

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**TESE**

**Produção de Mudanças de Espécies Florestais da Mata  
Atlântica, Utilizando Manejo Automático da  
Irrigação, Substrato Com Biossólido e Níveis de  
Sombreamento**

**Mateus Marques Bueno**

**2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA MATA  
ATLÂNTICA, UTILIZANDO MANEJO AUTOMÁTICO DA  
IRRIGAÇÃO, SUBSTRATO COM BIODISSÓLIDO E NÍVEIS DE  
SOMBREAMENTO**

**MATEUS MARQUES BUENO**

*Sob a orientação do professor*  
**Daniel Fonseca de Carvalho**

*e Co orientação do professor*  
**Paulo Sergio dos Santos Leles**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de Concentração Manejo do Solo e Qualidade Ambiental

Seropédica  
Julho de 2020

B928p

Bueno, Mateus Marques, 1981-  
Produção de Mudas de Espécies Florestais da Mata Atlântica, Utilizando Manejo Automático da Irrigação, Substrato Com Biossólido e Níveis de Sombreamento / Mateus Marques Bueno. - Juruáia, 2020.  
87 f.

Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho.  
Coorientador: Paulo Sérgio Santos Leles.  
Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo, 2020.

1. Qualidade de mudas. 2. Necessidade hídrica. 3. Eficiência do uso da água. I. Carvalho, Daniel Fonseca de , 1968-, orient. II. Leles, Paulo Sérgio Santos, 1966-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**MATEUS MARQUES BUENO**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

TESE APROVADA EM 31/07/2020

---

Daniel Fonseca de Carvalho, Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Marinaldo Ferreira Pinto, Dr. UFRRJ

---

Nivaldo Schultz, Dr. UFRRJ

---

Alexander Silva de Resende, Dr. EMBRAPA Agrobiologia

---

Carlos Rodrigues Pereira, Dr. UFF

## DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho à família Marques Bueno*

## AGRADECIMENTOS

Ao agradecer, volto a toda e qualquer situação que me trouxe até aqui.

A base: Nilza, Osmar, Renata, Adonis, Nilmar, Heloisa, Vilson Jr., Diego, Livia e Cássia. Não seria diferente, o sangue corre em nossas veias, o tempo nunca nos separou, tudo que há aqui é um pouco de nós.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por possibilitar a minha formação, nesta fase.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus São João Evangelista, que me acolheu e me possibilitou condições de me capacitar.

Ao Grupo de Pesquisas Água e Solo em Sistemas Agrícolas e ao Laboratório de Pesquisas e Estudos em Reflorestamentos, que viabilizaram a pesquisa e fonte de respostas.

Agradeço a todo corpo docente, em especial aos Professores Daniel Carvalho e Paulo Leles, pela orientação e amizade.

A todos que estiveram comigo. Certamente serei injusto, mas não tem como ser diferente. Nestes anos bebi de várias fontes e não há como destacar todas. Se estiver lendo e não for uma citação, saiba que sou grato eternamente. Não irei descrever o porquê dos nomes, nem considere a ordem uma classificação, apenas quero registrar estes amigos, João, Márcia, Fátima, Tiago, Nilmar, Adilton e Daniel.

Gratidão!

## RESUMO GERAL

BUENO, Mateus Marques. **Produção de mudas de espécies florestais da Mata Atlântica, utilizando manejo automático da irrigação, substrato com biossólido e níveis de sombreamento.** 2020. 87f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

O aumento da demanda por mudas de espécies arbóreas nativas torna importante a identificação dos fatores de produção que afetam a qualidade de mudas florestais, como necessidade hídrica e luminosidade. A eficiência hídrica, os indicadores de crescimento e parâmetros de qualidade foram avaliados em seis espécies nativas da Mata Atlântica, mediante a condução de experimentos no período de setembro de 2018 a dezembro de 2019. Foram conduzidos dois grupos de experimentos: (i) em estufa, na fase de produção de mudas, quando quatro níveis de reposição hídrica foram aplicados por gotejamento em mudas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Cytharexylum myrianthum* Cham. e de *Ceiba speciosa* Ravenna, e em seguida, na fase de crescimento inicial e com reposição hídrica uniforme; e (ii) em bancadas ao ar livre, quando mudas das espécies *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr e *Hymenaea courbaril* L. foram produzidas em quatro níveis de sombreamento. Em todos os experimentos, na fase de produção de mudas, utilizou-se o manejo automatizado de irrigação, com registro e armazenamento instantâneo do número e tempo de acionamento da irrigação. O biossólido foi utilizado como substrato na fase de mudas (tubetes de 280 cm<sup>3</sup>) e material de solo arenoso na fase inicial de crescimento (vasos de 18 dm<sup>3</sup>). De forma geral, as mudas do primeiro grupo de experimentos apresentaram crescimento acima dos padrões aplicados para plantio em campo antes dos 80 dias após a emergência (DAE), para os tratamentos com maior reposição hídrica das mudas. Para os tratamentos com menor reposição de água, a recuperação das mudas foi rápida, e se deu a partir dos 30 dias após plantio em vasos. Na fase de mudas (de 20 a 80 DAE), *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa* receberam, respectivamente, 2,40, 1,08 e 0,85 L por planta, para o tratamento com reposição de 100% da necessidade hídrica (V4). Na fase de crescimento inicial (de 80 a 230 DAE), os volumes totais de água irrigados foram, respectivamente, 70,0, 50,3 e 52,7 L por planta. As espécies arbóreas do primeiro grupo de experimento apresentaram baixa sensibilidade do crescimento em resposta ao déficit hídrico (menor que 0,5) e eficiência do uso da água distintas entre as fases de muda e crescimento inicial, com os maiores valores em função da altura (80,7 e 17,0 cm L<sup>-1</sup>) e do diâmetro (2,1 e 0,5 mm L<sup>-1</sup>) nas duas fases para a *C. speciosa*. Para o segundo grupo de experimentos, os volumes totais de água aplicados foram de 70,0; 50,3 e 52,7 L por planta, respectivamente, para *D. nigra*, *A. leiocarpa* e *H. courbaril*, apresentando melhores resultados nos níveis de sombreamentos de, respectivamente, 37 e 58%; 37% e a pleno sol. Maiores produtividades de água de irrigação (PAi) para as espécies *D. nigra* e *A. leiocarpa* estão associadas às mudas dos tratamentos que apresentaram melhor desempenho de crescimento e qualidade. Pode-se concluir que a aplicação de água em resposta à necessidade hídrica das mudas de espécies arbóreas, via manejo de irrigação automatizado, e a identificação da taxa de sombreamento ideal garantem a produção de mudas de qualidade e com baixo volume de água.

**Palavras-chave:** Qualidade de mudas. Necessidade hídrica. Eficiência do uso da água.

## GENERAL ABSTRACT

BUENO, Mateus Marques. **Production of Atlantic Forest species seedlings using automatic irrigation management, substrate with biosolids and shading levels.** 2020. 87p. Thesis (Doctor in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

The increase in demand for native tree species seedlings makes it important to optimize the production factors that affect quality parameters, such as water supplementation and luminosity levels. The lack of information on the tree species water requirement promotes waste of water in the of seedlings production in nurseries. Water use efficiency, growth indicators and quality parameters were evaluated in six native species of the Atlantic Forest, by conducting experiments from September 2018 to December 2019. Two groups of experiments were carried out: (i) in the greenhouse, in the seedling production phase, when four levels of water replacement were applied by dripping to seedlings of *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Cytherexylum myrianthum* Cham. and *Ceiba speciosa* Ravenna, and posteriorly, with uniform water replacement; and (ii) on outdoor benches, when seedlings of the *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) JFMacbr and *Hymenaea courbaril* L. species were produced in four shading levels, simulating commercial nursery conditions. In all experiments, in the seedling phase, automated irrigation management was used, with instant storage of the number of actuations and the volume of water applied. The biosolid, from the treatment and stabilization of the sewage sludge, was used as a substrate in the seedling phase (280 cm<sup>-3</sup> tubes) and sandy soil material in the initial growth phase (pots 18 dm<sup>-3</sup>). In general, the seedlings of the first group of experiments showed development above the standards applied for planting in the field before 80 days after emergence (DAE), for treatments with greater water replacement of seedlings. For treatments with less water replacement, the seedling recovery was fast, and the growth was satisfactory, after 30 days after planting in pots. In the seedling phase, *S. parahyba*, *C. myrianthum* and *C. speciosa* received, respectively, 2.40, 1.08 and 0.85 L per plant, for treatment with replacement of 100% of the water requirement (V4); in the initial growth phase (230 DAE), the total water volumes were, respectively, 70.0, 50.3 and 52.7 L per plant. The tree species in the first experiment group showed low sensitivity to growth in response to water deficit, and distinct water efficiencies between the seedling and initial growth phases, with the highest height (80.7 and 17.0 cm L<sup>-1</sup>) and diameter values (2.1 and 0.5 mm L<sup>-1</sup>) in the two phases for *C. speciosa*. For the second group of experiments, the total volumes of water applied were 70.0; 50.3 and 52.7 L per plant, respectively, for *D. nigra*, *A. leiocarpa* and *H. courbaril*, presenting better results in the shading levels of, respectively, 37 and 58%; 37% and in full sun. Higher water productivity of irrigation (PAi) for the *D. nigra* and *A. leiocarpa* species are associated with the seedlings of the treatments that showed better growth and quality performance. It can be concluded that the application of water in response to the water needs of seedlings of tree species, via automated irrigation management, and the identification of the ideal shading rate guarantee the production of quality seedlings with low water volume.

**Keywords:** Seedling quality. Water need. Water use efficiency.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1	O Bioma Mata Atlântica e a Importância da Produção de Mudanças .....	3
2.2	Influência do Sombreamento no Crescimento de Mudanças Florestais .....	4
2.3	Uso de Substratos Compostos por Biossólido para Produção de Mudanças .....	5
2.4	Importância da Água para o Desenvolvimento de Espécies Florestais .....	7
2.5	Acionamento Automático de Irrigação.....	10
2.6	Referências Bibliográficas.....	11
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO I NECESSIDADE HÍDRICA E INDICADORES DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS FLORESTAIS PRODUZIDAS COM MANEJO AUTOMATIZADO DE IRRIGAÇÃO .....</b>	<b>17</b>
3.1	RESUMO.....	18
3.2	ABSTRACT .....	19
3.3	INTRODUÇÃO .....	20
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
3.6	CONCLUSÕES.....	34
3.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO II QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA CULTIVADAS COM BIOSSÓLIDO E MANEJO AUTOMATIZADO DA IRRIGAÇÃO.....</b>	<b>38</b>
4.1	RESUMO.....	39
4.2	ABSTRACT .....	40
4.3	INTRODUÇÃO .....	41
4.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	42
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
4.5.1	Caracterização Ambiental e Volume Irrigado.....	46
4.5.2	Caracterização do Substrato .....	47
4.5.3	Qualidade das Mudanças e Teor de Clorofila.....	50
4.6	CONCLUSÕES.....	58
4.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO III USO DA ÁGUA NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA MATA ATLÂNTICA EM DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO .....</b>	<b>62</b>
5.1	RESUMO.....	63
5.2	ABSTRACT .....	64
5.3	INTRODUÇÃO .....	65
5.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	66

<b>5.5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
5.5.1	Aspectos Meteorológicos e Volume Aplicado Pela Irrigação .....	70
5.5.2	Crescimento e Qualidade das Mudas Arbóreas .....	73
<b>5.6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>79</b>
<b>5.7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>84</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção de mudas de espécies florestais é uma etapa determinante no processo de regeneração de áreas degradadas, sobretudo no Brasil, que apresenta milhões de hectares nessa condição, em diferentes ecossistemas. Grande parte dessa área está localizada no bioma Mata Atlântica e, nesse sentido, o conhecimento da necessidade hídrica das espécies e suas respostas a níveis de sombreamento nos viveiros e substratos são fundamentais para a otimização dos recursos de produção visando à obtenção de mudas com qualidade e rusticidade.

O manejo inadequado dos sistemas de irrigação em viveiros de mudas de espécies arbóreas resulta na aplicação de grande quantidade de água, que além do desperdício, promove lixiviação de nutrientes dos substratos e aumento do custo de produção das mudas. Nesse sentido, a determinação da necessidade hídrica das espécies e o manejo automatizado da irrigação, realizado por meio de sensores instalados diretamente no substrato, podem garantir o fornecimento de água na quantidade adequada, favorecendo a produção de mudas de melhor qualidade.

A disponibilidade de nutrientes no substrato afeta diretamente o desenvolvimento de mudas, assim como suas características físicas interferem no desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, na qualidade das mudas produzidas. O biossólido, proveniente da estabilização do lodo de esgoto, é uma alternativa para a produção de mudas, e vem sendo utilizado como substrato por apresentar elevados teores de matéria orgânica e nutrientes, bem como por melhorar a retenção de água e proporcionar boa aeração para o desenvolvimento radicular.

O crescimento de mudas florestais, principalmente das espécies utilizadas em processos de restauração, sofre influência direta da luminosidade disponível nos viveiros. Pelo fato de as espécies arbóreas apresentarem diferentes capacidades de adaptação ao ambiente, torna-se necessário avaliar o crescimento de mudas com maior ou menor sombreamento, uma vez que estas devem estar preparadas para as condições climáticas adversas, comumente encontradas após o plantio em campo. Além de avaliar o crescimento da planta e definir índices de qualidade, é importante quantificar o volume de água requerido pelas plantas nos diferentes microambientes gerados por estas coberturas.

Neste trabalho, objetivou-se estudar o uso da água na produção de seis espécies florestais da Mata Atlântica, produzidas em substrato composto por biossólido puro, com diferentes níveis de irrigação ou níveis de sombreamento. Em todos os experimentos foram utilizados sistemas de irrigação por gotejamento, com acionamento automatizado em resposta à necessidade hídrica das mudas.

Os resultados são apresentados em três capítulos, além de uma breve revisão de literatura sobre os principais temas abordados. O capítulo I aborda a necessidade hídrica de espécies arbóreas *Schizolobium parahyba* – Guapuruvu, *Cytharexylum myrianthum* Cham. – Pau Viola e *Ceiba speciosa* Ravenna – Paineira, nas seguintes fases: (i) de produção de mudas,

em condições climáticas controladas e submetidas a diferentes níveis de irrigação; e (ii) crescimento inicial, em casa de vegetação. No capítulo II avaliou-se a evolução do crescimento inicial e a qualidade das mudas das espécies supracitadas, cultivadas em tubetes com substratos compostos por biossólido e níveis de irrigação automatizada.

O capítulo III foi desenvolvido em condições similares a um viveiro comercial, exceto pelo controle total do volume irrigado e diferenciação dos níveis de sombreamento. Este estudo avaliou a produção e o uso de água em mudas de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth – Jacarandá-da-Bahia, *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr – Garapa e *Hymenaea courbaril* L. – Jatoba, espécies arbóreas de ocorrência da Mata Atlântica, submetidas a quatro níveis de sombreamento, com manejo de irrigação automatizado e em substrato com biossólido puro, consideradas de crescimento tardio e de alto valor agregado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O Bioma Mata Atlântica e a Importância da Produção de Mudanças

A Mata Atlântica está entre os maiores centros de biodiversidade do mundo, com riqueza excepcional de espécies e endemismo (Myers et al., 2000), disponibilizando diversos benefícios aos seres humanos através da provisão de bens econômicos e serviços ecossistêmicos (Ninan et al., 2013). Estimativas apontam que este bioma apresente o equivalente a 50-60% da riqueza de espécies de toda Floresta Amazônica, abrangendo menos de um quarto de sua extensão geográfica (Ribeiro et al., 2009). Infelizmente, em todo o mundo as florestas tropicais continuam a ser convertidas e degradadas, resultando em paisagens com ecossistemas prejudicados e produzindo quantidades e qualidades reduzidas de serviços para a sociedade (Melo et al., 2013).

Historicamente, a costa brasileira sempre teve a maior concentração de população humana e industrial, afetando diretamente a manutenção e a preservação deste bioma. Dessa forma, sua cobertura florestal é altamente fragmentada e menos de 20% dos remanescentes florestais sobreviventes têm mais de 50 ha de tamanho (Overbeck et al., 2015). Além disso, mais de 90% da área restante da floresta atlântica ocorre em terras privadas (Tabarelli et al., 2010), fazendo com que muitos fatores econômicos, particularmente a produção de commodities primárias e os mercados em flutuação, contribuam para o desmatamento contínuo e a fragmentação dos remanescentes florestais (Bernard et al., 2011).

As áreas que requerem algum tipo de recuperação, em diferentes ecossistemas degradados do Brasil, atingem cerca de 21 milhões de hectares e são caracterizadas como déficit legal da vegetação nativa (Sansevero et al., 2018). Grande parte dessa área está localizada no bioma Mata Atlântica, considerada a mais alterada no Brasil, com estimativa de apenas 12,5% de sua cobertura original (Santos et al., 2019), apesar de sua importância devido à variabilidade em biodiversidade (Forzza et al., 2012). A recuperação de áreas degradadas, inicialmente, se concentra na replantação para proteger a água e os recursos do solo. Posteriormente, para restaurar rapidamente a estrutura da floresta progrediu-se para o uso de um número limitado de espécies nativas de rápido crescimento. Alguns proprietários de terras começaram a adotar abordagens mais funcionais, usando um maior número de espécies nativas na tentativa de restaurar o funcionamento ecológico básico, mantendo a diversidade genética florística e intraespecífica (Blignaut et al., 2014).

A produção de mudas florestais nativas se faz necessária devido ao aumento da demanda por projetos de restauração ambiental (Scalon et al., 2011), além do fato de que muitas espécies são cultivadas visando à produção de madeira, aspectos ornamentais e uso na alimentação (Delgado et al., 2017). Na formação de povoamentos voltados para a restauração florestal, é essencial produzir mudas com alta qualidade e rusticidade, que são influenciadas pela disponibilidade de água, tanto ao longo do tempo quanto em termos de volume (Keffer et al., 2019), bem como pelo substrato utilizado. As espécies de ocorrência na Mata Atlântica apresentam, em sua maioria, média a alta demanda nutricional (Gomes et al., 2008) e o fornecimento de nutrientes para mudas florestais, produzidas em viveiros, dá-se através do

substrato e este pode ser composto de diversos materiais ou solo. Dentre os materiais alternativos para esse sistema produtivo, destaca-se o uso de biossólido (Abreu et al., 2017).

O sucesso dos sistemas produtivos de mudas arbóreas nativas da Mata Atlântica, em condições naturais, depende das condições ambientais, que interferem no estabelecimento e na capacidade dessas plantas de resistirem aos estresses naturais. Sob condições de campo, as plantas podem ser submetidas a vários estresses simultaneamente, causando respostas aditivas, sinérgicas ou antagônicas (Alexieva et al., 2001). Nos trópicos, altos níveis de energia solar, radiação e baixa disponibilidade de água no solo estão entre os principais fatores ambientais que podem limitar o desenvolvimento e até a sobrevivência das plântulas em projetos de reflorestamento (Contin et al., 2014). Assim, relevante para o manejo das plantas nos projetos de reflorestamento, é a elucidação dos aspectos fisiológicos, dos processos fotoquímicos e bioquímicos que desencadeiam a resposta das árvores tropicais à luz e às restrições hídricas.

Outro fator importante a se considerar é a variedade de espécies em uma floresta e das interações que ocorrem naturalmente devido aos diferentes estados sucessionais. A escolha de produção de mudas deve levar em conta a capacidade dessa espécie de se desenvolver em condições de campo, após seu plantio. Como exemplo, as espécies florestais nativas, *Schizolobium parahyba* (Guapuruvu), *Cytherexylum myrianthum* (Pau-viola) e *Ceiba speciosa* (Paineira), são utilizadas em plantios iniciais, uma vez que possuem capacidade de se desenvolver em condições de pleno sol ou clareiras (Lorenzi, 2014). Já as espécies *Dalbergia nigra* (Jacarandá-da-Bahia), *Apuleia leiocarpa* (Garapa) e *Hymenaea courbaril* (Jatobá) são classificadas como de crescimento secundário (Lorenzi, 2014) e podem ser utilizadas em processos de enriquecimento, uma vez que possuem capacidade de desenvolvimento diferenciado. Desta forma, a produção de mudas para processos de regeneração vai além do desenvolvimento da planta e deve estar conectado com o objetivo final do processo produtivo.

## **2.2 Influência do Sombreamento no Crescimento de Mudas Florestais**

A adaptação de uma planta ao seu ambiente luminoso tem grande variação entre as espécies. O crescimento de mudas florestais em viveiros, principalmente das espécies utilizadas em processos de regeneração, sofre influência direta de fatores como temperatura, umidade relativa do ar e quantidade de luz (Reis et al., 2016). As espécies consideradas tolerantes ao sombreamento são capazes de sobreviver por longos períodos sob o dossel, por conseguirem desenvolver adaptações no processo da fotossíntese, enquanto plantas que demonstram mecanismo de escape tendem a maximizar a interceptação de luz, adaptando seu crescimento e ocupando lacunas do dossel (César et al., 2014).

A irradiação solar absorvida pelos vegetais é um dos principais fatores ambientais que influencia seu crescimento, por ser fonte primária na produção de energia, por meio da fotossíntese (Pinto et al., 2007). Dessa maneira, diferentes níveis de luminosidade, tanto quantitativa quanto qualitativamente, causam mudanças na estrutura fisiológica e morfológica das plantas, assim sua adaptação depende de sua carga genética e da interação com o ambiente no qual está inserida.

Estudos recentes foram desenvolvidos com o intuito de verificar as variações dos níveis de sombreamento no crescimento e desenvolvimento inicial de espécies florestais. Os mostram

que o sombreamento ideal varia de espécie a espécie e não deve ser generalizado. Os principais índices fisiológicos mais utilizados para determinar a qualidade das mudas são: a altura da planta, o diâmetro do coleto, as massas secas da planta total, da raiz e da parte aérea (Pinto, 2017). Alguns índices morfológicos também podem ser utilizados para determinar a qualidade das mudas, que indicam o padrão de distribuição da matéria produzida ao longo dos órgãos da planta.

O processo de recomposição florestal exige a produção de mudas de alta qualidade, uma vez que, geralmente o ambiente final de plantio encontra-se degradado. Por outro lado, a identificação da quantidade ideal e irradiação solar recebida pelas mudas pode colaborar para a otimização dos custos de produção, garantindo maior alcance de ações de recomposição florestal. Reis et al. (1991) e Pacheco et al. (2013) encontraram melhores resultados das mudas nas faixas de sombreamento de 30 a 50% e de 50 a 84%, respectivamente. Souza et al. (2010) estudaram o comportamento da espécie *Hymenaea courbaril* plantadas em pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira. Constataram maior crescimento em pleno sol, apesar desta espécie ser considerada secundária tardia. O jatobá-da-mata é capaz de regenerar e recrutar em ambientes sombreados, mas o crescimento é limitado pelas condições de pouca luminosidade (Oliveira et al., 2011).

Avaliando o crescimento de mudas de *Hymenaea courbaril*, Lima et al. (2010) encontraram maior crescimento em altura e massa seca total com 50 e 80% de sombreamento, respectivamente. Por outro lado, Silva et al. (2007) verificaram que a espécie é capaz de se ajustar para maximizar a aquisição de luz mesmo em condição muito limitante, como à proporcionada pelo sombreamento natural, sendo possível a produção de mudas em viveiros desde a condição de pleno sol até 50 ou 70% de sombreamento. Campos & Uchida (2002) afirmam que o crescimento de mudas de *Hymenaea courbaril* foi prejudicado quando submetidas a sombreamentos superiores a 70%.

Portanto, na tomada de decisão sobre qual sombreamento deve ser usado, devem ser considerados, principalmente, os parâmetros que refletem o crescimento equilibrado da muda como um todo e um bom desenvolvimento radicular (Campos e Uchida, 2002). Para tal, são necessários estudos de um maior número de espécies, garantindo assim informações de qualidade ao tomador de decisão.

### **2.3 Uso de Substratos Compostos por Biossólido para Produção de Mudanças**

O sucesso dos plantios florestais está altamente relacionado à qualidade das mudas utilizadas, que depende diretamente do tipo de recipiente, da qualidade das sementes e do substrato utilizado (Delarmelina et al., 2014), que por sua vez, deve ser escolhido razão das características físicas e químicas dos seus componentes. Existem características que são consideradas essenciais para a obtenção de um bom substrato entre as quais podem-se citar: a) boa estrutura e consistência; b) porosidade; c) boa capacidade de retenção de água; d) não devem contrair ou expandir excessivamente com as oscilações de umidade; e) devem ser isentos de substâncias tóxicas, inócuos de doenças, plantas invasoras, insetos e sais em excesso; f) disponíveis em quantidades adequadas e com custos economicamente viáveis; g) padronizados, com características físicas e químicas pouco variáveis de lote para lote; h) devem apresentar

boa homogeneidade de partículas e; i) ter boa capacidade de campo e capacidade de troca catiônica (Caldeira et al., 2012).

A adoção de padrões técnicos e procedimentos adequados na composição dos substratos pode melhorar a qualidade das mudas produzidas, resultando em plantas com melhor capacidade de adequação ao meio natural e, portanto, mais resistentes às adversidades ambientais após o plantio (Caldeira et al., 2012). Os substratos utilizados no preparo das mudas devem disponibilizar nutrientes e água de forma satisfatória e contínua para a planta.

A utilização do biossólido como substrato possui um grande potencial para a formação de mudas de qualidade (Abreu et al., 2017) e garantia do sucesso dos povoamentos florestais. O produto é um resíduo do tratamento de esgoto e além de conter alto teor de matéria orgânica, possui quantidades apreciáveis de nutrientes, principalmente N e P, podendo melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e substratos, ou ser utilizado como fonte de nutrientes para o crescimento das plantas (Bovi et al., 2007). Associado a isso, este autor afirma que o uso do biossólido na produção de mudas florestais se caracteriza também como importante alternativa na preservação ambiental, uma vez que menos de 45% do esgoto doméstico é tratado no Brasil, e mesmo assim, uma grande quantidade de lodo de esgoto é produzida diariamente nas estações de tratamento e em seguida descartadas em aterros sanitários.

A utilização desse material na produção de mudas florestais é uma maneira mais sustentável de disposição de alto valor ambiental porque além de garantir o fornecimento a longo prazo de matéria orgânica e baixo custo para proprietários de viveiro (Caldeira et al., 2012) retorna para o ciclo produtivo, um material que, se tratado como desperdício, apresentaria um alto custo no destino (Cabreira et al., 2017). Entretanto, a aplicação desse lodo no solo deve ser planejada, para que não ocorram problemas posteriores, visto que podem provocar alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além da possibilidade de contaminação por agentes patogênicos (Rocha et al., 2004) e metais pesados, no caso do material de origem industrial.

Utilizando diferentes proporções de biossólido, substrato comercial e terra de subsolo na produção de mudas de *Tectona grandis* em tubetes de 120 cm<sup>3</sup>, Gomes et al. (2013) identificaram que a mistura de 60% de biossólido, 30% de substrato comercial e 10% de subsolo proporcionou um maior crescimento para as mudas. Estes autores também verificaram que o biossólido, nas proporções de 50% ou 75%, favoreceu uma melhor qualidade em mudas de *Eucalyptus grandis*. Evoluindo na mesma direção, estudando o desenvolvimento de mudas de *Murraya paniculata* em sacolas plásticas, Trazzi et al. (2012) relataram que o aumento da porcentagem de biossólido no substrato, acima de 60%, proporcionou maiores crescimentos em altura e diâmetro.

Da mesma forma, Caldeira et al. (2013), avaliando as diferentes variáveis de crescimento em mudas de *Schinus terebinthifolius* submetidas a diferentes proporções de biossólido no substrato, mostraram que a qualidade de muda é proporcional ao aumento dos teores do composto. Do mesmo modo, ao estudar *Croton floribundus* e *Copaifera langsdorfi*, estes autores mostraram que a fertirrigação com água de esgoto domiciliar favoreceu o crescimento do sistema radicular nas mudas. Alonso et al. (2018), ao estudar o crescimento de *C. speciosa* em substratos com proporções variando entre 25 a 100% de biossólidos, concluíram

que, em aspectos gerais, quanto maior a proporção de biossólidos no substrato, maior o crescimento, a biomassa e a qualidade das mudas.

O biossólido é um material que contém matéria orgânica (MO), macro e micronutrientes e podem exercer um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (Nogueira et al., 2008), desde que sejam utilizados para produções de alimentos que não serão consumidos em natura. Caldeira et al., (2013) afirmam que, a matéria orgânica encontrada nos substratos compostos por biossólido, aliada aos teores de nutrientes, principalmente N e P, são responsáveis por maiores taxas de crescimentos de mudas florestais. Segundo Guerrini e Trigueiro (2004), a matéria orgânica é um componente fundamental dos substratos, cuja finalidade básica é aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes para as mudas e está diretamente relacionada ao carbono orgânico.

A eficiência do biossólido em fornecer matéria orgânica e nutrientes possivelmente está relacionada à baixa relação carbono/nitrogênio (C/N) (Abreu et al., 2017). Segundo Gonçalves et al. (2000), os materiais com altas relações C/N (>18/1) normalmente apresentam alta atividade de microrganismos, que passam a competir com as mudas por nutrientes, principalmente N e S.

Outro fator muito importante na eficiência nutricional de plantas é o pH. Valores baixos de pH podem incrementar a disponibilidade de alguns micronutrientes e causar fitotoxicidade para algumas plantas. Kratz e Wendling (2013), afirmam que, quando se utilizam substratos orgânicos, sem a adição de solo na composição, a recomendação é trabalhar em um intervalo de pH de 4,4 a 6,2. O mesmo defendido por Ferraz et al. (2005), que consideram o intervalo de pH entre de 5,2 a 5,5, recomendado para substratos orgânicos.

Além dos parâmetros de fertilidade, para obtenção de mudas de qualidade, o substrato deve apresentar boas características físicas (Maeda et al., 2007). Segundo Burés (1997), os materiais porosos tendem a se acomodar ao longo do tempo, diminuindo a porosidade, gerando deformação permanente. As propriedades físicas, principalmente densidade do solo (Ds) e porosidade (P), estão diretamente relacionadas com a capacidade de retenção de água no solo e absorção de água pelas plantas.

## **2.4 Importância da Água para o Desenvolvimento de Espécies Florestais**

Na produção de mudas em viveiros, a irrigação assume papel de destaque por possibilitar a produção em diferentes épocas do ano e aplicar água em quantidade e momento adequados, alcançando ganho em qualidade das mudas, quando se há manejo correto de irrigação. Como o cultivo de mudas em recipientes pequenos, como os tubetes, o volume limitado de substrato para o desenvolvimento radicular das mudas, gera reduzido armazenamento de água e nutrientes. Assim a irrigação e a adubação são ferramentas fundamentais para a obtenção de mudas com boas características, devendo ser manejadas de maneira apropriada para obtenção de resultados satisfatórios na qualidade final das plantas (Salvador, 2010).

