON, 1979; CHAVASSE, 1980; DEANS et al., 1989; DEY; PARKER, 1997; JACOBS et al., 2005; ZIDA et al., 2008a) e, em muitos casos, foram correlacionados com a sobrevivência e o crescimento das mudas após o plantio (BAYLEY; KIETZKA, 1997; JACOBS et al., 2005).

Na variável diâmetro do colo, na espécie com ângulo 132° houve diferença entre as lâminas aplicadas no viveiro até a última avaliação; nas espécies com ângulos 121 e 148°, as lâminas não diferenciaram o crescimento dessa variável dos 30 aos 90 dias, porém, aos 120 dias após o plantio voltaram a diferir. Nas espécies com ângulos 76 e 147° (60 dias); 36 e 145° (30 dias). As espécies com ângulos 34 e 128° foram as únicas em que as lâminas diferiram apenas no momento do plantio.

Nos respectivos períodos citados, as espécies com ângulos 36, 121, 128, 132 e 148° irrigadas com a lâmina 8 mm durante a fase de viveiro mantiveram o maior crescimento, sendo que nas espécies com ângulos 36, 121 e 148° as lâminas 8 e 10 mm não diferiram entre si. Nas espécies com ângulos 145 e 147°, não houve diferença entre as lâminas 8, 10 e 12 mm. As espécies com ângulos 34 e 76°, irrigadas com a lâmina 14 mm no viveiro mantiveram o maior crescimento (Figura 41).

Figura 41 - Efeito das lâminas de água aplicadas durante a fase de viveiro, em cada ângulo foliar, sobre o diâmetro do colo (mm) até 120 dias após o plantio das mudas em vaso





Em todos os ângulos, o efeito das lâminas que promoveram maior desenvolvimento em altura da parte aérea e diâmetro do colo ao final da fase de viveiro foi no máximo igualado, mas não superado, pelas demais lâminas até os 120 dias após o plantio em vaso. Nesse mesmo sentido, Silva e Silva (2015a, 2016) estudando o desenvolvimento morfológico das mudas das espécies *Calophyllum brasiliense* e *Aspidosperma polyneuron* após o plantio em vaso, verificaram que as lâminas de água 8 e 11 mm, parceladas duas vezes ao dia, que haviam formado, respectivamente, mudas menores e maiores em altura da parte aérea e diâmetros do colo ao final da fase de viveiro, mantiveram o comportamento até os 120 dias após o plantio. Silva e Silva (2015b) em estudo similar com a espécie *Piptadenia gonoacantha* verificaram que, embora a lâmina de água 8 mm, parcelada duas vezes ao dia, que havia formado mudas menores em altura da parte aérea e diâmetros do colo ao final da fase de viveiro tenha elevado o crescimento dessas variáveis após o trigésimo dia, não superou os resultados promovidos pela lâmina 11 mm aos 120 dias após o plantio.

5. CONCLUSÕES

Aqui mostramos que, com o aumento das lâminas, as espécies com ângulos maiores (121, 128, 132, 145, 147 e 148°) aumentam mais rapidamente a fração de lixiviação e, conseqüentemente, a perda dos íons do que as espécies com ângulos menores (34, 36 e 76°).

Esses processos refletem sobre a qualidade morfológica, fisiológica e nutricional das mudas. As espécies com ângulos 34 e 76°, com o aumento das lâminas, aumentam o desenvolvimento morfológico, enquanto os demais ângulos têm comportamento contrário.

Nas espécies com ângulos 34 e 76°, a menor lâmina reduz a transpiração diária e prejudica o desenvolvimento morfológico, enquanto nos demais ângulos não há prejuízo. Nas espécies com ângulos 34 e 76°, apenas a lâmina 14 mm aumenta o teor de carotenoides foliar e a intensidade da coloração verde das folhas (SPAD), enquanto nos demais ângulos, exceto na espécie com ângulo 121° na variável teor de carotenoides foliar, o aumento das lâminas reduz o valor dessas variáveis.

Nas variáveis nutricionais, com o aumento das lâminas, as espécies com ângulos 34 e 76°, elevam o acúmulo da maioria dos macro e micronutrientes, enquanto os demais ângulos têm comportamento contrário.

Em todas as espécies (ângulos), o efeito das lâminas que promovem maior desenvolvimento em altura da parte aérea e diâmetro do colo ao final da fase de viveiro é no máximo igualado, mas não superado, pelas demais lâminas até os 120 dias após o plantio em vaso.

Portanto, nossos resultados indicam que, nas espécies com ângulos foliares maiores, a aplicação de lâminas de água menores resulta em mudas com maior qualidade. Nas espécies com ângulos menores, é necessária a aplicação de lâminas maiores, exceto quando a área de projeção da copa é pequena.

