

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Alocação de biomassa em mudas de espécies arbóreas nativas com sistema
radicular alongado via irrigação passiva por capilaridade**

João Antonio da Silva

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2023

João Antonio da Silva
Licenciado e Bacharel em Ciências Biológicas

**Alocação de biomassa em mudas de espécies arbóreas nativas com sistema radicular
alongado via irrigação passiva por capilaridade**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RICARDO RIBEIRO RODRIGUES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Silva, João Antonio da

Alocação de biomassa em mudas de espécies arbóreas nativas com sistema radicular alongado via irrigação passiva por capilaridade / João Antonio da Silva. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

57 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Restauração florestal 2. Alongamento de raiz 3. Produção de mudas
4. Qualidade de mudas I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus amados avôs, João e Antônio.
Se estivessem aqui, o orgulho que sentiriam por mim
seria tão imenso que não caberia no peito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo o apoio, à minha mãe Sandra e ao meu pai Douglas, meus irmãos Gabi e Gú, minhas mães em dobro Vó Tereza e Vó Cleonice, e à minha tia Joyce.

Agradeço ao meu orientador Ricardo R. Rodrigues pela oportunidade, por todo o apoio e paciência ao longo desses anos. Agradeço também por tantos anos dedicados à restauração florestal.

Agradeço ao professor Sergius Gandolfi pela confiança e todas as ideias.

A todos que ajudaram diretamente nos trabalhos, desde o campo até o documento final, agradeço de coração: Bruninha, Daska, Rafaela Naves, Thaís Diniz, Karinne, Ricardo, Angélica, Pedro, Deborah, Dri, Malú.

A todos os amigos do LERF, foi incrível poder fazer parte dessa equipe. Em especial ao Vande e Flávio, que além de me socorrerem diversas vezes, também me proporcionaram ótimas conversas.

A toda equipe do Bioflora que sempre ajudou, apoiou e me proporcionou ótimas conversas: Maria, Silvia e, em especial, ao Edimar, Zé e ao grande Josimar que me ajudou nos trabalhos mais pesados.

Agradeço aos amigos que estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis e nos mais felizes desde o início dessa jornada. Obrigado: Igor por tantas conversas boas! Gi pelo apoio imensurável! Andrezinho por tantas risadas compartilhadas! Isa e Lukão, não tem o que dizer, vocês moram no meu coração!

Aos amigos de longa data, Keep Rocking. Ao Ponex por sempre me incentivar a finalizar o curso, valeu irmão, conseguimos! Ao Gui, que caminhou ao meu lado em boa parte desse processo, obrigado pela amizade construída.

Agradeço aos amores da minha vida! Lolla, que me deu conforto quando precisei. Obrigado filha. Maiden, sempre feliz ao meu lado, trazendo alegria para minha vida. E à minha paixão, Nicole. Obrigado Bem, por compartilhar comigo os melhores momentos da vida. Te amo!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo financiamento da minha bolsa - 88887.371840/2019-00.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. Desafios da restauração florestal com plantio de mudas	11
2.2. Consequências do estresse hídrico para espécies arbóreas.....	12
2.3. Seleção de espécies para restauração florestal	12
2.4. Irrigação por capilaridade.....	14
2.5. Alocação de biomassa e avaliação de qualidade de mudas de espécies arbóreas	15
3. OBJETIVOS.....	17
3.1. Objetivo geral	17
3.2. Objetivos específicos.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1. Área de estudo	19
4.2. Seleção das espécies	19
4.3. Seleção do material condutor e preparo do irrigador passivo	19
4.4. Germinação das mudas e transplante para os tubetes.....	21
4.5. Coleta de dados.....	22
4.6. Análise de dados.....	23
5. RESULTADOS	25
5.1. Padrão de alocação de biomassa.....	25
5.2. Efeito do tratamento irrigação passiva no comprimento da raiz e crescimento da parte aérea.....	31
6. DISCUSSÃO.....	35
6.1. Efeito do irrigador passivo no padrão de alocação de biomassa das espécies	35
6.2. Produção de mudas para a restauração florestal com irrigador passivo	37
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	41
APÊNDICES.....	49

RESUMO

Alocação de biomassa em mudas de espécies arbóreas nativas com sistema radicular alongado via irrigação passiva por capilaridade

A restauração florestal é uma prática importante para mitigar as consequências das mudanças climáticas. A restauração ativa é uma das metodologias utilizadas na restauração ecológica, sendo empregada em situações com baixo potencial de regeneração natural, geralmente devido a histórica e intensa degradação. Nessas circunstâncias, o plantio de mudas é frequentemente adotado como estratégia. Portanto, é importante o desenvolvimento de estratégias que visem aprimorar a qualidade das mudas nos viveiros. O desenvolvimento de mudas com um sistema radicular robusto pode ter um impacto significativo na sobrevivência das mudas no campo, especialmente em face de períodos cada vez mais frequentes de escassez hídrica em áreas de restauração ecológica. Nesse sentido, este estudo teve como objetivo avaliar o padrão de alocação de biomassa de mudas de espécies arbóreas cultivadas em viveiros, que foram induzidas ao alongamento do sistema radicular por meio de um condutor de irrigação passiva. Foram avaliadas três espécies arbóreas comuns em projetos de restauração florestal: *Schinus terebinthifolius*, *Erithryna speciosa* e *Genipa americana*. O experimento foi realizado em viveiro de produção de mudas de espécies nativas e as mudas foram cultivadas com um sistema de irrigação passiva que permitiu o alongamento da raiz, para além dos tubetões convencionais, de 19 cm de comprimento. Os resultados mostraram que a *S. terebinthifolius* apresentou o alongamento de raiz mais rápido (58 dias), seguida da *E. speciosa* (81 dias) e *G. americana* (183 dias). As três espécies apresentaram alterações no padrão de alocação de biomassa devido à irrigação passiva, com a *S. terebinthifolius* destinando mais recursos para o crescimento do sistema radicular e a *G. americana* para a parte aérea (folhas). Conclui-se que é possível produzir mudas de espécies arbóreas com sistema radicular alongado por meio da irrigação por capilaridade e que a alocação de biomassa tende a ser afetada nessas condições. Entretanto, são necessários mais testes com uma ampla diversidade de espécies e experimentos em campo para avaliar a eficácia do método na taxa de sobrevivência e desenvolvimento dessas mudas com raízes alongadas no campo.

Palavras-chave: Restauração florestal, Alongamento de raiz, Produção de mudas, Qualidade de mudas

ABSTRACT

Biomass allocation in seedlings of native tree species with elongated root system through passive capillary irrigation

Forest restoration is an important practice to mitigate the consequences of climate change. Active restoration is one of the methodologies used in ecological restoration, employed in situations with low potential for natural regeneration, typically due to historical and intensive degradation. In such circumstances, the planting of seedlings is often adopted as a strategy. Therefore, the development of strategies aimed at enhancing the quality of seedlings in nurseries is important. The development of seedlings with a robust root system can have a significant impact on their survival in the field, especially in the face of increasingly frequent periods of water scarcity in ecological restoration areas. In this sense, this study aimed to evaluate the biomass allocation pattern of seedlings of tree species cultivated in nurseries, which were induced to elongate their root system through a passive irrigation conductor. Three tree species commonly found in forest restoration projects were evaluated: *Schinus terebinthifolius*, *Erithryna speciosa*, and *Genipa americana*. The experiment was carried out in a native species seedling production nursery, and the seedlings were cultivated with a passive irrigation system that allowed root elongation beyond the conventional 19 cm containers pots. The results showed that *S. terebinthifolius* had the fastest root elongation (58 days), followed by *E. speciosa* (81 days) and *G. americana* (183 days). All three species showed changes in biomass allocation patterns due to passive irrigation, with *S. terebinthifolius* allocating more resources to root system growth and *G. americana* to above-ground parts (leaves). It was concluded that it is possible to produce tree species seedlings with elongated root systems through capillary irrigation and that biomass allocation tends to be affected under these conditions. However, further tests with a wide diversity of species and field experiments are necessary to evaluate the efficacy of the method in the survival rate and development of these seedlings with elongated roots in the field.

Keywords: Forest restoration, Root elongation, Seedling production, Seedling quality

1. INTRODUÇÃO

A restauração ativa de florestas tropicais é um processo que consiste em plantar mudas de espécies arbóreas e pode ser dividido em três fases distintas: estruturação, consolidação e maturação (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015). Durante a fase de estruturação, o objetivo é criar um ambiente sombreado, por isso são utilizadas espécies de crescimento rápido. Gradualmente, essas espécies são substituídas por outras secundárias, formando um dossel de vida longa, que representa a segunda fase. Finalmente, após alguns anos de consolidação, as espécies tardias passam a dominar o dossel por tempo indeterminado (RODRIGUES et al., 2009). A restauração florestal é um processo que requer dedicação e esforços para criar a estrutura básica da floresta. Fatores bióticos e abióticos influenciam significativamente esse processo, e nos últimos anos, as mudanças climáticas tem tido um impacto direto e expressivo nessas influências. (DE JONG; LIU; LONG, 2021).

Frente aos cenários de escassez hídrica decorrente das mudanças climáticas, a efetividade das ações de restauração florestal nos trópicos apresenta maiores incertezas associadas à fase de estruturação (RODRIGUES et al., 2011). Desse modo, é necessário que as mudas arbóreas superem os fatores limitantes durante o estabelecimento, consigam se desenvolver e, assim, aumentem suas chances de sobrevivência na próxima estação seca (GROSSNICKLE, 2005; PADILLA; PUGNAIRE, 2007). Na restauração de florestas tropicais, as quais as espécies arbóreas são particularmente vulneráveis à seca (GROSSNICKLE, 2012), a sobrevivência das mudas depende da capacidade do sistema radicular acessar a água disponível no solo para suprir a demanda atmosférica (GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018; PADILLA; PUGNAIRE, 2007), fazendo-as dependentes de chuvas (DIATTA et al., 2021; PADILLA; PUGNAIRE, 2009; RODRIGUES et al., 2015) ou de irrigação (BYAMBADORJ et al., 2021; DEL CAMPO et al., 2021).

Durante os períodos de seca, a disponibilidade de água no solo é reduzida, há um aumento da demanda atmosférica e as mudas ficam suscetíveis à cavitação (ROWLAND et al., 2015). O fenômeno da cavitação é responsável por provocar embolismos nos vasos condutores do xilema, que interrompem a coluna d'água (JANSSEN et al., 2020). Quando uma grande quantidade de vasos do xilema são danificados por embolismo, ocorre falha hidráulica e a planta perde o controle do balanço hídrico (MCDOWELL et al., 2011). Como consequência da falha hidráulica ocorre a interrupção da reposição de água dos tecidos vegetais, seguida de dissecação e morte do indivíduo (CAIONI et al., 2020; JANSSEN et al., 2020).

Para se proteger das condições adversas durante os períodos de estiagem, as espécies arbóreas utilizam diferentes mecanismos fisiológicos e morfológicos (CHIRINO et al., 2017; POORTER; MARKESTEIJN, 2008; ZHU et al., 2018). Pode-se citar o investimento da planta em um sistema radicular capaz de atingir horizontes mais profundos do solo, em busca de recursos captáveis (NICOTRA; BABICKA; WESTOBY, 2002; PAZ, 2003). Alterações na alocação de biomassa durante o crescimento permitem que a planta aumente a área de contato das raízes com o solo, ocasionando um aumento na razão raiz/caule (CHIRINO et al., 2017; VALLIERE et al., 2019). Uma vez que a umidade do solo tende a aumentar com a profundidade (PADILLA; PUGNAIRE, 2007; RODRIGUES et al., 2021), espécies que investem em um sistema radicular profundo são usualmente associadas à maiores taxas de sobrevivência (NICOTRA; BABICKA; WESTOBY, 2002).

As mudas utilizadas em projetos de restauração florestal geralmente são produzidas com um sistema radicular curto, de aproximadamente 19 cm (CHIRINO et al., 2008), sendo plantadas nas camadas superficiais do solo por essa razão. O tamanho do sistema radicular das mudas produzidas em viveiro é determinado pelo volume e comprimento do recipiente utilizado (DUMROESE; DAVIS; JACOBS, 2011; KOSTOPOULOU et al., 2011). A fim

de aumentar a sobrevivência das mudas em campo, alguns trabalhos investigaram a produção de mudas arbóreas com raízes alongadas para restauração, ou seja, cultivadas em recipientes mais profundos do que o usual (CHIRINO et al., 2008). Mudas produzidas com sistema radicular alongado podem ser uma alternativa interessante para melhorar a sobrevivências dos plantios de restauração florestal, uma vez que apresentam vantagens na fase de estabelecimento (PARK et al., 2021). Porém, existe a desvantagem em se aumentar o tamanho do recipiente por elevar os custos de produção, devido a utilização de uma maior quantidade de substrato. Entretanto, a produção de mudas com raízes alongadas sem utilizar uma grande quantidade de substrato pode ser explorada a partir de métodos já existentes como o plantio de mudas com raízes nuas (GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018; SCHRODER et al., 2016). Outros métodos interessantes são a irrigação por hidroponia, a qual não utiliza substrato e permite que as raízes se alonguem diretamente na água (CORRÊA et al., 2012) e a irrigação por capilaridade (SEMANANDA; WARD; MYERS, 2018) que mantem o substrato constantemente húmido, porém são técnicas ainda pouco exploradas na produção de mudas arbórea.

Frente à crescente demanda por plantios de restauração florestal, como alternativa para mitigar os efeitos das mudanças climáticas (DE JONG; LIU; LONG, 2021), o desenvolvimento de métodos que colaborem com o estabelecimento das mudas é incentivado (GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018). Nesse contexto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o padrão de alocação de biomassa nas espécies *Schinus terebinthifolius*, *Erythrina speciosa* e *Genipa americana* que foram induzidas ao alongamento do sistema radicular por meio de um condutor de irrigação passiva, no processo de produção de mudas em um viveiro de espécies nativas florestais. As hipóteses testadas são de que (i) as mudas de espécies nativas produzidas sob esse método apresentam alterações no padrão de alocação de biomassa; (ii) o comportamento em relação ao crescimento em altura e ao alongamento de raiz na condição de viveiro, são diferentes entre as espécies devido as suas distintas características de classificação sucessional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Desafios da restauração florestal com plantio de mudas

A restauração ecológica de ecossistemas naturais é uma importante estratégia de mitigação dos efeitos causados pelas mudanças climáticas. Grande parte dos esforços de restauração florestal são empregados em regiões tropicais, seja por que abrigam expressiva biodiversidade (DE JONG; LIU; LONG, 2021; RODRIGUES et al., 2011) ou porque são ambientes particularmente sensíveis aos efeitos das mudanças climáticas (PHILLIPS et al., 2009; ROCHA et al., 2020). Em função da maior suscetibilidade aos eventos como secas sazonais prolongadas (NOBRE et al., 2016) e alterações nos padrões de precipitação (ALVES et al., 2021; BAUDENA et al., 2021), as formações florestais de regiões tropicais são expostas à processos de desertificação e processos de degradação (BERDUGO et al., 2020; SENNA et al., 2014). Neste sentido, cenários de degradação intensa em ambientes ricos em biodiversidade tornam as ações restaurativas imprevisíveis e comprometem a efetividade das restaurações.