As respostas fisiológicas das plantas ao manejo de irrigação devem ser analisadas em condições de estresse, seja por excesso ou deficiência. As condições de excesso podem ocorrer de forma temporária, em regiões propícias aos alagamentos ou em situações onde ocorre

inserção de água além da capacidade de absorção do solo/substrato onde a planta está inserida ou de forma contínua, como o caso de solos hidromórficos ou ambiente de manguezais. Em viveiros comerciais, o excesso hídrico ocorre quando não há planejamento da irrigação e, concomitantemente, drenagem impedida ou imperfeita. Já a deficiência hídrica é o estresse mais comum a que as plantas cultivadas estão sujeitas, principalmente em sistemas não irrigados ou mal manejados (Perbonii et al., 2013).

As respostas ao estresse hídrico ocorrem por meio de mecanismos adaptativos, permitindo que os sistemas fotoquímicos e bioquímicos, relacionados à fotossíntese, suportem situações adversas (Oukarroum et al., 2007). Em suma, a capacidade fotossintética é progressivamente reduzida em condições de estresse hídrico; como consequência, menores intensidades luminosas são aproveitadas no processo fotossintético (Perbonii et al., 2013). A queda na taxa de fotossíntese está, em parte, relacionada com altas temperaturas e altos déficits de pressão de vapor na atmosfera, sendo mais acentuada quando há ocorrência de deficiência hídrica no solo (Medina et al., 1999).

A capacidade de armazenamento de água no solo ou substrato utilizado em produção de mudas florestais, por serem produzidos artificialmente, no caso de misturas, tem valores variáveis, podendo ser menores do que em condições de solos naturais (Campanharo et al., 2006). Assim, quando não há o devido controle climático e supressão hídrica em condições de viveiro, podem ocorrer respostas mais rápidas. Este fato é agravado porque geralmente usa-se embalagens para mudas com pequeno volume, onde os efeitos da falta de água ou aumento da temperatura é sentido rapidamente pela planta.

Os efeitos da irrigação na qualidade final de mudas de espécies florestais ou frutíferas variam dependendo da planta, do seu tamanho, do hábito de crescimento, do tipo e tamanho de folha, das características do substrato e do recipiente de cultivo, além das condições microclimáticas do ambiente de crescimento (Monteiro et al., 2016). Para espécies arbóreas florestais, a necessidade hídrica ao longo do tempo, representado pela relação entre a evapotranspiração de referência da cultura, conhecido como coeficiente da cultura –  $K_c$ , são normalmente crescentes, mas sem fases definidas, dependendo apenas da idade, isto é, sem levar em consideração a fenologia da cultura (Silva et al., 2011).

Os valores de  $K_c$  médios determinados para todo o ciclo da cultura irrigada de alecrimpimenta (*Lippia sidoides Cham.*) variaram de 0,98 a 1,52 (Lopes et al., 2011). Silva et al. (2017) encontraram valores de  $K_c$  variando de 0,54 a 1,12, nos primeiros 200 dias de crescimento da espécie florestal *Hymenaea courbaril* L (Jatobá), irrigadas em casa de vegetação. Monteiro et al. (2016), ao estudarem a necessidade hídrica de sete espécies florestais, na fase inicial de crescimento e sob irrigação controlada, encontraram valores de  $K_c$  e evapotranspiração da cultura –  $E_{tc}$  abaixo dos valores de referência (para a gramínea batatas), quando submetidas às condições de pleno sol, exceto para a espécie *T. impetiginosa* (Ipê Roxo). Estes estudos mostram a variabilidade do consumo hídrico das espécies florestais e reforça a necessidade de estudos específicos para outras espécies.

A eficiência do uso da água, que é a relação entre um fator de produção (massa seca acumulada, por exemplo) e o volume hídrico consumido pela planta, é relativamente baixa em processos de produção agrícola (Hsiao et al., 2007) e, conseqüentemente, há baixa eficiência ou produtividade da água em sistemas irrigados (Kang et al., 2016). Assim, a adoção de técnicas

de manejo da irrigação, sobretudo com aplicação automática em resposta à demanda das plantas, favorece a otimização do recurso e contribui para a produção de mudas de qualidade e economia de água, principalmente em viveiros florestais. Keffer et al. (2019) obtiveram valores de, aproximadamente, 0,99; 1,83; 1,92; 1,28 e 1,11 g L<sup>-1</sup> em mudas de ipê-amarelo amazônico após 82 dias de cultivo, respectivamente, em pleno sol e com sombreamentos de 35, 50, 65 e 80%. Para *Dipteryx alata* Vogel, espécie nativa do bioma Cerrado, Borella et al. (2020) encontraram valores de 0,72; 0,85; 0,91; 0,80; 1,11 g L<sup>-1</sup>, respectivamente, para cultivo em pleno sol e com sombreamento de telas pretas de 45,3; 54,1; 68,3 e 83,3%, aos 125 dias após transplantio.

Outra forma de verificar o comportamento da espécie quanto ao déficit hídrico é através do coeficiente de resposta das mudas ao déficit hídrico (Ky). Este índice considera parâmetros de crescimento vegetal para comparar com o potencial evapotranspirativo da planta. De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico pode ser classificada em quatro categorias: baixa – Ky < 0,85; baixa/média – 0,85 < Ky < 1,00; média/alta – 1,00 < Ky < 1,15; alta – Ky > 1,15. Os valores de Ky podem apresentar-se baixos, para espécies florestais, pelo fato de que na fase de mudas as espécies exibem apenas um estágio fenológico, o vegetativo (Keffer et al., 2019).

Apesar da alta tecnologia e investimentos do setor florestal, ainda é possível observar que, mesmo nas grandes empresas, ainda não há padronização quanto à quantidade de água aplicada às mudas em suas diferentes etapas de desenvolvimento, principalmente nas fases após o enraizamento. A necessidade hídrica de espécies florestais varia em função das condições meteorológicas do local de produção, da espécie vegetal produzida, das características do meio de cultivo e do tamanho da embalagem de mudas. Desta forma, o manejo de irrigação correto pode ser de fundamental importância, não só para o aproveitamento do recurso água, como também para garantir a produção de mudas de qualidade.

As plantações florestais são comumente empregadas entre os métodos utilizados para reverter a degradação de uma área (Ferez et al., 2015). O plantio de árvores contribui para uma rápida recuperação da estrutura florestal, proporcionando assim um habitat adequado para o restabelecimento da sucessão ecológica (Holl and Aide, 2011). O êxito do plantio depende diretamente da qualidade das mudas, e assim, as que atingem maior capacidade de resistência às condições adversas se desenvolvem e produzem árvores com crescimento desejável no campo. Apesar disso, a obtenção de padrões de qualidade de mudas florestais e o aprimoramento das técnicas de viveiro não têm acompanhado a evolução observada em outras fases do reflorestamento (Santos et al., 2000), principalmente no que tange à quantificação da necessidade hídrica de espécies nativas da Mata Atlântica.

Apesar da demanda mundial por água crescer constantemente, os suprimentos globais são limitados e sua disponibilidade vem se tornando um problema real para um número cada vez maior de países. Por outro lado, a expansão das atividades agrícolas e urbanas, aliada à ausência de técnicas adequadas de exploração, provocaram um processo de grande transformação no uso da terra (Ellis et al., 2010), que resultou na perda de habitat (Myers et al., 2000), fragmentação florestal (Laurance, 1999), extinção de espécies (Dirzo et al., 2014) e a perda de serviços ecossistêmicos (Nicholson et al., 2009).

## 2.5 Acionamento Automático de Irrigação

Estima-se que em viveiros de produção de mudas florestais, perde-se de 49% a 72% da água aplicada (Dumroese et al., 2005). Em função da maior taxa de fertilização ser utilizada na produção em viveiros, a água perdida pode ter uma quantidade significativa de fertilizante não utilizado (Dumroese et al., 2005) e, por isso, pode ser fonte potencial de poluição da água subsuperficial e superficial nas proximidades dos viveiros. Em geral, irrigações são feitas sem que um padrão de manejo seja seguido, mas sim, a experiência empírica dos viveiristas.

As irrigações em viveiros são normalmente realizadas com alta frequência e em quantidade superior à necessidade hídrica das plantas. O excesso hídrico pode causar perdas de mudas por doenças, em virtude do excesso de umidade no substrato, causando encarquilhamento e clorose das folhas e geotropismo negativo das raízes (Alfenas et al., 2009). Além disso, pode causar a lixiviação dos nutrientes presentes no substrato, influenciando negativamente no desenvolvimento das mudas (Rego et al., 2005) além de proporcionar um microclima favorável ao desenvolvimento de doenças (Lopes et al., 2007).

Por outro lado, existem casos em que diferentes espécies e em diferentes estágios de desenvolvimento são cultivadas em viveiros no mesmo espaço. Assim, pode haver excesso e/ou déficit hídrico ao mesmo tempo. O déficit hídrico pode limitar o crescimento e interferir nas características fisiológicas das plantas, afetando a estabilidade, produtividade e sobrevivência. A baixa disponibilidade de água no solo pode causar alterações moleculares, bioquímicas, fisiológicas e morfológicas nas plantas (Contin et al., 2014). Para suportar o déficit hídrico, existem vários mecanismos nos níveis de células, tecidos, órgãos e mesmo plantas inteiras que são ativados em diferentes estágios de desenvolvimento ou grau de estresse sofrido. Nascimento et al. (2011), verificaram que o déficit hídrico em mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril*) afetou o crescimento quanto à altura, ao diâmetro do caule e à produção de matéria seca para os diversos órgãos, quando cultivadas em níveis a partir de 50% da capacidade de campo.

O uso de acionador simplificado para irrigação (ASI) é uma alternativa, mas deve estar vinculado a setorização dos sistemas de distribuição de irrigação. O ASI é responsável pelo acionamento da irrigação quando a umidade do substrato, onde a cápsula (sensor) está instalada, é reduzida pela ação da evapotranspiração, fazendo com que ocorra a sucção da água existente no seu interior, gerando pressão menor ou igual a pressão de acionamento, na coluna de água acima do pressostato (Medici et al., 2010). Esta pressão, faz com que o diafragma no interior do pressostato se deforme, fazendo com que um circuito elétrico seja ligado por meio de uma haste metálica, o que pode fazer com que uma bomba hidráulica possa ser ligada ou que sejam abertas válvulas solenóides, dependendo do sistema a ser utilizado (Medici et al., 2010).

Um sistema de irrigação com manejo automatizado, quando bem programado, apresentará vantagens em relação aos sistemas tradicionais, pois o acionamento manual geralmente é realizado de forma irregular e sem controle. No manejo manual pode se aplicar lâminas excessivas ou em déficit, além do custo de se dispor de operadores para essa função (Carvalho et al., 2012). Batista et al. (2013), utilizando um ASI no controle do volume de água em hortaliças, comprovaram que este sistema pode reduzir o volume total de água aplicado, além de diminuir a mão de obra necessária na condução da cultura estudada.

## 2.6 Referências Bibliográficas

- ABREU, A.H.M.; LELES, P.S.S.; & FERREIRA, D.H.A.A. 2017. Characterization and potential of formulated substrate with biosolids in *Schinus terebinthifolius* Raddi. And *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos seedling production. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509830300>
- ALEXIEVA V, SERGIEV I, MAPELLI S., KARANOV E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant Cell Environ**, v. 24, n. 12, p. 1337-1344, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x>
- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; & ASSIS, T. F. Clonagem e doenças do eucalipto. Viçosa, MG. 2ª Edição. **Editora da UFV**, 500 p, 2009.
- BATISTA, S. C.; CARVALHO, D. F.; & MEDICI, L. O. Production of automatically watered lettuce with a low-cost controller. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 11, n. 2, p. 485-489, 2013.
- BERNARD, E.; MELO, F. P. L.; PINTO, S. R. R. Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Atlantic Forest in face of bioethanol expansion. **Tropical Conservation Science**, v. 4, p. 267-275, 2011. <https://doi.org/10.1177/194008291100400305>
- BLIGNAUT, J.; ARONSON, J.; WIT, M. The economics of restoration: looking back and leaping forward. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1322, p. 35-47, 2014. <https://doi.org/10.1111/nyas.12451>
- BOVI, M. L. A.; GODOY JUNIOR, G.; & MALDONADO, C.A. B. Lodo de esgoto e produção de palmito em pupunheira. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 31, p.153-166, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000100016>
- BURÉS S. Sustratos. Madrid: **Ediciones agrotécnicas**. 341p. 1997.
- CABREIRA, G. V.; LELES, P. S.; & SANTOS, G. R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, v. 47, n. 2, p. 165-176, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v47i2.44291>
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; & JUVANHOL, R. S. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 31-39, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000100004>
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; Gonçalves, E. O.; & ALVES, A. F. (2012). Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i1.26302>
- CAMPANHARO, M.; RODRIGUES, J. J. V.; & DA COSTA, J. V. T. Características físicas de diferentes substratos para produção de mudas de tomateiro. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 2, p. 140-145, 2006.
- CAMPOS, M. A. A. & UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 281-288, 2002.

CARVALHO, D. F.; SANTOS, H.; & COSTA, T. S. A. Avaliação da TDR e de um acionador automático para irrigação em solos com hidrogel. **In Workshop internacional de inovações tecnológicas na irrigação**, v. 4, p. 1-5, 2012.

CÉSAR, F. R. C. F.; MATSUMOTO, & BONFIM, J. A. Crescimento inicial e qualidade de mudas de *Pterogyne nitens* Tull. Conduzidas sob diferentes níveis de restrição luminosa artificial. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 357-366, 2014. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509814573>

CONTIN, D.R.; SORIANI, H.H.; & MARTINEZ, C.A. Antioxidant and photoprotective defenses in response to gradual water stress under low and high irradiance in two Malvaceae tree species used for tropical forest restoration. **Trees**, v. 28, n. 6, p. 1705-1722, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1079-x>

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; & ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 224-233, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.027>

DELGADO, L. G. M.; DA SILVA, R. B. G.; & SILVA, M. R. Qualidade morfológica de mudas de ingá sob diferentes manejos hídricos. **IRRIGA**, v. 22, n. 3, p. 420-429, 2017. <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p420-429>

DIRZO R.; YOUNG H.S.; & COLLEN B. Defaunation in the Anthropocene. **Science**, v. 345, n. 6195, p. 401-406, 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1251817>

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO. **Technical Note**, n. 33, p. 257, 1979. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-025675-7.50021-2>

DUMROESE, R. K.; PAGE-DUMROESE, D. S.; & JACOBS, D. F. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, p. 2961-2967, 2005. <https://doi.org/10.1139/x05-226>

ELLIS E.C.; GOLDEWIJK K.K.; SIEBERT S.; LIGHTMAN D.; RAMANKUTTY N. Anthropogenic transformation of the biomes, 1,700 to 2000. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 5, p. 589-606, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>

FEREZ, A. P. C.; CAMPOE, O. C.; MENDES, J. C. T.; STAPE, J. L. Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 350, p. 40-45, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.015>

FERRAZ, M. V.; CENTURION, J. F.; & BEUTLER, A. N. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 2, p. 209-214, 2005. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v27i2.1483>

FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ, J. F. A.; & LOHMANN, L. G. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. **Bioscience**, v. 62, n. 1, p. 39-45, 2012. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.8>

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; & TRAZZI, P. A. (2013). Lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, Lavras, v. 19, n.1, p. 123-131, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000100015>

GONÇALVES, J. L. M.; VAZ, L. M. S.; & POGGIANI, F. Aplicabilidade de lodo de esgoto em plantações florestais: 2- efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: **EMBRAPA Meio Ambiente**, p. 179-195, 2000

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 1069-1076, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000600016>

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 1558-1563, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>

HSIAO, T. C.; STEDUTO, P.; & FERERES, E. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. **Irrigation science**, 25(3), 209-231, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00271-007-0063-2>

KANG, S.; HAO, X.; & DING, R. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. **Agricultural Water Management**, v. 25, n. 3, p. 209-231, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.007>

KEFFER, J. F.; SILVA, C. C. D.; & DIAS, T. K. Evapotranspiration and water sensitivity of Amazonian yellow ipe seedlings under different shading conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 10, p. 733-740, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p733-740>

KRATZ, D.; & WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n.1, p. 125-136, 2013. <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V43I1.25989>

LAURANCE W. Reflections on the tropical deforestation crisis. **Biological Conservation** v. 91, n. 2-3, p. 109-117, 1999.

LIMA, A. L. D. S.; ZANELLA, F.; & CASTRO, L. D. M. D. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. E *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 43-48, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100006>

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 835-843, 2007.

LOPES, O. D.; KOBAYASHI, M. K.; & CORSATO, C. E. Determination of crop coefficient (Kc) and water use efficiency for irrigated rosemary peppermint. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 548-553, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600002>

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 6. Ed. Nova Odessa, SP: **Instituto Plantarum de Estudos da Flora**, v. 1, p. 361, 2014.

MAEDA, S.; DEDECEK, R. A.; AGOSTINI, R. B.; DE CASTRO ANDRADE, G.; & DA SILVA, H. D. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 97-104, 2007.

MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S. D.; & AZEVEDO, R. A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 6, p. 727-730, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600016>

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira ‘Valência’ sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, n. 1, p. 29-34, 1999.

MELO, F. P. L.; PINTO, S. R. R.; & TABARELLI, M. Priority setting for scaling-up tropical forest restoration projects: early lessons from the Atlantic Forest Restoration Pact. **Environmental Science & Policy**, v. 33, p. 395-404, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.07.013>

MONTEIRO, E. B.; SILVA, A. C. D.; & MARTIM, C. C. Water requirements and crop coefficients of tropical forest seedlings in different shading conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 709-715, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p709-715>

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>

NASCIMENTO, H. H. C. D.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; & SILVA, M. A. D. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 617-626, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000400005>

NICHOLSON, E; MACE, G.M.; & CLEMENTS, T. Priority research areas for ecosystem services in a changing world. **Journal of Applied Ecology**, v. 46, n. 6, p. 1139-1144, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01716.x>

NINAN, K. N.; INOUE, M. Valuing forest ecosystem services: what we know and what we don't. **Ecological Economics**, v. 93, p. 137-149, 2013. <https://doi.org/10.4337/9781781955161.00021>

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; & MARQUES, M. O. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2195-2207, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500040>

OLIVEIRA, W. L. D.; MEDEIROS, M. B. D.; & OLSEN, L. B. Regeneração e estrutura populacional de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.), em dois fragmentos com diferentes

graus de perturbação antrópica. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 4, p. 876-884, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000400014>

OUKARROUM, A.; EL MADIDI, S.; & STRASSER, R. J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLCJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, n. 3, p. 438-446, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.01.002>

OVERBECK, G. E.; VÉLEZ-MARTIN, E.; & GANADE, G. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Diversity and Distributions**, v. 21, n. 12, p. 1455-1460, 2015. <https://doi.org/10.1111/ddi.12380>

PACHECO, F. V.; PEREIRA, C. R.; & ALVARENGA, I. C. A. Crescimento inicial de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex. Benth. (Fabaceae) e *Chorisia speciosa* A. St.-Hil (Malvaceae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 945-953, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000500017>

PERBONII, E. G. M. A. T.; DE OLIVEIRAI, P. V.; & BACARINI, V. J. B. M. A. Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 35-41, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000126>

PINTO, J. E. B. P.; CARDOSO, J. C. W.; & DOUSSEAU, S. Aspectos morfofisiológicos e conteúdo de óleo essencial de plantas de alfazema-do-Brasil em função de níveis de sombreamento. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 210-214, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000200016>

PINTO, J. R. S.; DOMBROSKI, J. L. D.; & FREITAS, R. M. O. Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook., sob sombreamento no semiárido. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 465-472, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/RF.v46i4.42665>

REGO, J. L.; OLIVEIRA, E. L. L.; & MOTA, S. Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 155-159, 2005.

REIS, M. D. G. F.; DOS REIS, & LELES, P. S. D. S. Crescimento e forma do fuste de mudas de Jacaranda-da-bahia (*Dalbergia nigra* fr. Aliem.), sob diferentes níveis de sombreamento e tempo de cobertura. **Revista árvore**, v. 15, n. 1, p. 23, 1991.

REIS, S. M.; MARIMON-JÚNIOR, B. H.; & MARIMON, B. S. Desenvolvimento inicial e qualidade de mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. Sob diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 11-20, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509821061>

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; & 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, p. 1141-1153, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biofósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 623-639, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000400005>

SALVADOR, C. A. Sistema de irrigação por capilaridade na produção de porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira. **UNICAMP**. 105 p., 2010

SANSEVERO, J. B.; ALONSO, & VALCARCEL, R. On the teaching of ecological restoration in Brazil: an analysis of postgraduate courses. **Restoration ecology**, v. 26, n. 5, p. 997-1004, 2018. <https://doi.org/10.1111/rec.12662>

SANTOS, C. B.; LONGHI, S. J.; HOPPE, J. M.; MOSCOVICH, F. A. Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L.F.) D. Don. **Ciência Florestal**, v. 10, p. 1-15, 2000. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098466>

SANTOS, J.F.C.; GLERIANI, J.M.; & REIS, M. Wildfires as a major challenge for natural regeneration in Atlantic Forest. **Science of The Total Environment**, v. 650, p. 809-821, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.016>

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; & KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SILVA, A. C. D.; LIMA, L. A.; & MARTINS, C. P. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.15, n.12, p.1215–1221, 2011.

SILVA, B. M. D. S.; LIMA, J. D.; & SABONARO, D. Z. Efeito da luz no crescimento de mudas de *Hymenaea parvifolia* Huber. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 1019-1026, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000600006>

SILVA, C. A. D.; DOURADO NETO, D.; & SILVA, C. J. D. Crop coefficient, dry matter partition and seedlings quality of *Hymenaea courbaril* L. In containers sizes under water deficit irrigation. **Revista Árvore**, v. 41, n. 2, 2017. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000200013>

SOUZA, C. R. D.; AZEVEDO, C. P. D.; & ROSSI, L. M. B. Comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 127-134, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100016>

TABARELLI, M.; AGUIAR, A. V.; & PERES, C. A. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v.143, p. 2328-2340, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.005>

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; & GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 621-630, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.42i3.19718>

### **3 CAPÍTULO I**

## **NECESSIDADE HÍDRICA E INDICADORES DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS FLORESTAIS PRODUZIDAS COM MANEJO AUTOMATIZADO DE IRRIGAÇÃO**

### 3.1 RESUMO

A falta de informações sobre a necessidade hídrica de espécies arbóreas promove desperdício de água na produção de mudas em viveiros. A exigência de água, os fatores de resposta do crescimento da planta (FCP) e a eficiência hídrica (EH) para altura e diâmetro foram determinados para as mudas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Cytherexylum myrianthum* Cham. e de *Ceiba speciosa* Ravenna, em casa de vegetação e manejo automatizado de irrigação. Foi utilizado bioossólido de lodo de esgoto como substrato na fase de mudas (tubo de 280 cm<sup>3</sup>) e material de solo arenoso na fase inicial de crescimento (vaso de 18 dm<sup>3</sup>). Na fase de mudas, quatro níveis de reposição hídrica foram aplicados ao substrato, através de irrigação por gotejamento, com reposição média variando de 40 (V1) a 100% (V4) da necessidade hídrica das espécies. As mudas cresceram adequadamente. Entre 20 e 80 dias após a emergência (DAE) as mudas de *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa* receberam, respectivamente, 2,40, 1,08 e 0,85 L por planta, para V4. Após a fase de crescimento inicial (de 80 a 230 DAE), os volumes totais de água foram, respectivamente, 70,0, 50,3 e 52,7 L por planta. Sob abastecimento adequado de água, houve rápida recuperação e crescimento das espécies, mesmo para as mudas que apresentaram altura e diâmetro diferentes na fase de tubetes. Os valores de FCP foram inferiores a 0,5 para todas as espécies, indicando baixa sensibilidade ao crescimento, tanto em altura quanto em diâmetro, em resposta ao déficit hídrico. Os indicadores de EH apontam tendências distintas entre as duas fases, e *C. speciosa* apresenta maiores valores de altura (80,7 e 17,0 cm L<sup>-1</sup>) e diâmetro (2,1 e 0,5 mm L<sup>-1</sup>) nas duas fases.

**Palavras-chave:** Produção de mudas. Restauração florestal. Bioossólido. Eficiência da água.

### 3.2 ABSTRACT

The lack of information regarding the water requirement of tree species promotes water waste in the seedlings production in nurseries. Water requirement, the growth plant factors (Gpf) and water efficiencies (WE) for height and diameter were determined for *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Cytherexylum myrianthum* Cham. And *Ceiba speciosa* Ravenna seedlings, under greenhouse conditions and automated irrigation management. We used sewage sludge biosolids as substrate in the seedling phase (280 cm<sup>-3</sup> tube), and sandy soil material in the initial growth phase (18 dm<sup>-3</sup> pot). In the seedlings phase, four water replacement levels were applied to the substrate, by drip irrigation, meaning average replacement ranging from 40 (V1) to 100% (V4) of species water requirement. Seedlings developed properly and until 80 days after emergency (DAE), *S. parahyba*, *C. myrianthum* and *C. speciosa* seedlings received, respectively, 2.40, 1.08 and 0.85 L per plant, for V4. After growth phase (230 DAE), the total water volumes were, respectively, 70.0, 50.3 and 52.7 L per plant. Under adequate water supply, there were rapid recovery and growth of the species, even for the seedlings which showed different height and diameter in the tube phase. The Gpf values were below 0.5 for all species indicating low sensibility to growth, both in height and in diameter, in response to water deficit. Water efficiency indicators point to distinct trends between the two phases, and *C. speciosa* present higher values for height (80.7 and 17.0 cm L<sup>-1</sup>) and diameter (2.1 and 0.5 mm L<sup>-1</sup>) in both phases.

**Keywords:** Seedlings production. Forest restoration. Biosolid. Water efficiency.

### 3.3 INTRODUÇÃO

As áreas que requerem algum tipo de recuperação, em diferentes ecossistemas degradados do Brasil, atingem cerca de 21 milhões de hectares e são caracterizadas como déficit legal da vegetação nativa (Sansevero et al., 2018). Grande parte dessa área está localizada no bioma Mata Atlântica, considerado o mais alterado no Brasil, com estimativa de apenas 12,5% de sua cobertura original (Santos et al., 2019).

Na formação de povoamentos voltados para a restauração florestal, é essencial produzir mudas com alta qualidade e rusticidade, que são influenciadas pela disponibilidade de água, tanto ao longo do tempo quanto em termos de volume (Keffer et al., 2019); e pelo substrato utilizado. O suprimento adequado de nutrientes para as mudas pode ser realizado usando o biossólido de lodo de esgoto como substrato (Alonso et al., 2018), uma vez que contém alto teor de matéria orgânica e atende as necessidades de nutrientes da planta, principalmente em termos de N e P (Abreu et al., 2017).

A qualidade das mudas também está relacionada ao suprimento de água nos viveiros, que deve ser realizado em resposta à necessidade de água da lavoura, de acordo com as interações do ambiente e a dinâmica da água no substrato (Keffer et al., 2019). Cerca de 49 a 72% da água aplicada nos viveiros de reflorestamento é perdida, variando de acordo com a espécie (Dumroese et al., 2005). Nesse contexto, a irrigação por gotejamento associada ao manejo automatizado pode promover o suprimento adequado de água para o pleno desenvolvimento da cultura (Panigrahi et al., 2012), usando menos água e mão-de-obra (Dias et al., 2013).

Embora existam relatos sobre o crescimento de espécies nativas arbóreas da Mata Atlântica, a maioria não quantifica a necessidade de água para as mudas, bem como sua sensibilidade ao déficit hídrico, informações que contribuiria para o desenvolvimento de plantações florestais mais eficientes. Para representar o impacto do uso dos recursos hídricos na produção de mudas arbóreas florestais, foram utilizados nesse trabalho novos indicadores de crescimento e eficiência hídrica relacionados, respectivamente, ao déficit hídrico e ao volume de água aplicado, para o desenvolvimento de mudas, em altura e diâmetro.

O presente estudo teve como objetivo determinar a necessidade hídrica, os fatores de resposta do crescimento da planta (FCP) e a eficiência hídrica (EH) de espécies arbóreas da Mata Atlântica, sob manejo automático de irrigação no estágio de mudas em tubete e em condições controladas. Também se avaliou a necessidade de água durante o crescimento inicial em vasos, em casa de vegetação.

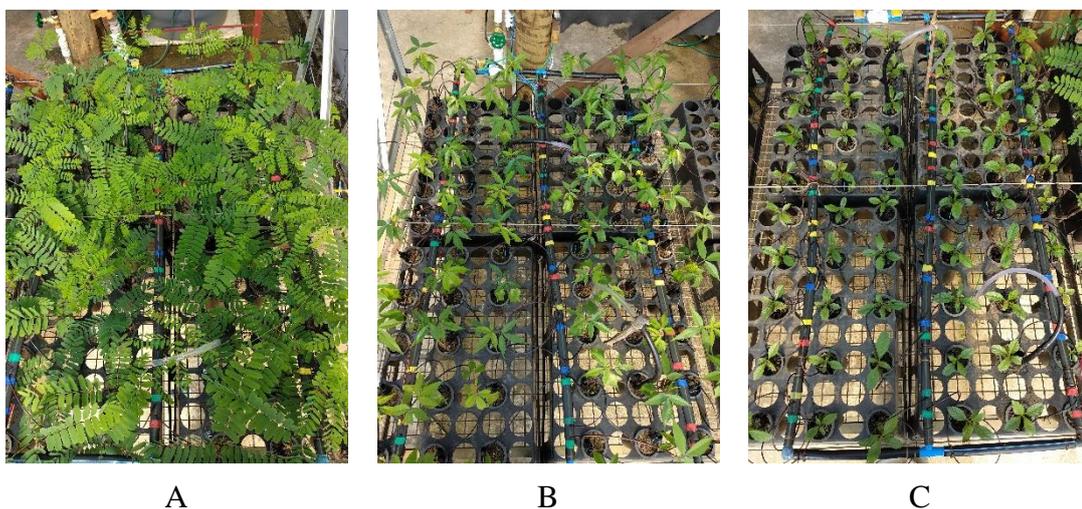
### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no período de setembro de 2018 a maio de 2019 e constituíram-se do plantio de 3 espécies de mudas florestais nativas, *Schizolobium parahyba* – Guapuruvu, *Cyatharexylum myrianthum* Chamiaó – Pau-viola e *Ceiba speciosa* Ravenna – Paineira, em tubetes de 280 cm<sup>3</sup> (fase I) e em vasos de 18 dm<sup>3</sup> (fase II).

As áreas experimentais estão localizadas no Setor de Horticultura do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, município de Seropédica – RJ (22°45'48.67"S e 43°41'50.72"O, altitude de 30 m). O clima regional classificado pelo sistema internacional de Köppen é do tipo Aw (Alvares et al., 2013), clima úmido e inverno seco, com precipitação média anual de 1300 a 1600 mm e temperatura média anual de 22 a 24°C.

As sementes foram coletadas de matrizes da Mata Atlântica do Rio de Janeiro e foram inicialmente colocadas em caixas de areia. Após 20 dias de emergência, quando as plântulas tinham cerca de 10 cm de altura, foram medidas a altura e o diâmetro do colo. A partir do valor médio destes parâmetros foram selecionadas 60 mudas de cada espécie para transplante nos tubetes, instalados em 4 bandejas, totalizando 15 mudas por bandeja. O material foi acondicionado em uma bancada metálica (0,8 x 1,2 x 3,0 m).