A partir desse conhecimento, o ângulo foliar poderá começar a ser utilizado como um dos critérios para o agrupamento das espécies no viveiro, a fim de que a irrigação praticada evite o desperdício de água e fertilizantes, bem como aumente a qualidade morfológica, fisiológica e nutricional das mudas florestais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. L.; MAIA, N.; ORTEGA, A. R.; ANGELO, A. C. Crescimento de mudas de *Jacaranda puberula* Cham. em viveiro submetidas a diferentes níveis de luminosidade. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 323-329, 2005.
- ALVES, A. S.; OLIVEIRA, L. S. B.; ANDRADE, L. A.; GONÇALVES, G. S.; SILVA, J. M. Produção de mudas de angico em diferentes tamanhos de recipientes e composições de substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 39-44, 2012.
- ARNDT, D. S.; BARINGER, M. O.; JOHNSON, M. R. 2010: State of the climate in 2009. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, n. 7, p. 1-224, 2010.
- ARREOLA, J.; FRANCO, J. A.; VICENTE, M. J.; MATINEZ-SANCHEZ, J. J. Effect of nursery irrigation regimes on vegetative growth and root development of *Silene vulgaris* after transplantation into semi-arid conditions. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 81, n. 4, p. 583-592, 2006.
- ARYAL, B.; NEUNER, G. Leaf wettability decreases along an extreme altitudinal gradient. **Oecologia**, v. 162, n. 1, p. 1-9, 2010.
- AUGUSTO, D. C. C.; GUERRINI, I. A.; ENGEL, V. L.; ROUSSEAU, G. X. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 745-751, 2007.
- BACCI, L.; BATTISTA, P.; RAPI, B. An integrated method for irrigation scheduling of potted plants. **Scientia Horticulturae**, v. 116, n. 1, p. 89-97, 2008.
- BALDIN, T.; CONTE, B.; DENARDI, L.; MORAES, R.; SALDANHA, C. W. Crescimento de mudas de angico-vermelho em diferentes volumes de substratos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 129-133, 2015.
- BARCLAY, H. J. Distribution of leaf orientations in six conifer species. **Canadian Journal of Botany**, v. 79, n. 4, p. 389-397, 2001.
- BARRETTO, V. C. M.; VALERI, S. V.; SILVEIRA, R. L. V. A.; TAKAHASHI, E. N. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. **Scientia Forestalis**, v. 76, p. 21-33, 2007.
- BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; LELES, P. S. S. Qualidade de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla*, produzidas em tubetes e em blocos prensados, com diferentes substratos. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 238-250, 2000.

BAYALA, J.; DIANDA, Z. M.; WILSON, Z. J.; OUÉDRAOGO, S. J.; SANON, Z. K. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. **New Forests**, v. 38, n. 3, p. 309-322, 2009.

BAYLEY, A. D.; KIETZKA, J. W. Stock quality and field performance of *Pinus patula* seedlings produced under two nursery growing regimes during seven different nursery production periods. **New Forests**, v. 13, n. 1-3, p. 341-356, 1997.

BEESON Jr., R. C.; KNOX, G. W. Analysis of efficiency of overhead irrigation in container production. **HortScience**, v. 26, n. 7, p. 848-850, 1991.

BEESON Jr., R. C.; YEAGER, T. H. Plant canopy affects sprinkler irrigation application efficiency of container-grown ornamentals. **HortScience**, v. 38, n. 7, p. 1373-1377, 2003.

BEESON Jr., R. C. Modelling actual evapotranspiration of *Ligustrum japonicum* from rooted cuttings to commercially marketable plants in 12 liter black polyethylene containers. **Acta Horticulturae**, v. 664, p. 71-77, 2004.

BEESON Jr., R. C.; BILDERBACK, T. E.; BOLUSKI, B.; CHANDLER, S.; GRAMLING, H. M.; LEA-COX, J. D.; HARRIS, R. R.; KLINGER, P. J.; MATHERS, H. M. Strategic vision of container irrigation in the next ten years. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 22, n. 2, p. 113-115, 2004.

BEESON Jr., R. C. Relationship of plant growth and actual evapotranspiration to irrigation frequency based on management allowed deficits for container nursery stock. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 131, n. 1, p. 140-148, 2006.

BEESON Jr., R. C.; BROOKS, J. Evaluation of a model based on reference crop evapotranspiration (ET_o) for precision irrigation using overhead sprinklers during nursery production of *Ligustrum japonica*. **Acta Horticulturae**, v. 792, p. 85-90, 2008.

BEESON Jr., R. C. Modeling actual evapotranspiration of *Viburnum odoratissimum* during production from rooted cuttings to market size plants in 11.4-L containers. **HortScience**, v. 45, n. 8, p. 1260-1264, 2010.

BERG, A. K.; PERKINS, T. D. Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) leaves. **Forest Ecology and Management**, v. 200, p. 113-117, 2004.

BERGERON, O.; LAMHAMEDI, M. S.; MARGOLIS, H.; BERNIER, P. Y.; STOWE, D. C. Irrigation Control and physiological responses of nursery-grown Black Spruce seedlings (1+0) cultivated in air-slit containers. **HortScience**, v. 30, n. 3, p. 599-605, 2004.

BERNARDINO, D. C. S.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; MARQUES, V. B. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 863-870, 2005.

BIERNBAUM, J. A. Root-zone management of greenhouse container-grown crops to control water and fertilizer use. **HortTechnology**, v. 2, n. 1, p. 127-132, 1992.

BILDERBACK, T. E. Using the PourThru procedure for checking EC and pH for nursery crops. **Horticulture Information Leaflet**, v. 401, p. 1-5, 2001.