Dentre as técnicas utilizadas para a restauração ecológica de ambientes florestais destaca-se o plantio de mudas de espécies arbóreas (OSORIO-SALOMÓN et al., 2021; PEDRAZA; WILLIAMS-LINERA; NICOLÁS-SILVA, 2021). Esse método é empregado sobretudo em áreas com baixa resiliência e funcionalidade perturbada, e que se encontram distantes daquelas observadas em locais conservados (OSORIO-SALOMÓN et al., 2021; RODRIGUES et al., 2009).

Quando expostas a ambientes com condições substancialmente diferentes das ótimas para o crescimento da planta, ocorrem respostas e mudanças no organismo do indivíduo. Quanto maior o grau de degradação da área em questão, mais expostas as mudas ficam às condições estressantes, fato esse que coloca em risco a fase de estruturação da floresta e o consequente avanço da ação restaurativa (ANDIVIA et al., 2021). As consequências de fatores estressantes durante o desenvolvimento podem trazer danos permanentes para a muda que, quando não superados, levam o indivíduo à morte (PETERS; IVERSON; MATTHEWS, 2015; ROCHA et al., 2020). Por essa razão, têm sido realizados estudos sobre fatores como a escassez hídrica, que são responsáveis por limitar o desenvolvimento inicial das mudas em campo, com o objetivo de melhorar os resultados na aplicação da restauração florestal (PETERS; IVERSON; MATTHEWS, 2015).

A presença de gramíneas exóticas invasoras é um dos principais fatores limitantes para a restauração de florestas tropicais, uma vez que competem por recursos com as mudas (JACOBS et al., 2020). Contudo, em regiões áridas e semiáridas, a escassez hídrica torna-se a principal barreira para o desenvolvimento das mudas e eleva as taxas de mortalidade dos plantios no contexto da restauração florestal (DIATTA et al., 2021).

Além dos fatores limitantes já mencionados, o volume do recipiente utilizado para a produção de mudas também constitui um significativo fator limitante do crescimento das mudas em viveiro, onde a irrigação e adubação são controladas (HAASE et al., 2016; MARIOTTI et al., 2015a). O tamanho das mudas produzidas para restauração florestal varia de acordo com os fins de utilização e conforme as características do local em restauração. Em geral, são desenvolvidos estudos com produção de mudas maiores em regiões com baixa disponibilidade hídrica (CHIRINO et al., 2008). Isso porque mudas maiores possuem um sistema radicular mais volumoso, aspecto relevante para o estabelecimento, uma vez que este depende do desenvolvimento de novas raízes que se acoplem ao solo para obtenção de recursos (ANDIVIA et al., 2021; MARIOTTI et al., 2015a). Ainda que os plantios sejam realizados em períodos chuvosos (DEL CAMPO et al., 2021), entende-se a necessidade de otimizar a sobrevivência das mudas para a próxima estação seca.

2.2. Consequências do estresse hídrico para espécies arbóreas

A disponibilidade de água no solo é o fator primário de limitação para a efetividade das ações de restauração florestal que envolvem o plantio de mudas arbóreas, já que esta influencia diretamente o estabelecimento das mudas (MOLES; WESTOBY, 2004). A água é fundamental para a expansão celular e o crescimento da planta, uma vez que compõe cerca de 70% a 90% dos tecidos vegetais. Além disso, é um elemento indispensável para as atividades metabólicas da planta, ainda que a maior parte da água absorvida, cerca de 95%, é transferida para a atmosfera via transpiração. O movimento da água na planta através do continuum solo-planta-atmosfera inicia-se nas raízes, segue para as folhas através dos vasos condutores – que constituem o xilema – e, por fim, é liberada na forma de vapor durante a abertura dos estômatos para captura de CO₂ (FARQUHAR; SHARKEY, 1982).

Durante períodos secos e quentes ocorre um aumento na tensão dos vasos condutores do xilema devido à alta demanda atmosférica e ao baixo potencial hídrico do solo. A ocorrência de uma seca extrema pode aumentar essa tensão a ponto de superar o limiar suportado para manter a adesão entre as moléculas de água e as paredes dos vasos do xilema (MANZONI et al., 2013; ROWLAND et al., 2015). O rompimento, fenômeno conhecido por cavitação, é responsável pela formação de bolhas que se espalham rapidamente pelo xilema e rompem a coluna d'água nos vasos condutores (POCKMAN; SPERRY; O'LEARY, 1995). À medida que as embolias se expandem, ocorrem bloqueios no fluxo do conduto e a reposição da água liberada por transpiração torna-se limitada. Com uma elevada quantidade de vasos obstruídos, a planta começa a apresentar sinais de falha hidráulica, ocorre dissecação nos tecidos vegetais e possível morte (CORLETT, 2016; JANSSEN et al., 2020; ZHU et al., 2018).

Para determinar a vulnerabilidade da planta ao embolismo, o P₅₀ é um dos parâmetros mais utilizados (URLI et al., 2013; ZHU et al., 2018). A métrica consiste no valor de potencial hídrico onde 50% da condutividade hidráulica do xilema é perdida (BRODRIBB et al., 2003). Outro parâmetro importante é o P₈₈, que representa o ponto no qual o potencial hídrico não pode mais ser recuperado em angiospermas, ou seja, acarreta a morte da planta (CHOAT et al., 2012; URLI et al., 2013). Os valores de P₅₀ e P₈₈ variam entre as espécies de acordo com a espessura de seus xilemas (HACKE; SPERRY, 2001), assim como variam conforme o ambiente em que se encontram e o tamanho do indivíduo (MANZONI et al., 2013; MCDOWELL et al., 2008). Isso ocorre porque plantas menores apresentam mais resistência à falha hidráulica quando próximas ao valor de P₅₀. Essas diferenças encontradas na resistência à embolia provavelmente exerce considerável influência na distribuição global das espécies (BLACKMAN et al., 2014; POORTER et al., 2010).

Quando a disponibilidade de água é baixa o potencial hídrico do solo é igual ou inferior ao potencial hídrico das raízes (ponto de murcha permanente – PMP) (TOLK, 2008). Sob essas condições, as raízes perdem a capacidade de extrair água do solo, o volume da transpiração supera o da absorção, e a planta não é capaz de manter o balanço hídrico. Como resultado do PMP do solo, danos irreversíveis são causados já que os tecidos vegetais não conseguem recuperar sua turgidez, mesmo com o fornecimento de água em abundância e proteção contra a radiação solar (BRIGGS; SHANTZ, 1912). Vale frisar que o valor do PMP varia entre as espécies e depende de outros fatores, como o tipo do solo e quantidade de matéria orgânica (CZYŻ; DEXTER, 2013; GARG et al., 2017).

2.3. Seleção de espécies para restauração florestal

A seleção de espécies adequadas para o plantio constitui uma importante parte do planejamento da restauração florestal (DEL CAMPO et al., 2021; SANDEL; CORBIN; KRUPA, 2011). Como suporte para a escolha

das espécies estão os estudos sobre os traços funcionais, área do conhecimento que recebeu mais atenção nos últimos anos (CHARLES, 2018; DE LIMA et al., 2021). Alguns trabalhos da ecologia funcional sugerem que sejam escolhidos grupos de espécies que apresentam rápido crescimento e formação de copa e que sejam atrativas para a fauna de polinizadores e dispersores (ALMEIDA; VIANI, 2021). Além dessas características, a resistência ao estresse hídrico ganhou atenção (DE OLIVEIRA et al., 2020) devido a uma maior frequência de alterações climáticas (ROCHA et al., 2020). Essa característica, ainda que amplamente discutida em regiões de baixa precipitação (PETERS; IVERSON; MATTHEWS, 2015), é determinante para o estabelecimento das mudas em campo.

A seleção de espécies com características funcionais favoráveis ao estabelecimento das mudas deve ser combinada com técnicas de produção adequadas nos viveiros de espécies florestais (GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018; JACOBS et al., 2020). É possível, através das técnicas de cultivo, produzir mudas de maneira a potencializar sua performance em campo no período inicial após o plantio (DUMROESE; DAVIS; JACOBS, 2011). Um exemplo é a etapa de rustificação, processo de aclimação gradual das mudas que viabiliza a redução do estresse após o plantio. Durante essa etapa da produção, reduz-se a frequência de irrigação e nutrição das mudas, e aumenta-se a exposição solar de maneira gradativa. Outro importante fator que determina o sucesso do desenvolvimento inicial das mudas é o tamanho destas, que pode ser estabelecido durante a produção em viveiros (CHIRINO et al., 2008; JACOBS et al., 2020). Em comparação com mudas menores da mesma espécie, geralmente as mudas maiores apresentam taxas de estabelecimento mais altas, pois lidam melhor com o estresse hídrico (ANDIVIA et al., 2021; MARIOTTI et al., 2015a).

2.3.1. *Schinus terebinthifolius*

Schinus terebinthifolius (Anacardiaceae) é uma espécie nativa da América do Sul, encontrada com frequência nas regiões brasileiras mais frias (regiões costeiras). Esta espécie é conhecida popularmente como aroeira-vermelha, aroeira-pimenteira e pimenta brasileira, devido aos frutos que têm a aparência de pequenas pimentas de cor rosa-avermelhada, sendo também chamados de pimenta-rosa e outros nomes similares. O fruto avermelhado da aroeira-pimenteira é atrativo para a avifauna, atuando como um importante agente dispersor, característica valiosa em ações de restauração ecológica (CORRÊA, 1974).

Ainda que a pimenta-rosa seja uma espécie pouco cultivada no Brasil, ela possui um grande potencial de exploração e uso. Em viveiros, essa espécie é capaz de florescer e frutificar já no primeiro ano de vida. Em ambiente natural, é comum em beiras de rios e córregos, além de várzeas úmidas, devido à sua tolerância a solos alagados. No entanto, também pode ser encontrada em terrenos secos e solos pobres (SCHRAMM MIELKE et al., 2005). Sua alta plasticidade ecológica permite que ela ocupe diversos tipos de ambientes e formações vegetais, aumentando as possibilidades de cultivo em diferentes regiões do país (LENZI & ORTH, 2004).

Como uma espécie inicial da sucessão, é heliófita e tem crescimento rápido, podendo atingir até 15 metros de altura na fase adulta. Por sua capacidade de se desenvolver em locais com baixa disponibilidade de recursos, é frequentemente usada em plantios de restauração florestal, mas precisa ser utilizada com cuidado, pois tem forte potencial invasor (VIDAL et al., 2020; DA et al., 2007).

2.3.2. *Erythrina speciosa*

Erythrina speciosa (Fabaceae) é uma espécie caducifólia característica da Mata Atlântica, encontrada principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, também conhecida como eritrina-candelabro, maçaranduba, mulungu, saranduba ou suinã. É considerada secundária inicial com crescimento moderado, atingindo de 4 a 5 m de altura quando adulta. A floração ocorre nos meses mais frios do ano, com flores vermelhas ou laranjas, adaptadas para a polinização por pássaros nectarívoros (JOLY, 1970; KOSZO et al., 2007).

Esta espécie sobrevive em solos alagados por um longo período (MEDINA et al., 2009). Assim como várias espécies pertencente à família Fabaceae, a *E. speciosa* forma nódulos em suas raízes, onde ficam alojadas bactérias fixadoras de nitrogênio. Trabalhos sobre a utilização desta espécie em plantios de recuperação de áreas degradadas são comuns (VIDAL et al., 2020; SOARES, 2007; LONDE; SOUZA, 2017).

2.3.3. *Genipa americana*

Genipa americana (Rubiaceae) é uma espécie secundária tardia amplamente distribuída nas regiões brasileiras, do Norte, presente na Floresta Amazônica, ao Sudoeste, em formações de Floresta Atlântica, com ocorrência também na Caatinga, Cerrado e Pantanal. É uma espécie semidecídua, higrófito seletiva, semi-heliófito que cresce em locais com solo periodicamente inundado, provável fator para explicar sua ampla distribuição (SOUZA et al., 1999).

O jenipapo O jenipapeiro (*Genipa americana* L.) possui crescimento moderado, com altura média de 8 a 14 m, podendo alcançar até 30 m de altura na fase adulta. Quando jovem, tolera baixas intensidades de sombreamento. É geralmente encontrada em matas mais úmidas, próximas a rios, mas pode ocorrer em matas de terra firme (SILVA et al., 2009). Por ser encontrada em formações florestais com estágio de sucessão mais avançado, pode ser usada para o enriquecimento de plantios de restauração em áreas degradadas, uma vez que seus frutos servem como atrativos de fauna (VIDAL et al., 2020).

2.4. Irrigação por capilaridade

A movimentação de água entre dois pontos é influenciada por diferenças de gradientes de potencial hidráulico, incluindo o potencial matricial, de pressão e gravitacional. Essas diferenças de potencial levam naturalmente a um fluxo da água do ponto de potencial mais elevado para o mais baixo. Esse fluxo pode ser tanto descendente, chamado de percolação, quanto ascendente, conhecido como ascensão capilar. A ascensão capilar ocorre devido à capilaridade, um fenômeno relacionado à tensão superficial da água e que causa curvaturas nas interfaces entre a água e as partículas sólidas próximas. Esse princípio físico é amplamente utilizado na técnica da irrigação (SALVADO, 2010).

O sistema de irrigação por capilaridade tem como uma de suas principais características a capacidade de manter níveis mais elevados de água retida no substrato, o que possibilita o uso mais racional desse recurso. No entanto, alguns autores indicam que o uso desse princípio pode apresentar algumas limitações na produção de plantas envasadas, como a ocorrência de valores mais altos de condutividade elétrica nas camadas superiores do substrato (RICHARDS & REED, 2004).

O sistema de irrigação por capilaridade apresenta características que se destacam em relação aos sistemas de irrigação por aspersão, principalmente no caso de plantas acondicionadas em pequenos recipientes. Nos sistemas de aspersão, a água é aplicada em toda a superfície, incluindo a área entre os recipientes, o que resulta em baixas eficiências de aplicação (YEAGER, 1995; BILDERBACK, 2001). Isso ocorre porque as perdas de água nesses sistemas estão diretamente relacionadas às áreas cobertas pelas bordas dos recipientes e pela área de suporte da bandeja.

Embora a técnica de irrigação por capilaridade possa apresentar vantagens no cultivo de mudas em viveiros, sobretudo no que diz respeito ao uso racional da água, para utilizá-la adequadamente, é fundamental compreender a capacidade de ascensão de água no meio de crescimento das raízes, um atributo que ainda é pouco explorado em estudos (BARRETO, 2012). Em outras palavras, apesar de se ter conhecimento sobre a irrigação por capilaridade, ainda faltam métodos de ensaio e informações de segurança para atestar a real capacidade de ascensão vertical de água em substrato de mudas florestais.

2.5. Alocação de biomassa e avaliação de qualidade de mudas de espécies arbóreas

Diversas são as estratégias metabólicas, fisiológicas e morfológicas utilizadas pelas plantas para se proteger de falha hidráulica e consequente desidratação dos tecidos, em condições de estresse hídrico. Em curto prazo, quando o potencial hídrico do solo diminui, a principal ação de defesa da planta é a redução da condutância estomática (CHAVES et al., 2002). A diminuição da abertura do estômato, ou até mesmo seu completo fechamento, reduz significativamente a perda de água para atmosfera por transpiração. Em contrapartida, a redução ou fechamento da abertura estomática interfere na captura de CO₂, afetando a fotossíntese e, consequentemente, o crescimento da planta (CHAVES et al., 2002; LAWLOR; CORNIC, 2002).