Sistemas de microirrigação por gotejamento foram instalados para cada espécie (Figura 1), com reservatórios com capacidade de 100 L independentes localizados a 1,70 m acima da bancada. O tempo e número de acionamentos da irrigação foram mensurados por sensores de fluxo de água (mod. YF-S201b), registrado e armazenado em placa MEGA do Arduino (mod. 2560). Para evitar perdas de percolação, foi instalado um sistema composto por um sensor de chuva (mod. 2560) com atuação direta por relé. Dois sensores foram instalados em cada experimento, logo abaixo do tubo que recebeu o maior volume de água (V4). Ao ser acionado o sensor de chuva promovia a interrupção do sistema de fornecimento de energia, desligando a irrigação, que assim permanecia até o secamento do sensor.



**Figura 1.** Mudanças de *S. parahyba* (A), *C. speciosa* (B) e *C. myrianthum* (C), transplantadas para a bancada experimental, em estufa com cerca de 20 dias após emergência (DAE).

Na primeira fase, de 25/09/2018 a 24/11/2018, os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos (níveis de irrigação) e 15 repetições (tubetes por bandeja), em ambiente climatizado, onde era mantido o controle de temperatura (máxima de 28 °C) e umidade relativa do ar (acima de 50%). Os emissores utilizados foram

microtubos tipo espaguete (Plasnova, mod. PDAEXT001000354), com 0,8 mm de diâmetro nominal e comprimentos diferentes (0,80, 0,50, 0,35 e 0,20 m), promovendo os diferentes níveis de irrigação. Após a realização dos testes de vazão (Tabela 1), foram obtidos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD) superiores a 95%.

**Tabela 1.** Vazões dos emissores ( $L h^{-1}$ ) nos respectivos tratamentos, para as espécies florestais *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa*.

Tratamentos	Experimentos/espécies		
	<i>S. parahyba</i>	<i>C. myrianthum</i>	<i>C. speciosa</i>
	Vazão ( $L h^{-1}$ )		
V1	1,2	1,1	0,7
V2	1,8	1,5	1,1
V3	2,1	2,3	1,4
V4	2,9	2,6	1,8

O substrato utilizado nos tubetes foi o biossólido puro, obtido de uma estação de tratamento de esgoto (ETE), gerenciada pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) do Estado do Rio de Janeiro. As características físicas (Tabela 2), analisado conforme metodologia proposta por Fermino (2014), indicam a existência de grande espaço poroso ( $0,70 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), baixa densidade aparente ( $0,74 \text{ g cm}^{-3}$ ) e aproximadamente 70% do diâmetro médio das partículas entre 1,0 e 0,5 mm, indicando que o material tem alto valor de superfície específica, que agregado aos altos valores de macro e micronutrientes, garantem o fornecimento mineral, sem a necessidade de adubação, principalmente na fase de crescimento inicial das mudas. O fornecimento adequado de minerais funcionou, como o esperado, para as espécies *S. parahyba* e *C. speciosa*, enquanto para a espécie *C. myrianthum* houve a necessidade de uma adubação aos 150 dias após a emergência.

Os parâmetros físico-hidráulicos (Tabela 2) do substrato foram obtidos pelo método de evaporação simplificado (Schindler, 1980), por meio do dispositivo comercial Hyprop® (Pertassek, 2015), e indicaram baixa capacidade de retenção de água. Esse substrato, analisado conforme metodologia proposta por Teixeira et al. (2017), possui valores de N (1,61%), P (0,68%), K (0,27%) e carbono orgânico (9,66%), que fornecem o suprimento mineral sem a necessidade de fertilização, principalmente no estágio inicial de crescimento das mudas.

O manejo de irrigação foi realizado pelo acionador simplificado para irrigação (ASI) (Medici et al., 2010) modificado, que opera em resposta à tensão da água no solo e é regulado pela diferença de nível entre uma cápsula porosa (sensor) e um pressostato. Este dispositivo tem sido utilizado em vários estudos de campo (Mello et al., 2018) e de estufa (Gomes et al., 2017), utilizando diferentes solos ou substratos para plantas. É apresentado como uma alternativa no manejo de irrigação (Bezerra et al., 2019) e tem a vantagem de ser construído com materiais de baixo custo (Valença et al., 2018). Foram utilizados dois sensores para cada espécie de planta estudada, instalados independentemente em dois tubetes com tratamento correspondente à maior vazão (V4), totalizando 6 sensores para os 3 experimentos.

**Tabela 2.** Características químicas e físicas do substrato (biossólido puro).

Parâmetros físico-hídricos							
Porosidade total (PT)		0,70					
Espaço de aeração (EA)		0,17					
Água facilmente disponível (AFD)		0,17					
Água tamponante (AT)		0,05					
Água disponível (AD)		0,22					
Água remanescente (AR)		0,31					
Densidade de partícula (DP)		2,42					
Densidade do solo úmida (Ds <sub>u</sub> )		0,74					
Densidade do solo seca (Ds <sub>s</sub> )		0,37					
Granulometria							
Peneira	2 mm	1 mm	0,5 mm	0,106 mm	< 0,106 mm		
Percentagem (%)	9,79	38,04	28,25	20,99	2,96		
Varáveis químicas							
N	P	K	Ca	Mg	S	CO	C/N
			%				
1,61	0,68	0,27	1,14	0,26	0,72	9,66	5,95
Zn	Fe	Mn	Cu	B	Ph	Na	
		ppm			(H <sub>2</sub> O)	%	
705,90	23856,30	194,03	158,17	13,17	5,32	0,01	

Aos 60 dias após transplante nos tubetes, quando as mudas atingiram em média 36,39 cm (*S. parahyba*), 25,93 cm (*C. myrianthum*) e 32,37 cm (*C. speciosa*) de altura, 16 mudas de cada espécie (4 de cada tratamento) foram transferidas para vasos de 18 dm<sup>3</sup>, preenchidos com material de solo (Figura 2) retirado da camada de 0-40 cm de um Neossolo Quartzarênico (Anexo), proveniente da Floresta Nacional Mario Xavier (FLONA), localizada no município de Seropédica. Este solo apresentou horizonte A com cerca de 20 cm de profundidade, seguido de horizonte C até os 120 cm de perfuração. A fração granulométrica dominante é a areia e areia-franca, o pH médio foi de 5,2 e a saturação por base (V), no horizonte A igual a 36 %, indicando um solo de baixa fertilidade.



**Figura 2.** Mudas de *S. parahyba* (A), *C. speciosa* (B) e *C. myrianthum* (C), transplantadas para os vasos, em casa de vegetação com 80 dias após emergência (DAE).

Utilizando o mesmo delineamento experimental, esta segunda fase, totalizando 48 mudas, foi conduzida em casa de vegetação plástica, simulando as condições do campo, exceto o suprimento de água, realizado por irrigação. Em um período de 150 dias, de 24/11/2018 a

24/04/2019, foi aplicada lâmina uniforme da água para todas as plantas de cada espécie por sistema de irrigação independente para cada espécie. O manejo da irrigação também foi realizado pelo ASI, com sensores instalados nas mudas provenientes do tratamento V4 (fase anterior) e cerca de 15 cm abaixo da superfície do vaso, na região de maior concentração das raízes. O sistema de irrigação consistiu em um gotejador por vaso (mod. PCJ – Netafim), com vazão nominal de 2,0 L h<sup>-1</sup>, e o volume de água aplicado foi medido por um hidrômetro previamente calibrado (Alpha mnf/FAE), instalado na linha principal de cada experimento (espécie). Os testes de uniformidade indicaram CUD acima de 97,0%.

O monitoramento meteorológico dos experimentos foi realizado por uma estação meteorológica da série WatchDog 2000 (Spectrum Technologies, Illinois / EUA), contendo sensores de temperatura, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento e com armazenamento de dados a cada 30 minutos. A temperatura média diária durante a primeira fase foi de 26,6 °C, com pouca variação devido ao ambiente climatizado. A umidade relativa do ar média foi de cerca de 80% e a radiação solar global média foi de 8,1 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Já na segunda fase, a temperatura média diária foi de 27,4 °C, com amplitude média de 10,8 °C. A umidade relativa do ar média foi de 44,0% e a radiação solar global total média foi de 21,0 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

Em ambas as fases, foram realizadas análises de crescimento não destrutivo para altura da planta (cm, distância do colo da planta ao broto apical, com régua graduada) e diâmetro do colar (mm, com paquímetro digital). As avaliações foram realizadas a cada 15 dias, na primeira fase e a cada 30 dias, na segunda fase, compondo 5 medições para cada fase que foram utilizadas na geração de modelos de crescimento.

Para verificar se as premissas da análise de variância foram atendidas, a normalidade e a homogeneidade dos resíduos foram avaliadas pelo teste de Bartlett, ao nível de 5% de probabilidade. Atendendo a esses critérios, a análise de variância foi realizada pelo teste t, com nível de significância de 5%. Após rejeitar a hipótese nula, foram realizadas análises de regressão polinomial para o volume acumulado aplicado e fatores do regime de irrigação. Todas as análises estatísticas neste estudo foram realizadas no pacote de software R, versão 3.6.0.

Utilizando os mesmos conceitos do fator de resposta à produtividade (Ky) (Garg e Dadhich, 2014), o fator de resposta do crescimento das plantas relacionado ao déficit hídrico para o crescimento das mudas, em altura e diâmetro (FCP) foi calculado pela Eq. 1.

$$\left(1 - \frac{V_a}{V_m}\right) = FCP \left(1 - \frac{Vol_a}{Vol_m}\right) \quad (1)$$

Em que:

V<sub>a</sub> é o valor da variável real (altura – cm; ou diâmetro – mm);

V<sub>m</sub> é o valor da variável máxima (altura – cm; ou diâmetro – mm);

Vol<sub>a</sub> é o volume real aplicado (L); e

Vol<sub>m</sub> é o volume máximo aplicado (L).

Como essa relação acima é linear, G<sub>pf</sub> corresponde à inclinação da reta de regressão, que foi obtida de forma iterativa, maximizando o valor V<sub>m</sub> (altura ou diâmetro), de modo que a interceptação da equação com o eixo das ordenadas se torne igual a zero. O procedimento foi realizado em uma planilha eletrônica (MS Excel™), utilizando o módulo Solver (Carvalho et al., 2016). A interpretação de G<sub>pf</sub> foi feita de acordo com Doorenbos e Kassam (1979), para Ky.

A eficiência hídrica (EH) com base na altura (EHA) e diâmetro (EHD) foi obtida de acordo com a Eq. 2.

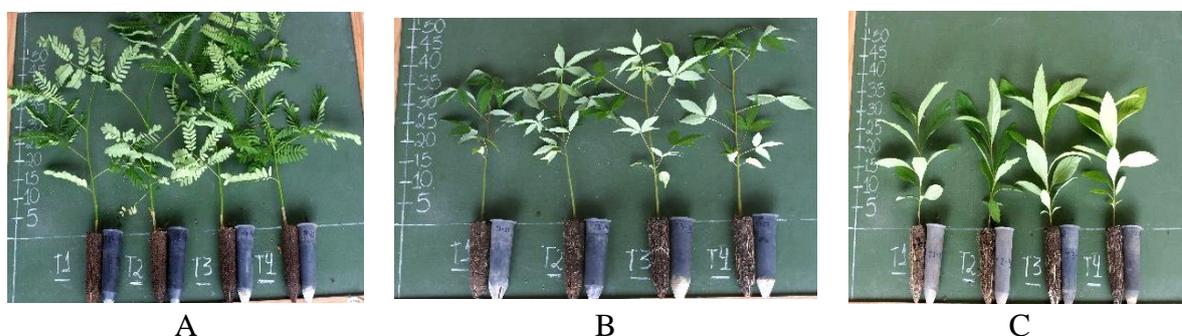
$$EH = \frac{Vg}{Tva} \quad (2)$$

Em que:

Vg é a variável crescimento (altura – cm; ou diâmetro – mm); e  
Tva é o volume total aplicado, em L por planta.

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 80 dias após emergência (DAE) e 60 dias após o início da aplicação diferenciada da irrigação (primeira fase), as espécies atingiram, em média, o padrão mínimo para o plantio em campo em todos os tratamentos, o que corresponde à faixa de 20 a 40 cm para altura e diâmetro superior a 3 mm (Souza Junior e Brancalion, 2016) para mudas de boa qualidade produzidas em tubetes de 280 cm<sup>3</sup> (Figura 3). Durante esse período, os sistemas de irrigação foram acionados 73, 43 e 52 vezes para as espécies *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa*, respectivamente. Foram aplicados os volumes totais de 0,91, 1,49, 1,74 e 2,40 L por planta, 0,46, 0,62 0,95 e 1,08 L por planta e 0,33, 0,52, 0,66 e 0,85 L por planta, para V1, V2, V3 e V4, respectivamente. O sistema de irrigação foi ativado mais de uma vez ao dia para as três espécies em 14, 5 e 10 dias (2 ativações) e em 6, 3 e 4 dias (3 ativações), respectivamente, para *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa*. Além de atender ao requisito de água das mudas, o grande número de acionamentos da ASI está associado ao baixo volume do tubete (280 dm<sup>3</sup>) e a capacidade de retenção de água no substrato (Tabela 2).



**Figura 3.** Mudanças de (A) *S. parahyba*, (B) *PC. Speciosa* e (C) *C. myrianthum*, no final do período experimental em tubetes, com cerca de 80 dias após emergência – DAE. Para cada figura é mostrado um representante médio de cada tratamento (C1 a C4 – da esquerda para direita).

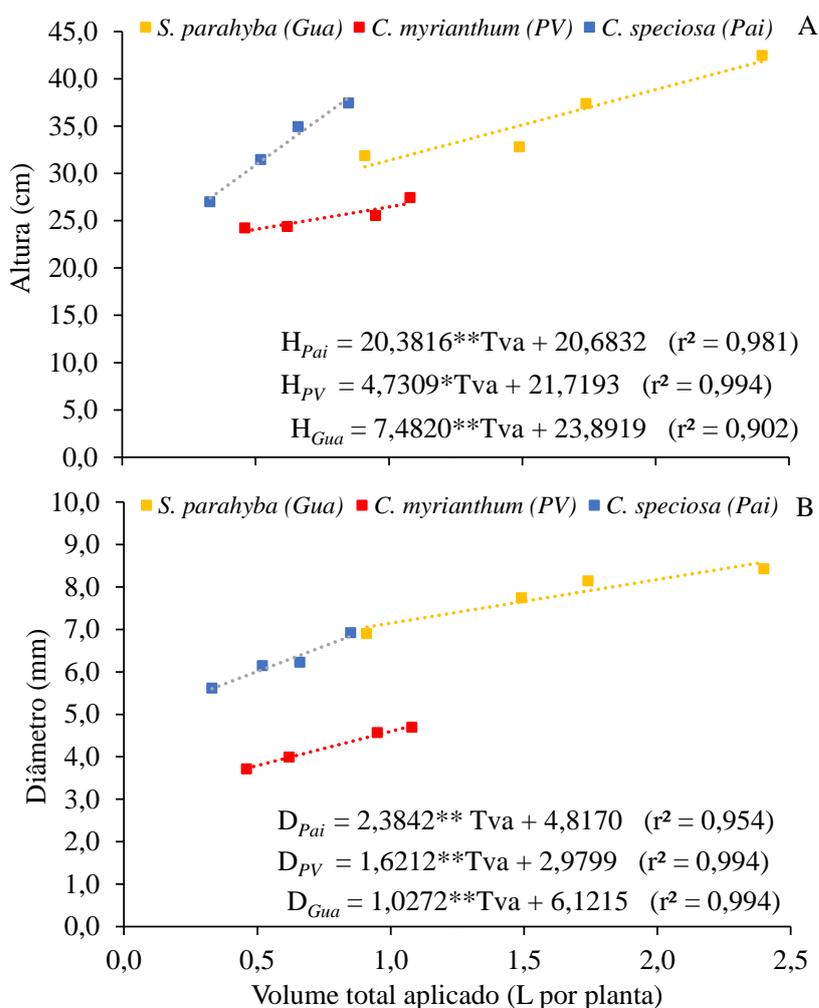
Houve respostas positivas de altura (H) e diâmetro do colo (D) em função do aumento do volume de água aplicado às mudas de todas as espécies (Figura 4). Vale ressaltar que o ASI utilizado neste estudo fornece água para as plantas em resposta ao seu desenvolvimento (Medici et al., 2010), mantendo a umidade correspondente à capacidade de água do substrato. Assim, os volumes de 2,40, 1,08 e 0,85 L por planta, para o tratamento V4, correspondem à necessidade de água para as espécies *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa*, respectivamente.

As variações de altura (Figura 4<sup>a</sup>) e diâmetro (Figura 4B) das espécies foram proporcionais aos diferentes volumes aplicados, justificando o ajuste linear dos modelos de regressão. Os menores coeficientes angulares indicam menores respostas ao crescimento das mudas e foram obtidos para *C. myrianthum* (4,7309 cm L<sup>-1</sup> – altura) e *S. parahyba* (1,6212 mm L<sup>-1</sup> – diâmetro). As mudas da espécie *C. speciosa* apresentaram as maior crescimento em resposta à quantidade de água aplicada, com valores de 20,3816 cm L<sup>-1</sup> de altura (Figura 4<sup>a</sup>) e 2,3842 mm L<sup>-1</sup> de diâmetro (Figura 4B).

A quantidade de água demandada pelas mudas de *S. parahyba* foi, em média, 171,1% superior ao volume aplicado às mudas de *C. speciosa*, embora as diferenças de altura (10,7%) e diâmetro (25,4%) tenham sido proporcionalmente menores. A diferença na demanda relativa de água para essas duas espécies provavelmente ocorreu devido às suas regiões fito ecológicas de ocorrência. Segundo Carvalho (2003), *S. parahyba* ocorre na planície aluvial e no início das

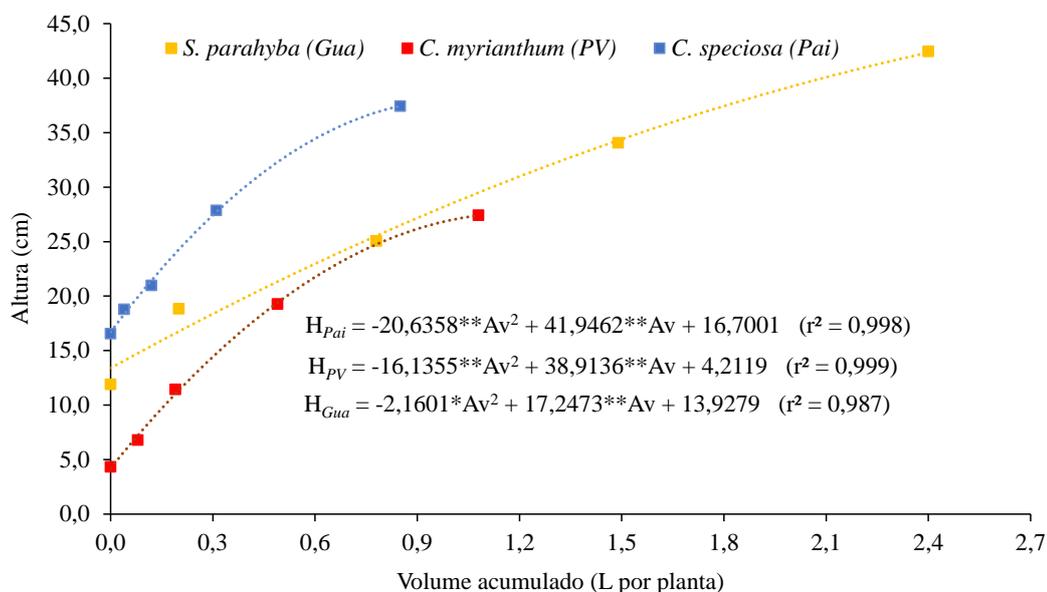
encostas, enquanto *C. speciosa* ocorre frequentemente em diferentes ambientes, como em algumas áreas do domínio da caatinga. *C. myrianthum* apresentou o menor crescimento em altura e diâmetro, atingindo apenas 27,43 cm e 4,69 mm, respectivamente. Por se tratar de uma espécie não pioneira, seu menor crescimento é explicado pela falta de sombreamento, precisamente, nos estágios iniciais de desenvolvimento (Morais Júnior et al., 2019).

A partir da Figura 4, os valores calculados da relação altura/diâmetro máximo (H/D) para *S. parahyba* (5,0), *C. myrianthum* (5,6) e *C. speciosa* (6,5) estão dentro da faixa abaixo de 8,0 indicada por Souza Junior e Brancalion (2016). Essa relação é utilizada para avaliar a qualidade das mudas florestais, pois, além de refletir o acúmulo de reservas, garante maior resistência e melhor fixação no solo (Artur et al., 2007). A ocorrência de déficit hídrico nos substratos tende a limitar o crescimento de mudas de árvores em termos de diâmetro e altura, além de modificar a razão H/D ideal para uma determinada espécie (Duarte et al., 2016). No entanto, as variações na razão H/D observadas neste estudo não foram suficientes para fornecer sinais de estiolamento nas mudas. Segundo Monteiro et al. (2016), os efeitos da irrigação na altura e diâmetro das mudas de espécies arbóreas ou frutíferas variam de acordo com a planta, tamanho, hábito de crescimento, tipo e tamanho das folhas, características do substrato e recipiente de cultivo, além das condições microclimáticas do ambiente de cultivo.



**Figura 4.** Variações de altura (H) e diâmetro do colo (D) em função do volume total aplicado em função dos tratamentos para três espécies florestais, na fase de tubetes. \* p <0,05; \*\* p <0,01.

O crescimento das mudas, em relação aos volumes de água aplicados por planta, durante a primeira fase do tratamento V4 é apresentado em termos de altura (Figura 5) e diâmetro (Figura 6) para as três espécies. As espécies de *S. parahyba* atingiram maior altura (42,5 cm) e diâmetro (8,4 mm), seguidas por *C. speciosa* (37,4 cm; 6,9 mm) e *C. myrianthum* (27,4 cm; 4,7 mm). Utilizando substrato composto de matéria orgânica, turfa e vermiculita, em condições de campo, as mudas de *S. parahyba* atingiram altura máxima de 36,8 cm, com irrigação manual diária (Caron et al., 2010).

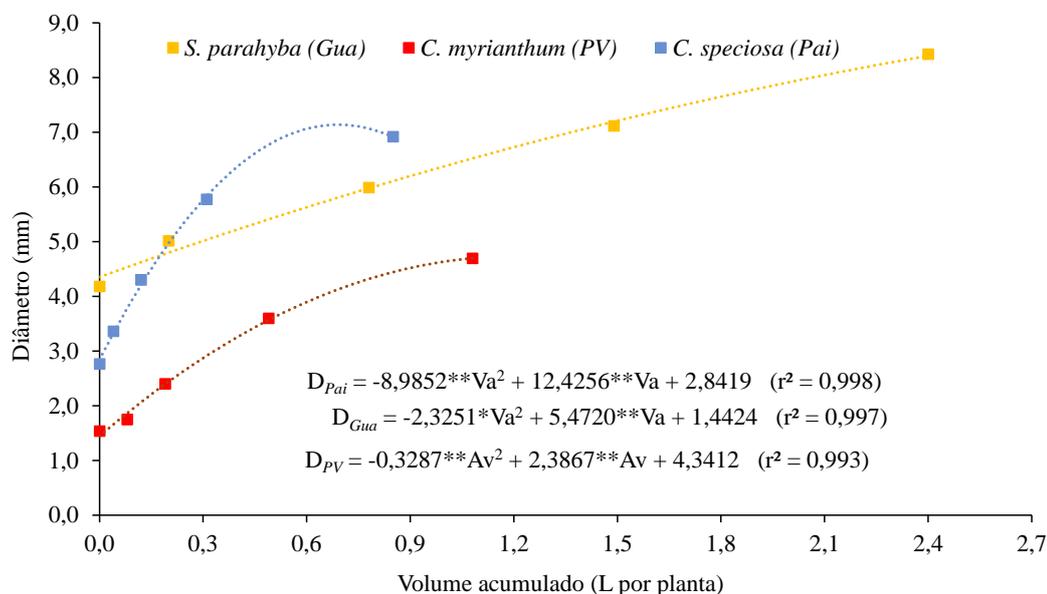


**Figura 5.** Variação da altura (H) em função do volume de água aplicado (V4) ao longo do experimento (Av) para três espécies florestais, na fase de tubetes. \* p <0,05; \*\* p <0,01.

Nos modelos de regressão, os baixos coeficientes dos termos quadráticos para espécies de *S. parahyba* significam uma tendência de linearidade no crescimento de mudas em altura (Figura 5) e diâmetro (Figura 6), principalmente após a segunda análise, realizada em 10/10/2018, indicando desenvolvimento mais uniforme ao longo do período de avaliação. As espécies de *C. myrianthum* iniciaram a fase de desenvolvimento em tubetes com a menor altura (4,3 cm) e diâmetro (1,5 mm) e apresentaram evolução do crescimento intermediária. O maior crescimento em relação à altura (Figura 5) e ao diâmetro (Figura 6) foi encontrada para a espécie *C. speciosa*, apesar do menor volume total de água aplicado (0,85 L por planta).

O crescimento das espécies em termos de altura e diâmetro aumentou proporcionalmente às datas da avaliação, demandando conseqüentemente maiores volumes de água. Da primeira à segunda (25/09 a 10/10) e da quarta à quinta análise de crescimento (11/09 a 24/11), as mudas de *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa*, cresceram respectivamente, 6,9 e 8,4 cm, 2,5 e 8,1 cm e 2,2 e 9,6 cm de altura (Figura 7). Em termos de diâmetro, as variações foram de 0,8 e 1,3 mm, 0,2 e 1,1 mm e 0,6 e 1,1 mm, respectivamente (Figura 6). Nesses períodos, os volumes aplicados foram de 0,02 e 0,91 L por planta, 0,08 e 0,59 L por planta e 0,04 e 0,54 L por planta, respectivamente. Além disso, de 11/11 a 24/11, o ASI foi ativado 31 (42,5%), 24 (55,8%) e 29 (55,8%) vezes para as espécies *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa*, respectivamente, aplicando 0,910 (37,9%), 0,5907 (54,6%) e 0,540 (63,5%) L por planta. Esses valores indicam a importância de um manejo adequado da irrigação, a fim de atender às necessidades hídricas das mudas, que variam com o tempo.

Em condições de vaso (fase II), simulando o cultivo em campo, os volumes de água aplicados foram de 70,0, 50,3 e 52,7 L por planta, respectivamente, para as espécies *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa*, com 182, 150 e 171 acionamentos. Os sistemas de irrigação foram ativados mais de uma vez ao dia em 29, 18 e 29 (2 ativações) e em 28, 22 e 24 dias (3 ativações), respectivamente para as espécies, para *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa*.

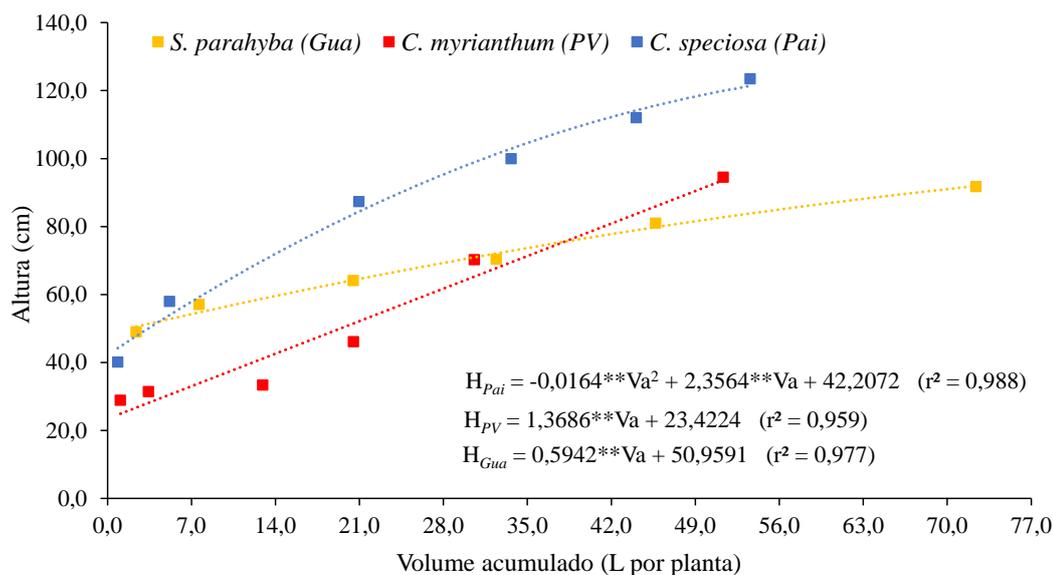


**Figura 6.** Variação do diâmetro do colo (D) em função do volume de água aplicado (V4) ao longo do experimento (Av) para três espécies florestais, na fase de tubetes. \* p <0,05; \*\* p <0,01.

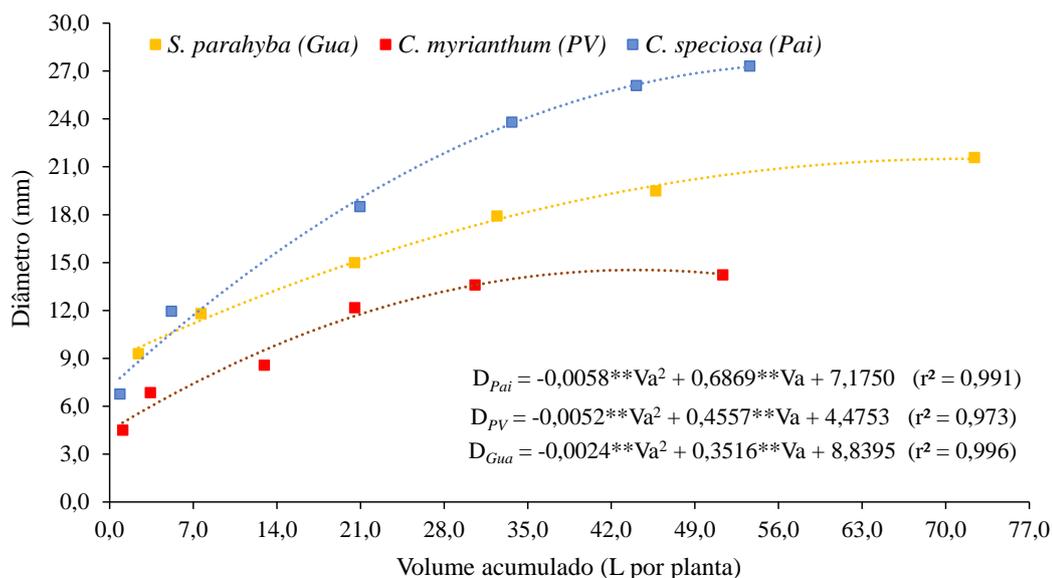
As alturas e diâmetros das espécies não diferiram estatisticamente no nível de significância de 5%, pelo teste t, ao longo dos 5 meses de avaliação em vaso, indicando que, sob a condição de suprimento adequado de água, há rápida recuperação e crescimento das espécies, mesmo para aquelas que apresentaram diâmetro e altura diferentes na fase de tubetes (Figura 4). Assim, através do gerenciamento automático do sistema de irrigação pela SIC, o suprimento de água às plantas foi adequado e garantiu o pleno desenvolvimento das mudas. Entretanto, em condições de campo, essa situação pode não ocorrer devido ao aumento da temperatura e à intensidade e frequência dos períodos de seca (Contin et al., 2014).