BILDERBACK, T. E. Water management is key in reducing nutrient runoff from container nurseries. **HortTechnology**, v. 12, n. 3, p. 541-544, 2002.

BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.

BOAVENTURA, P. S. R.; QUAGGIO, J. A.; ABREU, M. F.; BATAGLIA, O. C. Balanço de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 300-305, 2004.

BOUMA, T. J.; NIELSON, K. L.; KOUTSTAAL, B. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. **Plant and Soil**, v. 218, n. 1-2, p. 185-196, 2000.

BRASIL. **Instrução Normativa SDA n. 31**: Métodos analíticos oficiais para análise de substratos para plantas e condicionadores de solo. Brasília: Diário Oficial da União, 2008. 7 p.

BREWER, C. A.; SMITH, W. K.; VOGELMANN, T. C. Functional interaction between leaf trichomes, leaf wettability and the optical properties of water droplets. **Plant, Cell and Environment**, v. 14, p. 955-962, 1991.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BARICHELO, L. R.; VOGET, H. L. M.; OLIVEIRA, L. S. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. **Revista Floresta**, v. 28, n. 1-2, p. 19-30, 2000a.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N. Crescimento de mudas de *Acacia mearnsii* de Wild. em função de diferentes doses de vermicomposto. **Scientia Forestalis**, v. 57, p. 161-170, 2000b.

CALDEIRA, M. V. W.; SPATHELF, P.; BARICHELO, L. R.; VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V. Effect of different doses of vermicompost on the growth of *Apuleia leiocarpa* (Vog) Macbr. seedlings. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 3, n. 2, p. 11-17, 2005.

CALDEIRA, M. V. W.; MARCOLIN, M.; MORAES, E.; SCHAAD, S. S. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **Ambiência**, v. 3, n. 3, p. 311-323, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; BLUM, H.; BALBINOT, R.; LOMBARDI, K. C. Uso do resíduo do algodão no substrato para produção de mudas florestais. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, p. 191-202, 2008a.

CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 27-33, 2008b.

CAMPBELL, K. A.; HAWKINS, C. D. B. Effect of seed source and nursery culture on paper birch (*Betula papyrifera*) uprooting resistance and field performance. **Forest Ecology and Management**, v. 196, n. 2-3, p. 425-433, 2004.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas. 2003. 1039 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas. 2006. 627 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 3. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas. 2008. 593 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 4. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas. 2010. 644 p.

CARVALHO, R. P.; DAVIDE, L. M. C.; BORGES, F. L. G.; DAVIDE, A. C.; DANIEL, O. Respostas morfofisiológicas entre procedências de canafístula submetidas a diferentes condições hídricas e nutricionais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 179-188, 2015.

CHAVASSE, C. G. R. Planting stock quality: A review of factors affecting performance. **New Zealand Journal of Forestry**, v. 25, n. 2, p. 144-171, 1980.

CIAVATTA, S. F.; SILVA, M. R.; SIMÕES, D. Fertirrigação na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* nos períodos de inverno e verão. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 217-222, 2014.

CORTINA, J.; VILAGROSA, A.; TRUBAT, R. The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. **New Forests**, v. 44, n. 5, p. 719-732, 2013.

COSTA, C.; DWYER, L. M.; HAMAL, C.; MUAMBA, D. F.; WANG, X. L.; NANTAIS, L.; SMITH, D. L. Root contrast enhancement for measurement with optical scanner-based image analysis. **Canadian Journal of Botany**, v. 79, n. 1, p. 23-29, 2001.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 3, n. 2, p. 229-234, 2007.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; CARVALHO J. E. B.; SOUZA FILHO, L. F. S.; QUEIROZ, D. C. Níveis de nitrogênio e a taxa fotossintética do mamoeiro “golden”. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 64-71, 2007.

DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; ALOISI, A. A.; MAZZOCHIN, L.; TOKURA, A. M.; PINHEIRO, E. R.; SOUZA, E. F. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium*. **Revista Árvore**, v. 21, p. 163-168, 1997.

DAUGHTRY, C. S. T.; WALTHALL, C. L.; KIM, M. S.; COLSTOUN, E. B.; McMURTREY, J. E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 229-239, 2000.

DAVIS, A. S.; JACOBS, D. F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. **New Forests**, v. 30, n. 2, p. 295-311, 2005.

DAVIES, M. J.; MURRAY-HARRISON, R.; ATKINSON, C. J.; GRANT, O. M. Application of deficit irrigation to container-grown hardy ornamental nursery stock via overhead irrigation, compared to drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 163, p. 244-254, 2016.

DEANS, J. D.; MASON, W. L.; CANNELL, M. G. R.; SHARPRE, A. L.; SHEPPARD, L. J. Growing regimes for bare-root stock of Sitka spruce, Douglas fir and Scots pine. 1. Morphology at the end of the nursery phase. **Forestry Supplement**, v. 62, p. 53-60, 1989.

DEGRANDE, A.; TADJO, P.; TAKOUTSING, B.; ASAAH, E.; TSOBENG, A.; TCHOUNDJEU, Z. Getting trees into farmers' fields: success of rural nurseries in distributing high quality planting material in Cameroon. **Small-scale Forestry**, v. 12, n. 3, p. 403-420, 2012.