A ação de fechamento dos estômatos é eficiente no controle do balanço hídrico, mas é limitada por frear as atividades metabólicas da planta (CHAVES et al., 2002). Em regiões onde a estação seca se estende por longos períodos de tempo, outros mecanismos de defesa precisam ser acionados para garantir a sobrevivência da planta. Dentre eles, pode-se ressaltar as alterações fenotípicas, ainda que geneticamente limitadas, como importante estratégia para superar os efeitos das variações climáticas (CHAMBEL et al., 2005). A plasticidade fenotípica permite que o indivíduo direcione a alocação de biomassa para o crescimento de órgãos essenciais para que a planta supere os fatores limitantes (SHIPLEY; MEZIANE, 2002). Pode-se citar como exemplo dessa estratégia o padrão de estiolamento das mudas sob condição de baixa luminosidade, assim como de maior investimento no desenvolvimento de raízes sob condição de estresse hídrico (BRUNNER et al., 2015; MARKESTEIJN; POORTER, 2009).

A concentração de recursos na expansão de raízes é evidenciada principalmente em espécies arbóreas nativas de regiões mais secas, como aquelas presentes nos domínios do Cerrado e Caatinga. Muitas dessas espécies possuem raízes profundas e volumosas, com biomassa que pode superar a da parte aérea do indivíduo (FERREIRA et al., 2015; PINHEIRO et al., 2021). A importância da expansão das raízes da muda em direção aos horizontes mais profundos do solo se dá em virtude do aumento de umidade com a profundidade (PADILLA; PUGNAIRE, 2007). Desse modo, o desenvolvimento de raízes profundas durante a estação chuvosa garante o estabelecimento e aumenta as chances de sobrevivência da muda no próximo período seco (MARKESTEIJN; POORTER, 2009; PADILLA; PUGNAIRE, 2007).

Na restauração florestal, a alocação de biomassa das plantas é um valioso indicador de qualidade das mudas produzidas em viveiros, que supõe sobre a capacidade de estabelecimento e sobrevivência das plantas após o plantio (MARIOTTI et al., 2015b). Para isso, são utilizados parâmetros morfológicos tais como indicadores de crescimento (GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018). Dentre eles os principais são altura da parte aérea (Hs), diâmetro do coleto (DC), biomassa seca das raízes (MSR), biomassa seca da parte aérea (MSPA), esta última composta pela biomassa seca das folhas (MSF) e biomassa seca do caule (MSC). A partir dessas métricas é possível gerar o índice de robustez, a razão MSPA/MSR e o índice de qualidade de Dickson (IQD) (BINOTTO; LÚCIO; LOPES, 2010; DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960), dentre outros.

O índice de robustez traz informações sobre a capacidade da planta em se sustentar em pé, uma vez que se traduz na razão Hs/DC. Altos valores oriundos desta razão indicam estiolamento e maior suscetibilidade da planta a entortar com o vento. A alocação de biomassa, descrita pela razão MSPA/MSR, pode ser utilizada para indicar resistência ao déficit hídrico. A MSR, por sua vez, é um indicador relacionado diretamente com o estabelecimento da muda, uma vez que plantas com maior volume de raiz aumentam a eficiência no transporte de água, importante característica para condições de baixa disponibilidade de água (CHIRINO et al., 2008).

Por fim, o IQD combina diversas métricas (MST, MSPA, MSR, Hs e DC) e traz uma perspectiva geral sobre o equilíbrio da distribuição de biomassa da muda. Apesar de o índice apresentar valores variáveis entre as diferentes espécies, é frequentemente utilizado como principal indicador da qualidade de mudas florestais (BINOTTO; LÚCIO; LOPES, 2010). Isso porque, o IQD apresenta alta correlação com a sobrevivência das plantas após o plantio em campo. Apesar deste ser o indicador mais completo, é importante que seja feita uma avaliação das mudas que leve em conta outros índices, assim como deve ser feita uma análise das métricas de maneira individual, principalmente diante o desenvolvimento de novos métodos de produção (CHIRINO et al., 2008; GROSSNICKLE, 2012).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar o padrão de alocação de biomassa nas espécies *Schinus terebinthifolius*, *Erythrina speciosa* e *Genipa americana* que foram induzidas ao alongamento do sistema radicular por meio de um condutor de irrigação passiva, no processo de produção de mudas em um viveiro de espécies nativas florestais.

3.2. Objetivos específicos

- Avaliar a influência do condutor de irrigação passiva na altura da parte aérea, no diâmetro do coleto e no padrão de alocação de biomassa das mudas, quando induzidas ao alongamento de raiz;
- Determinar a qualidade de mudas induzidas ao alongamento de raiz com a irrigação passiva, a partir dos índices de qualidade: razão entre massa seca de raiz e massa seca do caule, razão entre massa seca da parte aérea e massa seca de raiz, índice de robustez e índice de qualidade de Dickson.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido na casa de sombra do viveiro de mudas da Bioflora Tecnologia da Restauração, no município de Piracicaba – SP, coordenadas 22°44'58.3"S 47°34'46.5"W. O clima é classificado como Cfa (Köppen), com temperatura média anual da 21,7 °C, variando de 24,2 °C em fevereiro (mês mais quente) a 18,1 °C em julho (mês mais frio). A pluviosidade média anual é de 1.346 mm, com 261 mm em janeiro (mês mais chuvoso) e 32 mm em agosto, mês com maior estiagem (ALVARES et al., 2013).

4.2. Seleção das espécies

Foram testadas um total de 8 espécies com o condutor de irrigação passiva, visando promover o alongamento das raízes. Entre essas espécies, uma delas é exótica de interesse silvicultural, enquanto as demais são espécies nativas da Mata Atlântica, frequentemente utilizadas em programas de restauração florestal ativa (ver **Apêndice A**). Para garantir a padronização na coleta de dados, apenas três das espécies testadas foram selecionadas para dar continuidade ao experimento.

As três espécies selecionadas apresentam características distintas que definem sua classificação sucessional e são comumente encontradas em viveiros que produzem mudas para uso em plantios de restauração florestal (VIDAL et al., 2020). Essas espécies são: *Schinus terebinthifolius* Raddi, popularmente conhecida como Aroeira-pimenteira, da família Anacardiaceae, considerada uma espécie inicial de sucessão; *Erythrina speciosa* Andrews, popularmente conhecida como Mulungu-do-Litoral, da família Fabaceae, classificada como uma espécie intermediária de sucessão; e *Genipa americana* L., popularmente conhecida como Jenipapo, da família Rubiaceae, uma espécie mais avançada de sucessão.

4.3. Seleção do material condutor e preparo do irrigador passivo

Para a produção de mudas com raízes alongadas com o auxílio de um condutor de irrigação passiva, que utiliza a ação da capilaridade para conduzir água de um reservatório até a muda, foram testados três materiais: algodão, celulose e microfibras (80% poliéster e 20% poliamida). Os tecidos foram cortados em formato de fitas de 2,5 cm de largura e 60 cm de comprimento, que posteriormente foram encapadas com plásticos para evitar perda d'água por evaporação, mantendo as pontas desencapadas. As fitas foram dispostas na vertical e as extremidades inferiores (10 cm finais) ficaram submersas em água disposta em bquer. Para avaliar qual destes materiais conduziria a água por capilaridade em um menor tempo, acompanhou-se de forma visual a subida da água em direção a extremidade superior da fita (Figura 1).



Figura 1. Teste realizado para seleção do material para produção do condutor de irrigação passiva. A - fita disposta verticalmente com a extremidade inferior submersa em água. B - altura atingida pela água.

Decorrido um período de 24 horas de acompanhamento, verificou-se que a água atingiu alturas distintas em cada um dos materiais testados. A altura atingida no período foi de 37 cm no algodão, 53 cm na celulose e 115 na microfibras. De acordo com os resultados, a microfibras foi selecionada para a produção das fitas utilizadas no experimento. Para produzir o condutor de irrigação passiva as fitas foram acopladas em tubetes cilíndricos com 19 cm de comprimento, 51 mm de diâmetro e 290 cm³ de volume (Figura 2).

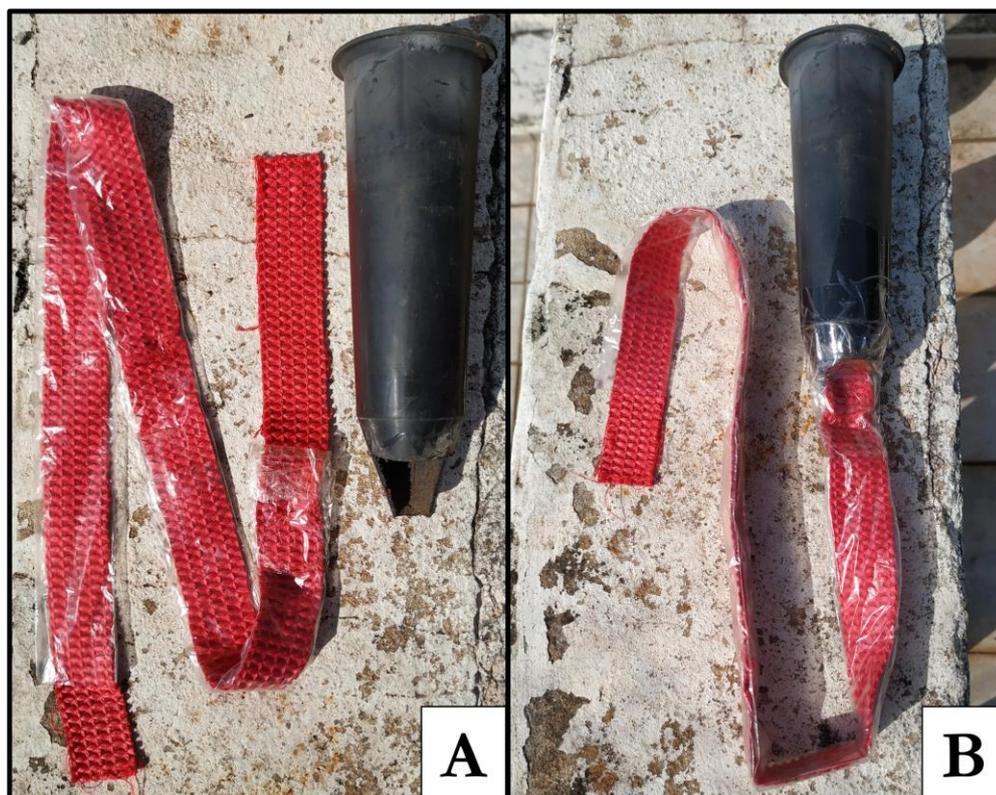


Figura 2. Produção do condutor de irrigação passiva. A - fita de microfibras e tubete. B - condutor de irrigação passiva pronto.

4.4. Germinação das mudas e transplante para os tubetes

O experimento de alongamento de raízes através de irrigação por capilaridade das três espécies ocorreu no período de fevereiro a setembro de 2021. O experimento foi instalado em área com cobertura de tela de sombrite de 50%. As sementes das três espécies estavam armazenadas em embalagens de papelão em câmara fria no estoque do viveiro, as quais foram semeadas em canteiros de germinação com areia como substrato. Para proteger as sementes contra a queda de temperatura noturna, todos os dias até a germinação, os canteiros foram cobertos com lona no fim de tarde e descobertos no início da manhã. O controle da umidade foi feito através de irrigação por aspersão.

Após a germinação das sementes, foram transplantadas 30 plântulas de cada espécie, com tamanhos similares, para os tubetes adaptados para irrigação por capilaridade, sendo uma plântula por tubete. Para cada espécie, outras 30 plântulas foram transplantadas para tubetes convencionais, ou seja, sem fita acopladas, representando o tratamento controle. Os tubetes de ambos os tratamentos foram preenchidos com substrato comercial para mudas florestais a base de fibra de coco, casca de arroz e vermiculita expandida.

Para cada espécie, os 30 tubetes com as plântulas de cada tratamento foram colocados de forma espaçada em duas bandejas de 54 células cada, totalizando 15 tubetes por bandeja e 4 bandejas. As bandejas foram posicionadas sobre mesas furadas, permitindo que as fitas de microfibras para o alongamento das raízes ficassem verticalmente esticadas. As laterais das mesas foram encapadas com lonas pretas para evitar que a radiação solar atingisse as fitas e danificassem as raízes alongadas. Embaixo de cada bandeja, foi posicionado um recipiente mantido com 5 litros de água, garantindo que os 10 cm finais das fitas ficassem submersos, permitindo a absorção e elevação da água pelo tecido até o substrato (Figura 3). As mudas de ambos os tratamentos receberam irrigações automáticas

por aspersão 8 vezes ao dia com duração de 5 minutos cada, a primeira irrigação sempre às 7 horas e a última às 17 horas.



Figura 3. Disposição das mudas na casa de vegetação.

4.5. Coleta de dados

Foram realizadas amostragens de dados de forma não destrutiva e destrutiva. O crescimento das mudas em viveiro foi acompanhado com a mensuração semanal da parte aérea de todos os indivíduos em ambos os tratamentos e do alongamento de raiz na fita de todos os indivíduos do tratamento de irrigação passiva. Com auxílio de uma régua milimetrada foi medida a altura da parte aérea a partir do colo da muda, onde o caule toca o substrato, até a gema apical. O alongamento da raiz foi mensurado a partir da saída da raiz da parte terminal do tubete, para isso foi utilizada uma fita milimetrada. O alongamento da raiz foi dado por completo na mensuração semanal em que a raiz de um indivíduo da espécie atingiu o reservatório com água, ou seja, um comprimento de 50 cm.

No momento em que as mudas da espécie completaram alongamento de raiz, elas foram coletadas e transportadas para o Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal USP/ESALQ (LERF). Foram avaliadas semanalmente a altura final da parte aérea (H_s) com auxílio de régua milimetrada e diâmetro do coleto (DC) determinado com auxílio de paquímetro. As mudas foram divididas em folhas, caule, raiz e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar por 72 h à 65 °C. Posteriormente cada parte da planta (folhas, caule e raízes) foi pesada individualmente com auxílio de balança de precisão e foi determinado em gramas o valor da Massa seca total (MST), Massa seca da raiz (MSR), Massa seca da folha (MSF), Massa seca do caule (MSC), Massa seca da parte aérea (MSPA), sendo essa última a soma $MSF+MSC$.

4.6. Análise de dados

Com os dados mensurados semanalmente, coletados de maneira não destrutiva, foi analisado o crescimento da parte aérea entre ambos os tratamentos de cada espécie. Para o tratamento de irrigação passiva também foi realizada comparação das médias do crescimento da parte aérea e do alongamento da raiz entre as três espécies. Esses dois parâmetros foram correlacionados para estimar a proporção de crescimento (parte aérea/raiz) ao longo do tempo para as espécies.

Com os dados obtidos pela amostragem destrutiva foi calculada a razão entre MSR/MSC, a razão entre MSPA/MSR, o Slenderness índice (índice de conicidade ou índice de robustez) determinado pela razão de Hs/DC e por fim o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960) calculado pela seguinte equação: $[IQD = MST/(Hs/DC + (MSC/MSR))]$.

Para testar a hipótese de que há diferença na alocação de biomassa entre as mudas produzidas sob o sistema de irrigação por capilaridade os tratamentos controle e fita foram comparados para cada uma das espécies em relação às variáveis: crescimento em altura (cm); diâmetro do coleto (mm); massa seca da raiz (g); massa seca da folha (g); massa seca do caule (g); massa seca da parte aérea (g); massa seca total (g); massa seca da raiz / massa seca do caule; massa seca da parte aérea / massa seca da raiz; índice de qualidade de Dickson e índice de robustez. A normalidade foi conferida através do teste de Shapiro-Wilk, dados que não apresentaram normalidades foram submetidos a uma transformação logarítmica. As médias dos tratamentos foram comparadas através do teste t ao nível de confiança de 95%, desde que esses apresentassem distribuição normal. Todas as análises foram feitas no R (R CORE TEAM, 2020).