O crescimento das mudas em termos de altura (Figura 7) e diâmetro (Figura 8) indica maior uso de água para espécies de *S. parahyba*, porém *C. speciosa* alcançou maior altura (123,5 cm) e diâmetro (27,3 mm). A quantidade de água aplicada às espécies de *C. myrianthum* foi semelhante à *C. speciosa*, embora as mudas tenham atingido, em média, 94,5 cm de altura e 14,2 mm de diâmetro.

As plantas de *S. parahyba* apresentaram a mesma tendência observada na fase de crescimento em tubete, com menor taxa de crescimento em relação às demais espécies e crescimento uniforme entre as datas de avaliação (Figuras 7 e 8). Da primeira para a segunda (24/11/2018 a 24/12/2018) e da quinta para a sexta análise de crescimento (23/03/2019 a 24/04/2019), as mudas cresceram 8,1 e 10,8 cm, respectivamente, com volumes aplicados de 5,24 e 26,7 L por planta. Nesses períodos, a altura e o volume médios aplicados às mudas de *C. myrianthum* variaram, respectivamente, 2,5 e 24,3 cm e 2,3 e 20,8 L por planta.



**Figura 7.** Variação da altura (H) em função do volume de água aplicado ao longo do experimento (Va) para três espécies florestais, na fase de vasos. \* p <0,05; \*\* p <0,01.



**Figura 8.** Variação do diâmetro do colo (D) em função do volume de água aplicado ao longo do experimento (Va) para três espécies florestais, na fase de vasos. \* p <0,05; \*\* p <0,01.

*C. myrianthum* e *S. parahyba* apresentaram tendência linear de crescimento em altura, enquanto as espécies de *C. speciosa* apresentaram tendência polinomial de segunda ordem, apesar do baixo coeficiente do termo quadrático (-0,0164) (Figura 7). Diferentemente das anteriores, as mudas de *C. speciosa* apresentaram maior crescimento em altura (29,38 cm) e volume aplicado (15,78 L por planta) entre a segunda (24/12/2018) e a terceira (23/01/2019) medições, quando o sistema de irrigação foi ligado 51 vezes. Nesse período, foram registradas a maior incidência de radiação (24,7 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) e a temperatura máxima (40,4 °C) do período experimental.

O maior volume de água aplicado às espécies de *S. parahyba* entre a quinta e a sexta análises de crescimento (26,7 L por planta) foi suficiente para promover o crescimento das

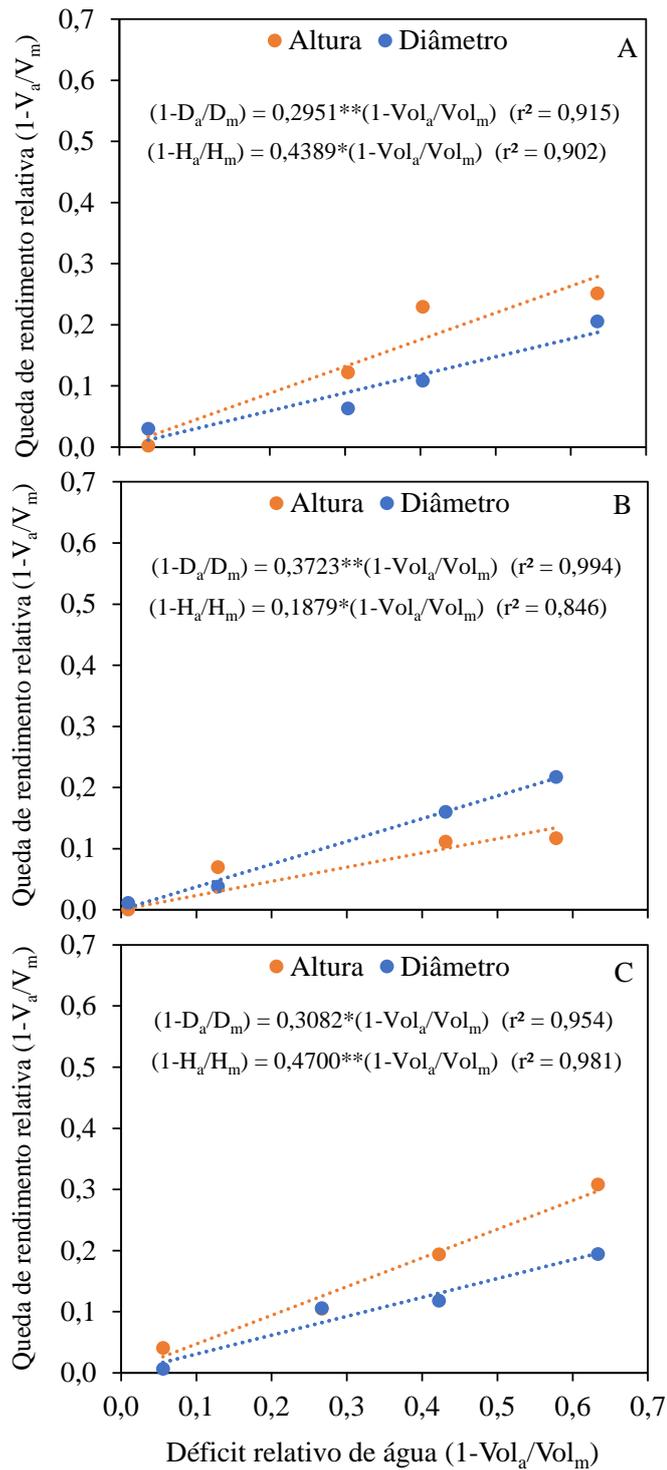
plantas em 2,10 mm de diâmetro, enquanto que para *C. myrianthum*, o volume de 20,75 L por planta proporcionou variação de diâmetro de apenas 0,6 mm, no mesmo período (Figura 9). Para essas espécies, os sistemas de irrigação foram ativados 54 e 43 vezes, respectivamente. O volume de 15,78 L por planta de *C. speciosa*, aplicado entre a segunda e a terceira medidas, proporcionou variação no diâmetro de 6,6 mm. Houve maior crescimento proporcional em diâmetro do que em altura para as espécies *S. parahyba* e *C. speciosa*, enquanto para *C. myrianthum* esse crescimento foi semelhante.

Morais Júnior et al. (2019) realizaram um estudo comparativo entre espécies pioneiras e não pioneiras da Mata Atlântica visando compor projetos de recuperação de áreas degradadas e concluíram que *C. speciosa* e *S. parahyba* estão entre as que apresentam as maiores taxas de crescimento, recebendo pontuação 8 e 9, respectivamente, em uma classificação de 0 a 10. Souza et al. (2020) avaliaram espécies florestais nativas em plantações mistas, na savana brasileira aos 6,4 anos, e *C. speciosa* estava entre os de maior crescimento, apresentando estoques médios de volume e biomassa de 114,03 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e 52,99 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

*S. parahyba* é uma árvore de crescimento rápido (até 45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), recomendada como ornamental ou para fins de restauração (Abreu et al., 2014), e não é muito exigente em fertilidade do solo, o que facilita sua adaptação em locais diferentes (Morais Junior et al., 2019). Por 13 anos, Schwartz et al. (2017) avaliaram o desenvolvimento de uma área de regeneração com *S. parahyba* na região amazônica. As espécies apresentaram aumento de volume de 3,1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para indivíduos com diâmetro maior que 25 cm e mais de 30% das sementes plantadas foram capazes de germinar, estabelecer e crescer até atingir um diâmetro maior que 25 cm. Esse resultado de campo, combinado com o presente estudo, indica que *S. parahyba* possui alta capacidade de uso da água e, dessa forma pode ter resultados positivos na formação de estandes, quando submetidas à condições de restrições hídricas.

Os valores de FCP encontrados foram inferiores a 0,5 para todas as espécies, em função da altura e do diâmetro (Figura 9), indicando baixa sensibilidade ao déficit hídrico, apesar de apresentar crescimento rápido. Essa tendência é confirmada pelos resultados obtidos na fase 2 (vasos), quando mudas de todas as espécies dos diferentes tratamentos da fase 1 (tubetes) tiveram desenvolvimento satisfatório, mostrando rápida recuperação e crescimento sob suprimento adequado de água. O valor mais baixo e mais alto de FCP obtidos referem-se à variável altura para as espécies *C. myrianthum* (0,1879) e *C. speciosa* (0,4700) e estão relacionados às respectivas inclinações observadas nas funções de resposta da Figura 9.

A interpretação do índice proposto (Gpf) auxilia no manejo dos sistemas de produção de mudas, no entanto, não pode ser comparado numericamente com outros resultados da literatura, pois normalmente não é utilizado para avaliar a sensibilidade de mudas florestais ao déficit hídrico. De qualquer forma, Keffer et al. (2019) afirmam que a baixa sensibilidade das espécies florestais ao déficit hídrico na fase de mudas ocorre devido a ter apenas um estágio vegetativo. Pode-se afirmar que as reduções de altura e diâmetro são relativamente pequenas comparadas aos níveis avaliados de déficit hídrico, indicando que as espécies têm alta capacidade de formar estandes nos processos iniciais de regeneração, mesmo em condições de baixa pluviosidade, desde que exista fornecimento mínimo de água no solo.



**Figura 9.** A relação entre queda de rendimento relativo, em altura e diâmetro, e déficit relativo de água nas mudas de *S. parahyba* (A), *C. myrianthum* (B) e *C. speciosa* (C). \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

Os indicadores de eficiência hídrica apontam tendências distintas entre as duas fases (tubete e vaso), quando os valores são comparados em função da altura (EHA) e diâmetro (EHD) (Tabela 3). Em geral, EH aumenta com a redução do volume aplicado para a fase de tubetes, obtendo-se valores mais altos para *C. speciosa*, seguidos por *C. myrianthum* e *S. parahyba*. Na fase de vaso, as diferenças entre os valores são reduzidas devido à recuperação

observada nas mudas dos tratamentos com déficits aplicados na fase 1. Com exceção de *S. parahyba* no tratamento V4, todos os valores de EHA obtidos são estatisticamente iguais para as respectivas espécies quando plantadas em vasos.

**Tabela 3.** Indicadores de eficiência hídrica relacionados ao volume total aplicado para o desenvolvimento de mudas em altura (EHA) e diâmetro (EHD), para as três espécies arbóreas da Mata Atlântica.

Espécie	Tratamento	Indicadores de eficiência hídrica			
		EHA (cm L <sup>-1</sup> )		EHD (mm L <sup>-1</sup> )	
		tubete	vaso	tubete	vaso
<i>S. parahyba</i> (Guapuruvu)	V1	35,018 a*	1,072 ab	7,582 a	0,296 a
	V2	22,013 b	0,986 b	5,196 b	0,297 a
	V3	21,475 cd	0,993 b	4,676 bc	0,283 a
	V4	17,694 d	1,267 a	3,510 c	0,298 a
<i>C. myrianthum</i> (Pau-viola)	V1	52,676 a	1,760 a	8,074 a	0,257 a
	V2	39,343 b	2,010 a	6,431 b	0,300 a
	V3	26,877 c	1,909 a	4,808 c	0,318 a
	V4	25,401 c	1,841 a	4,345 c	0,277 a
<i>C. speciosa</i> (Paineira)	V1	80,653 a	2,055 a	17,002 a	0,469 a
	V2	60,513 b	2,052 a	11,809 b	0,477 a
	V3	52,930 bc	2,098 a	9,433 c	0,482 a
	V4	44,039 c	2,305 a	8,138 d	0,510 a

\* As médias seguidas pela mesma letra da coluna não diferem pelo teste de t, no nível de probabilidade de 5%, para a mesma espécie.

Embora o melhor desenvolvimento de mudas tenha sido observado com 100% de reposição hídrica, os valores de monitoramento de campo e de eficiência hídrica mostraram que pode haver um bom desenvolvimento mesmo em mudas que receberam menos água. Em termos absolutos, *C. speciosa* foi a espécie que apresentou os maiores valores de eficiência hídrica, indicando maior capacidade de utilização desse recurso. Cabe ressaltar, no entanto, que todas as espécies apresentaram crescimento satisfatório e foram eficientes no uso da água, podendo ser recomendada para processos de restauração de florestas nativas. Segundo Holl e Aide (2011), o plantio de árvores contribui para rápida recuperação da estrutura da floresta, proporcionando um habitat adequado para a restauração da sucessão ecológica. Desta forma, a escolha de espécies com maior crescimento e aproveitamento hídrico pode contribuir para que este processo seja ainda maior.

### 3.6 CONCLUSÕES

As espécies *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa* apresentam maior crescimento quando submetidas ao manejo automático da irrigação, no nível de 100% de abastecimento de água, quando plantadas em substratos compostos por biossólido puro.

Os fatores de resposta do crescimento da planta (FCP) para o estágio de mudas são inferiores a 0,5, indicando baixa sensibilidade do crescimento diante do déficit hídrico.

O melhor nível de eficiência hídrica (EH) foi encontrado para *C. speciosa*, indicando que esta espécie tem maior capacidade de usar esse recurso.

As espécies estudadas apresentam rápido crescimento e são eficientes no uso da água, o que implica em um crescimento satisfatório, em condições de disponibilidade hídrica variável, comum nos processos de restauração florestal.

### 3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.H.M.; LELES, P.S.S.; & FERREIRA, D.H.A.A. 2017. Characterization and potential of formulated substrate with biosolids in *Schinus terebinthifolius* Raddi. And *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos seedling production. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509830300>
- ABREU, R.C.R.; SANTOS, F.F.M.; DURIGAN, G. Changes in plant community of Seasonally Semideciduous Forest after invasion by *Schizolobium parahyba* at southeastern Brazil. **Acta Oecologica** v. 54, p. 57-64, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.03.013>
- ALONSO, J.M.; ABREU, A.H.M.D.; & CABREIRA, G.V. Biosolids as substrate for the production of *Ceiba speciosa* seedlings. **Cerne** v. 24, n. 4, p. 420-429, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201824042568>
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ARTUR, A. G.; CRUZ, M. C. P. D.; & YAGI, R. Cattle manure and liming for guanandi seedlings production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 843-850. 2007.
- BEZERRA, A.C.M.; VALENÇA, D.C.; & MEDICI, L.O. Automation of lettuce seedlings irrigation with sensors deployed in the substrate or at atmosphere. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 2, p. 179-189, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0163>
- CARON, B. O.; SOUZA, V. Q. D.; & ELOY, E. Growth of plants of *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake submitted to shading levels. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 683-689, 2010.
- CARVALHO, D.F.; OLIVEIRA NETO, D.H.; & SALVADOR, C.A. Yield, water use efficiency, and yield response factor in carrot crop under different irrigation depths. **Ciência Rural** 46: 1145-1150, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150363>
- CARVALHO, P.E.R. Espécies arbóreas brasileiras. **Embrapa**. Brasília. Brasil, 2003.
- CONTIN, D.R.; SORIANI, H.H.; & MARTINEZ, C.A. Antioxidant and photoprotective defenses in response to gradual water stress under low and high irradiance in two Malvaceae tree species used for tropical forest restoration. **Trees**, v. 28, n. 6, p. 1705-1722, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1079-x>
- DIAS, G.C.O.; MEDICI, L.O.; & PIMENTEL, C. Papaya seedlings growth using a low-cost, automatic watering controller. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 527-535, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452013000200023>
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Yield response to water. Rome: FAO. **Technical Note**, 33, 1979.

DUARTE, D.M.; ROCHA, G.T.; & RODRIGUES, F. Responses of paricá seedlings to water stress. **Floresta**, v. 46, n. 3, p. 405-412, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v46i3.39529>

DUMROESE, R. K.; PAGE-DUMROESE, D. S.; & JACOBS, D. F. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, p. 2961-2967, 2005. <https://doi.org/10.1139/x05-226>

FERMINO, M. H. Substratos: composição, caracterização e métodos de análise. **Guaíba: Agrolivros**, v. 111, 2014.

GARG, N.K.; DADHICH, S.M. A proposed method to determine yield Response factors of different crops under deficit irrigation using inverse formulation approach. **Agricultural Water Management**, v. 137, p. 68-74, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.02.008>

GOMES, D.P.; CARVALHO, D.F.; & PINTO, M.F. Growth and production of tomato fertilized with ash and castor cake and under water depths, cultivated in organic potponics. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 39, n. 2, p. 201-209, 2017. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i2.32547>

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 1558-1563, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>

KEFFER, J. F.; SILVA, C. C. D.; & DIAS, T. K. Evapotranspiration and water sensitivity of Amazonian yellow ipe seedlings under different shading conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 10, p. 733-740, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p733-740>

MEDICI, L.O.; ROCHA, H.S.D.; CARVALHO, D.F.; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R. A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 6, p. 727-730, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600016>

MELLO, G.A.B.; CARVALHO, D.F.; MEDICI, L.O.; SILVA, A.C.; GOMES, D.P.; PINTO, M.F. Organic cultivation of onion under castor cake fertilization and irrigation depths. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 40, p. 1-8, 2018.

MONTEIRO, E. B.; SILVA, A. C. D.; & MARTIM, C. C. Water requirements and crop coefficients of tropical forest seedlings in different shading conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 709-715, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p709-715>

MORAIS JUNIOR, V.T.M.; JACOVINE, L.A.G.; TORRES, C.M.M.E.; ALVES, E.B.B.M.; PAIVA, H.N.; CRUZ, R.A.; ZANUNCIO, J.C. Early assessment of tree species with potential for carbon offset plantations in degraded area from the southeastern Brazil. **Ecological indicators**, v. 98, p. 854-860, 2019.

PANIGRAHI, P.; SRIVASTAVA, A.K.; HUCHCHE, A. D. Effects of drip irrigation regimes and basin irrigation on Nagpur mandarin agronomical and physiological performance. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 79-88, 2012.

PERTASSEK, T.; PETERS, A.; DURNER, W. Hyprop-fit Software User's Manual, V.3.0, UMS GmbH. Version 3.0, München/Germany. 66p, 2015.

SANSEVERO, J. B.; ALONSO, & VALCARCEL, R. On the teaching of ecological restoration in Brazil: an analysis of postgraduate courses. **Restoration ecology**, v. 26, n. 5, p. 997-1004, 2018. <https://doi.org/10.1111/rec.12662>

SANTOS, J.F.C.; GLERIANI, J.M.; & REIS, M. Wildfires as a major challenge for natural regeneration in Atlantic Forest. **Science of The Total Environment**, v. 650, p. 809-821, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.016>

SCHINDLER, U. A fast method for measuring the water-permeability in partial-saturated soil using piercing cylinder samples. **Plant construction Field**, p. 1-7, 1980.

SCHWARTZ, G.; PEREIRA, P.C.; & YARED, J.A. Enrichment planting in logging gaps with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby: A financially profitable alternative for degraded tropical forests in the Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 390, p. 166-172, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.031>

SOUZA JUNIOR, C. N.; BRANCALION, P.H.S. Sementes e mudas: guia para propagação de árvores brasileiras. **Oficina de Textos**. São Paulo, Brasil, 2016.

SOUZA, M.T.P; AZEVEDO, G.B.; & TEODORO, P.E. Growth of native forest species in a mixed stand in the Brazilian Savanna. **Forest Ecology and Management**, v. 462, p. 118011, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118011>

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Embrapa. 573p., 2017.

VALENÇA, D.C.; CARVALHO, D.F.; & MEDICI, L.O. Automatically controlled deficit irrigation of lettuce in organic potponics. **Scientia Agricola**. V. 75, n. 1, p. 52-59, 2018. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0331>

## **4 CAPÍTULO II**

# **QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA CULTIVADAS COM BIOSSÓLIDO E MANEJO AUTOMATIZADO DA IRRIGAÇÃO**

#### 4.1 RESUMO

A qualidade das mudas é um dos fatores determinantes no sucesso de plantios florestais. Os indicadores de crescimento de espécies nativas da Mata Atlântica, altura, diâmetro do coleto, assim como os parâmetros massa da matéria seca, área foliar e teor de clorofila foram obtidos com o objetivo de avaliar a qualidade das plantas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Cytharexylum myrianthum* Cham. e de *Ceiba speciosa* Ravenna, na fase de mudas, em estufa, e crescimento inicial, em casa de vegetação. Biossólido de lodo de esgoto foi utilizado como substrato na fase de mudas (tubete de 280 cm<sup>-3</sup>) e material de solo arenoso na fase inicial de crescimento (vaso de 18 dm<sup>-3</sup>). As mudas receberam quatro níveis de reposição hídrica, aplicados ao substrato, por irrigação por gotejamento, com reposição média variando de 40 (V1) a 100% (V4) da necessidade hídrica das espécies (fase I). Em vasos, as plantas receberam irrigação conforme suas necessidades hídricas (fase II). No final da fase I, de produção de mudas, os substratos que receberam maior vazão obtiveram melhor classificação quanto agregação e presença de raízes vivas. Para as três espécies houve crescimento linear de altura e diâmetro do coleto em função do tempo, para a fase de mudas. As mudas de *S. parahyba* obtiveram melhor desempenho de crescimento e atingiram altura padrão para serem levadas para plantio em campo com 60 dias após emergência (V4-V3). De forma geral, os parâmetros analisados variaram positivamente com o aumento do volume de água aplicado, confirmado pelos índices de qualidade de Dickson. Os teores de clorofila *a* e *b*, de modo geral obtiveram pouca variação e indicam que a restrição hídrica não foi suficiente para causar danos nutricionais e ao aparato fotossintético das plantas. Entre as espécies estudadas, plantadas em vaso e com suplementação hídrica ideal, as plantas de *C. speciosa* apresentaram maior tendência de crescimento.

**Palavras-chave:** Guapuruvu. Pau-viola; Paineira. Produção de mudas. Crescimento inicial.

## 4.2 ABSTRACT

Seedling quality is one of the determining factors in the success of forest plantations. The growth indicators of native species of the Atlantic Forest, height, diameter of the collection, as well as the parameters dry matter mass, leaf area and chlorophyll content were evaluated in order to evaluate the quality of the plants of *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Cytharexylum myrianthum* Cham. And *Ceiba speciosa* Ravenna, in the seedling phase, in a greenhouse, and initial growth, in a field simulation. Sewage sludge biosolids was used as substrate in the seedling phase (280 cm<sup>-3</sup> tube) and sandy soil material in the initial growth phase (18 dm<sup>-3</sup> pot). The seedlings received four levels of water replacement, applied to the substrate, by drip irrigation, with an average replacement ranging from 40 (V1) to 100% (V4) of the species water requirement. In pots the plants received irrigation according to their water needs. At the end of the seedling production phase, the substrates that received the highest flow obtained a better classification regarding aggregation and presence of live roots. For the three species there was linear growth of height and diameter of the collection as a function of time, for the seedling phase. The *S. parahyba* seedlings had better growth performance and reached a standard height to be taken for planting in the field 60 days after emergence (V4-V3). In general, the parameters analyzed varied positively with the increase in the volume of water applied, confirmed by Dickson's quality indexes. The levels of chlorophyll *a* and *b*, in general, obtained little variation and indicate that the water restriction was not sufficient to cause nutritional damage and to the photosynthetic apparatus of plants. Among the species studied, planted in pots and with ideal water supplementation, plants of *C. speciosa* showed a greater growth tendency.

**Keywords:** Guapuruvu. Pau-viola. Paineira. Seedling production. Initial growth.

### 4.3 INTRODUÇÃO

A preocupação mundial pela qualidade ambiental é cada vez mais frequente e tem proporcionado aumento na demanda por serviços e produtos florestais, em especial na produção de mudas de espécies arbóreas (Leles et al., 2012). Para tanto, a qualidade das mudas é um fator importante, pois as mesmas devem se desenvolver mediante às diversidades que possam acometê-las em campo.

O crescimento de mudas é dependente das características climáticas do ambiente de produção (Alves Junior et al., 2017), que pode ser realizado em viveiros ou em locais controlados como estufas. Além disso, interferem no crescimento e qualidade das mudas a disponibilidade de água, temporal e em volume (Keffer et al., 2019), e o substrato utilizado (Sabonaro & Galbiatti, 2007).

Limitações hídricas podem interferir na dinâmica do crescimento, tanto do sistema radicular quanto da parte aérea, uma vez que secas mais severas podem reduzir a capacidade da planta de converter energia química em biomassa (Mantri et al., 2012). Alterações morfológicas no crescimento também são passíveis de ocorrer tanto em situações de falta ou excesso de água (Anjum et al., 2011), mas as respostas das plantas são complexas e envolvem mudanças adaptativas (Oliveira et al., 2013), variando para cada espécie.

A qualidade da muda também é associada ao substrato utilizado no processo produtivo. O uso do lodo de esgoto, após tratamento e estabilização, vem sendo utilizado na produção de mudas florestais e é promissor por apresentar elevados teores de matéria orgânica e nutrientes, além de melhorar a retenção de água (Siqueira et al., 2019) e proporcionar boa aeração para o desenvolvimento radicular (Lima filho et al., 2019).

Os parâmetros utilizados para seleção de mudas no momento do plantio baseiam-se ou nos aspectos fenotípicos, denominados de morfológicos, ou em aspectos internos das mudas, denominados de fisiológicos (Gomes et al., 2002). Aspectos morfológicos são mais intuitivos e geralmente são mais utilizados. Entretanto, uma análise de qualidade mais criteriosa deve envolver outros parâmetros, tais como o acúmulo de biomassa, a área foliar e o teor de clorofila. Outro fator importante na qualidade das mudas é o tempo de permanência em viveiro, pois quanto mais rápida a muda é produzida, menor será o custo de produção (Souza et al., 2003).

O trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de mudas produzidas sob diferentes níveis de irrigação e em biossólido puro e a evolução do crescimento inicial de três espécies arbóreas florestais de Mata Atlântica produzidas com manejo automatizado de irrigação.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no período de setembro de 2018 a maio de 2019, no município de Seropédica – RJ, e consistiram no plantio de três espécies arbóreas nativas de Mata Atlântica, *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake – Guapuruvu, *Cyatharexylum myrianthum* Chamiaó – Pau-viola e *Ceiba speciosa* Ravenna – Paineira, em tubetes de 280 cm<sup>3</sup> (fase 1) e em vasos de 18 dm<sup>3</sup> (fase 2). O clima regional é do tipo Aw segundo a classificação climática de Köppen, com médias anuais de precipitação e temperatura variando de 1.300 a 1.600 mm e de 22 a 24° C, respectivamente (Alvares et al., 2013). O monitoramento meteorológico dos experimentos foi realizado por uma estação meteorológica (WhatchDog, modelo: 2900ET), contendo sensores de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento, e com armazenamento de dados a cada 30 minutos.

As sementes utilizadas foram coletadas de árvores matrizes da Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. A germinação ocorreu em caixas de areia e 20 dias após emergência (DAE), em 25/09/2018, quando as plântulas apresentavam cerca de 10 cm de altura, foram medidos a altura e diâmetro do coleto e selecionadas 60 mudas homogêneas de cada espécie para o transplante nos tubetes. O material foi colocado sob bancada metálica (0,8 x 1,2 x 3,0 m), e para cada espécie foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento, com sensores de vazão independentes e reservatórios independentes, localizados a 1,70 m acima da bancada (Figura 1). Nos primeiros 3 meses, as mudas se desenvolveram em ambiente climatizado e, posteriormente, foram transplantadas em vasos e levadas para estufa plástica simulando as condições de campo, exceto pelo suprimento de água, feito por irrigação.



**Figura 1.** Bancada experimental com três sistemas de microirrigação por gotejamento, abastecidos por reservatórios independentes.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos (níveis de irrigação) e 15 repetições (tubetes por bandejas). O manejo da irrigação foi realizado por meio do acionador simplificado para irrigação (ASI) (Medici et al., 2010), com desnível entre o sensor e o pressostato de 40 cm, indicando uma tensão de acionamento de aproximadamente 4,0 kPa. Os emissores utilizados foram do tipo microtubo spaghetti (Plasnova, mod. PDAEXT001000354), com 0,8 mm de diâmetro nominal e diferentes comprimentos (80, 50, 35 e 20 cm), que operando a 16,7 kPa, proporcionaram vazões de 1,2; 1,8; 2,1; e 2,9 L h<sup>-1</sup> (*S. parahyba*), 1,1; 1,5; 2,3 e 2,6 L h<sup>-1</sup> (*C. myrianthum*) e 0,7; 1,1; 1,4 e 1,8 L h<sup>-1</sup> (*C. speciosa*), respectivamente, para V1; V2; V3 e V4. Os coeficientes de uniformidade (CUD) calculados em cada bancada experimental foram superiores a 95%. O sensor do ASI foi

instalado nos substratos de duas mudas, para cada espécie, que estavam submetidas ao tratamento de maior vazão (V4).

O volume de água aplicado por tratamento foi mensurado por sensores de fluxo de água (mod. YF-S201b), conectados à uma placa Arduino MEGA (mod. 2560). A fim de evitar eventuais perdas por percolação foi instalado abaixo dos tubetes com planta e substrato que recebiam maior vazão (V4) um sistema composto por um sensor de chuva (mod. HDCL), com acionamento direto via relé, que interrompia a irrigação caso necessária. Os sensores foram instalados em dois tubetes por espécie, totalizando 6 sensores. Os sensores da mesma espécie estavam instalados em série, logo se um fosse acionado havia a interrupção imediata da irrigação para aquela espécie.

O substrato utilizado foi o biossólido puro, obtido de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) gerenciado pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro – CEDAE. As características físicas e químicas do substrato foram obtidas segundo metodologias apresentadas por Fermino (2014) e Teixeira et al. (2017), respectivamente. Os parâmetros físico-hídricos do substrato foram obtidos por meio do método de evaporação simplificado (Schindler, 1980), operacionalizado pelo equipamento comercial Hyprop® (Pertassek, 2015).

A classificação das mudas quanto à agregação do substrato e presença de raízes vivas foi realizada pela metodologia adaptada de Moreira et al. (2016), com análise de 132 mudas. Ao serem retiradas dos tubetes, foram atribuídas notas pelo mesmo avaliador, de acordo com: a facilidade que a muda se desprendia do tubete; a presença de raízes vivas ao longo do substrato; e o tipo de agregação (não desmancha, esfarela pouco e esfarela facilmente – Figura 2). A classificação final adotada foi ideal (1), bom (2) ou ruim (3).