DEY, D. C.; PARKER, W. C. Morphological indicators of stock quality and field performance of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings under planted in a central Ontario shelterwood. **New Forests**, v. 14, n. 2, p. 145-156, 1997.

DIERAUF, T. A.; GARNER, J. W. Effect of initial root collar diameter on survival and growth of yellow poplar seedlings over 17 years. **Tree Planters' Notes**, v. 47, n. 1, p. 30-33, 1996.

DOWNES, G. M.; DREW, D.; BATTAGLIA, M.; SCHULZE, D. Measuring and modelling stem growth and wood formation: an overview. **Dendrochronologia**, v. 27, n. 2, p. 147-157, 2009.

DUMROESE, R. K.; PAGE-DUMROESE, D. S.; SALIFU, K. F.; JACOBSON D. F. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early out planting performance. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, n. 12, p. 2961-2967, 2005.

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SANTANA, R. C. Parâmetros fisiológicos de mudas de copaíba sob diferentes substratos e condições de sombreamento. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1212-1218, 2012.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo State, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 152, n. 1-3, p. 169-181, 2001.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FALSTER, D. S.; WESTOBY, M. Leaf size and angle vary widely across species: what consequences for light interception? **New Phytologist**, v. 158, n. 3, 509-25, 2003.

FAO. **Coping with Water Scarcity**: challenge of the twenty-first century. New York: Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2007. 29 p.

FARE, D.; GILLIAM, C. H.; KEEVER, G. J. Monitoring irrigation at container nurseries. **HortTechnology**, v. 2, n. 1, 75-78, 1992.

FARE, D. C.; GILLIAM, C. H.; KEEVER, G. J. Cyclic irrigation reduces container leachate nitrate-nitrogen concentration. **HortScience**, v. 29, n. 12, p. 1514-1517, 1994.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Sandl.) e Guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011.

FERREIRA, C. A. G.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, L. R. Relações hídricas em mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook., em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos. **Cerne**, v. 5, n. 2, p.95-104, 1999.

FISCHER, G.; TUBIELLO, F. N.; van VELTHUIZEN, H.; WIBERG, D. A. Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects on mitigation, 1990-2080. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 74, n. 7, p. 1083-1107, 2007.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; PENCHEL, R. M.; LAMÔNICA, K. R.; FERREIRA, D. A. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 853-861, 2005.

FULCHER, M.; LEBUDE, A. V.; OWEN JR., J. S. WHITE, S. A.; BEESON, R. C. The next ten years: strategic vision of water resources for nursery producers. **HortTechnology**, v. 26, n. 2, p. 121-132, 2016.

GAZAL, R. M.; KUBISKE, M. E. Influence of initial root characteristics on hysiological responses of cherrybark oak and Shumard oak seedlings to field drought conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 189, n. 1-3, p. 295–305, 2004.

GODIN, C. Representing and encoding plant architecture: a review. **Annals of Forest Science**, v. 57, n. 5, p. 413-438, 2000.

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

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.

GRANT, O. M.; DAVIES, M. J.; LONGBOTTOM, H.; ATKINSON, C. J. Irrigation scheduling and irrigation systems: optimising irrigation efficiency for container ornamental shrubs. **Irrigation Science**, v. 27, n. 2, p.139-153, 2009.

GRAZIA, J.; TITTONELL, P. A.; CHIESA, A. Growth and quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) transplants as affected by substrate properties and irrigation frequency. **Advances in Horticultural Sciences**, v. 18, n. 4, p. 181-187, 2004.

GROSSNICKLE, S. C. The importance of root growth in overcoming planting stress. **New Forests**, v. 30, n. 2-3, p. 273-294, 2005.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 43, n. 5, p.711-738, 2012.

GROVES, K. M.; WARREN, S. L.; BILDERBACK, T. E. Irrigation volume, application and controlled-release fertilizers: I. Effect on plant growth and mineral nutrient content in containerized plant production. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 16, n. 3, p. 176-181, 1998.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio-sólidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1069-1076, 2004.

HAASE, D. L. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. **Tree Planters' Notes**, v. 52, n. 2, p. 24-30, 2008.

HAIR Jr., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HUETT, D. O. Fertiliser use efficiency by containerized nursery plants. 2. Nutrient leaching. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 48, n. 2, p. 259-265, 1997.

HOLDER, C. D. Leaf water repellency as an adaptation to tropical montane cloud forest environments. **Biotropica**, v. 39, n. 6, p. 767-770, 2007.

HOLDER, C. D. The relationship between leaf hydrophobicity, water droplet retention, and leaf angle of common species in a semi-arid region of the western United States. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 152, p. 11-16, 2012.

HOLLOWAY, P. J. The effects of superficial wax on leaf wettability. **Annals of Applied Biology**, v. 63, n. 1, p. 145-153, 1969.

IERSEL, M. W.; CHAPPELL, M.; LEA-COX, J. D. Sensors for improved efficiency of irrigation in greenhouse and nursery production. **HortTechnology**, v. 23, n. 6, p. 735-746, 2013.