5. RESULTADOS

5.1. Padrão de alocação de biomassa

Schinus terebinthifolius

Os resultados mostram que existem diferenças significativas entre os tratamentos em relação às variáveis Altura da parte aérea (Hs), Diâmetro do coleto (DC), Matéria seca da folha (MSF), Matéria seca do caule (MSC), Matéria seca da parte aérea (MSPA), Matéria seca total (MST), relação Matéria seca da raiz/Matéria seca do caule (MSR/MSC) e relação Matéria seca da parte aérea/Matéria seca da raiz (MSPA/MSR). Já a variável Matéria seca da raiz (MSR) e o Índice de qualidade de Dickson (IQD) não apresentam diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 1).

Após o período de cultivo na casa de sombra, foi observado que as mudas de *Schinus terebinthifolius* submetidas ao tratamento de irrigação passiva apresentaram maior robustez, conforme evidenciado pelo índice (Hs/DC), com valores médios de 4,95 e 3,96 para o grupo controle e irrigação passiva, respectivamente. Além disso, o grupo de irrigação passiva apresentou uma relação MSR/MSC 51% maior do que o grupo controle. Ambos os grupos apresentaram valores similares em relação à MSR e IQD, com médias de 0,77 e 0,67 para a MSR e 0,36 e 0,33 para o IQD no tratamento controle e irrigação passiva, respectivamente. No entanto, em outras variáveis avaliadas, as mudas do grupo de controle apresentaram valores superiores ao grupo de irrigação passiva, sendo 46,7% maior em relação a Hs, 20,8% em DC, 36,2% em MSF, 68,5% em MSC, 44,5% em MSPA, 35,4% em MST e 23,8% na relação MSPA/MSR.

Tabela 1: Valores médios das variáveis Altura da parte aérea (Hs), Diâmetro do coleto (DC), Matéria seca da raiz (MSR), Matéria seca da folha (MSF), Matéria seca do caule (MSC), Matéria seca da parte aérea (MSPA), Matéria seca total (MST) e Índice de qualidade de Dickson (IQD) para a espécie *S. terebinthifolius* nos tratamentos controle e fita e resultados de comparação de médias pelo teste t ao nível de confiança de 95%, tratamentos com as mesmas letras não diferem entre si.

Variável	Controle	Irrigação Passiva	teste t	graus de liberdade	p valor
Hs(cm)	20,1 a	13,7 b	5,92	40,6	<0,01*
DC(mm)	4,40 a	3,64 b	5,18	40,6	<0,01*
MSR(g)	0,77 a	0,67 a	1,51	32,5	0,139
MSF(g)	1,39 a	1,02 b	3,51	39,2	<0,01*
MSC(g)	0,59 a	0,35 b	4,68	32,0	<0,01*
MSPA(g)	1,98 a	1,37 b	4,15	32,5	<0,01*
MST(g)	2,75 a	2,03 b	3,36	36,6	<0,01*
MSR/MSC	1,37 b	2,07 a	5,12	32,5	<0,01*
MSPA/MSR	2,60 a	2,10 b	3,8	46,6	<0,01*
IQD	0,36 a	0,33 a	1,10	36,5	0,275
Hs/DC	4,95 a	3,96 b	4,32	34,3	<0,01*

Como pode ser observado na Figura 4, houve alteração no padrão de alocação de biomassa em mudas dessa espécie produzidas com a irrigação passiva, indicados pelos índices de MSR/MSC e MSPA/MSR. Essas

diferenças indicam que as mudas com irrigação passiva direcionaram maior parte de sua biomassa para a produção de raízes, de acordo com os índices avaliados.

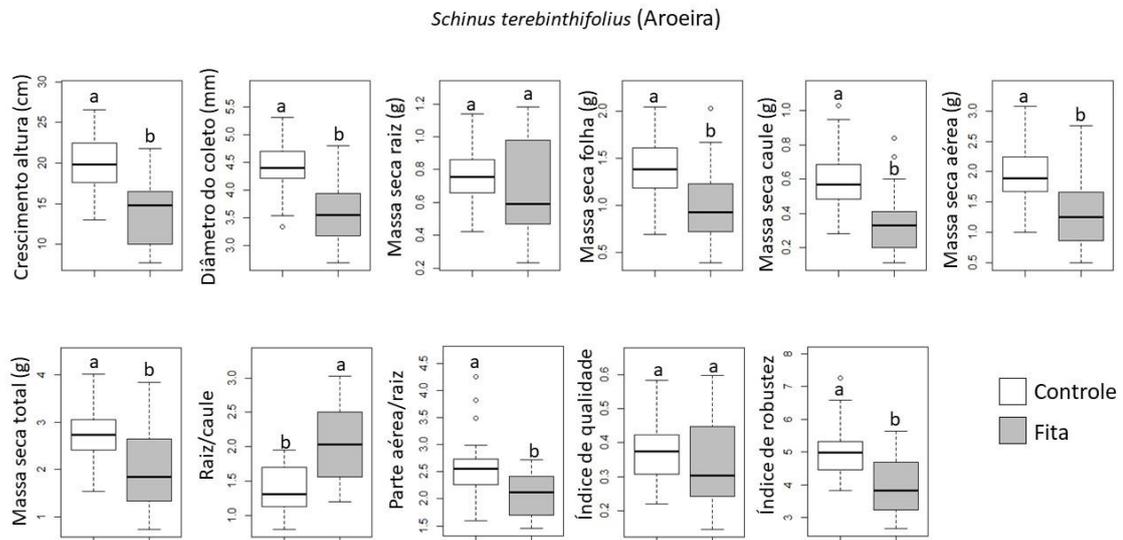


Figura 4: Boxplot das variáveis Altura da parte aérea, Diâmetro do coleto, Matéria seca da raiz, Matéria seca da folha, Matéria seca do caule, Matéria seca da parte aérea, Matéria seca total, Razão matéria seca raiz/caule, Razão matéria seca parte aérea/raiz, índice de qualidade de Dickson e índice de robustez (Hs/DC) para a espécie *S. terebinthifolius* considerando os tratamentos controle e fita. A linha dentro da caixa representa a mediana e as barras representam o erro padrão. As letras são referentes ao teste T de comparação de médias ao nível de confiança de 95%, tratamentos com as mesmas letras não diferem entre si.

Apesar do tratamento controle apresentar um valor superior para a MST, não houve diferença significativa para o valor de MSR (Figura 5). A correlação encontrada entre MSPA e MSR é positiva para ambos os tratamentos, porém mais forte nas mudas produzidas com irrigação passiva.

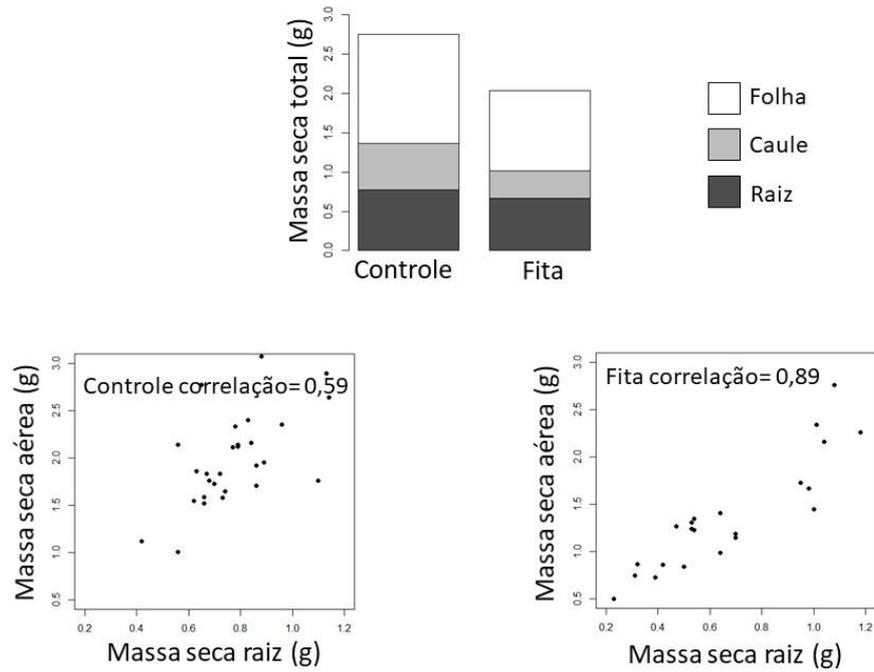


Figura 5: Acima: média de massa seca em gramas para os tratamentos controle e fita da espécie *S. terebinthifolius*. Abaixo: correlação entre massa seca da parte aérea em gramas e massa seca da raiz em gramas (controle e fita, respectivamente).

Erythrina speciosa

Entre as variáveis analisadas, apenas o MSR/MSC apresentou diferença significativa entre os tratamentos controle e irrigação passiva, com as demais variáveis não apresentando diferenças significativas (Tabela 2). As médias de MSR/MSC foram de 1,55 e 2,04 para os tratamentos controle e irrigação passiva, respectivamente, o que representa um aumento de 31,6% no índice.

Tabela 2: Valores médios das variáveis Altura da parte aérea (Hs), Diâmetro do coleto (DC), Matéria seca da raiz (MSR), Matéria seca da folha (MSF), Matéria seca do caule (MSC), Matéria seca da parte aérea (MSPA), Matéria seca total (MST) e Índice de qualidade de Dickson (IQD) para a espécie *E. speciosa* nos tratamentos controle e fita e resultados de comparação de médias pelo teste t ao nível de confiança de 95%, tratamentos com as mesmas letras não diferem entre si.

Variável	Controle	Irrigação Passiva	teste t	graus de liberdade	p valor
Hs(cm)	10,1 a	8,61 a	1,88	41,76	0,06
DC(mm)	1,07 a	1,14 a	0,78	39,4	0,43
MSR(g)	3,2 a	3,63 a	0,89	41,7	0,37
MSF(g)	3,13 a	3,30 a	0,29	41,5	0,76
MSC(g)	2,24 a	1,87 a	0,52	40,7	0,60
MSPA(g)	5,37 a	5,17 a	0,28	40,6	0,77
MST(g)	8,57 a	8,80 a	0,61	40,9	0,53
MSR/MSC	1,55 b	2,04 a	4,02	40,6	<0,01*
MSPA/MSR	1,69 a	1,40 a	1,97	32,1	0,05
IQD	0,67 a	0,78 a	0,87	42,3	0,38
Hs/DC	13,0 a	10,7 a	1,86	41,7	0,06

A espécie apresentou similaridade no padrão de alocação de biomassa, sendo encontrada diferença significativa apenas para a razão MSR/MSC, porém a MSR e MSC se mantiveram iguais (Figura 6).

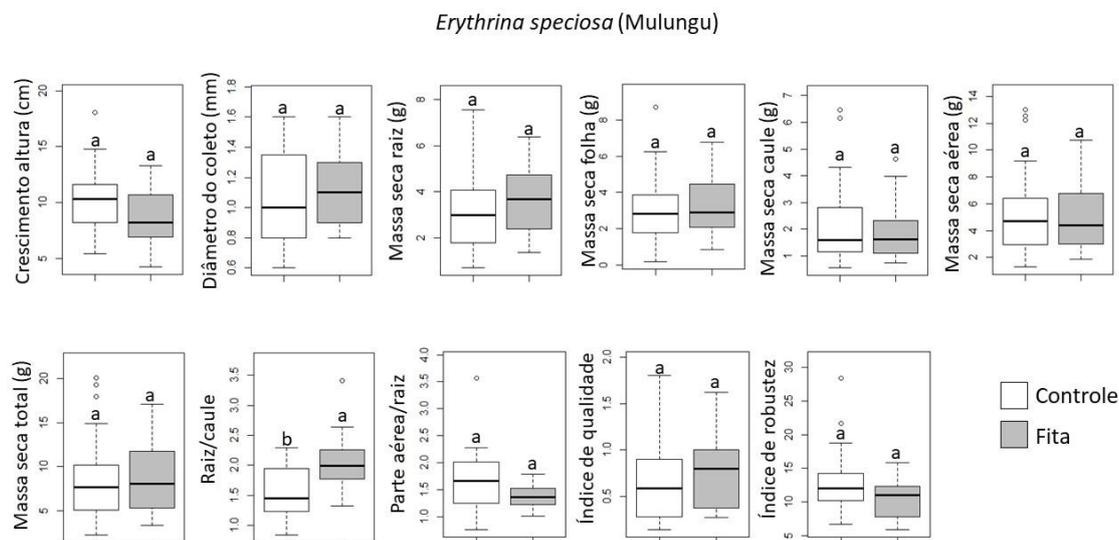


Figura 6: Boxplot das variáveis Altura da parte aérea, Diâmetro do coleto, Matéria seca da raiz, Matéria seca da folha, Matéria seca do caule, Matéria seca da parte aérea, Matéria seca total, Razão matéria seca raiz/caule, Razão matéria seca parte aérea/raiz, Índice de qualidade de Dickson e Índice de robustez (Hs/DC) para a espécie *E. speciosa* considerando os tratamentos controle e fita. A linha dentro da caixa representa a mediana e as barras representam o erro padrão. As letras são referentes ao teste T de comparação de médias ao nível de confiança de 95%, tratamentos com as mesmas letras não diferem entre si.

A distribuição de biomassa na planta foi semelhante entre os tratamentos, tanto para a MST quanto na avaliação separada de cada parte (Figura 7). Em ambos os tratamentos foi encontrada uma positiva e forte correlação entre MSPA e MSR.

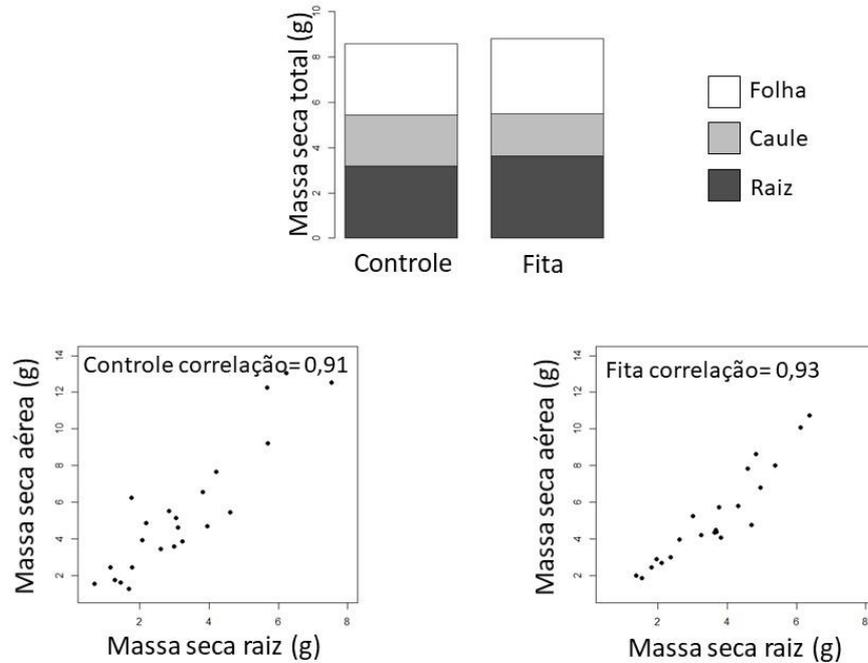


Figura 7: Acima: média de massa seca em gramas para os tratamentos controle e fita da espécie *E. speciosa*. Abaixo: correlação entre massa seca da parte aérea em gramas e massa seca da raiz em gramas (controle e fita, respectivamente).