**Figura 2.** Categorias do substrato em ideal (1), bom (2) e ruim (3), conforme agregação e presença de raízes vivas.

Aos 80 dias após emergência (DAE) 16 mudas de cada espécie (4 de cada tratamento) foram transferidas para vasos, preenchidas com material de solo retirado da camada de 0-40 cm de um Neossolo Quartzarênico (Anexo), em área localizada no município de Seropédica. Este solo apresentou horizonte A com cerca de 20 cm de profundidade, seguido de horizonte C até os 120 cm de perfuração. A fração granulométrica dominante é a areia e areia-franca, o pH médio foi de 5,2 e a saturação por base (V), no horizonte A igual a 36 %, que indica um solo de baixa fertilidade. As demais mudas (44 por espécies) foram utilizadas para avaliação da biomassa de parte aérea e sistema radicular.

O plantio em vaso seguiu o mesmo delineamento experimental, caracterizado pelas mudas provenientes dos diferentes tratamentos da primeira fase. Para cada espécie foi instalado um sistema de irrigação independente, sendo aplicada uma lâmina uniforme para todas as plantas de mesma espécie, cujo manejo foi também realizado via ASI. Dois sensores, para cada espécie, foram instalados nos substratos referentes às mudas do tratamento V4, cerca de 15 cm de profundidade, mantendo a tensão de acionamento em cerca de 4 kPa (40 cm de desnível). O sistema de irrigação foi composto por um gotejador por vaso (mod. PCJ – Netafim), de vazão nominal 1,2 L h<sup>-1</sup> sob a pressão de 19,6 kPa. O bombeamento foi realizado por bomba de 1/2 cv e o volume de água aplicado foi mensurado diariamente, por meio de leituras em hidrômetros (Alpha mnf/FAE) instalados na linha de abastecimento, previamente calibrados. Testes de uniformidade indicaram CUD acima de 97,0%.

Em ambas as fases, medidas de altura da planta (cm, medida do colo das plantas até a gema apical, com auxílio de régua graduada), diâmetro de coleto (mm, com auxílio de paquímetro digital) e teor de clorofila (*a* e *b*) com auxílio do clorofilômetro digital ou medidor eletrônico de teor de clorofila (Modelo CFL1030) foram realizadas a cada 15 dias (na fase de tubetes) e 30 dias (na fase de vasos). A leitura de clorofila ocorreu sempre na segunda folha completamente desenvolvida das mudas nos diferentes tratamentos.

Ao final do período experimental, na fase de tubete (80 DAE) e vasos (230 DAE), foram realizadas medidas da área foliar total (AF, em cm<sup>2</sup>), com medidor de área foliar – LI-3100C) e massa da matéria seca da parte aérea (MSPA, em g) e do sistema radicular (MSR, em g). Para as análises de matéria seca, as mudas foram cortadas e separadas a parte aérea do sistema radicular e acondicionadas em sacos de papel, em seguida, foram levadas para estufa a 65 °C até atingir peso constante. A partir dos dados coletados, calculou-se a relação da altura sobre o diâmetro do coleto (Amaral Machado et al., 2008), também conhecida comumente como H/D e o índice de qualidade de Dickson – IQD (Dickson et al., 1960) (Eq. 1).

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{D} + \frac{MSPA}{MSR}} \quad (1)$$

Em que:

MST é massa seca total, em g;

H altura, em cm;

D diâmetro do coleto, em mm;

MSPA massa seca da parte aérea, em g; e

MSR massa seca da raiz, em g.

O tempo necessário para o crescimento das mudas em cada tratamento foi avaliado de acordo com os padrões de altura e diâmetro do coleto utilizados para retirada das mudas dos viveiros para serem plantadas em campo (Davide et al., 2015; Souza Junior e Brancalion, 2016) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores de altura e diâmetro do coleto padrão para que a mudas das espécies arbóreas estudadas sejam levadas a campo para plantio.

Espécie	Altura (cm)	Diâmetro do coleto (mm)
<i>S. parahyba</i>	30,0	5,0
<i>C. myrianthum</i>	25,0	3,0
<i>C. speciosa</i>	30,0	5,0

Para atender os pressupostos da análise de variância, testou-se a normalidade e a homogeneidade de variância do resíduo de cada variável mensurada na última medição, por meio do teste de Bartlett, com 5% de probabilidade. Os tratamentos foram submetidos à análise de variância (inteiramente casualizados) e, havendo significância, a comparação entre eles foi realizada por meio do teste *t*, com 5% de probabilidade. Quando houve significância para os tratamentos, os resultados das vazões aplicadas foram submetidos à análise de regressão. Para todas as análises foi utilizado o software R.

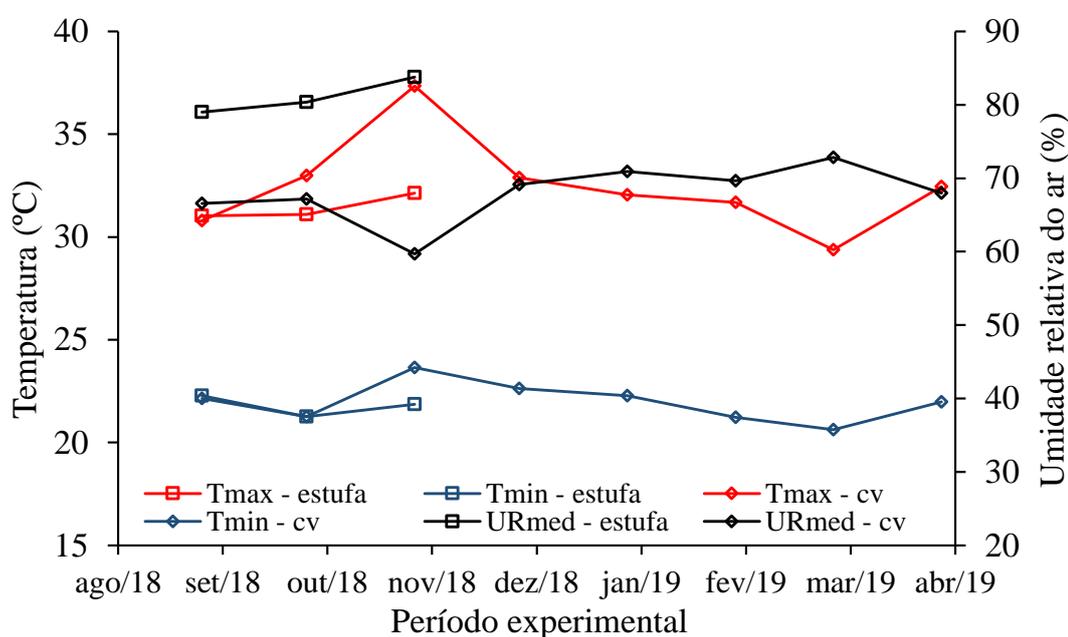
Nos casos em que um mesmo modelo de regressão foi selecionado para diferentes níveis de vazão foi aplicado o teste de identidade de Graybill (2000). Este permitiu verificar a possibilidade de a equação geral representar a relação entre o crescimento em altura e diâmetro do coleto, e teor de clorofila das plantas em função do tempo.

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Caracterização Ambiental e Volume Irrigado

Nos primeiros 60 dias de experimento (primeira fase), de 24/09 e 24/11/2018, houve pequena variação na temperatura e na umidade relativa (Figura 3) em função dos mecanismos de controle do microambiente. A temperatura variou de 32,1 a 21,3°C, com a média diária máxima de 27,0 °C, no mês de outubro. A umidade relativa média para o período foi de 81 %.

Na segunda fase, de 24/11/2018 a 23/04/2019, as mudas transferidas para vasos foram expostas à variação climática local em casa de vegetação. Neste período, houve maior variação de temperatura e umidade relativa do ar, com variações de, respectivamente, 21,2 a 37,3 °C e de 45,2 a 90,8%. Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar são apresentados na Figura 3.



**Figura 3.** Temperaturas máxima e mínima e umidade relativa médias mensais para os períodos experimentais em estufa (condições controladas – de 24/09 a 25/11/2018) e casa de vegetação (de 25/11/2018 a 24/04/2019).

O consumo hídrico total e o número de dias de acionamento do sistema de irrigação (Tabela 2) variaram entre as espécies arbóreas estudadas e fases experimentais. As diferenças de volume aplicado por planta entre as espécies ocorrem pelas características fisiológicas e de crescimento das plantas, uma vez que todas as espécies estavam expostas às mesmas condições ambientais. Para todos os tratamentos e nas duas fases, a espécie *S. parahyba* apresentou maior número de acionamento e volume médio por planta (1,64 L por planta na fase de tubetes), e está relacionado ao maior crescimento da planta, que será apresentado na sequência.

**Tabela 2.** Acionamento do sistema de irrigação e volume total irrigado para os períodos experimentais, por tratamento (V1 a V4) para três espécies florestais arbóreas

Fase	Período (dias)	Espécie	Número de acionamento	Volume irrigado (L por planta)			
				V1	V2	V3	V4
Tubetes	60	<i>S. parahyba</i>	73	0,62	1,49	1,74	2,40
		<i>C. myrianthum</i>	43	0,23	0,55	0,95	1,08
		<i>C. speciosa</i>	52	0,40	0,52	0,66	0,85
Vasos	150	<i>S. parahyba</i>	97	70,0			
		<i>C. myrianthum</i>	88	50,3			
		<i>C. speciosa</i>	94	52,7			

#### 4.5.2 Caracterização do Substrato

As análises químicas do substrato, antes (V0) e após o período experimental, para cada tratamento (V1 a V4) (Tabela 3) indicam que não houve variação estatística, a 5% de significância, para todos os elementos estudados, exceto para o potássio (K) que apresentou redução ao longo do tempo. Os valores médios iniciais dos macronutrientes, N (1,61%), P (0,68%), K (0,27%) e carbono orgânico (9,66%), garantem o fornecimento mineral, sem a necessidade de adubação, principalmente na fase inicial de crescimento em tubetes, visto que Abreu et al. (2017) afirmam que o biofóssido, de forma geral, tem capacidade de fornecer nutrientes para toda a fase de produção de mudas. Aos 80 DAE, a pequena variação nos teores médios dos macronutrientes indica que não houve restrição destes nutrientes, garantindo um crescimento sem limitações. O fato de não haver alterações no nível dos nutrientes (Tabela 3) no substrato indica que, durante toda a fase de produção de mudas, havia nutrientes suficientes para atender às demandas das espécies. Essa reposição pode ter sido abastecida pela degradação da matéria orgânica e também indica que os volumes aplicados pela irrigação não geraram perda de nutrientes por lixiviação.

Os valores de carbono orgânico (CO) (Tabela 3) no início dos experimentos foi de 9,7% e no final da fase experimental variou de 8,3 a 7,3%. Estes valores são considerados altos e poderiam estar associados a solos orgânicos. Caldeira et al. (2013) afirmam que a matéria orgânica encontrada nos substratos compostos por biofóssido, aliado aos teores de nutrientes, principalmente N e P, são responsáveis por maiores taxas de crescimentos de mudas florestais. Segundo Guerrini e Trigueiro (2004), a matéria orgânica é um componente fundamental dos substratos, cuja finalidade básica é aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes para as mudas e está diretamente relacionada ao carbono orgânico.

A eficiência do biofóssido em fornecer matéria orgânica e nutrientes possivelmente está relacionada à baixa relação carbono/nitrogênio (C/N) (Abreu et al., 2017). Segundo Gonçalves et al. (2000), os materiais com altas relações C/N (>18/1) normalmente apresentam alta atividade de microrganismos, que passam a competir com as mudas por nutrientes, principalmente N e S. Neste estudo a relação C/N ficou abaixo de 6, indicando boas condições para o desenvolvimento das plantas.

**Tabela 3.** Caracterização química do substrato, valores médios, antes do período experimental (V0) e para cada tratamento (V1 a V4) no final do período experimental, quando o biossólido estava com cerca de 80 dias no tubete.

T	N	P	K	Ca	Mg	S	CO	C/N	Zn	Fe	Mn	Cu	B	pH	Na
	%								ppm						
V0	1,61 a	0,68 a	0,27 b	1,14 a	0,26 a	0,72 a	9,66 a	5,95 a	705,90 a	23856,30 a	194,03 a	158,17 a	13,17 a	5,32 a	0,014 a
V1	1,48 a	0,64 a	0,16 a	1,23 a	0,23 a	0,80 a	7,50 a	5,11 a	647,90 a	22621,10 a	169,73 a	160,33 a	10,80 a	5,04 a	0,014 a
V2	1,47 a	0,69 a	0,19 a	1,20 a	0,25 a	0,81 a	8,26 a	5,62 a	781,23 a	24698,50 a	205,57 a	160,33 a	10,80 a	5,11 a	0,015 a
V3	1,43 a	0,68 a	0,16 a	1,14 a	0,24 a	0,75 a	7,33 a	5,14 a	689,47 a	24530,07 a	182,53 a	175,50 a	12,20 a	5,17 a	0,014 a
V4	1,48 a	0,70 a	0,19 a	1,20 a	0,22 a	0,77 a	7,95 a	5,14 a	723,30 a	24810,80 a	189,37 a	169,00 a	11,27 a	5,17 a	0,018 a

**Legenda:** T: tratamento; V0: análises de substratos coletados no início do período experimental, em 24/09/2018; V1 a V4: análises de substratos coletados no final do período experimental, em 24/11/2018 e corresponde aos tratamentos com níveis de aplicação de água, sendo o V4 o maior volume de água aplicado. As Médias seguidas na coluna pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O biossólido apresentou valores de pH adequados, tanto no início (5,32) quanto ao final do período experimental (valor médio de 5,12). Essa variável é importante pois interfere na disponibilidade de alguns micronutrientes, podendo causar fitotoxicidade para algumas plantas. Quando são utilizados substratos orgânicos, sem a adição de solo na composição, a recomendação é trabalhar em um intervalo de pH de 4,4 a 6,2 (Kratz e Wendling, 2013). Ferraz et al. (2005) também recomendam a faixa de 5,2 a 5,5 para substratos orgânicos.

Além dos parâmetros de fertilidade, a qualidade das mudas está associada às características físicas do substrato (Maeda et al., 2007). Houve variação significativa de densidade do solo (Ds) e de partícula (Dp) no substrato biossólido entre o início e final da fase experimental (Tabela 4). O aumento da Ds, causada pela acomodação das partículas, leva à redução da porosidade (P). Segundo Burés (1997), os materiais porosos tendem a se acomodar ao longo do tempo, diminuindo a porosidade, gerando deformação permanente. Entre os tratamentos, os maiores valores de Ds e Dp estão associados aos maiores volumes irrigados (V3 e V4), indicando uma maior acomodação das partículas e uma possível decomposição mais acelerada da matéria orgânica, componente que pode elevar os valores de Dp.

**Tabela 4.** Valores de densidade do solo (Ds), densidade de partícula (Dp); e porosidade (P) do substrato, composto por biossólido puro, antes no início (V0) e no final (V1 a V4) do período experimental

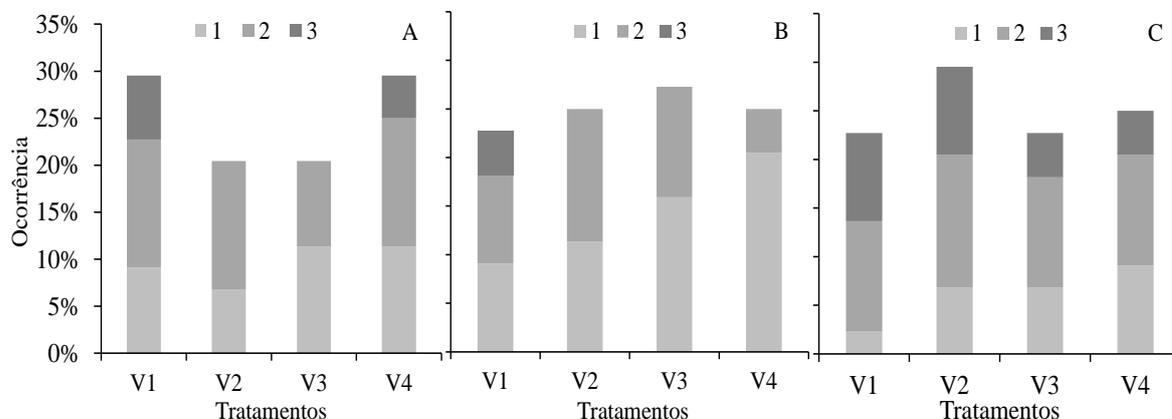
Tratamento	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	Dp (g cm <sup>-3</sup> )	P (%)
V0	0,40 a	1,59 a	75,10 b
V1	0,56 ab	1,63 ab	65,87 a
V2	0,56 ab	1,66 ab	65,70 a
V3	0,62 b	1,72 b	65,53 a
V4	0,61 b	1,83 c	66,53 a

\*Médias seguidas na coluna pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de t a 5% de probabilidade

A agregação do substrato e presença de raízes vivas (Figura 4) permite inferir sobre a sobrevivência da planta no campo e facilidade do manuseio no momento do plantio (Moreira et al., 2016). De forma geral, a maior parte das mudas receberam classificação 1 ou 2, sendo que a categoria 2 prevalece para as espécies *S. parahyba* (Figura 4<sup>a</sup>) e *C. speciosa* (Figura 4C), enquanto a categoria 1 prevalece para a espécie *C. myrianthum* (Figura 2B).

O substrato do tratamento V3 para *S. parahyba* (Figura 4<sup>a</sup>) apresentou os melhores resultados, com 11% de classificação 1, 9% de 2 e nenhuma classificação 3, seguido de V2, com 7% de classificação 1 e 14% de 2. Este resultado indica que o maior (V4) e o menor (V1) volumes aplicados para *S. parahyba* podem ter gerado alguma interferência no desenvolvimento do sistema radicular. Apesar dos resultados serem próximos, os fatores que levaram os substratos desses tratamentos receberem nota 3 foram distintos, havendo em V1 predominância de substratos que esfarelavam rapidamente e com poucas raízes. Para os substratos do tratamento V4, a classificação C ocorreu principalmente em função da baixa

presença de raízes vivas aparentes. Nesses tubetes houve melhor agregação, mas a existência de poucas raízes aparentes pode ter ocorrido por morte ou menor crescimento, quando a planta prioriza o desenvolvimento da parte aérea.



**Figura 4.** Avaliação das mudas quanto à agregação do substrato e presença de raízes vivas nas espécies *S. parahyba* (A), *C. myrianthum* (B) e *C. speciosa* (C), para os tratamentos.

Os substratos dos tubetes com a espécie *C. myrianthum* (Figura 4B) obtiveram a melhor classificação. Apenas os substratos do tratamento com menor vazão (V1) obtiveram classificação 3 (cerca de 5%). A classificação 1 aumentou com o aumento de vazão, atingindo 20% nos substratos provenientes dos tratamentos com maior vazão (V4). Verifica-se que para os substratos com *C. myrianthum*, o aumento do volume aplicado ocasionou melhor desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, melhor agregação do substrato.

Para *C. speciosa* não houve uma definição clara na classificação dos substratos (Figura 4C), mas verifica-se um aumento da classificação 1 com o aumento da vazão, correspondendo a 2, 7, 7 e 9%, respectivamente, para os substratos provenientes dos tratamentos V1 a V4. O menor volume de água demandado pela espécie (Tabela 2) pode ter interferido negativamente na agregação e presença de raízes. Esta espécie tem um sistema de enraizamento diferente das demais espécies estudadas, de forma geral, o sistema radicular da *C. speciosa* é composto por uma raiz principal, as vezes com xilopódio, e poucas secundárias. Por outro lado, espécies *S. parahyba* e *C. myrianthum* possuem grande distribuição de raízes secundárias.

#### 4.5.3 Qualidade das Mudanças e Teor de Clorofila

As mudas de *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa* coletadas aos 80 DAE, na fase de tubetes, apresentaram altura da parte aérea (H) e diâmetro de coleto (D) de acordo com os padrões estabelecidos por Davide et al. (2015) e Souza Junior e Brancalion (2016). (Tabela 1). Houve variação linear de altura (Figuras 5<sup>a</sup>, C e E) e diâmetro do coleto (Figuras 5B, D e F) em função do tempo, na fase de tubetes para as três espécies. Após 15 dias de irrigação com diferentes vazões (35 DAE), as mudas apresentaram os primeiros sinais de diferenciação em termos de crescimento, tanto em altura quanto em diâmetro do coleto. Esta diferenciação se torna mais visível a partir de 50 DAE. De forma geral, o crescimento é maior nos tratamentos que receberam maior volume de água (V4 e V3), sendo o tratamento V1 que se apresenta menor taxa de crescimento para todas as espécies.

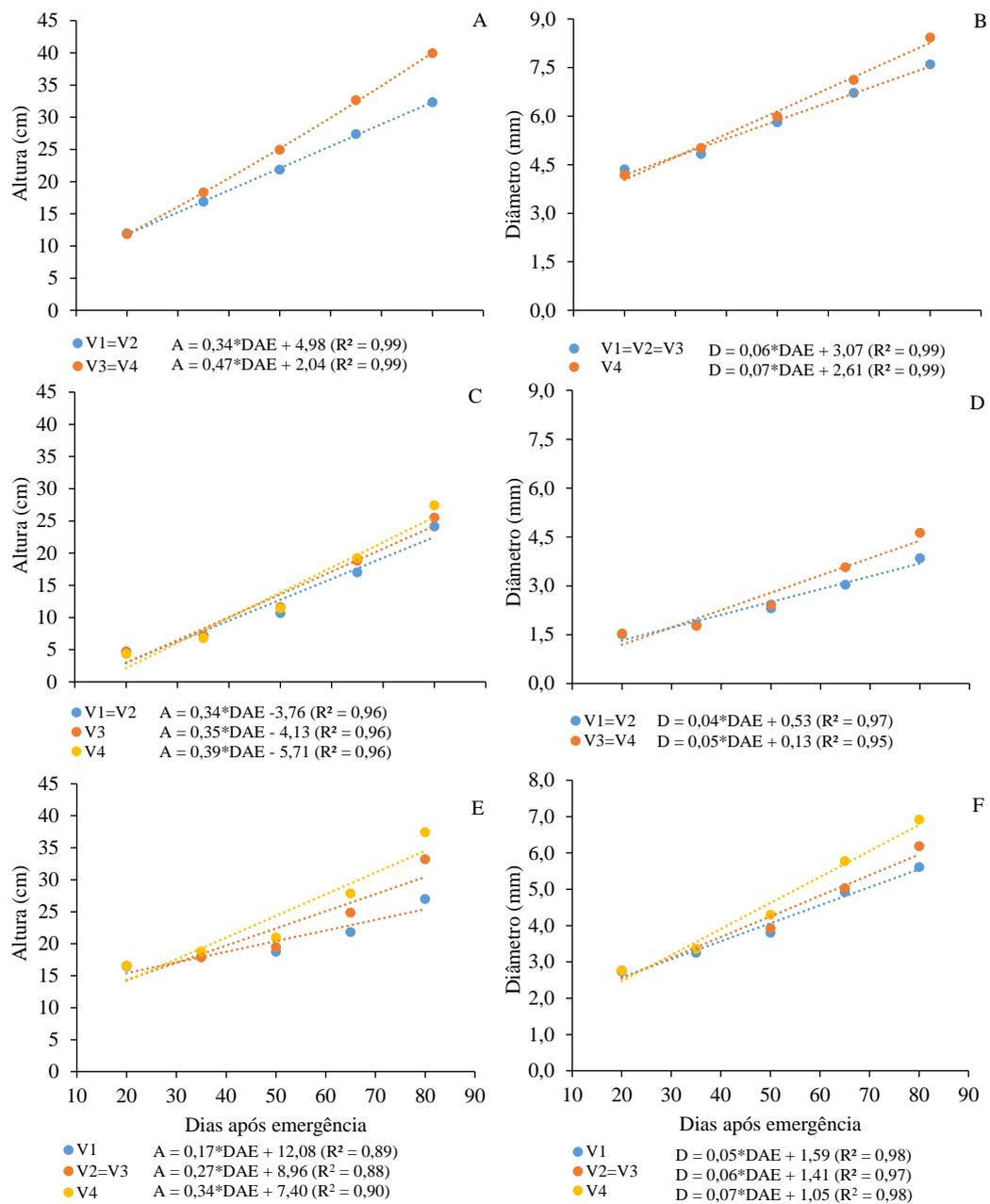
Considerando a equação de regressão e suas identidades, verifica-se que para a espécie *S. parahyba* (Figuras 5<sup>a</sup> e B), a altura (30 cm) e diâmetro do coleto médios (5 mm), considerados

padrões, foram atingidos aos 60 e 68 DAE, para os tratamentos V4-V3 e V1-V2, em termos de altura; e 32 e 34 DAE, para os tratamentos V1-V2-V3 e V4, em termos de diâmetro do coleto. Estes resultados são promissores e mostram que todos os tratamentos foram capazes de produzir mudas em intervalo de tempo muito curto.

Souza et al. (2003) recomendam que as mudas de *S. parahyba* sejam levadas a campo com 25 a 30 cm de altura e com cerca de 90 dias após germinação. Se for considerado apenas este parâmetro, todos os níveis de irrigação garantiriam padrão comercial de produção de mudas. Entretanto, outras características importantes devem ser consideradas para a definição de padrão de qualidade das mudas. Ao estudar a sobrevivência de mudas em campo, Marques et al. (2006) constataram que espécies arbóreas com as maiores alturas apresentaram menores taxas de crescimento e de sobrevivência após o plantio. Desta forma, faz-se necessária a análise e comparação dos demais fatores de qualidade de mudas, como acúmulo de matéria seca, área foliar e teor de clorofila, para que se possa expressar de forma mais abrangente sua qualidade.

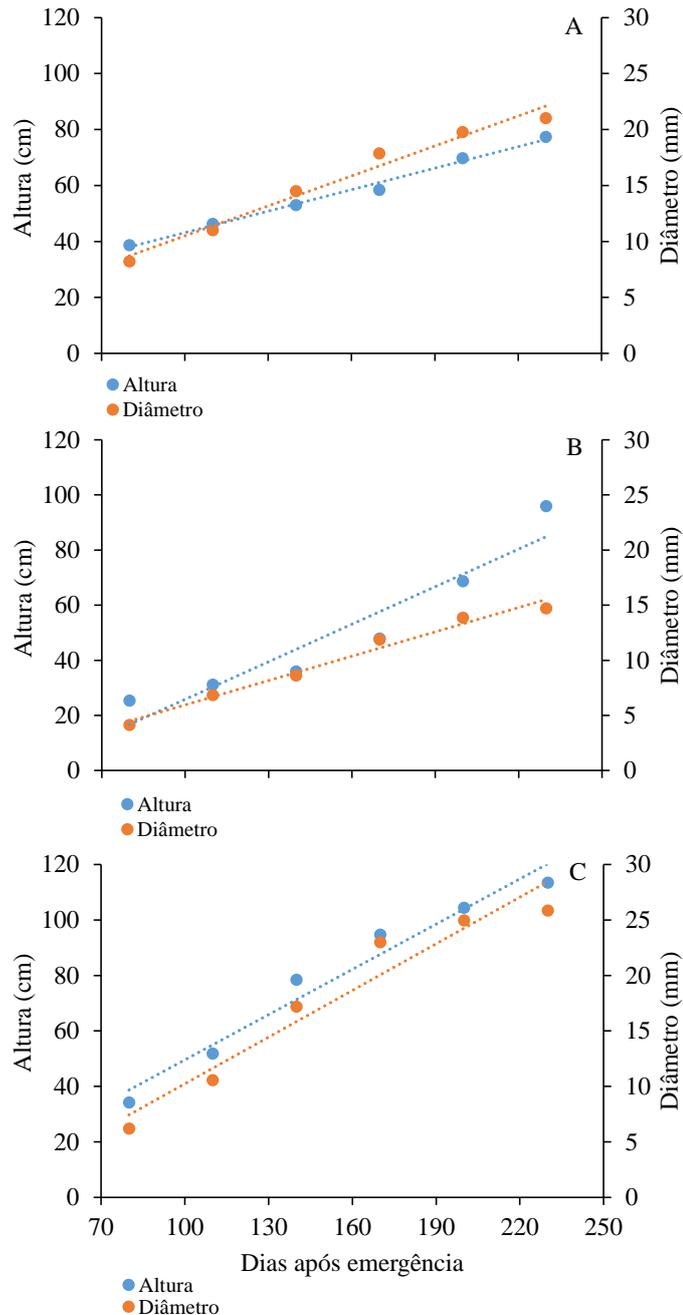
As mudas de *C. myrianthum* (Figuras 5C e D) atingiram valores médios padrões de serem levadas a campo (25 cm e 3 mm) apenas aos 79 DAE no tratamento V4, em termos de altura, e aos 61 (V1-V2) e 63 (V3-V4) DAE, em termos de diâmetro do coleto. Para a variável altura, nos tratamentos V1-V2 e V3 a altura padrão seria atingida em 85 e 83 DAE. Estes resultados indicam que a espécie *C. myrianthum*, nas condições de produção deste estudo, apresentaram melhor desenvolvimento em termos de diâmetro do coleto do que em altura. O tratamento V4 apresentou mudas com melhor desempenho, mas que as demais análises de qualidade vão mostrar se estas possuem padrões de qualidade.

Para as mudas de espécie *C. speciosa* (Figuras 5E e F), os padrões comerciais (25 cm e 5 mm) foram atingidos com 52, 59 e 76 DAE, respectivamente, para os tratamentos V4; V2-V3; e V1, em termos de altura; e 56; 60; 68 DAE, respectivamente, para os tratamentos V4; V2-V3 e V1, em termos de diâmetro do coleto. Estes valores indicam o bom desempenho da espécie *C. speciosa* em todos os níveis de suprimento de água, visto que Souza Junior e Brancalion (2016) consideram o período de 90 a 120 dias ideal para o crescimento das mudas. Nas condições do estudo, verifica-se que em termos de altura e diâmetro do coleto, as mudas da espécie *S. parahyba* apresentaram maior crescimento em menor tempo.



**Figura 5.** Variação da altura (A, C e E) e diâmetro do coleto (B, D e F) ao longo do período experimental em tubetes, para as espécies *S. parahyba* (A e B), *C. myrianthum* (C e D) e *C. speciosa* (E e F). \* significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Em condições de vaso, as variáveis altura e diâmetro do coleto para as espécies *S. parahyba* (Figura 6<sup>a</sup>), *C. myrianthum* (Figura 6B) e *C. speciosa* (Figura 6C) apresentaram médias semelhantes, a 5 % de probabilidade, pelo teste *t*, na primeira medição após plantio em casa de vegetação (aos 110 DAE).