INCROCCI, G.; VITA, A. D.; BALENDONCK, J.; BIBBIANI, C.; SPAGNOL, S.; PARDOSSI, A. Substrate water status and evapotranspiration irrigation scheduling in heterogenous container nursery crops. **Agricultural Water Management**, v. 131, p. 30-40, 2014.

IRMAK, S.; HAMAN, D. Z.; YEAGER, T. H.; LARSEN, C. Seasonal irrigation water use efficiency of multi-pot box system. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 19, n. 1, p. 4-10, 2001.

ISRAELSEN, O. W. **Irrigation principles and practices**. 1.ed. New York: Wiley, 1950. 471 p.

JACOBS, D. F.; SALIFU, K. F.; SEIFERT, J. R. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. **New Forests**, v. 30, n. 2-3, p. 235-251, 2005.

JOHNSON, D. M.; SMITH, W. K. Refugial forests of the southern Appalachians: photosynthesis and survival in current-year *Abies fraseri* seedlings. **Tree Physiology**, v. 25, n. 11, p. 1379-1387, 2005.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebenthifolia* Raddi). **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.

JUNTUNEN, M-L.; HAMMAR, T.; RIKALA, R. Leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers. **Journal of Environmental Quality**, v. 31, n. 6, p. 1868-1874, 2002.

JUNTUNEN, M-L.; HAMMAR, T.; RIKALA, R. Nitrogen and phosphorus leaching and uptake by container birch seedlings (*Betula pendula* Roth) growth in three different fertilizations. **New Forests**, v. 25, n. 2, p.133-147, 2003.

KARAM, N. K.; NIEMIERA, A. X. Cyclic sprinkler irrigation and pre-irrigation substrate water content affect water and N leaching from containers. **Journal of Environmental Horticulturae**, v. 12, n. 4, p.198-202, 1994.

KIM, J.; IERSEL, M. W.; BURNETT, S. E. Estimating daily water use of two petunia cultivars based on plant and environmental factors. **HortScience**, v. 46, n. 9, p.1287-1293, 2011.

KING, D. A. The functional significance of leaf angle in *Eucalyptus*. **Australian Journal of Botany**, v. 45, n. 4, p. 619-639, 1997.

KLAR, A. E. **Água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. 408 p.

KOCH, K.; BOHN, H. F.; BARTHLOTT, W. Hierarchically sculptured plant surfaces and superhydrophobicity. **Langmuir**, v. 25, n. 24, p. 14116-14120, 2009.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, C. N.; SOUZA, P. V. D. Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 607-621, 2013.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. **Floresta**, v. 43, n. 1, p.125-136, 2013.

KRATZ, D.; NOGUEIRA, C. N.; WENDLING, I.; SOUZA, P. V. D. Substratos renováveis para produção de mudas de *Mimosa scabrella*. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 393-408, 2015.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* em substratos à base de casca de arroz carbonizada. **Ceres**, v. 63, n. 3, p. 348-354, 2016.

LAMHAMED, M. S.; LAMBANY, G.; MARGOLIS, H.; RENAUD, M.; VEILLEUX, L.; BERNIER, P. Y. Growth, physiology, and leachate losses in *Picea glauca* seedlings (1+0) grown in air-slit container under different irrigation regimes. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 31, n. 11, p. 1968-1980, 2001.

LEA-COX, J. D.; ROSS, D. S.; TEFFEAU, K. M. A Water and Nutrient Management Planning Process for Container Nursery and Greenhouse Production Systems in Maryland. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 19, n. 4, p. 230-236, 2001.

LEA-COX, J. D.; ZHAO, C.; ROSS, D. S.; BILDERBACK, T. E.; HARRIS, J. R.; DAY, S. D.; HONG, C. X.; YEAGER, T. H.; BEESON Jr., R. C.; BAUERLE, W. L.; RISTVEY, A. G.; LORSCHIEDER, M.; DICKINSON, S.; RUTER, J. M. A nursery and greenhouse online knowledge center: learning opportunities for sustainable practice. **HortTechnology**, v. 20, n. 3, p. 506-517, 2010.

LEA-COX, J. D. Using wireless sensor networks for precision irrigation scheduling. In: KUMAR, M. (Ed.). **Problems, perspectives and challenges of agricultural water management**. Rijeka: InTech Press, 2012. v. 1, cap. 12, p. 233-258.

LEA-COX, J. D.; BAUERLE, W. L.; IERSEL, M. W.; KANTOR, G. F.; BAUERLE, T. L.; LICHTENBERG, E.; KING, D. M.; CRAWFORD, L. Advancing wireless sensor networks for irrigation management of ornamental crops: an overview. **HortTechnology**, v. 23, n. 6, p. 717-724, 2013.

LI, G. L.; LIU, Y.; ZHU, Y.; YANG, J.; SUN, H. Y.; JIA, Z. K.; MA, L. Y. Influence of initial age and size on the field performance of *Larix olgensis* seedlings. **New Forests**, v. 42, n. 2, p. 215-226, 2011.

LISBOA, C. A.; SANTOS, S. P.; OLIVEIRA NETO, N. S.; CASTRO, N. D.; ABREU, M. H. A. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 603-609, 2012.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; SILVA, M. R. Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 97-106, 2005.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; SILVA, M. R. Nutrição mineral de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e substratos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 713-722, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992. 268 p.