Genipa americana

Os resultados mostram que houve diferenças significativas entre os tratamentos nas variáveis MSF, MSPA, MST e MSPA/MSR ($p < 0,01$). O tratamento irrigação passiva foi superior ao controle no acúmulo de MSF em 41%, na MSPA foi 34,6%, na MST foi 24,3% e na relação MSPA/MSR foi 14,9%. Para as outras variáveis, não houve diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$), incluindo Hs, DC, MSR, MSC, MSR/MSC e IQD (Tabela 3).

Tabela 3: Valores médios das variáveis Altura da parte aérea (Hs), Diâmetro do coleto (DC), Matéria seca da raiz (MSR), Matéria seca da folha (MSF), Matéria seca do caule (MSC), Matéria seca da parte aérea (MSPA), Matéria seca total (MST) e Índice de qualidade de Dickson (IQD) para a espécie *G. americana* nos tratamentos controle e fita e resultados de comparação de médias pelo teste t ao nível de confiança de 95%, tratamentos com as mesmas letras não diferem entre si.

Variável	Controle	Irrigação Passiva	teste t	graus de liberdade	p valor
Hs(cm)	8,25 a	9,51 a	1,67	54,3	0,09
DC(mm)	6,71 a	6,68 a	0,11	50,4	0,90
MSR(g)	4,17 a	4,89 a	1,66	53,0	0,10
MSF(g)	2,00 b	2,82 a	2,52	53,2	0,01*
MSC(g)	0,86 a	1,03 a	1,30	54,8	0,19
MSPA(g)	2,86 b	3,85 a	2,14	54,8	0,03*
MST(g)	7,03 b	8,74 a	2,03	53,0	0,04*
MSR/MSC	5,34 a	5,09 a	0,59	51,3	0,55
MSPA/MSR	0,67 b	0,77 a	2,31	46,4	0,02*
IQD	3,52 a	3,87 a	1,07	54,2	0,28
Hs/DC	1,32 a	1,46 a	1,66	54,8	0,10

Sob irrigação passiva as mudas apresentaram maior acúmulo de biomassa total, alocando maior parte no crescimento na parte aérea indicada pela razão MSPA/MSR. Diferença essa devido a valor superior de MSF no tratamento fita, uma vez que a MSC e MSR permaneceram com valor médio semelhante (Figura 8).

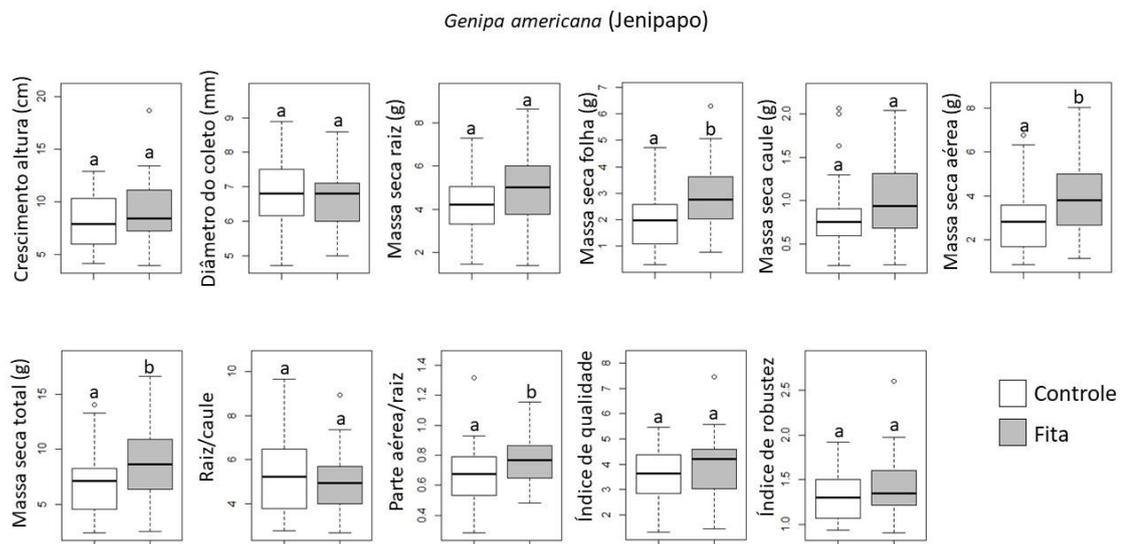


Figura 8: Boxplot das variáveis Altura da parte aérea, Diâmetro do coleto, Matéria seca da raiz, Matéria seca da folha, Matéria seca do caule, Matéria seca da parte aérea, Matéria seca total, Razão matéria seca raiz/caule, Razão matéria seca parte aérea/raiz, Índice de qualidade de Dickson e Índice de robustez (Hs/DC) para a espécie *G. americana* considerando os tratamentos controle e fita. A linha dentro da caixa representa a mediana e as barras representam o erro padrão. As letras são referentes ao teste T de comparação de médias ao nível de confiança de 95%, tratamentos com as mesmas letras não diferem entre si.

Apesar do tratamento controle possuir menor valor na MST, a MSR foi semelhante entre os dois tratamentos (Figura 9). As mudas com irrigação passiva apresentaram uma correlação mais forte entre MSPA e MSR, em comparação ao tratamento controle.

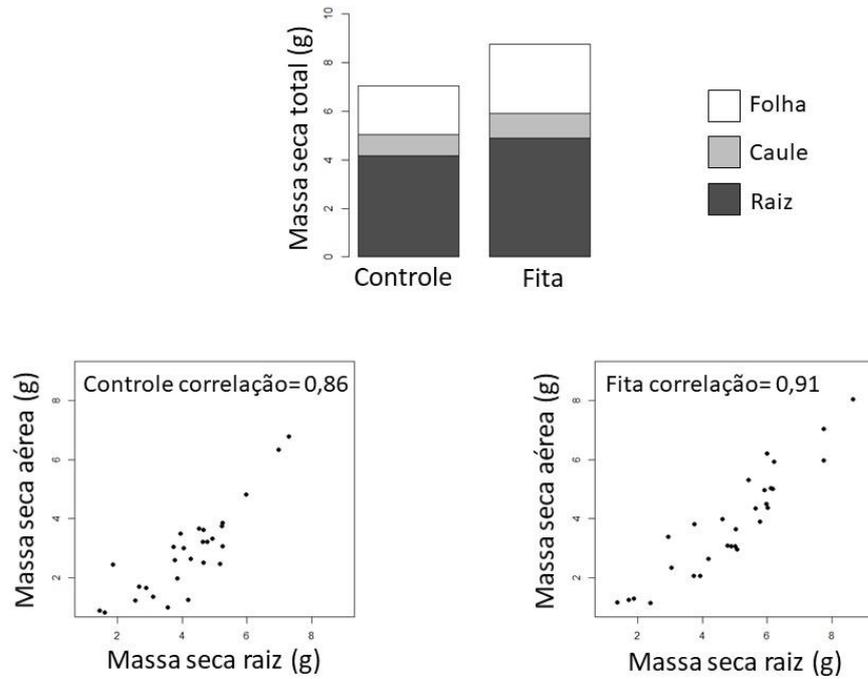


Figura 9: Acima: média de massa seca em gramas para os tratamentos controle e fita da espécie *G. americana*. Abaixo: correlação entre massa seca da parte aérea em gramas e massa seca da raiz em gramas (controle e fita, respectivamente).

5.2. Efeito do tratamento irrigação passiva no comprimento da raiz e crescimento da parte aérea

O alongamento das raízes promovido pelo condutor de irrigação passiva das três espécies utilizadas no experimento é apresentado na Figura 10.



Figura 10. Alongamento de raiz das espécies estudadas. A - *Schinus terebinthifolia*. B - *Erythrina speciosa*. C - *Genipa americana*.

A espécie *Schinus terebinthifolius* foi a que completou o alongamento de raiz em menor período, com 58 dias. A *Genipa americana* foi a espécie que demandou o maior período, de 183 dias, enquanto a *Erythrina speciosa* apresentou um alongamento dentro de um período de 81 dias (Figura 11). Em relação à *S. terebinthifolius*, a *E. speciosa* obteve um valor médio de altura consideravelmente superior até aos 50 dias iniciais, embora tenha apresentado valor médio de comprimento da raiz similar dentro do mesmo período. O alongamento de raiz da *E. speciosa* apresentou 55,2 cm de comprimento de raiz, a maior média. *S. terebinthifolius* 46,5 cm e *G. americana* apresentou 43 cm, a menor média (Figura 11B).

Foi possível observar que a *G. americana* é a espécie que teve menor incremento em altura da parte aérea, porém com comprimento de raiz similar ao da a *S. terebinthifolius*, espécie que apresentou maior altura. (Figura 11C). A *E. speciosa* foi a espécie com maior comprimento de raiz e altura média entre as espécies analisadas.

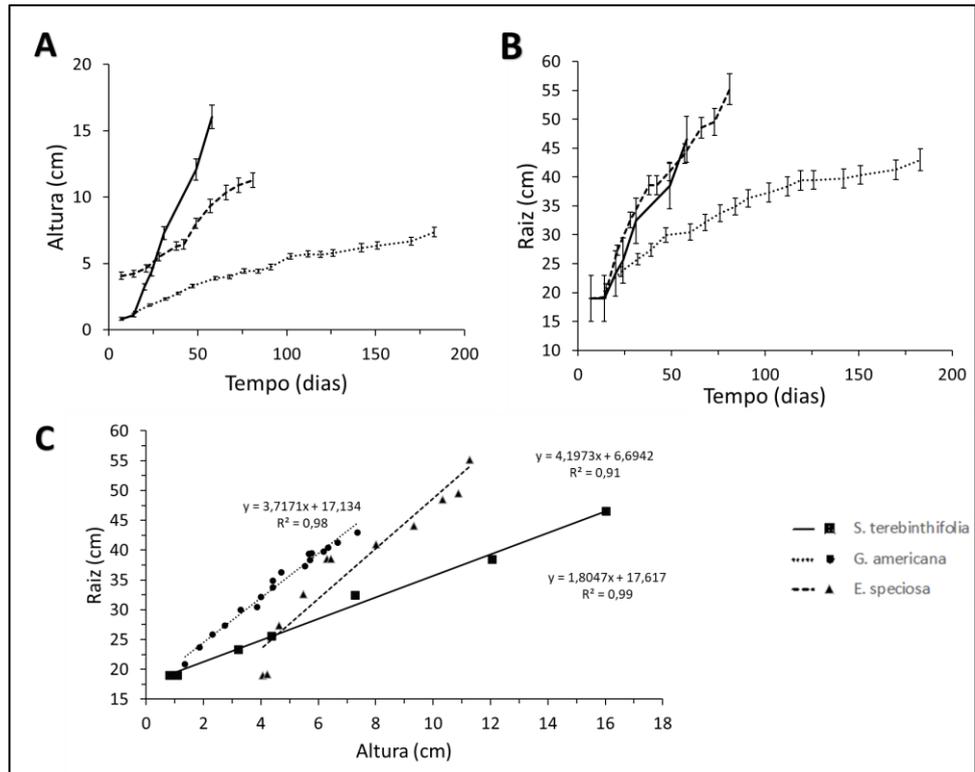


Figura 11. Crescimento em altura, alongamento de raiz e relação entre parâmetros das três espécies.

6. DISCUSSÃO

6.1. Efeito do irrigador passivo no padrão de alocação de biomassa das espécies

As três espécies estudadas apresentaram alterações no padrão de alocação de biomassa quando cultivadas com o condutor de irrigação passiva. Em geral, é observada uma relação entre a profundidade do recipiente que a muda é cultivada e seu direcionamento de recursos para o crescimento (CHIRINO et al., 2008). Essa relação é observada também quando são utilizados diferentes regimes de irrigação. A espécie *Schinus terebinthifolius* mostrou priorizar o investimento no crescimento de raiz em detrimento da parte aérea, pois apesar de apresentar menor incremento de massa total com a irrigação passiva, a massa de raiz em ambos os tratamentos foi semelhante. Por outro lado, a *G. americana* apresentou uma maior alocação de biomassa na parte aérea sob irrigação capilar, sem reduzir a massa de raízes, que foi equivalente à do tratamento controle.

As características fisiológicas e de comportamento das espécies, que definem sua classificação sucessional, tem forte relação com o padrão de alocação de biomassa da espécie, no processo de produção de mudas em viveiro. Espécies iniciais da sucessão priorizam o rápido crescimento da parte aérea, visando reprodução precoce, enquanto as espécies mais tardias sucessionalmente, buscam estabilidade estrutural, com forte alocação de energia nas raízes, para persistir no sistema por mais tempo, destacando que todo o gradiente desses dois extremos são observados nas diferentes espécies (SALDAÑA-ACOSTA; MEAVE; SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, 2009). O que condiz com a velocidade do crescimento de raiz das espécies estudadas. No entanto, o estágio sucessional, por si só, não é suficiente para explicar os padrões de distribuição de biomassa das plantas. É preciso considerar outras características, como a distribuição das espécies e seus perfis funcionais. Espécies consideradas generalistas se adaptam a uma ampla gama de condições ambientais, enquanto as consideradas especialistas possuem requisitos mais específicos para seu desenvolvimento (KERR et al., 2021). As características funcionais colaboram para explicar o efeito do irrigador passivo na alocação de biomassa das três espécies analisadas.

A *Schinus terebinthifolius*, é uma espécie inicial da sucessão e foi a que apresentou o alongamento de raiz mais rápido entre as três espécies. As mudas dessa espécie mantiveram alocação de biomassa para o crescimento de raízes semelhante em ambos os tratamentos, mesmo apresentando diminuição de massa nos outros compartimentos da planta sob a irrigação passiva. Essa espécie é considerada generalista e é frequentemente utilizada em projetos de restauração de áreas degradadas, devido à sua capacidade de sobreviver em solos pobres. No entanto, é importante ter cuidado ao usá-la em excesso, já que pode se tornar invasora e apresentar monodominância (SPECTOR; PUTZ, 2006). Além disso, o comportamento observado com a irrigação passiva sugere que a espécie prioriza o alongamento de suas raízes em busca de água. Em condições de campo essa característica pode conferir a muda resistência à seca em possíveis períodos de estiagem futuros.

De acordo com José et al. (2009), as mudas de *Schinus terebinthifolius* devem ter um diâmetro mínimo de 3,0 mm para serem consideradas de qualidade para o plantio. Enquanto isso, de acordo com Oliveira et al. (2016), a altura ideal das mudas deve estar entre 20 e 30 cm. A partir dos dados obtidos no presente trabalho, e considerando os valores de referência citados acima, tem-se que as mudas cultivadas sob irrigação passiva apresentam diâmetro do coleto na faixa adequada, embora mostrem baixo desenvolvimento da parte aérea. Em contrapartida, as mudas no tratamento controle mostram parâmetros morfológicos dentro da faixa indicada. Para a massa seca da parte aérea e a massa seca da raiz, os resultados encontrados estão superiores aos verificados por José et al. (2009), Abreu et al.

(2017) e Costa (2020) para mudas de *Schinus terebinthifolius*. Tais parâmetro podem também sofrer alterações significativas de acordo com o tempo de cultivo em casa de vegetação.