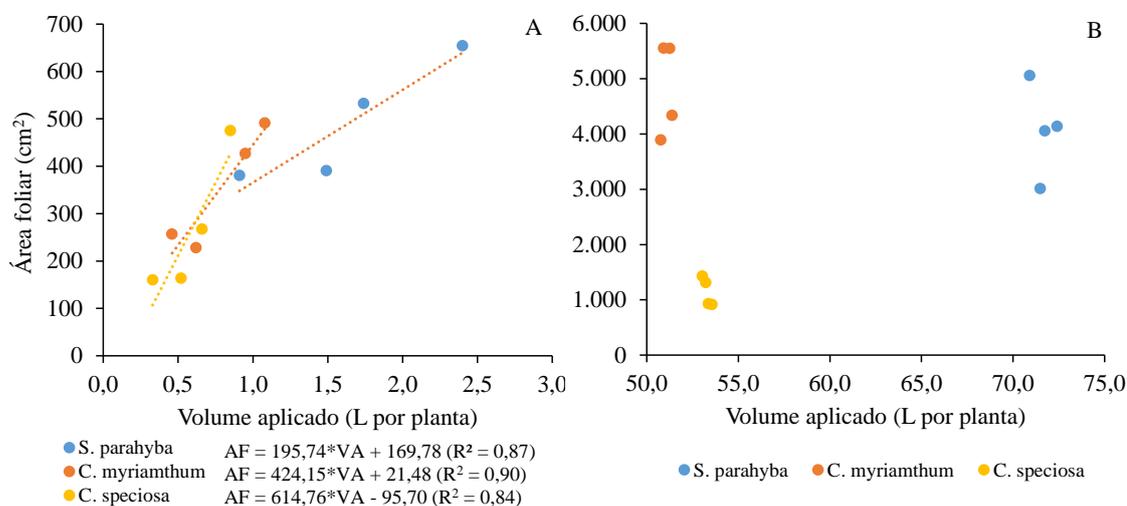
**Figura 6.** Variação da altura e diâmetro do coleto ao longo do período experimental em vasos, para as espécies *S. parahyba* (A), *C. myrianthum* (B) e *C. speciosa* (C). \* significativo a 99% de probabilidade pelo teste t.

Para as três espécies estudadas, o crescimento apresentou a mesma tendência tanto para altura quanto para diâmetro do coleto, indicando rápida recuperação das mudas cerca de 30 dias após plantio em vasos. O coeficiente angular das retas de altura em função do tempo é maior para a espécie *C. speciosa*, seguido de *C. myrianthum* e *S. parahyba*, enquanto para diâmetro do coleto, os maiores valores são para *C. speciosa* seguido por *S. parahyba* e *C. myrianthum* que apresentam valores próximos. Estes resultados indicam maior taxa de crescimento da espécie *C. speciosa*, na fase inicial.

A área foliar média (AF) para as três espécies arbóreas na fase de tubetes (Figura 7<sup>a</sup>) variou linearmente com o volume total médio aplicado (volume acumulado por planta em cada

tratamento), com maior resposta para as mudas de *C. speciosa*. Esta espécie apresentou menores consumos totais médios por tratamento (Tabela 2), indicando melhor aproveitamento de água. As mudas de *C. myrianthum* também apresentam bom desempenho, em relação ao parâmetro área foliar, ficando em posição intermediária entre as espécies estudadas. Por outro lado, as mudas de *S. parahyba*, que apresentam folhas compostas e bipinadas, com folíolos de 2 a 3 cm de comprimento, apresentaram os maiores valores médios de área foliar, mas com menor variação em função do volume aplicado (inclinação da reta). O maior consumo desta espécie pode estar vinculado a maior área foliar média e também ao formato da folha, por apresentar folíolos que aproveitam melhor a recepção da luz.

Após o plantio em condições simuladas de campo, exceto pelo controle total do suprimento hídrico, não houve adequação de regressão para área foliar, em função do volume de irrigação acumulado (Figura 5B), para nenhuma das espécies. Independente do tratamento recebido na fase de tubetes, esse resultado indica que todas as espécies apresentaram bom desenvolvimento em vasos.

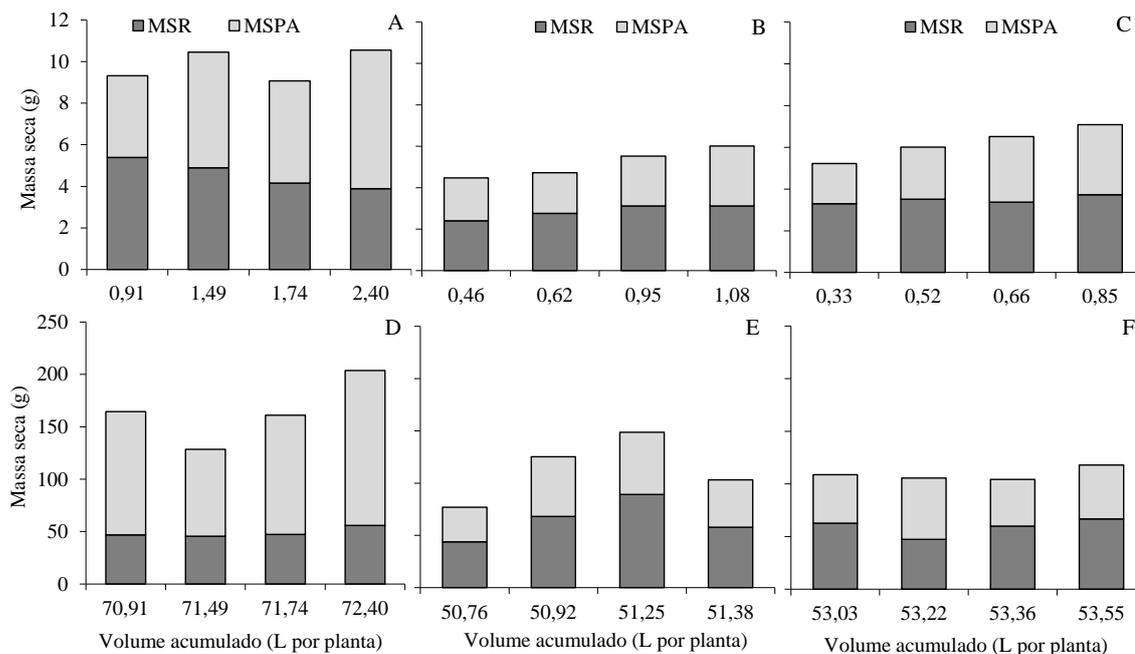


**Figura 7.** Variação da área foliar (AF) em função do volume total de água aplicado por planta (V) para as três espécies arbóreas na fase de tubete, aos 80 dias após emergência (A) e na fase de vasos, aos 230 dias após emergência (B). \* significativo a 95% e probabilidade pelo teste t.

Os maiores valores de biomassa total para a fase de tubete (Figuras 8<sup>a</sup>, B e C) estão associados à espécie *S. parahyba*. Entre os tratamentos, para as três espécies estudadas, os maiores valores correspondem aos maiores volumes de água. Verifica-se também que, de forma geral, as mudas provenientes dos tratamentos que receberam maiores volumes de água de cada espécie apresentam maiores valores de massa seca da parte aérea (MSPA) em relação a massa seca da raiz (MSR). Segundo Schumacher et al. (2004), valores de MSPA maiores que MSR indicam que há suprimento ideal de nutrientes e adequação do crescimento das espécies ao substrato utilizado. No final da fase de vasos, a variação de MSPA e MSR são bem menores e indicam recuperação das mudas.

Para a espécie *S. parahyba* (Figura 8<sup>a</sup>), é possível verificar que há um crescimento da MSPA e um decréscimo da MSR na fase de tubetes, em relação ao aumento do volume médio acumulado por planta, indicando uma adaptação desta espécie. Em condições de suprimento hídrico ideal (V4) ou com suprimento próximo ao ideal (V2 e V3), a planta investe em MSPA, enquanto sob restrição hídrica (V1), a planta tende a aumentar a massa das raízes, como forma de expandir a área de absorção, mas que este mecanismo parece se auto compensar.

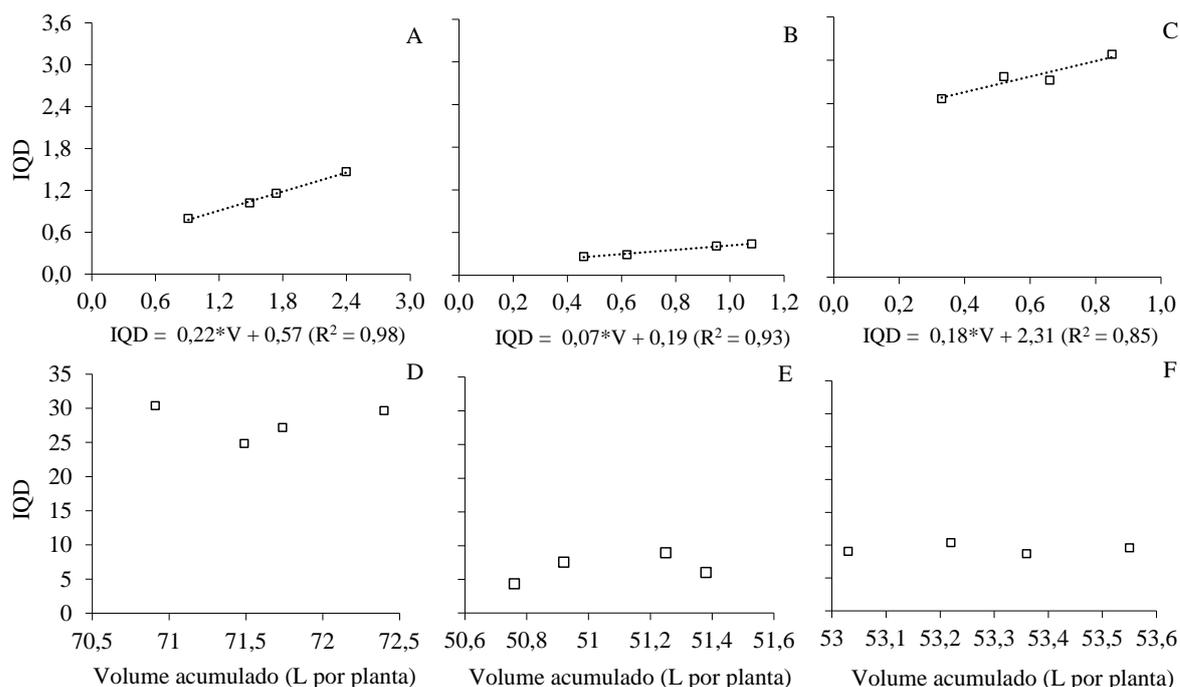
A biomassa total de *C. myrianthum* (Figura 8B) apresenta tendência de crescimento tanto para MSPA, quanto para MSR, em relação ao aumento do volume médio acumulado por planta, na fase de tubetes. Andrade et al. (1999) afirmam que o crescimento de mudas desta espécie, produzidas sob condição de inundação, apresentaram um aumento na massa seca, na relação raiz/parte aérea, na altura, no diâmetro do coleto e algumas alterações morfológicas do caule, como a hipertrofia do colo da planta. Estes resultados sinalizam que esta espécie tem maior adequabilidade a condições onde não haja restrição hídrica, pois há aumento significativo no valor de MST nos tratamentos V3 e V4.



**Figura 8.** Valores médios da massa da matéria seca do sistema radicular (MSR) e da parte aérea (MSPA) em função do volume acumulado por planta, para as espécies arbóreas *S. parahyba* (A e D), *C. myrianthum* (B e E) e *C. speciosa* (C e F), aos 80 (A, B e C) e 230 dias após emergência (D, E e F).

As mudas de *Ceiba speciosa* (Figura 8C) apresentaram valores de MSR iguais para todos os tratamentos na fase de tubetes. Para MSPA, há tendência linear de crescimento em relação ao aumento do volume médio de água acumulado por planta. Nesta espécie houve maior diferenciação entre os tratamentos, em relação a MSPA. Os tratamentos V1 e V2 são iguais, seguidos por V3 e V4. Esta especificidade pode ser considerada como uma maior adequação da espécie à condição ideal de suprimento hídrico, quando há um aumento da parte aérea.

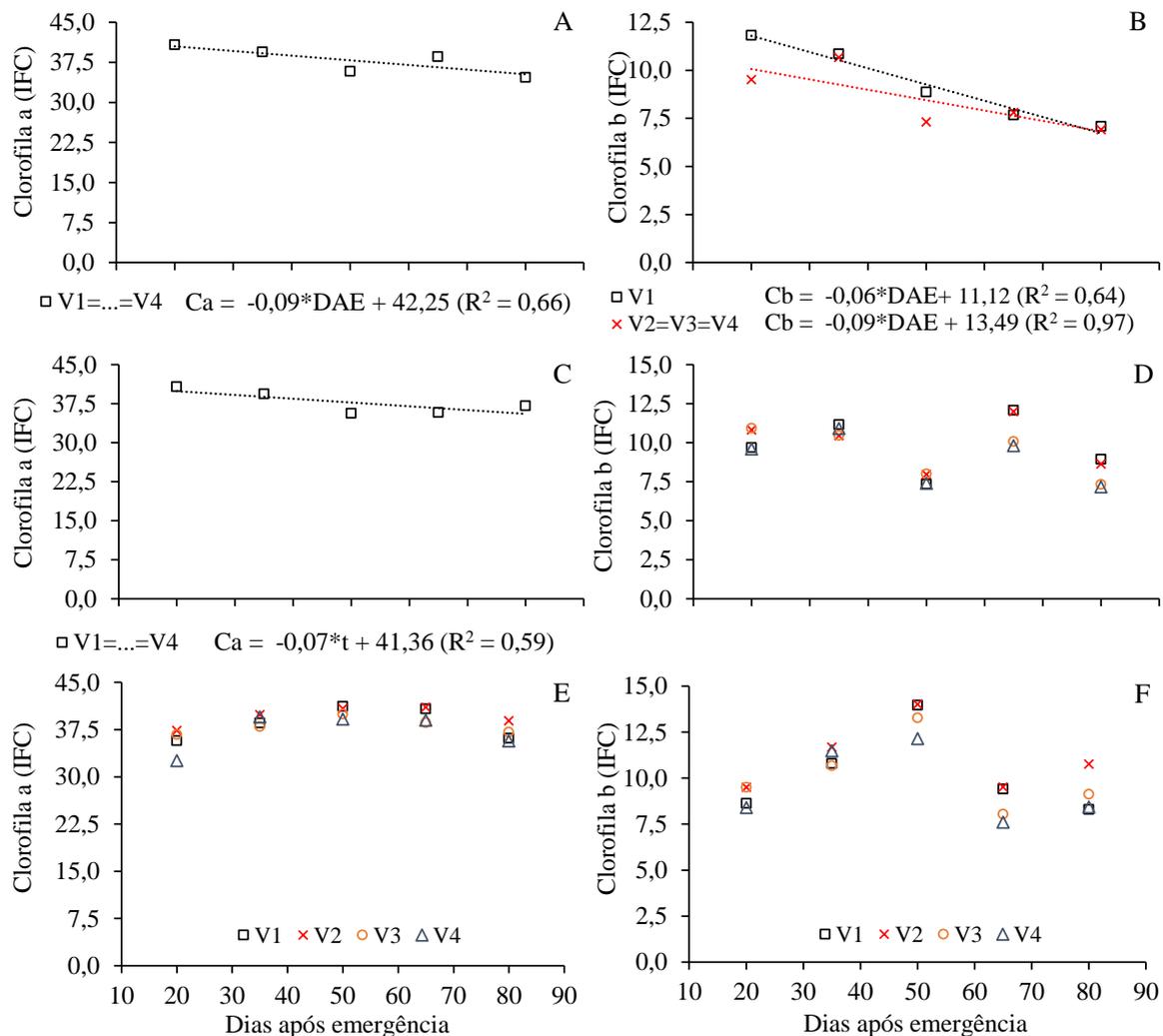
Em linhas gerais, os maiores índices de qualidade de Dickson (IQD) (Figuras 9<sup>a</sup>, B e C), na fase de tubetes estão associados às mudas que receberam maior volume de água e apresentaram crescimento acelerado (Figura 5). Nesta fase há um comportamento linear do IQD em relação ao volume de água irrigado, para as três espécies estudadas. Após o plantio em vasos, o IQD não apresentou variação em função do volume irrigado, confirmando que houve recuperação plena das mudas.



**Figura 9.** Variação do índice de qualidade de Dickson (IQD) em função do volume acumulado por planta (V) para as espécies arbóreas *S. parahyba* (A e D), *C. myrianthum* (B e E) e *C. speciosa* (C e F), aos 80 (A, B e C) e 230 dias após emergência (D, E e F). \* significativo a 95% e probabilidade pelo teste t.

Os teores de clorofila *a* apresentaram variação significativa em relação aos volumes de água para as espécies *S. parahyba* (Figura 10<sup>a</sup>) e *C. myrianthum* (Figura 10C), enquanto o teor de clorofila *b* variou significativamente para *S. parahyba* (Figura 10B). A tendência observada é a diminuição dos teores de clorofila com o aumento do volume de água aplicado. Em linhas gerais, isso significa que o teor de clorofila teve pouca resposta a restrição hídrica aplicada e, nos casos que houve variação os menores valores parecem estar relacionados a maior diluição dos cloroplastos, dado a um maior crescimento das mudas que receberam maior volume de água(Figura 5).

A espécie *S. parahyba* apresentou a maior taxa de crescimento (Figuras 3<sup>a</sup> e B) e biomassa (Figuras 5<sup>a</sup> e B) na fase de tubetes e, aliado aos resultados de agregação dos substratos (Figura 2), acredita-se que ao final da fase experimental essa equiparação dos indicativos de crescimento, entre os tratamentos avaliados, foi responsável pela diminuição dos teores de clorofila, causado pela diluição dos cloroplastos nos tecidos das plantas. Ademais, com o passar do tempo, as plantas que tiveram maior crescimento exigiram mais água e as plantas menores continuaram a receber proporcionalmente a irrigação o que altera a relação de volume recebido, favorecendo aquelas dos tratamentos com menores volumes aplicados.



**Figura 10.** Variação do teor de clorofila *a* e *b* durante o período experimental para as espécies arbóreas *S. parahyba* (A e D), *C. myrianthum* (B e E) e *C. speciosa* (C e F). \* significativo a 95% e probabilidade pelo teste t.

A seca leve pode causar aumento do conteúdo de clorofila devido ao baixo crescimento das folhas, enquanto secas severas podem levar à degradação da clorofila (Valença et al., 2018). Tal efeito pode ser explicado pela desproporcionalidade ou diluição do teor de N (não mensurado) nas plantas com maior crescimento, que corresponde aos tratamentos de maior volume irrigado. Booiij et al. (2000) afirmam que é possível relacionar o teor de clorofila com o estado nutricional da planta devido ao fato de a quantidade desse pigmento correlacionar-se positivamente com teor de N na planta. Como houve pouca variação do teor de clorofila *a* e *b*, presume-se que a restrição hídrica não foi suficiente para causar danos nutricionais às plantas que receberam menor volume de água e que nas plantas de maior crescimento, que receberam maior volume, os menores valores de clorofila *a* e *b* estão relacionados a diluição dos cloroplastos causada pelo crescimento acelerado.

## 4.6 CONCLUSÕES

As mudas que receberam maior volume médio de água por planta obtiveram maior taxa de crescimento em altura e diâmetro do coleto para as três espécies estudadas.

*S. parahyba* apresentou maior consumo médio por planta e maior crescimento, na fase de produção de mudas.

Os maiores índices de qualidade de Dickson, na fase de produção de mudas, estão associados às plantas que receberam maior volume de água e apresentaram crescimento acelerado, em altura e diâmetro do coleto.

As plantas de *C. speciosa* apresentaram maior tendência de crescimento quando plantadas em vaso e com suplementação hídrica a 100% de sua capacidade de absorção.

Os teores de clorofila *a* e *b* apresentaram pouca variação, indicando que os níveis de restrição hídrica avaliados não foram suficientes para causar danos nutricionais às plantas que receberam menor volume de água.

## 4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.H.M.; LELES, P.S.S.; & FERREIRA, D.H.A.A. 2017. Characterization and potential of formulated substrate with biosolids in *Schinus terebinthifolius* Raddi. And *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos seedling production. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509830300>
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES JÚNIOR, J.; BARBOSA, L. H. A.; & VELLAME, L. M. African mahogany submitted to drip irrigation and fertilization. **Revista Árvore**, v. 41, n. 1, 2017. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000100012>
- AMARAL MACHADO, S.; NASCIMENTO, R. G. M.; & TÉO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5, 2008.
- ANDRADE, A. C. S. D.; RAMOS, F. N.; & BASTOS, R. Flooding effects in seedlings of *Cyatharexylum myrianthum* Cham. And *Genipa americana* L.: responses of two neotropical lowland tree species. **Brazilian Journal of Botany**, v. 22, p. 281-285, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-84041999000500009>
- ANJUM, S.; XIE, X.; & LEIN, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>
- BOOIJ, R.; VALENZUELA, J.L.; AGUILERA, C. Determination of crop nitrogen status using non-invasive methods. In: HAVERKORT, A.J.; MACKERRON, D.K.L. (Eds.). Management of nitrogen and water in potato production. The Netherlands, **Wageningen Pers**, p.72-82, 2000.
- BURÉS S. Sustratos. Madrid: **Ediciones agrotécnicas**. 341p. 1997.
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; & JUVANHOL, R. S. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 31-39, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000100004>
- DAVIDE, A. C; MELO, L.; & CARVALHO, R. Fatores que afetam a qualidade de mudas destinadas aos projetos de restauração de ecossistemas florestais. Davide, AC & Botelho, SA **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais**, v. 25, p. 181-274, 2015.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronology**, Toronto, v. 36, p. 10-13, 1960. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- FERMINO, M. H. Substratos: composição, caracterização e métodos de análise. **Guaíba: Agrolivros**, v. 111, 2014.

- FERRAZ, M. V.; CENTURION, J. F.; & BEUTLER, A. N. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 27, n. 2, p. 209-214, 2005.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; & GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, v. 39, n. 2, p. 201-209, 2017. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600002>
- GONÇALVES, J. L. M.; VAZ, L. M. S.; & POGGIANI, F. Aplicabilidade de lodo de esgoto em plantações florestais: 2- efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: **EMBRAPA Meio Ambiente**, p. 179-195, 2000.
- GRAYBILL, F. A. Theory and application of the linear model. **Belmont: Duxbury**, 2000. 704p, 2000.
- GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa, MG, v. 28, p. 1069-1076, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000600016>
- KEFFER, J. F.; SILVA, C. C. D.; & DIAS, T. K. Evapotranspiration and water sensitivity of Amazonian yellow ipe seedlings under different shading conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 10, p. 733-740, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p733-740>
- KRATZ, D.; & WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 43, n.1, p. 125-136, 2013. <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V43I1.25989>
- LELES, P. S. D. S.; LISBOA, A. C.; & FERREIRA, M. A. Qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em diferentes tubetes. *Floresta e Ambiente*, v. 13, n. 1, p. 69-78, 2013.
- LIMA FILHO, P.; LELES, P. S. S.; & FONSECA, A. C. D. Produção de mudas de *Ceiba speciosa* em diferentes volumes de tubetes utilizando o biossólido como substrato. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 1, p. 27-39, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509819340>
- MAEDA, S.; DEDECEK, R. A.; & DA SILVA, H. D. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, n. 54, p. 97-104, 2007.
- MANTRI, N.; PATADE, V.; & PANG, E. Abiotic stress responses in plants: present and future. In: AHMAD, P.; PRASAD, M. N. V. (Ed.). Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability. New York: **Springer**, p. 1-19, 2012.
- MARQUES, V. B.; PAIVA, H. N. D.; & BERNARDINO, D. C. D. S. Efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre o crescimento inicial e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. Ex Benth.). *Revista Árvore*, v. 30, n. 5, p. 725-735, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500006>

- MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S. D.; CARVALHO, D. F. D.; PIMENTEL, C.; & AZEVEDO, R. A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 6, p. 727-730, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600016>
- MOREIRA, G. G., LEMOS, C. D., & PIRES, G. T. A qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* impacta o aproveitamento final de mudas, a sobrevivência e o crescimento inicial. **Série Técnica-Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, v. 24, n. 45, 2016.
- OLIVEIRA, W. L. D.; MEDEIROS, M. B. D.; & OLSEN, L. B. Regeneração e estrutura populacional de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.), em dois fragmentos com diferentes graus de perturbação antrópica. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 4, p. 876-884, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000400014>
- SABONARO, D. Z.; & GALBIATTI, J. A. Efeito de níveis de irrigação em substratos para a produção de mudas de ipê-roxo. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, p. 95-102, 2007.
- SANTOS, R. B.; SOUZA, A. P.; & SIQUEIRA, J. L. Planejamento da pulverização de fungicidas em função das variáveis meteorológicas na região de Sinop-MT. **Global Science and Technology**, v.6, p.72-88, 2013. <http://dx.doi.org/10.14688/1984-3801.v06n01a07>
- SCHINDLER, U. A fast method for measuring the water-permeability in partial-saturated soil using piercing cylinder samples. **Plant construction Field**, p. 1-7, 1980.
- SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico vermelho (*Parapiptadenia rígida* (Bentham). Brenan). *Revista Árvore*, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.
- SIQUEIRA, D. P.; BARROSO, D. G.; & MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Plathymenia reticulata* Benth. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 2, p. 728-739, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509827297>
- SOUZA JUNIOR, C. N.; & BRANCALION, P. H. S. Sementes e mudas: guia para propagação de árvores brasileiras. **Oficina de textos**, São Paulo, s/n, 463p, 2016.
- SOUZA, C. R.; ROSSI, L. M. B.; DE AZEVEDO, C. P.; & VIEIRA, A. H. Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby. **Embrapa Amazônia Ocidental-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2003.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; & TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Embrapa. 573p., 2017.
- VALENÇA, D.C.; CARVALHO, D.F.; & MEDICI, L.O. Automatically controlled deficit irrigation of lettuce in organic potponics. **Scientia Agricola**. V. 75, n. 1, p. 52-59, 2018. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0331>

## **5 CAPÍTULO III**

### **USO DA ÁGUA NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA MATA ATLÂNTICA EM DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO**

## 5.1 RESUMO

O aumento da demanda por mudas de espécies arbóreas nativas torna importante a determinação de suas necessidades hídricas e de luminosidade, que são fatores importantes na otimização dos custos e do tempo de produção. O uso da água no crescimento de mudas de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr e *Hymenaea courbaril* L. foi determinado em quatro níveis de sombreamento, utilizando delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições. A altura, o diâmetro do coleto, a área foliar e a biomassa foram avaliadas, assim como o índice de qualidade de Dickson (IQD). As mudas foram transplantadas em tubetes de 280 cm<sup>3</sup>, preenchidos com bio sólido puro, e irrigadas por gotejamento com manejo automático. Os volumes totais de água aplicados foram 2,81; 2,14 e 2,86 L por planta, respectivamente, para *D. nigra*, *A. leiocarpa* e *H. courbaril*, e os maiores volumes foram aplicados, respectivamente, com 37 e 58% de sombreamento (3,1 L por planta), 37% de sombreamento (2,5 L por planta) e a pleno sol (3,8 L por planta). Independente da espécie, os maiores volumes de água foram aplicados nos tratamentos que proporcionaram maiores IQD. Os índices de crescimento indicam que os sombreamentos de 37 e 58 %; 37 % e a pleno sol são, respectivamente, os mais recomendados para *D. nigra*, *A. leiocarpa* e *H. courbaril*, confirmados pelo IQD. Maiores valores de produtividade de água (PAi) foram obtidos para *H. courbaril*, com sombreamentos de 37 e 58%, que receberam, respectivamente, 82,6 e 77,8% do volume de água aplicado no tratamento a pleno sol.

**Palavras-chave:** Manejo automático da irrigação. Bio sólido. Jacarandá-da-bahia. Garapa. Jatobá

## 5.2 ABSTRACT

The increased demand for seedlings of native tree species makes it important to determine their water and light needs, which are important factors in optimizing production costs and time. The use of water in seedlings growth of *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr and *Hymenaea courbaril* L. was determined in four levels of shading, using a randomized block design, with 4 repetitions. Height, stem diameter, leaf area and biomass were evaluated, as well as Dickson's quality index (IQD). The seedlings were transplanted in tubes of 280 cm<sup>3</sup>, filled with pure biosolids, and drip irrigated with automatic irrigation management. The total volumes of water applied were 2.81; 2.14 e 2.86 L per plant, respectively, for *D. nigra*, *A. leiocarpa* and *H. courbaril*, and the highest volumes were applied, respectively, with 37 and 58% shading (3.1 L per plant), 37% shading (2.5 L per plant) and full sun (3.8 L per plant). Regardless of the species, the highest volumes of water were applied in the treatments that provided the highest IQD. The growth indices indicate that the shadings of 37 and 58%; 37% and full sun are, respectively, the most recommended for *D. nigra*, *A. leiocarpa* and *H. courbaril*, confirmed by the IQD. Higher values of water productivity (Pai) were obtained for *H. courbaril*, with shading of 37 and 58%, which received, respectively, 82.6 and 77.8% of the volume of water applied in full sun treatment.

**Keywords:** Automatic irrigation management. Biosolid. Jacaranda-da-bahia. Garapa. Jatoba

### 5.3 INTRODUÇÃO

A produção de mudas de espécies arbóreas nativas se faz necessária devido ao aumento da demanda por projetos de restauração ambiental (Scalon et al., 2011), principalmente na Mata Atlântica que possui apenas 12,5% da sua cobertura original e é considerado um dos biomas mais ameaçados do mundo (Santos et al., 2019). Além da recomposição florestal, muitas espécies são cultivadas para fins econômicos (Delgado et al., 2017), e o sucesso do plantio depende da qualidade das mudas, que é influenciada pelo suprimento hídrico, microclima local (Keffer et al., 2019), substrato utilizado e manejo (Davide et al., 2015).

Em viveiros de espécies arbóreas normalmente não há manejo de irrigação e por isso, perdas de até 70% da água aplicada já foram constatadas (Dumroese et al., 2005). Desta forma, a determinação da necessidade hídrica das espécies permite o ajuste no funcionamento do sistema de irrigação nos viveiros, gerando economia de água e nutrientes, garantindo a produção eficaz de mudas. Além da água, o crescimento de mudas florestais em viveiros, principalmente das espécies utilizadas em processos de restauração florestal, sofre influência direta de fatores como temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade (Reis et al., 2016). As espécies consideradas tolerantes ao sombreamento são capazes de sobreviver por longos períodos sob o dossel, por conseguirem desenvolver adaptações no processo da fotossíntese, enquanto plantas que demonstram mecanismo de escape tendem a maximizar a interceptação de luz adaptando seu crescimento e ocupando lacunas do dossel (César et al., 2014).

A disponibilidade de nutrientes no substrato também afeta o desenvolvimento de mudas. De acordo com Dantas et al. (2009), o substrato deve proporcionar condições adequadas à germinação e ao crescimento inicial das mudas, apresentando boas características físicas e químicas. Nesse sentido, o biossólido, proveniente da estabilização do lodo de esgoto, é uma alternativa para produção de mudas (Abreu et al., 2017) e seu uso pode minimizar a ocorrência de problemas ambientais (Caldeira et al., 2013), em função da necessidade de um destino final adequado a este resíduo (Alleoni et al., 2012).