LUIS, V. C.; PUÉRTOLAS, J.; CLIMENT, J.; PETERS, J.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A. M.; MORALES, D.; JIMÉNEZ, M. S. Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (*Pinus canariensis*) seedlings planted in a semiarid environment. **European Journal of Forest Research**, v. 128, n. 3, p.221-229, 2009.

MADEIRA, A. C.; MADEIRA, M.; FABIÃO, A.; MARQUES, P.; CARNEIRO, M. Avaliação da nutrição de plantações jovens de eucalipto por análise foliar e métodos não destrutivos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p.139-153, 2009.

MAEDA, S.; ANDRADE, G. C.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; AGOSTINI, R. B. **Substratos alternativos para produção de mudas de *Eucalyptus badiensis*, obtidos a partir de resíduos das indústrias madeireira e cervejeira e da caprinocultura.** Colombo: Embrapa Florestas, Comunicado técnico, 157, 2006. 5 p.

MAJSZTRIK, J. C.; RISTVEY, A. G.; LEA-COX, J. D. Water and nutrient management in the production of container-grown ornamentals. **Horticultural Reviews**, v. 38, 253-297, 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MAÑAS, P.; CASTRO, E.; DE LAS HERAS, J. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait) seedlings using waste materials as nursery growing media. **New Forests**, v. 37, n. 3, p. 295-311, 2009.

MARENCO, R. A.; ANTEZANA-VERA, S. A.; NASCIMENTO, H. C. S. Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. **Photosynthetica**, v. 47, n. 2, p. 184-190, 2009.

MATHERS, H. M.; YEAGER, T. H.; CASE, L. T. Improving irrigation water use in container nurseries. **HortTechnology**, v. 15, n. 1, p. 8-12, 2005.

MATTSSON, A. Predicting field performance using seedling quality assessment. **New Forests**, v. 13, n. 1-3, p. 223-248, 1997.

METZGER, J. P. Conservation issues in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1138-1140, 2009.

MILLION, J. B.; YEAGER, T. H.; ALBANO, J. P. Evapotranspiration-based irrigation scheduling for container-grown *Viburnum odoratissimum* (L.) Ker Gawl. **HortScience**, v. 45, n. 11, p. 1741-1746, 2010.

NIYOGI, K. K. Photoprotection revisited: genetic and molecular approaches. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 333-359, 1999.

MOURA, A. R.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J. A. A.; LIMA, T. V. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

NIINEMETS, Ü.; PORTSMUTH, A.; TOBIAS, M. Leaf shape and venation pattern alter the support investments within leaf lamina in temperate species: a neglected source of leaf physiological differentiation? **Functional Ecology**, v. 21, n. 1, p. 28-40, 2007.

NIINEMETS, Ü. A review of light interception in plant stands from leaf to canopy in different plant functional types and in species with varying shade tolerance. **Ecological Research**, v. 25, n. 4, p. 693-714, 2010.

- NIU, G.; RODRIGUEZ, D. S.; CABRERA, R.; McKENNEY, C.; MACKAY, W. Determining water use and crop coefficients of five woody landscape plants. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 24, n. 3, p. 160-165. 2006.
- OLBRICH, B. W.; LE ROUX, D.; POULTER, A. G.; BOND, W. J.; STOCK, W. D. Variation in water use efficiency and $\delta^{13}\text{C}$ levels in *Eucalyptus grandis* clones. **Journal of Hydrology**, v.150, p. 615-633, 1993.
- OLIVEIRA JÚNIOR, O. A.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Características morfofisiológicas associadas à qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, p. 1173-1180, 2011.
- OLIVO, V. B.; BUDUBA, C. G. Influence of six substrates in *Pinus ponderosa* grown in containers under greenhouse conditions. **Bosque**, v. 27, n. 3, p. 267-271, 2006.
- ORON, G.; GILLERMAN, L.; BURIKOVSKY, N.; BICK, A.; GARGIR, M.; DOLAN, Y.; MANOR, Y.; KATZ, L.; HAGIN, J. Membrane technology for advanced wastewater reclamation for sustainable agriculture production. **Desalination**, v. 218, n. 1-3, p.170-180. 2008.
- PIRES, R. C. M.; BODINE JUNIOR, D.; SAKAI, E.; VILLAR, H. L.; SILVA, T. J. A.; ARRUDA, F. B. Effect of trickle irrigation on root development of the wet bulb and 'pera' orange tree yield in the state of São Paulo, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1096-1103, 2011.
- PRESS, M. C. The functional significance of leaf structure: a search for generalizations. **New Phytologist**, v. 143, n. 1, p. 213-219, 1999.
- PRIDE, T. **Water quality/quantity best management practices for Florida container nurseries**. Florida: Department of Agriculture and Consumer Service. 2014. 68 p.
- REINHARDT, D.; KUHLEMEIER, C. Plant architecture. **Embo Reports**, v. 3, n. 9, p. 846-851, 2002.
- REIS, E. R.; LÚCIO, A. D. C.; FORTES, F. O.; LOPES, S. J.; SILVEIRA, B. D. Período de permanência de mudas de *Eucalyptus grandis* em viveiro baseado em parâmetros morfológicos. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 809-814, 2008.
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining Forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p.1141-1153, 2009.
- RICHARDSON, A. D.; DUGAN, S. P.; BERLYN, G. P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. **New Phytologist**, v. 153, n. 1, p.185-194, 2002.