A *Genipa americana* se comportou de maneira distinta da *S. terebinthifolius*, pois em condições de disponibilidade hídrica permanente fornecida pelo condutor de irrigação passiva ela priorizou o desenvolvimento de suas folhas em vez do alongamento de raízes. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de ser comum a espécie se desenvolver preferencialmente em solos com maior disponibilidade de água (FADIGAS et al., 1999; MIELKE et al., 2003). A disponibilidade constante de água permite que a planta consiga investir no desenvolvimento foliar sem enfrentar problemas de falha hidráulica. No entanto, quando a disponibilidade hídrica é menor, a *G. americana* diminui seu desenvolvimento foliar (SOUSA-SANTOS et al., 2022), comportamento evidenciado no tratamento controle. Uma vez que a espécie não está adaptada a enfrentar períodos de seca prolongada ela pode apresentar uma estratégia diferente da *S. terebinthifolius*.

O menor grau de alterações no padrão de alocação de biomassa foi observado em *Erythrina speciosa* sob o tratamento de irrigação passiva. As mudas apresentaram um aumento significativo na razão MSR/MSC, o que sugere uma maior alocação de biomassa para o crescimento das raízes em detrimento do caule quando há disponibilidade de água. No entanto, não houve diferença significativa nos índices avaliados individualmente (MSR e MSC), indicando que o padrão geral de alocação de biomassa não foi afetado de maneira significativa. Esses resultados estão de acordo com estudos prévios que demonstraram a capacidade dessa espécie de se desenvolver tanto em solos úmidos quanto em solos mais secos (MEDINA et al., 2009), comportamento também observado em outras espécies do gênero (OLIVEIRA et al., 2016).

Plântulas de *Genipa americana* submetidas ao alagamento, durante 63 dias, apresentaram diminuição de 30% tanto em altura como em número de folhas, enquanto diferenças para o diâmetro do coleto não foram observadas (MIELKE et al., 2003). Assim, é possível observar que em condições de umidade permanente, como no tratamento de irrigação passiva, há um aumento no crescimento foliar da espécie. No entanto, em condições de alagamento, há um efeito negativo no desenvolvimento da mesma. Por outro lado, em *Erythrina speciosa* o tratamento de alagamento não induziu diferenças no crescimento em altura em relação ao controle (não alagado) (MEDINA et al., 2009), assim como observado entre os tratamentos de irrigação passiva e controle. Em síntese, as respostas são diversas e, sempre que há crescimento, os incrementos não são de grande escala, sugerindo que o gasto energético utilizado nos mecanismos de tolerância pode representar elevado custo para a planta.

É importante ressaltar que a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto podem ser considerados os melhores indicadores práticos para avaliar a qualidade de lotes de mudas florestais, uma vez que essas medidas não exigem métodos de avaliação destrutivos (AVELINO et al., 2021). A partir dessas variáveis é possível gerar o índice de robustez (Hs/DC). Esse índice diz respeito a capacidade da muda em se manter firme após o plantio em campo, onde valores menores indicam mudas mais robustas e que não apresentam estiolamento. Observou-se diferença significativa no índice de robustez apenas para as mudas de *S. terebinthifolius*, sendo que as mudas submetidas à irrigação passiva apresentaram melhor desempenho.

Em relação ao IQD, Hunt (1990) e Birchler et al. (1998) recomendam que para uma muda de espécie florestal em viveiro apresente alta qualidade - ou seja, uma alta taxa de crescimento e sobrevivência após o plantio -, o índice de qualidade de Dickson deve ser, de maneira geral, menor que 10 e maior que 0,2. Por tanto, é possível notar que o IQD é muito variável entre as espécies florestais (AVELINO et al., 2021), como foi observado nas espécies estudadas. O maior valor médio para o IQD foi observado nas mudas de *G. americana* que foram 3,52 e 3,87, para o tratamento controle e irrigação passiva, respectivamente. Enquanto *E. speciosa* apresentou 0,67 e 0,78, e em *S.*

terebinthifolius foram observados 0,36 e 0,33, que foram os menores valores médios. Apesar da variação entre as espécies, elas apresentaram valores dentro da faixa indicada para o IQD, em ambos os tratamentos. O IQD não foi afetado pelo tratamento de irrigação passiva em nenhuma espécie.

6.2. Produção de mudas para a restauração florestal com irrigador passivo

O êxito da implementação de projetos de restauração florestal em áreas degradadas, que envolvem a técnica de plantio de mudas de espécies vegetais, está diretamente ligado à excelência das mudas produzidas e usadas no plantio de campo. Existe uma forte relação entre a produção de biomassa da parte aérea e do sistema radicular das plantas (HENDRICK; PREGITZER, 1996), e ambos são influenciados pelo clima e condições de crescimento. (FERREIRA, 1984; REIS et al., 1985;). Em consonância com o nosso estudo, alguns autores relatam alterações no padrão de alocação de biomassa em resposta ao tipo e tamanho do recipiente em estudos com espécies arbóreas, cada uma apresentando diferentes estratégias de crescimento radicular (CHIRINO et al., 2008; DUMROESE; DAVIS; JACOBS, 2011; KOSTOPOULOU et al., 2011). Isso porque, em muitos casos, as mudas com raiz principal alongada se beneficiam após o plantio por melhorar a eficiência na absorção de água e nutrientes de camadas mais profundas do solo (PADILLA; PUGNAIRE, 2007).

Embora as mudas cultivadas em recipientes maiores possam apresentar melhor desempenho do que as cultivadas em recipientes menores (POORTER et al., 2012), o custo de produção pode aumentar devido à necessidade de mais substrato. Para enfrentar esse desafio, métodos inovadores que permitam às mudas desenvolver raízes principais maiores e sem aumentar significativamente os custos de produção, como o método de irrigação por capilaridade, pode ser uma alternativa promissora. As mudas de *Schinus terebinthifolius*, *Erythrina. Speciosa* e *Genipa americana* foram capazes de alongar sua raiz principal em fitas de tecido com o condutor de irrigação passiva. A técnica pode ser aprimorada e se tornar uma solução viável para a restauração florestal em momentos de baixa disponibilidade de água, especialmente diante das crescentes preocupações com as mudanças climáticas (DE JONG; LIU; LONG, 2021).

De fato, a produção de mudas com raízes alongadas por meio da técnica de irrigação passiva requer cuidados específicos, como a utilização de recipientes apropriados e tecidos específicos, como os avaliados neste estudo. Além disso, é importante destacar que a adoção dessa técnica pode exigir investimentos adicionais na produção de mudas, em um primeiro momento, tornando necessário avaliar a viabilidade econômica dessa prática. É necessário também avaliar a efetividade das mudas com raízes alongadas em comparação com outras técnicas de produção de mudas, considerando a sobrevivência e o crescimento das plantas em campo. Considerando que o plantio das mudas com raiz alongada requer cuidados específicos, como o preparo adequado das mudas e a escavação de covas profundas (conforme indicado no **Apêndice B**), é crucial estabelecer um processo operacionalizado para permitir sua implantação em larga escala. Tais avaliações são importantes para determinar a viabilidade e a eficácia das mudas com raízes alongadas em programas de restauração florestal. É necessário continuar investindo em pesquisa e desenvolvimento para aprimorar essa técnica e avaliar a sua efetividade em diferentes contextos ecológicos e socioeconômicos, diminuir seus custos e consolidar sua implementação (em viveiro e campo).

A técnica de irrigação passiva por capilaridade apresenta-se como uma alternativa importante para a produção de mudas, uma vez que favoreceu o alongamento das raízes das espécies *Schinus terebinthifolius* e *Erythrina speciosa* e *G. americana*. No entanto, sua implementação ainda exige mais estudos e maiores investimentos no viveiro,

que permitam que essa técnica tenha aplicação em larga escala. Outro aspecto é que essas mudas alongadas precisam ser testadas em campo, se esse efetivo alongamento resulta ou não em maior sucesso em campo (sobrevivência e desenvolvimento), que justificariam o alongamento das raízes em viveiro. Assim, esse trabalho foi apenas exploratório, mostrando que é possível alongar raízes em viveiro e como precursor de uma possível nova linha de pesquisa com esses conceitos. Do ponto de vista da execução e métodos utilizados no presente estudo, algumas considerações críticas devem ser destacadas. Uma delas é que o número de espécies amostradas foi relativamente baixo e outras espécies arbóreas podem reagir de maneira diferente às mesmas condições de tratamento. Além disso, embora os autores tenham tentado controlar o ambiente experimental, é importante lembrar que a variabilidade ambiental pode afetar os resultados se realizado em condições diferente. Dessa forma, é fundamental ter cautela ao generalizar os resultados para outras espécies de plantas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, as hipóteses foram confirmadas devido a duas principais constatações: (i) as três espécies testadas apresentaram modificações no padrão de alocação de biomassa e (ii) observou-se diferentes comportamentos das espécies em resposta à utilização da técnica.

O condutor de irrigação passiva promoveu o alongamento de raiz para as três espécies estudadas. *Schinus terebinthifolius* demandou 58 dias para o alongamento de raiz, enquanto *Genipa americana* demandou 183 dias.

No tratamento de irrigação passiva, observou-se que a espécie *S. terebinthifolius* apresentou redução significativa em sua altura (31,8%), diâmetro do colo (17,2%) e biomassa de folhas (26,6%), caule (40,6%) e total (26,1%). No entanto, não houve impacto na biomassa das raízes. Notavelmente, o tratamento de irrigação passiva demonstrou um índice de robustez superior.

O alongamento de raiz da espécie *Erythrina speciosa* resultou em um impacto específico na relação MSR/MSC, com um aumento de 31,6% no tratamento de irrigação passiva.

Ademais, para a espécie *G. americana*, o tratamento de irrigação passiva resultou em um notável aumento na biomassa das folhas (41%), na parte aérea da planta (34,6%) e na biomassa total (24,3%). Além disso, observou-se que o índice MSPA/MSR foi 14,9% mais elevado no tratamento de irrigação passiva para essa espécie.

Os resultados obtidos corroboraram com os objetivos deste estudo, uma vez que foram observadas modificações no padrão de alocação de biomassa em todas as espécies, utilizando os parâmetros selecionados. No entanto, para uma compreensão mais abrangente, recomenda-se a realização de testes futuros envolvendo um maior número de espécies e diferentes condições de irrigação, a fim de explorar os limites da irrigação passiva por capilaridade.

Além disso, é fundamental conduzir experimentos em campo para avaliar o desempenho das espécies e determinar a viabilidade prática da técnica na promoção da sobrevivência das mudas após o plantio. Esses estudos em ambiente real proporcionarão percepções valiosas para o aprimoramento e a aplicação efetiva da técnica de irrigação passiva no contexto da conservação e recuperação de ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Crislaine; VIANI, Ricardo Augusto Gorne. Non-continuous reproductive phenology of animal-dispersed species in young forest restoration plantings. **Biotropica**, [S. l.], v. 53, n. 1, p. 266–275, 2021. DOI: 10.1111/btp.12869.
- ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; DE MORAES GONÇALVES, José Leonardo; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref.
- ALVES, Lincoln M.; CHADWICK, Robin; MOISE, Aurel; BROWN, Josephine; MARENGO, Jose A. Assessment of rainfall variability and future change in Brazil across multiple timescales. **International Journal of Climatology**, [S. l.], v. 41, n. S1, p. E1875–E1888, 2021. DOI: 10.1002/joc.6818. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.6818>.
- ANDIVIA, Enrique et al. Climate and species stress resistance modulate the higher survival of large seedlings in forest restorations worldwide. **Ecological Applications**, [S. l.], v. 31, n. 6, 2021. DOI: 10.1002/eap.2394. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eap.2394>. Acesso em: 6 mar. 2022.
- BARBOSA, Tiago Cavalheiro; RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; COUTO, Hilton Thadeu Zarate Do. Tamanhos de recipientes e o uso de hidrogel no estabelecimento de mudas de espécies florestais nativas. **Hoehnea**, [S. l.], v. 40, n. 3, p. 537–556, 2013. DOI: 10.1590/s2236-89062013000300013.
- BAUDENA, Mara; TUINENBURG, Obbe A.; FERDINAND, Pendula A.; STAAL, Arie. Effects of land-use change in the Amazon on precipitation are likely underestimated. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 27, n. 21, p. 5580–5587, 2021. DOI: 10.1111/gcb.15810. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.15810>.
- BERDUGO, Miguel et al. Global ecosystem thresholds driven by aridity. **Science**, [S. l.], v. 367, n. 6479, p. 787–790, 2020. DOI: 10.1126/science.aay5958.
- BINOTTO, Alexandre Francisco; LÚCIO, Alessandro Dal' Col; LOPES, Sidinei José. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **CERNE**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 457–464, 2010. DOI: 10.1590/S0104-77602010000400005.
- BLACKMAN, Chris J.; GLEASON, Sean M.; CHANG, Yvonne; COOK, Alicia M.; LAWS, Claire; WESTOBY, Mark. Leaf hydraulic vulnerability to drought is linked to site water availability across a broad range of species and climates. **Annals of Botany**, [S. l.], v. 114, n. 3, p. 435–440, 2014. DOI: 10.1093/AOB/MCU131.
- BRANCALION, Pedro Henrique Santin e GANDOLFI, Sergius e RODRIGUES, Ricardo Ribeiro. **Restauração florestal**. São Paulo: Oficina de Textos. Disponível em: http://www.lcb.esalq.usp.br/sites/default/files/publicacao_arq/978-85-7975-019-9.pdf. Acesso em: 05 dez. 2022. , 2015
- BRIGGS, Lyman J.; SHANTZ, H. L. **The wilting coefficient for different plants: and its indirect determination** /. [s.l: s.n.]. DOI: 10.5962/bhl.title.64958.
- BRODRIBB, T. J.; HOLBROOK, N. M.; EDWARDS, E. J.; GUTIÉRREZ, M. V. Relations between stomatal closure, leaf turgor and xylem vulnerability in eight tropical dry forest trees. **Plant, Cell & Environment**, [S. l.], v. 26, n. 3, p. 443–450, 2003. DOI: 10.1046/J.1365-3040.2003.00975.X.
- BRUNNER, Ivano; HERZOG, Claude; DAWES, Melissa A.; AREND, Matthias; SPERISEN, Christoph. How tree roots respond to drought. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 6, n. JULY, p. 1–16, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.00547.