Dentre as espécies florestais arbóreas utilizadas em restauração florestal, a *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth, a *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr e a *Hymenaea courbaril* L. são classificadas como de crescimento secundário e ocorrem em todo o Brasil (Lorenzi, 2014). Popularmente conhecida como jacarandá-da-bahia, a *D. nigra* é utilizada na fabricação de móveis e instrumentos musicais, além de construção e recuperação de áreas degradadas (Costa et al., 2015). Em função da sua durabilidade natural, seu alto valor de mercado tem contribuído para sua exploração inadequada (Ataíde et al., 2016), tornando-a como de alto risco de extinção (Gasson et al., 2010). A *A. leiocarpa* possui regeneração abundante nas florestas secundárias e segundo Carvalho (2003) tolera entre 50 a 70% de sombreamento. Sua madeira é resistente e muito utilizada na construção de estruturas externas. A *H. courbaril* possui habilidade para se desenvolver em ambientes com diferentes características edafoclimáticas (Nascimento et al., 2011). É intensamente explorada devido ao seu porte (altura e diâmetro do coleto) e às boas características físicas de sua madeira (Lacerda et al., 2008), sendo muito utilizada na construção civil e na indústria de móveis (Tiago et al., 2018).

Essas espécies são comumente produzidas em viveiros florestais, normalmente sem manejo dos sistemas de irrigação. Portanto, a identificação da quantidade ideal de água e luminosidade pode contribuir na otimização dos custos de produção de mudas florestais. Este estudo avaliou a produção e o uso de água em mudas de três espécies arbóreas de ocorrência da Mata Atlântica, submetidas a quatro níveis de sombreamento, com manejo de irrigação automatizado e em substrato com biossólido puro.

## 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no período de julho a dezembro de 2019 em área experimental do campus da UFRRJ, no município de Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, Brasil (22°46'29.55" S e 43°41'12.16" O). O clima regional é do tipo Aw segundo a classificação climática de Köppen, com médias anuais de precipitação e temperatura variando de 1.300 a 1.600 mm e de 22 a 24° C, respectivamente (Alvares et al., 2013).

As mudas das espécies arbóreas *Dalbergia nigra* (Jacarandá-da-Bahia), *Apuleia leiocarpa* (Garapa) e *Hymenaea courbaril* (Jatobá) foram avaliadas sob 4 níveis de sombreamento, em delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições. As sementes foram provenientes de árvores matrizes da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro e após cerca de 20 dias de acondicionamento em caixas de areia para germinação, as plântulas foram selecionadas e transplantadas para tubetes de 280 cm<sup>3</sup> instalados em bandejas plásticas e acondicionadas sob bancadas metálicas com dimensão de 0,8 x 1,2 x 1,5 m. A parcela experimental foi composta por uma bandeja, cujo número de tubetes variou em função da disponibilidade de mudas homogêneas para cada espécie no início dos experimentos, totalizando 128, 160 e 96 tubetes para *D. nigra*, *A. leiocarpa* e *H. courbaril*, respectivamente.

Os tubetes foram preenchidos com biossólido puro (lodo de esgoto), que é rico em nutrientes e matéria orgânica (Abreu et al., 2017) e apresenta qualidades físicas e químicas adequadas para produção de mudas de espécies arbóreas nativas, principalmente sendo produzidas em tubetes de 280 cm<sup>3</sup> (Sousa et al., 2019). Detectou-se, com análise de nutrientes totais, 1,61% de N, 0,68% de P, 0,27% de K e 9,66% de carbono orgânico. Os parâmetros físico-hídricos do substrato foram obtidos por meio do método de evaporação simplificado (Schindler, 1980), operacionalizado pelo equipamento comercial Hyprop® (Pertassek, 2015). A densidade média das partículas (Dp) foi de 1,71 g cm<sup>-3</sup> e a densidade global ou do solo (Ds) de 0,74 g cm<sup>-3</sup>, compatíveis com as características físicas de solos húmicos (Dp inferior a 2,65 g cm<sup>-3</sup> e Ds de 0,75 a 1,0 g cm<sup>-3</sup>). Aproximadamente 70% do diâmetro médio das partículas estão entre 1,0 e 0,5 mm, indicando que o substrato tem alto valor de superfície específica.

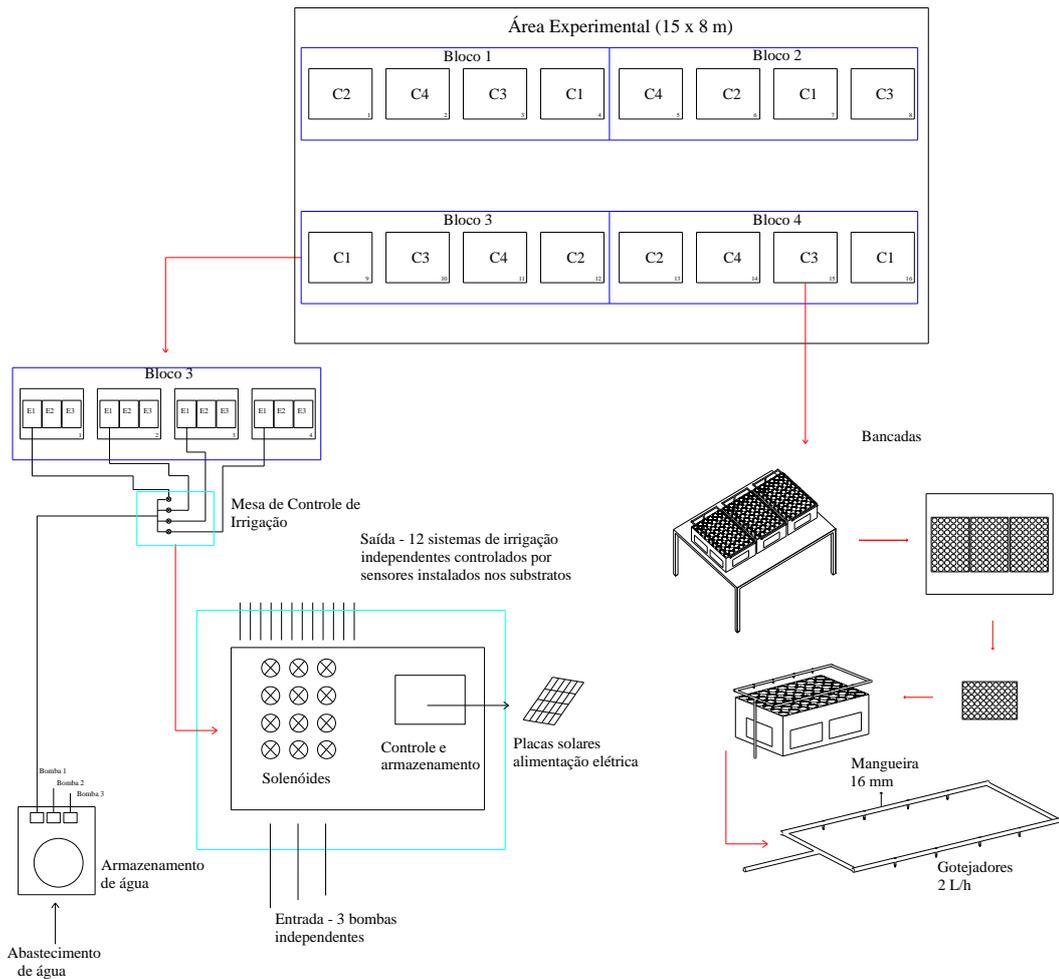
As bancadas foram revestidas, superior e lateralmente, por telas agrícolas poliolefinas comerciais na cor preta (sombrite), com sombreamento nominal de 35, 50 e 80%, exceto as bancadas que permaneceram a pleno sol. A fim de melhor caracterizar os tratamentos, a iluminância das coberturas foi avaliada durante 6 dias, em intervalos de 1 hora, utilizando um luxímetro digital (mod. LD-400, Instrutherm), bem como a radiação solar e a radiação fotossinteticamente ativa, utilizando, respectivamente, um piranômetro (mod. MP-200, Apogee) e um medidor Quantum (mod. MQ-200, Apogee). Os valores médios diários de iluminância foram de 74.238 (C1), 46.395 (C2), 31.620 (C3) e 5.813 Lux (C4), caracterizando, respectivamente, os tratamentos em 0 (pleno sol), 38, 57 e 92% de atenuação da iluminância (Tabela 1).

**Tabela 1.** Porcentagens médias de iluminância, radiação solar global (Rs) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para diferentes telas pretas comerciais

Tratamentos*	Iluminância (Lux – lm m <sup>-2</sup> )	Rs (W m <sup>2</sup> )	PAR (mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
C2 (38%)	62,50 ± 8,84	56,19 ± 15,91	55,80 ± 7,46
C3 (57%)	42,59 ± 14,75	31,97 ± 7,14	36,50 ± 6,46
C4 (92%)	7,83 ± 1,02	10,26 ± 2,57	9,60 ± 3,37

\* C1 corresponde ao tratamento em pleno sol; \*\* média +- desvio padrão.

Para cada espécie e nível de sombreamento foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento com aplicação automática de água, composto de linhas laterais de polietileno (16 mm) com um gotejador por tubete (mod. PCJ – Netafim), de vazão nominal 1,20 L h<sup>-1</sup> (Figura 1). Após a realização de testes de vazão (Tabela 2) o sistema apresentou uniformidade de distribuição superior a 95%. A pressurização do sistema de irrigação foi realizada por 3 bombas de corrente contínua (mod. 22-2361, Shurflo, 12 VDC), responsáveis pela irrigação de cada espécie individualmente. A alimentação elétrica foi efetuada por dois módulos fotovoltaicos (mod. YL140p-17b, Yingu Solar, 140 W e 22,3 V) e 3 baterias, ligadas em série. O volume de água aplicado foi mensurado por um sistema eletrônico de controle (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema experimental (sem escala) com detalhes e distribuição das bancadas, e unidades de apoio (sistema de abastecimento e armazenamento de água e controle de irrigação).

O manejo da irrigação foi realizado por meio do acionador simplificado para irrigação (ASI) (Medici et al., 2010), que opera em resposta à tensão da água no solo/substrato e é regulado pela diferença de nível entre uma cápsula porosa (sensor) e um pressostato. Foram utilizados 12 acionadores independentes, um para cada tratamento cujos sensores foram confeccionados a partir de uma vela de filtro comercial, gerando microcápsulas cerâmicas. Os sensores foram instalados verticalmente no substrato a profundidade de 5 cm, com desnível de 40 cm em relação ao pressostato, responsável pela regulagem do acionamento de cada um dos sistemas de irrigação. Quando a tensão de água no substrato atingia, aproximadamente, -4,0

kPa, o pressostato permitia a passagem de corrente elétrica acionando a bomba e a válvula solenóide correspondente, liberando a passagem de água pelo tubo central.

Para o monitoramento do momento e tempo de irrigação em cada tratamento, instalou-se um sistema eletrônico de coleta e armazenamento de dados (Figura 1), composto por um Arduino Mega programado para efetuar leitura a cada segundo, Cartão SD e divisores de tensão instalados em cada tratamento, de modo que quando o acionador de irrigação iniciava uma irrigação era gerado um nível alto na porta analógica do controlador, indicando o início e o final da irrigação.

**Tabela 2.** Vazões médias dos emissores ( $L h^{-1}$ ) em cada tratamento, usado para a produção de mudas de três espécies arbóreas.

Tratamentos	Experimentos/espécies		
	<i>D. nigra</i>	<i>A. leiocarpa</i>	<i>H. courbaril</i>
	Vazão ( $L h^{-1}$ )		
C1	1,27	1,08	1,19
C2	1,28	1,20	1,27
C3	1,22	1,21	1,21
C4	1,23	1,14	1,21

A fim de evitar perdas de água por percolação nos tubetes, o sistema eletrônico de coleta e armazenamento de dados foi programado para interromper o fornecimento de energia aos sistemas de irrigação durante um minuto, a cada minuto de irrigação. Caso a energização do pressostato continuasse ativa, o sistema de irrigação era acionado novamente. Este procedimento se repetia até que o pressostato fosse desligado pelo sistema automático de irrigação, em resposta ao aumento da tensão de água no substrato.

O monitoramento meteorológico na condição de pleno sol foi realizado a partir dos dados da estação do INMET (Ecologia Agrícola – A601), instalada no município de Seropédica, que disponibiliza informações a cada hora. Com os dados meteorológicos, a evapotranspiração de referência (Eto) foi estimada diariamente pelo método de Penman Montheith FAO-56 (Allen et al., 1998). Para determinação da umidade relativa do ar e temperatura, foram instalados no interior das bancadas com os diferentes níveis de sombreamento, instalados termohigrômetros digitais (mod. HT-4010, Icel), configurados para armazenar os dados a cada 30 minutos. Para cada tratamento, o déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado conforme Allen et al. (1998).

As variáveis altura da planta (H) e diâmetro de coleto (D) foram mensuradas a cada 30 dias em todas as mudas de todos os tratamentos. Ao final do período experimental foram realizadas leituras da área foliar total (AF, em  $cm^2$ ), com medidor de área foliar (LI-3100C) e determinação da massa da matéria seca total (MST) (biomassa), obtendo a massa seca da parte aérea (MSPA, em g) e do sistema radicular (MSR, em g). Para as análises de determinação de massa seca, três mudas por tratamento foram coletadas, separadas a parte aérea do sistema radicular e acondicionadas em sacos de papel. Em seguida, foram levadas para estufa a  $65\text{ }^{\circ}C$  até atingir peso constante.

A partir dos dados coletados, calculou-se a relação da altura com o diâmetro do coleto (David et al., 2015), também conhecida comumente como H/D, e o índice de qualidade de Dickson (IQD) (Dickson et al., 1960) (Eq. 1).

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{D} + \frac{MSPA}{MSR}} \quad (1)$$

Em que:

MST é massa seca total, em g;  
H altura, em cm;  
D diâmetro do coleto, em mm;  
MSPA massa seca da parte aérea, em g; e  
MSR massa seca da raiz, em g.

Segundo Davide et al. (2015) e Souza Junior e Brancalion (2016), as mudas adquirem padrão comercial e estão aptas a serem levadas a campo quando atingem 30,0; 20,0 e 20,0 cm de altura e 3,0; 2,5 e 5,0 mm de diâmetro do coleto, respectivamente, para *D. nigra*, *A. leiocarpa* e *H. courbaril*.

A produtividade da água de irrigação (PA<sub>i</sub>) foi calculada pela Eq. 2, utilizando a MSPA, MSR e massa seca total (MST) como produtividade (P), em relação ao volume de água aplicado pela irrigação (V<sub>a</sub>).

$$PA_i = \frac{P}{V_a} \quad (2)$$

Em que:

P é a produtividade em termos de massa da matéria seca total, em g; e  
V<sub>a</sub> é o volume total de água aplicado pela irrigação, em L.

Para atender os pressupostos da análise de variância, testou-se a normalidade e a homogeneidade de variância do resíduo de cada variável mensurada na última medição, por meio do teste de Bartlett, com 5% de erro. Os tratamentos foram submetidos à análise de variância e comparados entre si, por meio do teste *t*, com 5% de significância e havendo diferenças significativas entre os tratamentos, os resultados foram submetidos à análise de regressão, utilizando o software R, versão 3.6.0.

O teste de identidade de Graybill (2000) foi empregado para selecionar os modelos de regressão que melhor representassem o crescimento em altura e diâmetro do coleto das mudas em função do tempo e dos níveis de sombreamento.

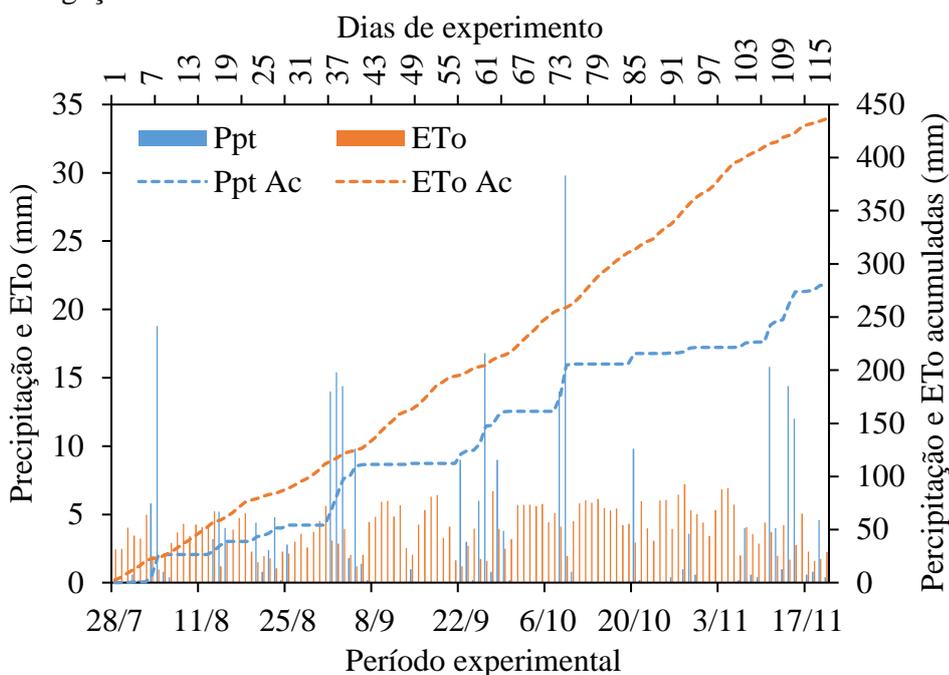
## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.5.1 Aspectos Meteorológicos e Volume Aplicado Pela Irrigação

Houve pequena variação das temperaturas máximas e mínimas entre os tratamentos, sendo a maior temperatura média diária (25,5 °C) detectada na cobertura C2 (37% de atenuação). Esta maior temperatura em relação ao tratamento C1 possivelmente seja resultado da combinação entre a quantidade de radiação retida e atenuação do vento no microambiente que se forma no ambiente coberto pela tela (Monteiro et al., 2016), que pode interferir na amplitude diária da temperatura. A temperatura máxima registrada no período na condição de pleno sol (C1) foi de 43,8 °C, em 5/11, enquanto a temperatura mínima foi de 12,0 °C, em 16/08. A amplitude máxima registrada foi de 26,2 °C, em 12/09.

A umidade relativa média do ar foi de, aproximadamente, 80%, com menor acréscimo nos tratamentos com maior sombreamento. Segundo Santos et al. (2013) o vapor d'água possui grande potencial para atenuar a radiação na atmosfera durante os meses de verão ou período chuvoso. Desta forma, quando a unidade relativa (UR) é alta, as diferenças entre as temperaturas noturna e diurna são menores. Portanto, a maior UR média pode ter agido na manutenção de temperaturas mais elevadas nas coberturas intermediárias.

A radiação solar média no período experimental foi de 15,8 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, com valor máximo de 29,1 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, em 27/09, e mínimo de 3,6 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, em 23/08. A evapotranspiração de referência acumulada (Eto Ac) foi de 436,5 mm, com valor máximo de 7,7 mm dia<sup>-1</sup>, em 03/11. Apesar de praticamente a metade do experimento ter ocorrido no período de inverno, houve 54 dias de chuva, com precipitação acumulada (Ppt Ac) de 280,2 mm (Figura 2). A partir da relação média entre os índices pluviométricos ao ar livre (precipitação medida na estação meteorológica) e medidos nas bancadas com as diferentes coberturas, as precipitações acumuladas, durante o experimento, nos tratamentos C2, C3 e C4 foram de, respectivamente, 263,4; 235,6 e 190,5 mm, influenciando a quantidade de água aplicada na irrigação.



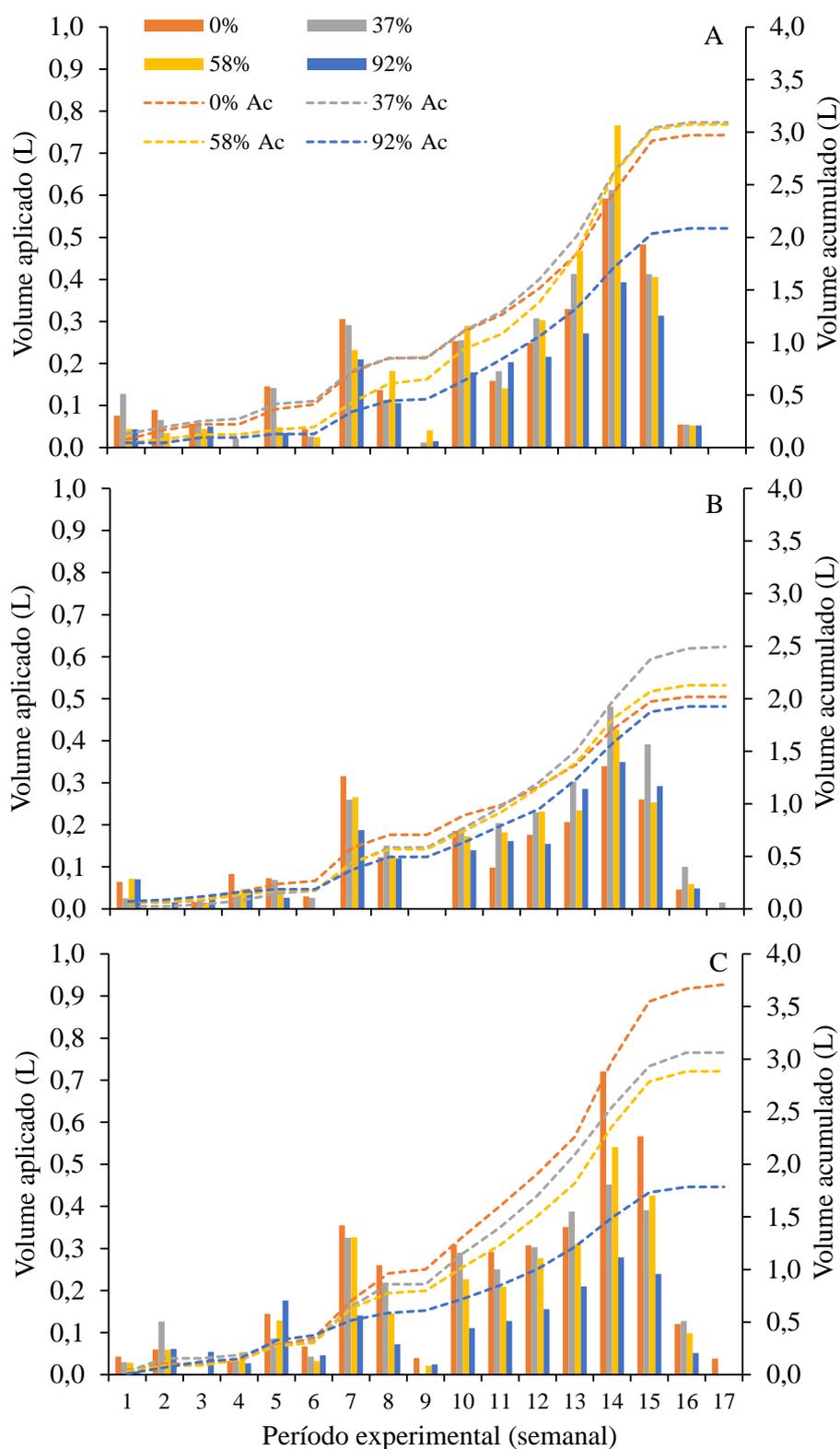
**Figura 2.** Lâminas de precipitação ao ar livre (Ppt) e evapotranspiração de referência (Eto) no período de 28/07/2019 a 20/11/2019.

Dos 116 dias de avaliação, a precipitação foi superior à Eto em apenas 27 dias, e superior à Eto média (3,8 mm dia<sup>-1</sup>) em 24 dias. As maiores precipitações semanais foram de 43,0 mm (02 a 08/09 – 6ª semana), 39,60 mm (23 a 29/09 – 9ª semana) e 44,60 mm (07 a 13/10 – 11ª semana), quando a mínima umidade relativa do ar foi de 54%, com DPV médios de 0,837; 0,779; 0,787 e 0,777 kPa, nos tratamentos C1, C2, C3 e C4, respectivamente. Analisando a Eto, as maiores lâminas semanais foram de 31,3 mm (09 a 15/09 – 7ª semana), 35,9 mm (30/09 a 06/10 – 10ª semana) e 38,4 mm (28/10 a 03/11 – 14ª semana), quando as precipitações totalizaram apenas 1,0, 0,2 e 5,2 mm, respectivamente. Nesses períodos, a umidade relativa mínima do ar atingiu 38% e os DPV médios foram de 1,835; 1,771; 1,750 e 1,685 kPa, nos tratamentos C1, C2, C3 e C4, respectivamente. Nessas semanas, os volumes médios aplicados pelo sistema de irrigação foram de, respectivamente, 259,7; 244,1 e 591,2 mL por planta de *D. nigra*, 257,2; 171,3 e 398,9 mL por planta de *A. leiocarpa* e 287,0; 234,0 e 498,1 mL por planta de *H. courbaril* (Figura 3).

O volume de água aplicado nas plantas a pleno sol e nos ambientes com sombra variou ao longo das semanas de crescimento (Figura 3). Esperava-se que na condição a pleno sol o volume aplicado fosse sempre maior que nos tratamentos com sombreamentos, mas como a necessidade hídrica também depende da taxa de crescimento das plantas, este consumo variou ao longo do tempo, de forma diferenciada para cada espécie. As mudas de *D. nigra* com sombreamentos intermediários (37 e 58%) superaram o consumo de água do tratamento a pleno sol a partir da 10ª semana, apresentando consumo total cerca de 5% maior, enquanto as plantas do tratamento com 92% de sombreamento sempre demandaram, em torno de 30% menos água (Figura 3ª).

As mudas de *A. leiocarpa* também apresentaram consumo variável entre os tratamentos (Figura 3B), sendo que as dos tratamentos com sombreamentos intermediários superaram a demanda da condição a pleno sol a partir da oitava semana, e o tratamento com 92% de sombreamento a partir da 13ª semana. Diferentemente das demais espécies, as mudas de *H. courbaril* utilizaram mais água na condição a pleno sol (Figura 3C), em praticamente todo o período. Para os tratamentos com sombreamento intermediário, houve tendência de equiparação do consumo a partir da 10ª semana, mas o consumo final foi, aproximadamente, 17, 22 e 52% inferior ao pleno sol, respectivamente, para 37, 58 e 92% de sombreamento.

Em resposta à demanda atmosférica e às características de cada espécie, os volumes totais médios de água aplicados foram de 2,807; 2,141 e 2,860 L por planta, respectivamente, para *D. nigra*, *A. leiocarpa* e *H. courbaril*, sendo os sistemas de irrigação acionados, em média, 49, 49 e 51 vezes, durante 2,8; 2,9 e 2,7 min, respectivamente (Tabela 3). Este menor consumo de água das mudas de *A. leiocarpa* provavelmente ocorreu pelo fato de a espécie apresentar maior ocorrência em solos mais secos (Carvalho, 2003). Os maiores volumes foram aplicados no tratamento com 37% de sombreamento, para as mudas de *D. nigra* e *A. leiocarpa*, e a pleno sol para *H. courbaril*.



**Figura 3.** Volume de água semanal (barras) e acumulados (linhas), aplicados para produção de mudas de *D. nigra* (A), *A. leiocarpa* (B) e *H. courbaril* (C), em três níveis de sombreamento (37, 58 e 92%) e a pleno sol (0%).

Segundo Monteiro et al. (2016), de modo geral, a necessidade hídrica de mudas florestais diminui com o aumento da interceptação da radiação solar, entretanto o volume de

água demandado também está relacionado ao crescimento das plantas. Por isso, é necessário o entendimento do crescimento das espécies para melhor compreender estas variações de consumo, como evidenciado no presente trabalho.

**Tabela 3.** Informações médias de irrigação para produção de mudas de espécies arbóreas em três níveis de sombreamento e a pleno sol, nono período de 28/07 a 20/11/2019

Espécie	Tratamento	Dias de acionamentos	Tempo médio de acionamento (min)	Volume total médio aplicado (L por planta)
<i>D. nigra</i> (Jacarandá-da-Bahia)	0%	45	3,1	2,973
	37%	55	2,6	3,094
	58%	48	3,2	3,075
	92%	48	2,1	2,087
	Média	49	2,8	2,807
<i>5. leiocarpa</i> (Garapa)	0%	47	4,7	2,018
	37%	54	2,3	2,493
	58%	46	2,3	2,129
	92%	47	2,2	1,924
	Média	49	2,9	2,141
<i>H. courbaril</i> (Jatobá)	0%	58	3,2	3,708
	37%	52	2,8	3,063
	58%	48	3,0	2,885
	92%	46	1,9	1,784
	Média	51	2,7	2,860

### 5.5.2 Crescimento e Qualidade das Mudas Arbóreas

As mudas de *D. nigra* e *H. courbaril* foram coletadas aos 110 e 140 dias após emergência (DAE), respectivamente, quando apresentaram altura da parte aérea e diâmetro de coleto de acordo com os padrões para serem levadas para plantio a campo, conforme recomendado pelos autores Davide et al. (2015) e Souza Junior e Brancalion (2016). As taxas de mortalidade foram de 14,0 e 0%, respectivamente, e não estão associadas a um tratamento específico. Para *A. leiocarpa*, a mortalidade atingiu 24%, independente do tratamento, e por isso, o experimento foi encerrado aos 140 DAE, quando as plantas apresentavam, em média, 17,2 cm de altura e 2,3 mm de diâmetro do coleto. De acordo com Gomes et al. (2008), esta espécie é de crescimento lento a moderado.

Com exceção do tratamento a pleno sol, para altura, as mudas de *D. nigra* apresentaram variação crescente de altura e diâmetro do coleto com o tempo após emergência seguindo tendência polinomial de grau 2 (Figuras 4<sup>a</sup>, B). Com sombreamento, as mudas conseguiram atingir padrão mínimo de altura da parte aérea para serem levadas a campo (25 cm) aos 95 DAE. Analisando o diâmetro do coleto (D), as mudas oriundas dos tratamentos a pleno sol e com cobertura de 35 e 58% apresentaram padrão para serem levadas a campo (D > 2,5 mm) com cerca de 90 DAE. Com maior sombreamento, as mudas não atingiram o diâmetro do coleto padrão durante o período experimental. Estas informações indicam que com sombreamento na faixa de 37 a 58% é possível produzir mudas de qualidade e em menor tempo do que a pleno sol e com sombreamento de 92%, maximizando o uso do viveiro, mas utilizando maior quantidade de água (Tabela 3).

Independente do tratamento, as mudas de *A. leiocarpa* apresentaram variação linear para altura da parte aérea (Figura 4C) e diâmetro do coleto (Figura 4D) em função do tempo de produção. O padrão comercial de altura foi atingido com, aproximadamente, 135 dias após emergência para as mudas com 58 e 92% de sombreamento. Para os demais tratamentos, as mudas atingiriam 20,0 cm de altura com 221 e 160 DAE, respectivamente, para as condições de pleno sol e 37% de sombreamento, de acordo com os modelos ajustados. Com relação ao diâmetro do coleto, as mudas atingiram 2,5 mm (padrão) apenas para os tratamentos 0, 37 e 58% de sombreamento (141 dias) (Figura 4D). Estes resultados indicam que houve problemas com produção das mudas de *A. leiocarpa* e que 58% de sombreamento é o mais indicado para produção de mudas da espécie, em função do menor volume de água quando comparado a 37% de sombreamento (Tabela 3).