RODRIGUES, S. B. S.; MANTOVANI, E. C.; OLIVEIRA, R. A.; PAIVA, H. N.; ALVES, M. E. B. Necessidades hídricas de mudas de eucalipto na região Centro-Oeste de Minas Gerais. **Irriga**, v. 16, n. 2, p. 212-223, 2011.

SABINO, M.; KORPAN, C.; FERNEDA, B. G.; SILVA, A. C. Crescimento de mudas de ipês em diferentes telas de sombreamento. **Nativa**, v. 4, n. 2, p. 61-65, 2016.

SANTORO, B. L.; PIRES, R. C. M.; PERES, J. G.; SOUZA, C. F. Soil solution dynamics for drip fertigation management in bell pepper crop. **Irriga**, v. 1, n. 1, Edição Especial - Irrigação, p. 99-112, 2016.

SCAGEL, C. F.; BI, G.; FUCHIGAMI, L. H.; REGAN, R. P. Irrigation frequency alters nutrient uptake in container-grown *Rhododendron* plants grown with different rates of nitrogen. **HortScience**, v. 47, n. 2, p. 189-197, 2012.

SCHOENE, G.; YEAGER, T.; HAMAN, D. Survey of container nursery irrigation practices in west-central Florida: An educational opportunity. **HortTechnology**, v. 16, p. 682-685, 2006.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; CHAGAS, K. L. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 317-325, 2016.

SILVA, M. R.; KLAR, A. E.; PASSOS, J. R. Efeito do manejo hídrico e da aplicação de potássio nas características morfológicas de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Irriga**, v. 9, n. 1, p. 31-40, 2004.

SILVA, R. B. G.; SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em função do substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 297-302, 2012.

SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. Effects of water management on growth, irrigation efficiency and initial development of *Aspidosperma polyneuron* seedlings. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, p.3562-3569, 2015a.

SILVA, R.B.G.; SILVA, M.R. Nursery water management on initial development and quality of *Piptadenia gonoacantha* seedlings. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 91-100, 2015b.

SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. Is it possible to save water without losing quality in the Guanandi seedling production? **Irriga**, v. 21, n. 3, p. 503-515, 2016.

SIMÕES, D., SILVA, R. B. G., SILVA, M. R. Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 91-100, 2012.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, n. 2-3, p. 337-354, 2002.

SOUTH, D. B.; RAKESTRAW, J. L.; LOWERTS, G. A. Early gains from planting large diameter seedlings and intensive management are additive for loblolly pine. **New Forests**, v. 22, n. 1, p. 97-110, 2001.

SOUZA, C. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubação. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 243-249, 2006.

SPECK, T.; BURGERT, I. Plant stems: functional design and mechanics. **Annual Review of Materials Research**, v. 41, n.1, p. 169-193, 2011.

STAMBOULI, T.; MARTÍNEZ-COB, A.; FACI, L. M.; HOWELL, T.; ZAPATA, N. Sprinkler evaporation losses in alfalfa during solid-set sprinkler irrigation in semiarid áreas. **Irrigation Science**, v. 31, n. 5, p. 1075-1089, 2013.

STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; GONÇALVES, A. N. Relationships between nursery practices and field performance for *Eucalyptus* plantations in Brazil. **New Forests**, v. 22, 1-2, p. 19-41, 2001.

STIRZAKER, R. J. When to turn the water off: scheduling microirrigation with a wetting front detector. **Irrigation Science**, v. 22, n. 3, p.177-185, 2003.

STOWE, D. C.; LAMHAMED, M. S.; CARLES, S.; FECTEAU, B.; MARGOLIS, H. A.; RENAUD, M.; BERNIER, P. Y. Managing irrigation to reduce nutrient leaching in containerized white spruce seedling production. **New Forests**, v. 40, n. 2, p.185-204, 2010.

SUTTON, R. F. Planting stock quality and grading. **Forest Ecology and Management**, v. 2, p. 123-132, 1979.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAKOUTSING, B.; TCHOUNDJEU, Z.; DEGRANDE, A.; ASAAH, E.; GYAU, A.; NKEUMOE, F.; TSOBENG, A. Assessing the quality of seedlings in small-scale nurseries in the highlands of cameroon: the use of growth characteristics and quality thresholds as indicators. **Small-scale Forestry**, v. 13, n. 1, p. 65-77, 2014.

TAWEGOUM, R.; LEROY, F.; SINTES, G.; CHASSERIAUX, G. Forecasting hourly evapotranspiration for triggering irrigation in nurseries. **Biosystems Engineering**, v. 129, 237-247, 2015.

TAYLOR, M. D.; WHITE, S. A.; CHANDLER, S. L.; KLAINE, S. J.; WHITWELL, T. Nutrient management of nursery runoff water using constructed wetland systems. **HortTechnology**, v. 16, n. 4, p. 610-614, 2006.