- BYAMBADORJ, Ser-Oddamba; PARK, Byung Bae; HERNANDEZ, Jonathan O.; DULAMSUREN, Narantugs; SAINBUYAN, Zoljargal; ALTANTUGS, Oyuntugs; SHARAVDORJ, Khulan; SEONG, In Kyeong; BATKHUU, Nyam-Osor. Optimal Irrigation Regime for Woody Species Potentially Suitable for Effective and Sustainable Afforestation in the Desert Region of Mongolia. **Land**, [S. L.], v. 10, n. 2, p. 212, 2021. DOI: 10.3390/land10020212. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/2/212>.
- CAIONI, Charles; SILVÉRIO, Divino Vicente; MACEDO, Marcia N.; COE, Michael T.; BRANDO, Paulo M. Droughts Amplify Differences Between the Energy Balance Components of Amazon Forests and Croplands. **Remote Sensing** 2020, Vol. 12, Page 525, [S. L.], v. 12, n. 3, p. 525, 2020. DOI: 10.3390/RS12030525.
- CHAMBEL, M. R.; CLIMENT, J.; ALIA, R.; VALLADARES, F. Phenotypic plasticity: a useful framework for understanding adaptation in forest species. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, [S. L.], v. 14, n. 3, p. 334, 2005. DOI: 10.5424/srf/2005143-00924.
- CHARLES, Lachlan S. Plant Functional Traits and Species Selection in Tropical Forest Restoration. **Tropical Conservation Science**, [S. L.], v. 11, p. 194008291878415, 2018. DOI: 10.1177/1940082918784157.
- CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How Plants Cope with Water Stress in the Field? Photosynthesis and Growth. **Annals of Botany**, [S. L.], v. 89, n. 7, p. 907–916, 2002. DOI: 10.1093/AOB/MCF105.
- CHIRINO, E.; VILAGROSA, A.; HERNÁNDEZ, E. I.; MATOS, A.; VALLEJO, V. R. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. **Forest Ecology and Management**, [S. L.], v. 256, n. 4, p. 779–785, 2008. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.05.035. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112708004507>. Acesso em: 29 set. 2021.
- CHIRINO, Esteban; RUIZ-YANETTI, Samantha; VILAGROSA, Alberto; MERA, Xavier; ESPINOZA, Manuel; LOZANO, Patricio. Morpho-functional traits and plant response to drought conditions in seedlings of six native species of Ecuadorian Ecosystems. **Flora**, [S. L.], v. 233, p. 58–67, 2017. DOI: 10.1016/J.FLORA.2017.05.012.
- CHIRINO, Esteban; VILAGROSA, Alberto; VALLEJO, V. Ramón. Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. **Plant and Soil**, [S. L.], v. 344, n. 1, p. 99–110, 2011. DOI: 10.1007/S11104-011-0730-1/FIGURES/7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-011-0730-1>. Acesso em: 16 mar. 2022.
- CHOAT, Brendan et al. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. **Nature**, [S. L.], v. 491, n. 7426, p. 752–755, 2012. DOI: 10.1038/nature11688.
- CORRÊA, Ricardo Monteiro; PINTO, Sheila Isabel do Carmo; REIS, Érika Soares; CARVALHO, Vanessa Andalo Mendes De; CORRÊA, Ricardo Monteiro; PINTO, Sheila Isabel do Carmo; REIS, Érika Soares; CARVALHO, Vanessa Andalo Mendes De. Hydroponic Production of Fruit Tree Seedlings in Brazil. **Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches**, [S. L.], 2012. DOI: 10.5772/38594. Disponível em: <https://www.intechopen.com/state.item.id>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- CORLETT, Richard T. The Impacts of Droughts in Tropical Forests. **Trends in Plant Science**, [S. L.], v. 21, n. 7, p. 584–593, 2016. DOI: 10.1016/J.TPLANTS.2016.02.003.
- CZYŻ, E. A.; DEXTER, A. R. Influence of soil type on the wilting of plants. **International Agrophysics**, [S. L.], v. 27, n. 4, p. 385–390, 2013. DOI: 10.2478/intag-2013-0008.
- DA, Williams; MUCHUGU, E.; OVERHOLT, W. A.; CUDA, J. P. Colonization patterns of the invasive Brazilian peppertree, *Schinus terebinthifolius*, in Florida. **Heredity**, [S. L.], v. 98, p. 284–293, 2007. DOI: 10.1038/sj.hdy.6800936. Disponível em: www.nature.com/hdy. Acesso em: 17 abr. 2022.
- DE JONG, Wil; LIU, Jinlong; LONG, Hexing. The forest restoration frontier. **Ambio**, [S. L.], v. 50, n. 12, p. 2224–2237, 2021. DOI: 10.1007/s13280-021-01614-x.

- DE LA FUENTE, L. M.; OVALLE, J. F.; ARELLANO, E. C.; GINOCCHIO, R. Use of alternative containers for promoting deep rooting of native forest species used for dryland restoration: the case of *Acacia caven*. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, [S. l.], v. 10, n. 5, p. 776, 2017. DOI: 10.3832/IFOR2101-010.
- DE LIMA, Marllós S.; ARAUJO, Maristela M.; AIMI, Suelen C.; DE OLIVEIRA, Vanessa V. T.; BERGHETTI, Álvaro L. P.; NASCIMENTO, Nayara F.; TAROUÇO, Camila P. Use of physiological attributes to select native forest species for forest restoration in the southern Atlantic forest biome, Brazil. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 501, p. 119659, 2021. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119659.
- DE OLIVEIRA, Ana Cláudia Pereira; NUNES, Alice; RODRIGUES, Renato Garcia; BRANQUINHO, Cristina. The response of plant functional traits to aridity in a tropical dry forest. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 747, p. 141177, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141177.
- DEL CAMPO, Antonio D.; SEGURA-ORENGA, Guillem; BAUTISTA, Inmaculada; CEACERO, Carlos J.; GONZÁLEZ-SANCHIS, María; MOLINA, Antonio J.; HERMOSO, Javier. Assessing reforestation failure at the project scale: The margin for technical improvement under harsh conditions. A case study in a Mediterranean Dryland. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 796, p. 148952, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148952. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969721040249>. Acesso em: 6 nov. 2021.
- DIATTA, Oulimata; SARR, Mame Sokhna; HANSEN, Jon Kehlet; DIALLO, Adja Madjiguene; NIELSEN, Lene Rostgaard; RÆBILD, Anders; KJÆR, Erik Dahl. Survival and growth of *Acacia senegal* (L.) Wild. (*Senegalia senegal* (L.) Britton) provenances depend on the rainfall at the site of origin. **Annals of Forest Science**, [S. l.], v. 78, n. 4, p. 82, 2021. DOI: 10.1007/s13595-021-01098-5.
- DICKSON, Alexander; LEAF, Albert L.; HOSNER, John F. Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. **The Forestry Chronicle**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 10–13, 1960. DOI: 10.5558/tfc36010-1.
- DUMROESE, R. Kasten; DAVIS, Anthony S.; JACOBS, Douglass F. NURSERY RESPONSE OF ACACIA KOA SEEDLINGS TO CONTAINER SIZE, IRRIGATION METHOD, AND FERTILIZATION RATE. **Journal of Plant Nutrition**, [S. l.], v. 34, n. 6, p. 877–887, 2011. DOI: 10.1080/01904167.2011.544356.
- EASDALE, Tomás A. et al. Root biomass allocation in southern temperate forests. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 453, p. 117542, 2019. DOI: 10.1016/J.FORECO.2019.117542.
- ERICKSON, Kelley D.; PRATT, Paul D.; RAYAMAJHI, Min B.; HORVITZ, Carol C. Introduction History Influences Aboveground Biomass Allocation in Brazilian Peppertree (*Schinus terebinthifolius*). **Invasive Plant Science and Management**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 247–253, 2017. DOI: 10.1017/INP.2017.23. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/invasive-plant-science-and-management/article/introduction-history-influences-aboveground-biomass-allocation-in-brazilian-peppertree-schinus-terebinthifolius/E7780080A8F41D1E51F77B477F415F9C>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- FADIGAS, Alexandre; SOUZA, D. E.; CARLOS, Antonio; DE ANDRADE, Silva; RAMOS, Nunes; LOUREIRO, Marta Bruno. Ecophysiology and morphology of seed germination of the neotropical lowland tree *Genipa americana* (Rubiaceae). **Journal of Tropical Ecology**, [S. l.], v. 15, p. 667–680, 1999. DOI: 10.1017/S026646749900108X. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S026646749900108X>. Acesso em: 18 abr. 2022.
- FARQUHAR, Graham D.; SHARKEY, Thomas D. Stomatal Conductance and Photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 317–345, 1982. DOI: 10.1146/annurev.pp.33.060182.001533.
- FERREIRA, Wanessa Nepomuceno; FEITOSA DE LACERDA, Claudivan; CARVALHO DA COSTA, Rafael; FILHO, Sebastião Medeiros. Effect of water stress on seedling growth in two species with different abundances: the importance of Stress Resistance Syndrome in seasonally dry tropical forest. **Acta Botanica Brasílica**, [S. l.], v. 29, n. 3, p. 375–382, 2015. DOI: 10.1590/0102-33062014abb0045.

- GARG, Ankit; LI, Jinhui; HOU, Jinjun; BERRETTA, Christian; GARG, Akhil. A new computational approach for estimation of wilting point for green infrastructure. **Measurement**, [S. l.], v. 111, p. 351–358, 2017. DOI: 10.1016/J.MEASUREMENT.2017.07.026.
- GROSSNICKLE, Steven C. Importance of root growth in overcoming planting stress. **New Forests** 2005 30:2, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 273–294, 2005. DOI: 10.1007/S11056-004-8303-2.
- GROSSNICKLE, Steven C. Why seedlings survive: Influence of plant attributes. **New Forests**, [S. l.], v. 43, n. 5–6, p. 711–738, 2012. DOI: 10.1007/s11056-012-9336-6.
- GROSSNICKLE, Steven C.; MACDONALD, Joanne E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. **New Forests**, [S. l.], v. 49, n. 1, p. 1–34, 2018. DOI: 10.1007/s11056-017-9606-4.
- HAASE, Diane L.; DUMROESE, R. Kasten; WILKINSON, Kim M.; LANDIS, Thomas D. Tropical Nursery Concepts and Practices. *Em*: PANCEL, Laslo; KÖHL, Michael (org.). **Tropical Forestry Handbook**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016. v. 1–4p. 1005–1041. DOI: 10.1007/978-3-642-54601-3_142.
- HACKE, Uwe G.; SPERRY, John S. Functional and ecological xylem anatomy. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 97–115, 2001. DOI: 10.1078/1433-8319-00017.
- HÖHL, Markus; AHIMBISIBWE, Vianny; STANTURF, John A.; ELSASSER, Peter; KLEINE, Michael; BOLTE, Andreas. Forest landscape restoration-What generates failure and success? **Forests**, [S. l.], v. 11, n. 9, 2020. DOI: 10.3390/F11090938.
- KERR, Kelly L.; ZENES, Nicole; TRUGMAN, Anna T.; ANDEREGG, William R. L. Testing the effects of species interactions and water limitation on tree seedling biomass allocation and physiology. **Tree Physiology**, [S. l.], v. 41, n. 8, p. 1323–1335, 2021. DOI: 10.1093/TREEPHYS/TPAB005. Disponível em: <https://academic.oup.com/treephys/article/41/8/1323/6129659>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- JACOBS, Douglass F.; DAVIS, Anthony S.; DUMROESE, R. Kasten; BURNEY, Owen T. Nursery Cultural Techniques Facilitate Restoration of *Acacia koa* Competing with Invasive Grass in a Dry Tropical Forest. **Forests**, [S. l.], v. 11, n. 11, p. 1124, 2020. DOI: 10.3390/f11111124.
- JANSSEN, Thomas A. J.; HÖLTTÄ, Teemu; FLEISCHER, Katrin; NAUDTS, Kim; DOLMAN, Han. Wood allocation trade-offs between fiber wall, fiber lumen, and axial parenchyma drive drought resistance in neotropical trees. **Plant Cell and Environment**, [S. l.], v. 43, n. 4, p. 965–980, 2020. DOI: 10.1111/pce.13687.
- KOSTOPOULOU, Panagiota; RADOGLU, Kalliopi; DINI PAPANASTASI, Olympia; ADAMIDOU, Christina. Effect of mini-plug container depth on root and shoot growth of four forest tree species during early developmental stages. **Turk J Agric For**, [S. l.], v. 35, p. 379–390, 2011. DOI: 10.3906/tar-1104-11.
- LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 275–294, 2002. DOI: 10.1046/J.0016-8025.2001.00814.X.
- MANZONI, Stefano; VICO, Giulia; KATUL, Gabriel; PALMROTH, Sari; JACKSON, Robert B.; PORPORATO, Amilcare. Hydraulic limits on maximum plant transpiration and the emergence of the safety–efficiency trade-off. **New Phytologist**, [S. l.], v. 198, n. 1, p. 169–178, 2013. DOI: 10.1111/NPH.12126.
- MARIOTTI, Barbara; MALTONI, Alberto; CHIARABAGLIO, Pier Mario; GIORCELLI, Achille; JACOBS, Douglass F.; TOGNETTI, Roberto; TANI, Andrea. Can the use of large, alternative nursery containers aid in field establishment of *Juglans regia* and *Quercus robur* seedlings? **New Forests**, [S. l.], v. 46, n. 5–6, p. 773–794, 2015. a. DOI: 10.1007/s11056-015-9505-5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-015-9505-5>. Acesso em: 2 nov. 2021.
- MARIOTTI, Barbara; MALTONI, Alberto; JACOBS, Douglass F.; TANI, Andrea. Container effects on growth and biomass allocation in *Quercus robur* and *Juglans regia* seedlings. **Scandinavian Journal of Forest Research**, [S. l.], v. 30, n. 5, p. 401–415, 2015. b. DOI: 10.1080/02827581.2015.1023352.

- MARKESTEIJN, Lars; POORTER, Lourens. Seedling root morphology and biomass allocation of 62 tropical tree species in relation to drought- and shade-tolerance. **Journal of Ecology**, [S. L.], v. 97, n. 2, p. 311–325, 2009. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2008.01466.x.
- MCDOWELL, Nate et al. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? **New Phytologist**, [S. L.], v. 178, n. 4, p. 719–739, 2008. DOI: 10.1111/J.1469-8137.2008.02436.X.
- MCDOWELL, Nate G.; BEERLING, David J.; BRESHEARS, David D.; FISHER, Rosie A.; RAFFA, Kenneth F.; STITT, Mark. **The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. Trends in Ecology and Evolution**Trends Ecol Evol, , 2011. DOI: 10.1016/j.tree.2011.06.003.
- MEDINA, Camilo L.; SANCHES, Maria Cristina; TUCCI, Maria Luiza S.; SOUSA, Carlos A. F.; CUZZUOL, Geraldo Rogério F.; JOLY, Carlos A. *Erythrina speciosa* (Leguminosae-Papilionoideae) under soil water saturation: Morphophysiological and growth responses. **Annals of Botany**, [S. L.], v. 104, n. 4, p. 671–680, 2009. DOI: 10.1093/aob/mcp159.
- MIELKE, Marcelo S.; DE ALMEIDA, Alex-Alan F.; GOMES, Fábio P.; AGUILAR, Marco Antonio G.; MANGABEIRA, Pedro Antonio O. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, [S. L.], v. 50, n. 3, p. 221–231, 2003. DOI: 10.1016/S0098-8472(03)00036-4. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847203000364>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- MILANI, Jaçanan Eloisa de Freitas; KERSTEN, Rodrigo de Andrade; LONGHI - SANTOS, Tomaz; GALVÃO, Franklin; AMANO, Erika; RODERJAN, Carlos Velozzo; KANIESKI, Maria Raquel. Phenology and Tree Radial Growth of *Schinus terebinthifolius* in a Subtropical Forest. **Floresta e Ambiente**, [S. L.], v. 28, n. 1, 2021. DOI: 10.1590/2179-8087-floram-2020-0036. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2020-0036>. Acesso em: 18 abr. 2022.
- MOLES, Angela T.; WESTOBY, Mark. What do seedlings die from and what are the implications for evolution of seed size? **Oikos**, [S. L.], v. 106, n. 1, p. 193–199, 2004. DOI: 10.1111/J.0030-1299.2004.13101.X.
- MURRAY-SMITH, Charlotte; BRUMMITT, Neil A.; OLIVEIRA-FILHO, Ary T.; BACHMAN, Steven; MOAT, Justin; LUGHADHA, Eimear M. Nic; LUCAS, Eve J. Plant diversity hotspots in the Atlantic coastal forests of Brazil. **Conservation Biology**, [S. L.], v. 23, n. 1, p. 151–163, 2009. DOI: 10.1111/J.1523-1739.2008.01075.X.
- NICOTRA, A.; BABICKA, N.; WESTOBY, M. Seedling root anatomy and morphology: an examination of ecological differentiation with rainfall using phylogenetically independent contrasts. **Oecologia** **2001 130:1**, [S. L.], v. 130, n. 1, p. 136–145, 2002. DOI: 10.1007/S004420100788.
- NOBRE, Carlos A.; SAMPAIO, Gilvan; BORMA, Laura S.; CASTILLA-RUBIO, Juan Carlos; SILVA, José S.; CARDOSO, Manoel. Land-use and climate change risks in the amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S. L.], v. 113, n. 39, p. 10759–10768, 2016. DOI: 10.1073/pnas.1605516113. Disponível em: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1605516113. Acesso em: 13 abr. 2022.
- OSORIO-SALOMÓN, Karina; BONILLA-MOHENO, Martha; LÓPEZ-BARRERA, Fabiola; MARTÍNEZ-GARZA, Cristina. Accelerating tropical cloud forest recovery: Performance of nine late-successional tree species. **Ecological Engineering**, [S. L.], v. 166, n. February, 2021. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2021.106237.
- OLIVEIRA, Mychelle Karla Teixeira De; DOMBROSKI, Jeferson Luiz Dallabona; MEDEIROS, Rita de Cássia Araújo De; MEDEIROS, Ana Santana De. Desenvolvimento inicial de *Erythrina velutina* sob restrição hídrica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. L.], v. 36, n. 88, p. 481–488, 2016. DOI: 10.4336/2016.pfb.36.88.1261. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1261>. Acesso em: 4 maio. 2022.
- PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. **Functional Ecology**, [S. L.], v. 21, n. 3, p. 489–495, 2007. DOI: 10.1111/J.1365-2435.2007.01267.X.