O sombreamento não interferiu na altura da parte aérea das mudas de *H. courbaril*, que atingiram padrão comercial (20 cm) com 82 DAE (Figura 4E). Para diâmetro do coleto, apenas as mudas desenvolvidas a pleno sol e com sombreamentos de 37 e 58% atingiram 5,0 mm (padrão) (Souza Júnior e Brancalion, 2016) durante o período experimental (140 dias). Neste sentido, estas informações indicam que as mudas de *H. courbaril* devem ser produzidas a pleno sol, pois não haverá gastos com aquisição e montagem de sombrites, além de menor tempo de produção quando comparadas as intensamente sombreadas, apesar do maior consumo de água (Tabela 3).

Souza et al. (2010) estudaram o comportamento de *H. courbaril* plantada a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira e constataram maior crescimento desta espécie a pleno sol, apesar de ser considerada secundária tardia (Carvalho, 2003). Por outro lado, Oliveira et al. (2011) afirmam que *H. courbaril* é capaz de regenerar e recrutar em ambientes sombreados, mas o crescimento é limitado pelas condições de pouca luminosidade. Estes resultados, aliados aos obtidos neste trabalho descartam o sombreamento de 92% para a mencionada espécie.

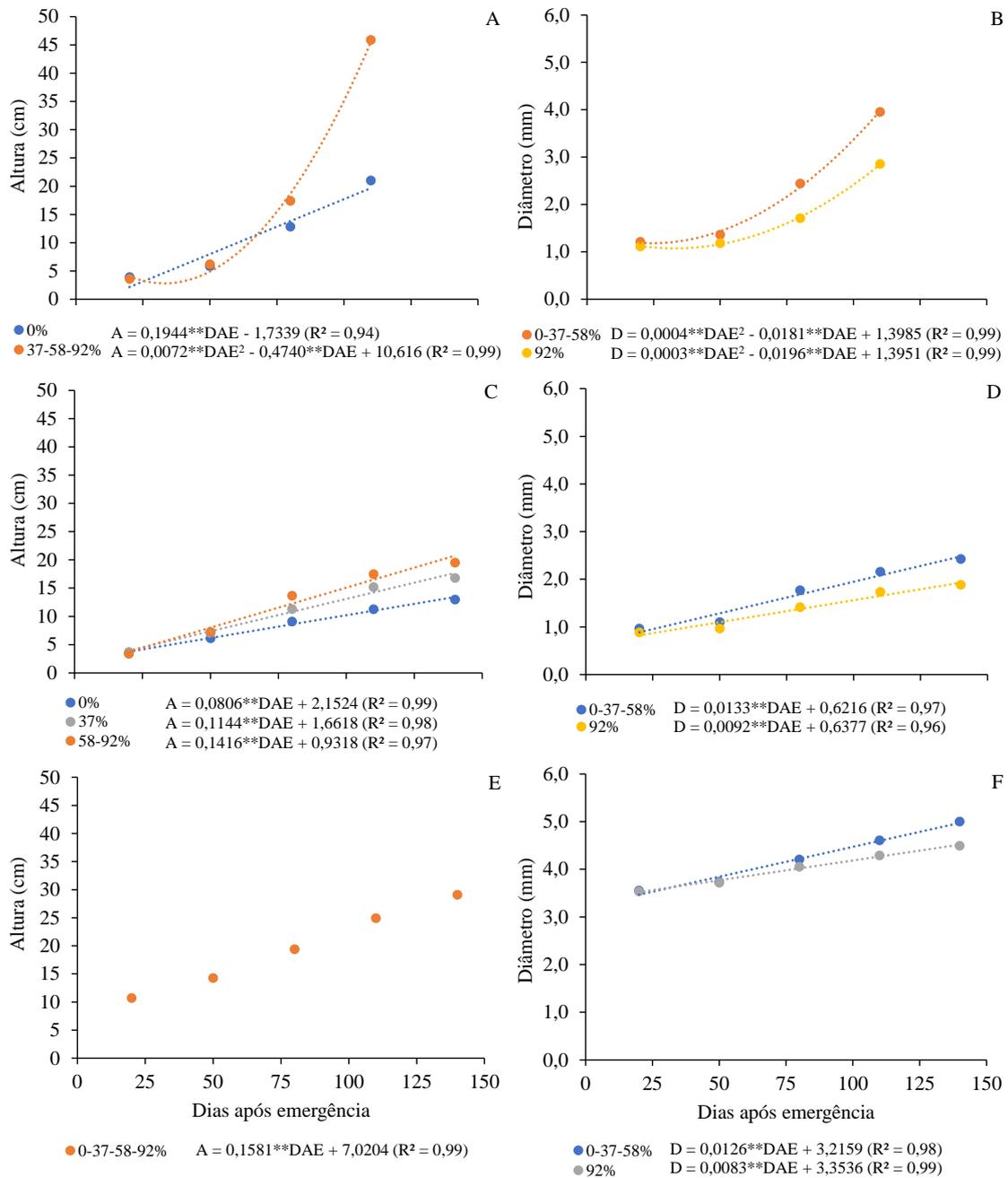
Apenas as espécies *D. nigra* e *A. leiocarpa* apresentaram variações da altura em resposta aos diferentes níveis de sombreamento ao final do período experimental (Figura 5<sup>a</sup>). Para a variável diâmetro do coleto (Figura 5B), as três espécies foram influenciadas pelos níveis de sombreamento. Os valores de 51,0 cm e 4,41 mm (37% de sombreamento), 20,08 cm e 2,52 mm (58% de sombreamento), e 5,08 mm (58% de sombreamento) representam os maiores valores médios de altura e diâmetro do coleto, respectivamente, para as espécies *D. nigra*, *A. leiocarpa* e *H. courbaril*.

As mudas de *D. nigra* apresentaram maior crescimento em altura e diâmetro do coleto na faixa de 37 a 58% de sombreamento, indicando uma adaptação diferenciada da planta à variação da luminosidade. A área foliar média (Figura 5C) e a biomassa (Figuras 5D e 5E) também indicam maiores valores médios entre os sombreamentos intermediários (37 e 58%). O índice de qualidade de Dickson (IQD) (Figura 5F) confirma as informações anteriores e aponta para o sombreamento em torno de 37% como sendo o mais recomendado.

A espécie *D. nigra* pertence ao grupo sucessional de espécies secundárias tardias (Carvalho, 2003), conferindo-lhe melhor crescimento em níveis intermediários de sombreamento. Utilizando sacos plásticos e substrato a base de subsolo, Reis et al. (1991) encontraram melhor resultado de crescimento das mudas nas faixas de sombreamento de 30 a 50%, já Pacheco et al. (2013) afirmam que a faixa ideal de crescimento para *D. nigra* é de 50 a 84%.

O nível de sombreamento de 58% proporcionou as maiores médias de altura (20,1 cm) e diâmetro do coleto (2,52 mm) para as mudas de *A. leiocarpa*, enquanto a condição a pleno sol e o sombreamento de 92% proporcionaram, respectivamente, a menor altura média (13,0 cm) (Figura 5<sup>a</sup>) e o menor diâmetro médio (1,98 mm) (Figura 5B). As faixas de sombreamento entre

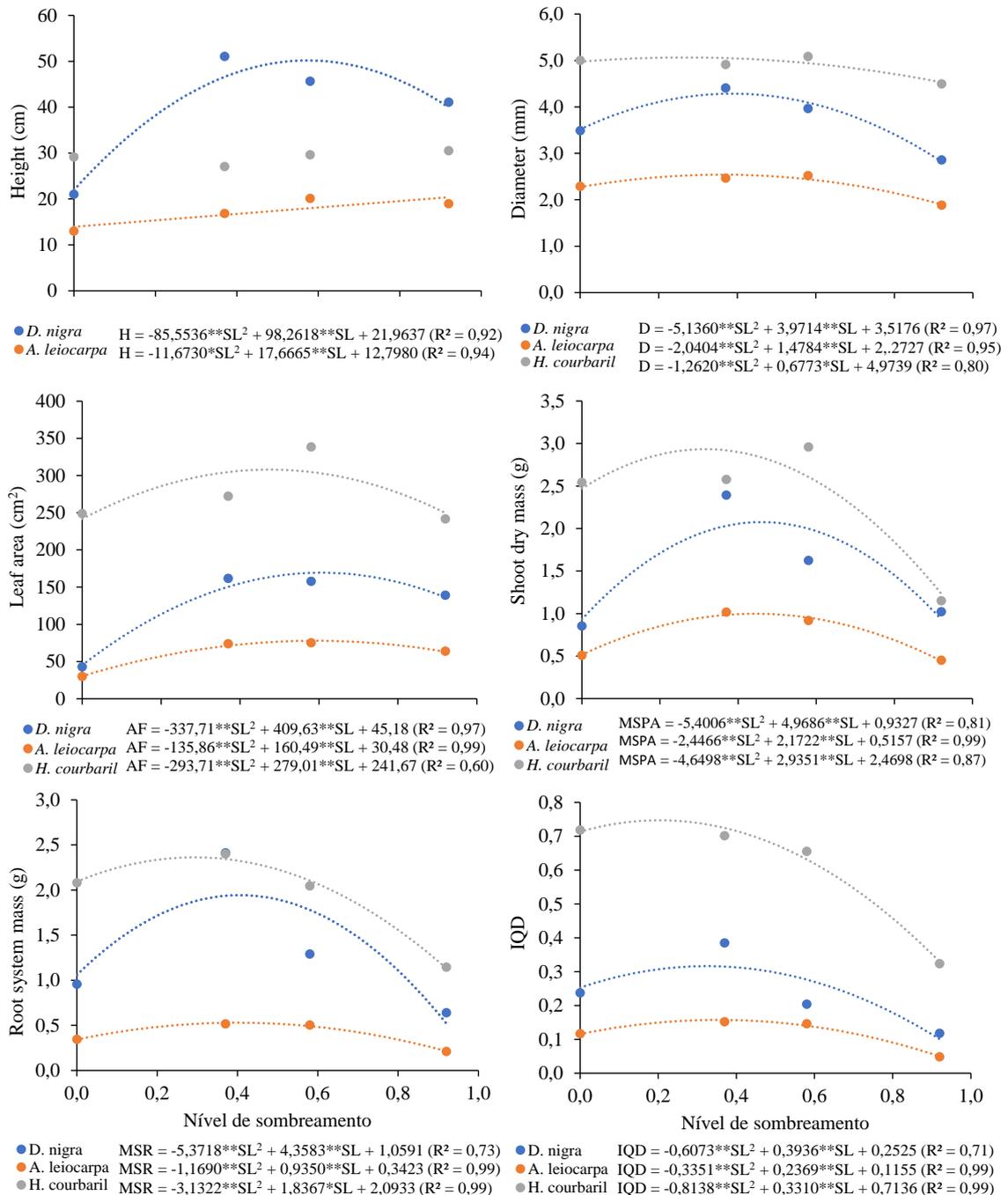
58 e 92% e entre 37 e 58% são consideradas ideais para altura da parte aérea e diâmetro do coleto, respectivamente.



**Figura 4.** Crescimento em altura e diâmetro do coleto de mudas de *D. nigra* (A, B), *A. leiocarpa* (C, D) e *H. courbaril* (E, F), ao longo de dias após a emergência (DAE) produzidas em três níveis de sombreamento e a pleno sol. \*\* significativo a 99% e probabilidade pelo teste t.

Os maiores valores de área foliar média (Figura 5C) e biomassas (Figuras 5D, E) foram obtidos nos sombreamentos intermediários, entre 37 e 58% de sombreamento. Valores de massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) (Figura 5D) maiores que da matéria seca do sistema radicular (MSR) (Figura 5E) indicam que há suprimento ideal de nutrientes (Schumacher et al.,

2004) e adequação do crescimento das espécies ao substrato utilizado. Os valores médios de IQD (Figura 5F) confirmam a tendência anterior e indicam que o sombreamento de 37% proporciona melhor qualidade às mudas em relação ao sombreamento de 58%. Desta forma, é possível inferir que o valor ideal de sombreamento para a espécie *A. leiocarpa* está em torno de 50%.



**Figura 5.** Variação da altura das plantas (A), diâmetro do coleto (B), áreas foliar (C), matéria seca da parte aérea (D) e do sistema radicular (E) e índice de qualidade de Dickson (F) para *D. nigra*, *A. leiocarpa* e *H. courbaril* nos diferentes níveis de sombreamento. \* significativo a 95% e probabilidade pelo teste t; e \*\* significativo a 99% de probabilidade pelo teste t.

Não houve variação significativa de altura da parte aérea para a espécie *H. courbaril* (Figura 5<sup>a</sup>) com relação aos níveis de sombreamento, enquanto para diâmetro do coleto (Figura 5B) a variação foi pequena, porém com melhores resultados para níveis de sombreamentos de até 58%. A área foliar média (Figura 5C) e biomassas (Figuras 5D, E) apresentaram maiores valores nos sombreamentos intermediários e o IQD indica tendência de maior qualidade das mudas entre a condição de pleno sol e 37% de sombreamento (Figura 5F). Para sombreamento de 92% há queda significativa no valor de IQD, indicando baixa qualidade das mudas produzidas, apesar de não haver variação de altura e diâmetro do coleto com os demais tratamentos. Assim, as mudas de *H. courbaril* devem ser cultivadas a pleno sol ou com níveis de sombreamento de até 58%.

Avaliando o crescimento de mudas de *H. courbaril*, Lima et al. (2010) encontraram maior crescimento em altura e massa seca total com 50 e 80% de sombreamento, respectivamente. Por outro lado, Silva et al. (2007) verificaram que a espécie é capaz de se ajustar para maximizar a aquisição de luz mesmo em condição muito limitante, como à proporcionada pelo sombreamento natural, sendo possível a produção de mudas em viveiros desde a condição de pleno sol até 50 ou 70% de sombreamento. Campos & Uchida (2002) afirmam que o crescimento de mudas de *H. courbaril* foi prejudicado quando submetidas a sombreamentos superiores a 70%.

Independente da espécie, os maiores volumes de água (Tabela 3) foram aplicados nos tratamentos de maiores IQD (Figura 5F) e maiores produtividades de água (PAi), para as espécies *D. nigra* e *A. leiocarpa* (Tabela 4). Por outro lado, maiores PAi para *H. courbaril* foram obtidas com sombreamentos de 37 e 58%, que receberam, respectivamente, 82,6 e 77,8% do volume de água aplicado no tratamento a pleno sol. As mudas dessa espécie apresentaram os maiores valores de PAi nos diferentes níveis de sombreamento e variáveis avaliadas.

**Tabela 4.** Produtividade da água de irrigação ( $\text{g L}^{-1}$ ) para as espécies arbóreas nos diferentes níveis de sombreamento

Tratamento	Experimentos/espécies		
	<i>D. nigra</i>	<i>A. leiocarpa</i>	<i>H. courbaril</i>
Produtividade da água de irrigação ( $\text{g L}^{-1}$ )			
Massa da matéria seca da parte aérea			
0%	0,287 Cb	0,252 Bb	0,686 Ba
37%	0,773 Aa	0,408 Ab	0,842 Aba
58%	0,528 Bb	0,431 Ab	1,026 Aa
92%	0,490 Ba	0,235 Bb	0,644 Ba
Massa da matéria seca do sistema radicular			
0%	0,322 Bb	0,171 Bb	0,561 Aa
37%	0,779 Aa	0,207 Abb	0,784 Aa
58%	0,419 Bb	0,237 Ab	0,709 Aa
92%	0,307 Bb	0,109 Cc	0,642 Aa
Massa da matéria seca total			
0%	0,609 Bb	0,423 Bb	1,247 Ba
37%	1,553 Aa	0,615 Ab	1,626 Aba
58%	0,948 Bb	0,668 Ab	1,735 Aa
92%	0,797 Bb	0,344 Bc	1,287 Ba

\* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Apesar do maior volume de água aplicado pela irrigação em relação às demais (Tabela 3), a espécie apresentou maior resposta em diâmetro do coleto, área foliar e massas de matéria secas da parte aérea e do sistema radicular (Figura 5), indicando capacidade para utilização na formação de povoamentos florestais em regiões com necessidade de recomposição da flora e restrições hídricas. Por outro lado, *A. leiocarpa* apresentou os menores valores de PAi, condizentes com o menor rendimento em todas as variáveis de crescimento avaliadas (Figura 5). Independente da espécie e da variável utilizada no cálculo, a atenuação da luminosidade em 37% garantiu mudas de melhor crescimento, maior IQD e proporcionou os melhores resultados de produtividade da água de irrigação (PAi).

Keffer et al. (2019) obtiveram valores de, aproximadamente, 0,99; 1,83; 1,92; 1,28 e 1,11 g L<sup>-1</sup> em mudas de ipê-amarelo amazônico após 82 dias de cultivo, respectivamente, em pleno sol e com sombreamentos de 35, 50, 65 e 80%. Para *Dipteryx alata* Vogel, espécie nativa do bioma Cerrado, Borella et al. (2020) encontraram valores de PAi aos 125 dias após transplante de 0,96; 1,12; 1,20; 1,06; 1,43 g L<sup>-1</sup>, respectivamente, para cultivo em pleno sol e com sombreamento de telas pretas de 45,3; 54,1; 68,3 e 83,3%. Apesar de se tratar de outras espécies, percebe-se que esses valores de PAi são compatíveis com encontrados neste trabalho, ressaltando-se que a PAi não está somente relacionada à espécie, mas a vários fatores de manejo da irrigação.

A busca pelo aumento da PAi em viveiros florestais deve ser estimulada, tendo em vista que a eficiência do uso da água é relativamente baixa em processos de produção agrícola (Hsio et al., 2007) e, conseqüentemente, há baixa produtividade da água em sistemas irrigados (Kang et al., 2016). Esse objetivo pode ser facilmente conseguido com a adoção do manejo da irrigação, com base na aplicação automática em resposta à demanda das plantas, o que contribui para a produção de mudas de qualidade e economia de água.

## 5.6 CONCLUSÕES

Os maiores volumes irrigados estão associados às condições que proporcionaram o maior desenvolvimento das espécies, em geral as condições intermediárias de sombreamento ou a pleno sol.

Em tubetes de 280 cm<sup>3</sup> e usando bio sólido de lodo de esgoto como substrato, os níveis de 37 e 58% de sombreamento apresentaram os melhores resultados para as espécies *D. nigra*, *A. leiocarpa*, respectivamente. *H. courbaril* pode ser cultivada em condições de pleno sol e em até 58% de sombreamento.

Os maiores valores de produtividade da água de irrigação estão associados aos sombreamentos intermediários (37 e 58%).

## 5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.H.M.; LELES, P.S.S.; & FERREIRA, D.H.A.A. 2017. Characterization and potential of formulated substrate with biosolids in *Schinus terebinthifolius* Raddi. And *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos seedling production. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509830300>
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; & SMITH, M. Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. **FAO**, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- ALLEONI, L.R.F.; FERNANDES, A.R.; CORREIA, B.L. Sequential extraction of phosphorus in an Oxisol amended with biosolids in a long-term field experiment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. V. 161, p. 145-151, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.07.029>
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BORELLA, D.R.; SOUZA, A.P.; & LIMA, D.C. Water requirement of *Dipteryx alata* Vogue seedlings at different solar radiation levels in Cerrado-Amazon transition. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, 23, 1-13, 2020.
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; & JUVANHOL, R. S. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 31-39, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000100004>
- CAMPOS, M. A. A.; & UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 281-288, 2002.
- CARVALHO, D. F.; ROCHA, H. S.; & SOUZA, A. P. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.1-11, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000100001>
- CÉSAR, F. R. C. F.; MATSUMOTO, S. N.; & BONFIM, J. A. Crescimento inicial e qualidade de mudas de *Pterogyne nitens* Tull. Conduzidas sob diferentes níveis de restrição luminosa artificial. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 357-366, 2014.
- COSTA, M. S.; FERREIRA, K.E.B.; & CALLADO, C.H. Growth analysis of five Leguminosae native tree species from a seasonal semideciduous lowland forest in Brazil. **Dendrochronologia**, v. 36, p. 23-32, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.08.004>
- DANTAS, B. F.; LOPES, A. P.; & ARAGÃO, C. A. Taxas de crescimento de mudas de catingueira submetidas a diferentes substratos e sombreamentos. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, v. 33, n. 3, p. 413-423, 2009 . <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300003>

DAVIDE, A. C.; MELO, L.; & CARVALHO, R. Fatores que afetam a qualidade de mudas destinadas aos projetos de restauração de ecossistemas florestais. Davide, AC & Botelho, SA **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais**, v. 25, p. 181-274, 2015.

DELGADO, L. G. M.; DA SILVA, R. B. G.; & SILVA, M. R. Qualidade morfológica de mudas de ingá sob diferentes manejos hídricos. **IRRIGA**, v. 22, n. 3, p. 420-429, 2017. <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p420-429>

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronole**, Toronto, v. 36, p. 10-13, 1960. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>

GASSON, P.; MILLER, R.; & ZIEMINSKA, K. Wood identification of *Dalbergia nigra* (CITES Appendix I) using quantitative wood anatomy, principal components analysis and naive Bayes classification. **Annals of Botany**, v. 105, n. 1, p. 45-56, 2010. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp270>

GRAYBILL, F. A. Theory and application of the linear model. **Belmont: Duxbury**, 2000. 704p, 2000.

HSIAO, T. C.; STEDUTO, P.; & FERERES, E. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. **Irrigation science**, 25(3), 209-231, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00271-007-0063-2>

KANG, S.; HAO, X.; & DING, R. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. *Agricultural Water Management*, v. 25, n. 3, p. 209-231, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.007>

KEFFER, J. F.; SILVA, C. C. D.; & DIAS, T. K. Evapotranspiration and water sensitivity of Amazonian yellow ipe seedlings under different shading conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 10, p. 733-740, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p733-740>

LIMA, A. L. D. S.; ZANELLA, F.; & CASTRO, L. D. M. D. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. E *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) *Morong* (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 43-48, 2010.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 6. Ed. Nova Odessa, SP: **Instituto Plantarum de Estudos da Flora**, v. 1, p. 361, 2014.

MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S. D.; CARVALHO, D. F. D.; PIMENTEL, C.; & AZEVEDO, R. A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 6, p. 727-730, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600016>

MONTEIRO, E. B.; SILVA, A. C. D.; & MARTIM, C. C. Water requirements and crop coefficients of tropical forest seedlings in different shading conditions. **Revista Brasileira de**

**Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 709-715, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p709-715>

NASCIMENTO, H. H. C. D.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; & SILVA, M. A. D. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 617-626, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000400005>

OLIVEIRA, W. L. D.; MEDEIROS, M. B. D.; & OLSEN, L. B. Regeneração e estrutura populacional de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.), em dois fragmentos com diferentes graus de perturbação antrópica. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 4, p. 876-884, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000400014>

PACHECO, F. V.; PEREIRA, C. R.; & ALVARENGA, I. C. A. Crescimento inicial de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex. Benth. (Fabaceae) e *Chorisia speciosa* A. St.-Hil (Malvaceae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 945-953, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000500017>

PERTASSEK, T.; PETERS, A.; DURNER, W. HYPROP-FIT software user's manual, V. 3.0. **UMS GmbH, München**, Germany, 2015.

REIS, M. D. G. F.; DOS REIS, G. G.; & LELES, P. S. D. S. Crescimento e forma do fuste de mudas de Jacaranda-da-bahia (*Dalbergia nigra* fr. Aliem.), sob diferentes níveis de sombreamento e tempo de cobertura. **Revista árvore**, v. 15, n. 1, p. 23, 1991.

REIS, S. M.; MARIMON-JÚNIOR, B. H.; & MARIMON, B. S. Desenvolvimento inicial e qualidade de mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. Sob diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 11-20, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509821061>

SANTOS, J.F.C.; GLERIANI, J.M.; & REIS, M. Wildfires as a major challenge for natural regeneration in Atlantic Forest. **Science of The Total Environment**, v. 650, p. 809-821, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.016>

SANTOS, R. B.; SOUZA, A. P.; & SIQUEIRA, J. L. Planejamento da pulverização de fungicidas em função das variáveis meteorológicas na região de Sinop-MT. *Global Science and Technology*, v.6, p.72-88, 2013. <http://dx.doi.org/10.14688/1984-3801.v06n01a07>

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; & KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SCHINDLER U. A fast method for measuring the water-permeability in partial-saturated soil using piercing cylinder samples. **Plant construction Field**, p. 1-7, 1980.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico vermelho (*Parapiptadenia rígida* (Bentham). Brenan). **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.

SILVA, B. M. D. S.; LIMA, J. D.; & SABONARO, D. Z. Efeito da luz no crescimento de mudas de *Hymenaea parvifolia* Huber. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 1019-1026, 2007.

SOUZA JUNIOR, C. N.; & BRANCALION, P. H. S. Sementes e mudas: guia para propagação de árvores brasileiras. **Oficina de textos**, São Paulo, s/n, 463p, 2016.

SOUZA, C. R. D.; AZEVEDO, C. P. D.; & ROSSI, L. M. B. Comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 127-134, 2010.

TIAGO, P.V.; ROSSI, A.A.B; & SILVA, I.V. Genetic diversity and population structure of Jatobá: a species with economic potential for the Amazon region. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 515-524, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509832033>

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

As mudas das espécies *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa* apresentam maior crescimento e qualidade quando submetidas ao manejo automático da irrigação, no nível de 100% de abastecimento de água, quando plantadas em substratos compostos por biossólido puro e em condições controladas de temperatura e umidade.

Os fatores de crescimento da planta (Gpf) para o estágio de mudas são inferiores a 0,5, para as espécies *S. parahyba*, *C. myrianthum* e *C. speciosa*.

O melhor nível de eficiência hídrica, na fase de produção de mudas, foi encontrado para *C. speciosa*, indicando que esta espécie tem maior capacidade de usar esse recurso.

As mudas de *S. parahyba* obtiveram melhor desempenho de crescimento e atingiram altura padrão para serem levadas para plantio em campo com 60 dias após emergência.

As plantas de *C. speciosa* apresentaram maior tendência de crescimento quando plantadas em vaso e com suplementação hídrica a 100% de sua capacidade de absorção.

As espécies *D. nigra*, *A. leiocarpa* e *H. courbaril* apresentaram maior crescimento e qualidade nos níveis de sombreamentos de, respectivamente, 37 e 58%; 37% e a pleno sol.

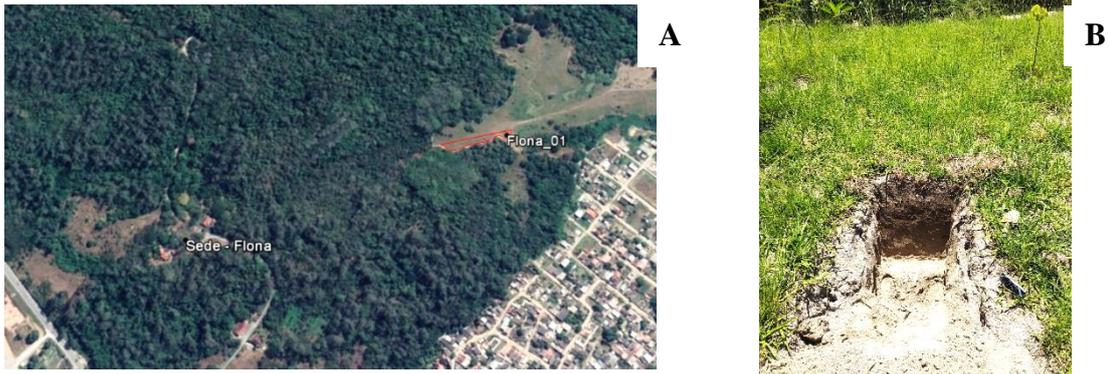
Maiores produtividades de água de irrigação (PAi) para as espécies *D. nigra* e *A. leiocarpa* estão associadas às mudas dos tratamentos que apresentaram melhor desempenho de crescimento e qualidade.

A aplicação de água em resposta à necessidade hídrica das mudas de espécies arbóreas, via manejo de irrigação automatizado, e a identificação da taxa de sombreamento ideal garantem a produção de mudas de qualidade e com baixo volume de água.

## 7 ANEXOS

### 7.1 Perfil Morfológico do Solo Utilizado no Plantio em Vasos

Nome: Flona\_01; coleta de campo: 22/11/2018; classificação no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo - SiBCS: NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos; e Localização: Floresta Nacional Mario Xavier – FLONA, Seropédica, Rio de Janeiro (Figura 1). Coordenadas: UTM 23 K, 633228.41 m E, 7485618.05 m S, Datum Sirgas2000; altitude: +- 37 m.



**Figura 1.** Localização de coleta de terra (A) e descrição de perfil de solo, na Floresta Nacional Mario Xavier – FLONA, Seropédica, Rio de Janeiro e trincheira aberta (B) em área de reflorestamento e pastagem abandonada.

Situação de abertura do perfil do solo: descrito em trincheira, em área plana, com plantio de mudas nativas e pastagem abandonada; litologia: sedimentos arenosos; material originário: sedimentos arenosos; pedregosidade: não pedregoso; rochosidade: não rochoso; relevo local: plano; relevo regional: suave ondulado; erosão: ligeiramente laminar; drenagem: moderadamente drenado; vegetação primária: Floresta tropical Subcaducifólia; clima: Aw, da Classificação de Köppen (clima tropical com estação seca); e Descrito e coletado por: Mateus Bueno. A visão geral e detalhada do perfil de solo e seus horizontes são apresentados na Figura 2 e a Tabela 1, na sequência.



**Figura 2.** Perfil do solo e seus horizontes (A), destacando os horizontes A (B), AC (C), C1 (D) e C2 (E).

**Tabela 1** – descrição morfológica dos horizontes no perfil estudado.

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
A	0-9	bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); areia; grão simples; plana e clara; não plástico e não pegajoso
AC	9-20	bruno-acinzentado claro (10YR 6/2); areia; grão simples; plana e clara; não plástico e não pegajoso
C1	20-43	bruno-acinzentado claro (10YR 6/2); areia-franca; grão simples; plana e clara; não plástico e não pegajoso
C2	43-120+	bruno-acinzentado claro (10YR 6/2); areia; grão simples; não plástico e não pegajoso. A partir de 120+ cm foram feitas tradagens manuais com intuito de verificar variações de cor e textura, o que não ocorreu

**Tabela 2** – caracterização física e química dos horizontes no perfil estudado.

Horizonte	Prof. (cm)	Argila	Silte	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Classificação	pH	P	K	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	(t)	(T)	V	m
A	0-9	4	5	76	15	91	Areia	5,2	4,9	27	0,07	0,58	0,15	0,1	1,65	0,80	0,9	2,4	32,6	11,1
AC	9-20	1	9	74	16	90	Areia	5,3	3,1	31	0,08	0,63	0,17	0,1	1,32	0,88	1,0	2,2	40,0	10,2
C1	20-43	3	13	61	23	84	Areia-franca	5,3	0,7	18	0,05	0,23	0,04	0,2	1,65	0,32	0,5	2,0	16,1	38,7
C2	43-120+	4	9	66	21	87	Areia	5,2	0,5	7	0,02	0,03	0,01	0,3	1,32	0,06	0,4	1,4	4,2	83,8