TÉO, S. J.; MARCON, A.; COSTA, R. H. Poda da parte aérea, visando melhor qualidade de mudas de *Pinus taeda*, em Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 77, p. 57-62, 2014.

THEBALDI, M. S.; LIMA, L. A.; COLARES, M. F. B.; SILVA, A. C.; LIMA, P. L. T. Dinâmica das características químicas de um substrato florestal exposto à irrigação. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 375-384, 2015.

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005.

TSAKALDIMI, M.; TSITSONI, T.; GANATSAS, G.; ZAGAS, T. A comparison of root architecture and shoot morphology between natural regenerated and container seedlings of *Quercus ilex* L. **Plant Soil**, v. 324, p. 103-113, 2009.

UESUGI, G.; FAVA, J. R.; MORAES, C. B.; WANGINIYAK, T. C. R.; SILVA, M. R. Utilização do SPAD-502 para a predição dos teores de nitrogênio em mudas de *Croton urucurana* Baill. **Revista Instituto Florestal**, v. 27, n. 2, p. 177-181, 2015.

UTSUGI, H.; ARAKI, M.; KAWASAKI, T.; ISHIZUKA, M. Vertical distributions of leaf area and inclination angle, and their relationship in a 46-year-old *Chamaecyparis obtusa* stand. **Forest Ecology and Management**, v. 225, n. 1-3, p. 104-112, 2006.

VALLADARES, F.; BRITES, D. Leaf phyllotaxis: does it really affect light capture? **Plant Ecology**, v. 174, n. 1, p. 11-17, 2004.

VELÁZQUEZ-ROSAS, N.; MEAVE, J.; VÁZQUEZ-SANTANA, S. Elevational variation of leaf traits in Montane Rain Forest tree species at La Chinantla, Southern México. **Biotropica**, v. 34, n. 4, p. 534-546, 2002.

VERNIMMEN, R. R. E.; BRUIJNZEEL, L. A.; ROMDONI, A.; PROCTOR, J. Rainfall interception in three contrasting lowland rain forest types in Central Kalimantan, Indonesia. **Journal of Hydrology**, v. 340, n. 3-4, p. 217-232, 2007.

XIAO, Q.; McPHERSON, E. G.; USTIN, S. L.; GRISMER, M. E.; SIMPSON, J. R. Winter rainfall interception by two mature open-grow trees in Davis, California. **Hydrological Processes**, v.14, n. 4, p.763-784, 2000.

ZANTEN, M.; PONS, T. L.; JANSSEN, J. A. M.; VOESENECK, L.; PEETERS, A. J. M. On the relevance and control of leaf angle. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 29, n. 5, p. 300-316, 2010.

ZIDA, D.; TIGABU, M.; SAWADOGO, L.; ODEN, P. C. Initial seedling morphological characteristics and field performance of two Sudanian savanna species in relation to nursery production period and watering regimes. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 7, p. 2151-2162, 2008a.

ZIDA, E. P.; SEREME, P.; LETH, V.; SANKARA, P. Effect of aqueous extracts of *Acacia gourmaensis* A. Chev and *Eclipta alba* (L.) Hassk. on seed health, seedling vigour and grain yield of sorghum and pearl millet. **Asian Journal of Plant Pathology**, v. 2, n. 1, p. 40-47, 2008b.

WARREN, S. L.; BILDERBACK, T. E. More plant per gallon: getting more out of your water. **HortTechnology**, v. 15, n. 1, p.14-18, 2005.

WARSAW, A. L.; FERNANDEZ, R. T.; CREGG, B. M. Water conservation, growth, and water use efficiency of container-grown woody ornamentals irrigated based on daily water use. **HortScience**, v. 44, n. 5, p. 1308-1318, 2009.

WEATHERSPOON, D. M.; HARRELL, C. C. Evaluation of drip irrigation for container production of woody landscape plants. **HortScience**, v. 15, n. 4, p. 488-489, 1980.

WENDLING, I.; GUASTALA, D.; DEDECEK, R. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p.209-220, 2007.

WENDLING, I.; DELGADO, M. E. **Produção de mudas de araucária em tubetes**. Colombo: Embrapa Florestas, Comunicado técnico, 201, 2008, 8 p.

WILSON, P. C.; ALBANO, J. P. Impact of fertigation versus controlled-release fertilizer formulations on nitrate concentrations in nursery drainage water. **HortTechnology**, v. 21, n. 2, p. 176-180, 2011.

WILSON, B. C.; JACOBS, D. F. Quality assessment of temperate zone deciduous hardwood seedlings. **New Forests**, v. 31, n. 3, p. 417-433, 2006.

WINK, C.; MONTEIRO, J. S.; REINERT, D. J.; LIBERALESSO, E. Parâmetros da copa e a sua relação com o diâmetro e altura das árvores de eucalipto em diferentes idades. **Scientia Florestalis**, v. 40, n. 93, p.57-67, 2012.

YEAGER, T.; MILLION, J.; LARSEN, C.; STAMPS, B. Florida nursery best management practices: past, present, and future. **HortTechnology**, v. 20, n. 1, p. 82-88, 2010.