- PADILLA, Francisco M.; PUGNAIRE, Francisco I. Species identity and water availability determine establishment success under the canopy of *Retama sphaerocarpa* shrubs in a dry environment. **Restoration Ecology**, [S. L.], v. 17, n. 6, p. 900–907, 2009. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2008.00460.x.
- PARK, Byung Bae; HAN, Si Ho; HERNANDEZ, Jonathan O.; AN, Ji Young; NYAM-OSOR, Batkhuu; JUNG, Mun Ho; LEE, Peter Sang-Hoon; LEE, Sang Ick. The Use of Deep Container and Heterogeneous Substrate as Potentially Effective Nursery Practice to Produce Good Quality Nodal Seedlings of *Populus sibirica* Tausch. **Forests** **2021**, Vol. **12**, Page **418**, [S. L.], v. 12, n. 4, p. 418, 2021. DOI: 10.3390/F12040418.
- PAZ, Horacio. Root/Shoot Allocation and Root Architecture in Seedlings: Variation among Forest Sites, Microhabitats, and Ecological Groups. **Biotropica**, [S. L.], v. 35, n. 3, p. 318–332, 2003. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2003.tb00586.x.
- PEDRAZA, Rosa Amelia; WILLIAMS-LINERA, Guadalupe; NICOLÁS-SILVA, Teresa. Vegetation structure and biodiversity recovery in 19-year-old active restoration plantations in a neotropical cloud forest. **Forest Systems**, [S. L.], v. 30, n. 1, p. 1–7, 2021. DOI: 10.5424/fs/2021301-17131.
- PETERS, Matthew P.; IVERSON, Louis R.; MATTHEWS, Stephen N. Long-term droughtiness and drought tolerance of eastern US forests over five decades. **Forest Ecology and Management**, [S. L.], v. 345, p. 56–64, 2015. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.02.022.
- PHILLIPS, Oliver L. et al. Drought sensitivity of the amazon rainforest. **Science**, [S. L.], v. 323, n. 5919, p. 1344–1347, 2009. DOI: 10.1126/science.1164033.
- PINHEIRO, Rafael Costa; BOUILLET, Jean Pierre; REGINA PIVELLO, Vânia; ALÓ, Lívia Lanzi; COSTA, Vladimir Eliodoro; VAN DEN MEERSCHKE, Karel; GUERRINI, Iraê Amaral; LACLAU, Jean Paul. Roots take up labeled nitrogen from a depth of 9 m in a wooded savanna in Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. L.], v. 160, p. 108282, 2021. DOI: 10.1016/J.SOILBIO.2021.108282.
- POCKMAN, William T.; SPERRY, John S.; O'LEARY, James W. Sustained and significant negative water pressure in xylem. **Nature** **1995** **378:6558**, [S. L.], v. 378, n. 6558, p. 715–716, 1995. DOI: 10.1038/378715a0.
- POORTER, Hendrik; BÜHLER, Jonas; VAN DUSSCHOTEN, Dagmar; CLIMENT, Jos; POSTMA, Johannes A. **Pot size matters: A meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. Functional Plant Biology**CSIRO PUBLISHING, 2012. DOI: 10.1071/FP12049. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/fp/FP12049>. Acesso em: 21 set. 2022.
- POORTER, Lourens; MARKESTEIJN, Lars. Seedling traits determine drought tolerance of tropical tree species. **Biotropica**, [S. L.], v. 40, n. 3, p. 321–331, 2008. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2007.00380.x.
- POORTER, Lourens; MCDONALD, Imole; ALARCÓN, Alfredo; FICHTLER, Esther; LICONA, Juan-Carlos; PEÑA-CLAROS, Marielos; STERCK, Frank; VILLEGAS, Zulma; SASS-KLAASSEN, Ute. The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. **New Phytologist**, [S. L.], v. 185, n. 2, p. 481–492, 2010. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.03092.x.
- ROCHA, Samuel José Silva Soares Da et al. Drought effects on carbon dynamics of trees in a secondary Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, [S. L.], v. 465, p. 118097, 2020. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118097.
- RODRIGUES, André Ferreira; MELLO, Carlos Rogério De; TERRA, Marcela de Castro Nunes Santos; BESKOW, Samuel. Water balance of an Atlantic forest remnant under a prolonged drought period. **Ciência e Agrotecnologia**, [S. L.], v. 45, p. 2021, 2021. DOI: 10.1590/1413-7054202145008421.
- RODRIGUES, Ricardo R.; LIMA, Renato A. F.; GANDOLFI, Sérgio; NAVE, André G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, [S. L.], v. 142, n. 6, p. 1242–1251, 2009. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.12.008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.12.008>.

- RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sergius; NAVE, André Gustavo; ARONSON, James; BARRETO, Tiago Egydio; VIDAL, Cristina Yuri; BRANCALION, Pedro H. S. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 261, n. 10, p. 1605–1613, 2011. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.07.005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.005>.
- RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; NAVE, André Gustavo; GANDOLFI, Sergius; MOLINA, Diogo; ISERNHAGEN, Ingo; COPETTI, Luciane. Cartilha de restauração florestal de áreas de preservação permanente, alto teles pires, MT. **The Nature Conservancy**, [S. l.], p. 1–52, 2015.
- ROWLAND, L. et al. Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. **Nature**, [S. l.], v. 528, n. 7580, p. 119–122, 2015. DOI: 10.1038/nature15539.
- SALDAÑA-ACOSTA, Angela; MEAVE, Jorge A.; SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, Lázaro R. Seedling biomass allocation and vital rates of cloud forest tree species: Responses to light in shade house conditions. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 258, n. 7, p. 1650–1659, 2009. DOI: 10.1016/J.FORECO.2009.07.027.
- SANDEL, B.; CORBIN, J. D.; KRUPA, M. Using plant functional traits to guide restoration: A case study in California coastal grassland. **Ecosphere**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 1–16, 2011. DOI: 10.1890/ES10-00175.1.
- SCHRAMM MIELKE, Marcelo; FURTADO, Alex-Alan; ALMEIDA, D. E.; FA´BIO, Fa´; GOMES, Pinto; ANTONIO, Pedro; MANGABEIRA, Oliveira; DA, Delmira; SILVA, Costa. Effects of soil flooding on leaf gas exchange and growth of two neotropical pioneer tree species. [S. l.], v. 29, p. 161–168, 2005. DOI: 10.1007/s11056-005-0247-7.
- SCHRODER, Thomas; ZIMMERMANN, Anna Paula Lora; PEREIRA, Lílian Daniel; HOFIÇO, Noé dos Santos Ananias; JÚNIOR, Dilson Sousa Rocha; FLEIG, Frederico Dimas; MEYER, Evandro Alcir. USING BARE-ROOT AND ROOTSTOCK SEEDLINGS FROM NATURAL REGENERATION OF **CEDRELA FISSILIS CERNE**, [S. l.], v. 22, n. 3, p. 309–316, 2016. DOI: 10.1590/01047760201622032203. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/cerne/a/ykGgLcSK67fPfZYXdnbwFJq/?lang=en>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- SEMANANDA, Niranjani P. K.; WARD, James D.; MYERS, Baden R. A Semi-Systematic Review of Capillary Irrigation: The Benefits, Limitations, and Opportunities. **Horticulturae** 2018, Vol. 4, Page 23, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 23, 2018. DOI: 10.3390/HORTICULTURAE4030023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/4/3/23/htm>. Acesso em: 30 nov. 2022.
- SENNA, Mônica Carneiro Alves; COSTA, Marcos H.; DAVIDSON, Eric A.; NOBRE, Carlos A. Modeling the impact of net primary production dynamics on post-disturbance Amazon savannization. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S. l.], v. 86, n. 2, p. 621–632, 2014. DOI: 10.1590/0001-37652014108212.
- SHIPLEY, B.; MEZIANE, D. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. **Functional Ecology**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 326–331, 2002. DOI: 10.1046/j.1365-2435.2002.00626.x.
- SOUSA-SANTOS, Catriane; CERQUEIRA, Amanda Freitas; DALMOLIN, Ândrea Carla; DE ALMEIDA, Álvaro Alves; DOS SANTOS, Martielly Santana; DOS SANTOS, Roberta Barreto; PÉREZ-MOLINA, Junior Pastor; MIELKE, Marcelo Schramm. Root deformation affects the allometric relationships of young plants of *Genipa americana* under contrasting light conditions. **New Forests**, [S. l.], p. 1–17, 2022. DOI: 10.1007/S11056-022-09935-9/FIGURES/4. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-022-09935-9>. Acesso em: 5 dez. 2022. SPECTOR, Tova; PUTZ, Francis E. Biomechanical Plasticity Facilitates Invasion of Maritime Forests in the southern USA by Brazilian pepper (*Schinus terebinthifolius*). **Biological Invasions**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 255–260, 2006. DOI: 10.1007/s10530-004-5571-x. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10530-004-5571-x>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- TOLK, Judy A. Soils: Permanent Wilting Points. *Em: Encyclopedia of Water Science, Second Edition*. [s.l.] : CRC Press, 2008. p. 1140–1142. DOI: 10.1081/E-EWS-120010337.
- URLI, Morgane; PORTÉ, Annabel J.; COCHARD, Herve; GUENGANT, Yann; BURLETT, Regis; DELZON, Sylvain. Xylem embolism threshold for catastrophic hydraulic failure in angiosperm trees. **Tree Physiology**, [S. l.], v. 33, n. 7, p. 672–683, 2013. DOI: 10.1093/TREEPHYS/TPT030.

VALLIERE, Justin M.; ZHANG, Jacqueline; SHARIFI, M. Rasoul; RUNDEL, Phillip W. Can we condition native plants to increase drought tolerance and improve restoration success? **Ecological Applications**, [*S. l.*], v. 29, n. 3, p. e01863, 2019. DOI: 10.1002/EAP.1863.

ZHU, Shi Dan; HE, Peng Cheng; LI, Rong Hua; FU, Sheng Lei; LIN, Yong Biao; ZHOU, Li Xia; CAO, Kun Fang; YE, Qing. Drought tolerance traits predict survival ratio of native tree species planted in a subtropical degraded hilly area in South China. **Forest Ecology and Management**, [*S. l.*], v. 418, p. 41–46, 2018. DOI: 10.1016/J.FORECO.2017.09.016.

APÊNDICES

Apêndice A. Espécies testadas na produção de mudas com sistema radicular alongado.



Figura 12. *Eucalyptus urograndis*. A) Parte aérea da planta. B) Raízes alongadas.



Figura 13. *Hymenaea courbaril*. A) Parte aérea da planta. B) Raízes alongadas.



Figura 14. *Enterpe edulis*. A) Parte aérea da planta. B) Raízes alongadas.



Figura 15. *Enterolobium contortisiliquum* A) Parte aérea da planta. B) Raízes alongadas.

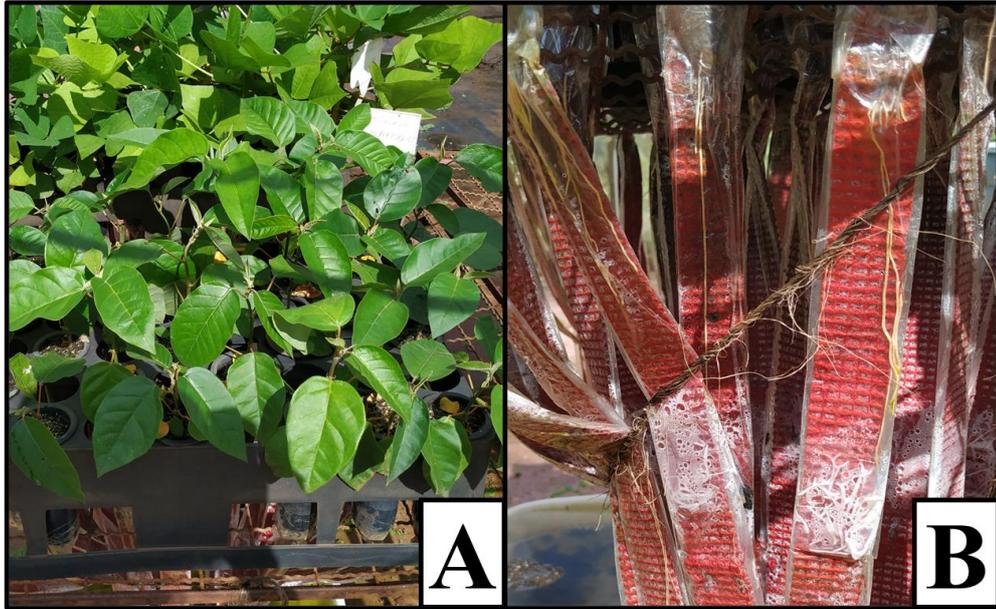


Figura 16. *Croton floribundus* A) Parte aérea da planta. B) Raízes alongadas.

Apêndice B. Técnicas utilizadas para o plantio em campo de mudas com raiz alongada.



Figura 17. Preparo de muda de *Croton floribundus* com raiz alongada para plantio em campo.



Figura 18. Preparo do suporte para a proteção das raízes alongadas.



Figura 19. Muda com suporte instalado.



Figura 20. Detalhe exibindo o final das raízes.



Figura 21. Instalação da proteção nas raízes finais da muda.



Figura 22. Proteção nas raízes finais da muda instalado.



Figura 23. Muda com raiz alongada pronta para ser plantada e disposta no local de plantio.



Figura 24. Coveamento para o plantio da muda com raiz alongada.



Figura 25. Cova de aproximadamente 80 cm de profundidade apropriada para o plantio de muda com raiz alongada.



Figura 26. Muda de *Croton floribundus* com raiz alongada plantada em campo.



Figura 27. Plantação de mudas com raiz alongada.