



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

**AVALIAÇÃO DA RESTRIÇÃO DO VOLUME DO RECIPIENTE DE CULTIVO NO
CRESCIMENTO E ALOCAÇÃO DE RECURSOS EM ESPÉCIES ARBÓREAS DE
CERRADO**

CAROLINE RAMIRES DA SILVA STRITAR

CAMPO GRANDE, MS

2019



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

CAROLINE RAMIRES DA S. STRITAR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Valdemir Antônio Laura
Coorientador: Prof^a Dra. Silvia Rahe Pereira

CAMPO GRANDE, MS

2019



AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me ama incondicionalmente.

Agradeço imensamente a meus pais, Rubilar Sanches da Silva e Marta Rejane Ramires da Silva, e meus irmãos, Cristine Ramires da Silva e Victor Ramires da Silva, que sempre acreditaram em mim e tem me apoiado ao longo da vida com muita alegria e entusiasmo pelas minhas conquistas.

Ao meu marido e companheiro, Matheus Vinicius Vital Stritar, por toda paciência e incentivo nesses dois anos de estudos.

Muito obrigada aos meus sogros que tem me abençoado e amado como filha.

Obrigada aos meus queridos orientadores pelo ensino, direcionamento e conhecimento passado a mim nesse tempo e a meus amigos e colegas do programa que me ajudaram em diversas etapas ao longo do trabalho.

Por último, agradeço a todos os professores envolvidos no Programa de Pós-graduação em Biologia vegetal, por cada ensino e disposição em ensinar.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”



SUMÁRIO

RESUMO	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.2 ANÁLISE DOS DADOS	10
3. RESULTADOS	11
3.1 PADRÃO DE CRESCIMENTO ENTRE OS TRATAMENTOS	11
3.2 BIOMASSA	12
3.3 ALOCAÇÃO DE RECURSOS	14
4. DISCUSSÃO	16
4.1 CRESCIMENTO EM ALTURA LIMITADO PELO VOLUME	16
4.2 MASSA DAS RAÍZES INFLUENCIADA PELO RECIPIENTE DE CULTIVO	18
4.3 VARIAÇÃO DA ALOCAÇÃO DE RECURSOS ENTRE OS TRATAMENTOS	19
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
6. REFERÊNCIAS	21



Resumo

A diminuição do componente lenhoso da vegetação do Bioma Cerrado é uma grande ameaça para as áreas naturais remanescentes. Fatores como a baixa disponibilidade de mudas de espécies nativas em viveiros e as condições em que são cultivadas podem acabar afetando o resultado destes projetos. O volume do recipiente é frequentemente considerado uma das variáveis mais influentes na morfologia das mudas. Portanto, a restrição imposta por pequenos recipientes no cultivo de mudas pode ter consequências no desempenho das espécies mesmo após o plantio no local definitivo. Portanto, teve-se como objetivo avaliar experimentalmente o efeito da limitação do volume do recipiente de cultivo de mudas no crescimento em altura e na alocação de recursos entre raízes e partes aéreas de plantas de quatro espécies florestais nativas. Um experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Embrapa Gado de Corte em Campo Grande, MS entre os meses de abril de 2018 e janeiro de 2019. O experimento totalmente aleatorizado constituído de três níveis de tratamento: tubetinho de 110 cm³ de volume (A1), tubetão de 290 cm³ (A2) e citropote de 7000 cm³ (CT). A altura das mudas foi registrada semanalmente e ao final de 112 e 224 dias foram também registradas as seguintes medidas de arquitetura: Massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), fração de massa na raiz (FMR) e massa seca da planta (MSP). O crescimento das mudas das quatro espécies ao longo do tempo diferiu entre os tratamentos, sendo o recipiente CT o que apresentou maiores médias ao final de 224 dias de avaliação. O volume do recipiente de cultivo influenciou a MSR e MSPA em 112 e 224 dias para *A. peregrina*, *M. urundeuva* e *J. cuspidifolia*, porém *H. stigonocarpa* foi influenciada apenas pelo tempo de cultivo e não pelos tratamentos em cada tempo. Para a FMR em *H. stigonocarpa* e *J. cuspidifolia* os recipientes de menor volume alocaram mais recursos para as raízes aos 112 dias, já *A. peregrina* aos 224 dias apresentou a mesma relação. Como esperado, o recipiente de maior volume, citropote com 7000 cm³, foi o que obteve as maiores médias de altura das plantas ao final do experimento. O volume disponível para o crescimento da raiz influenciou diretamente o desenvolvimento do sistema radicular e partes aéreas destas plantas. Os modelos ajustados sugerem que ao longo do crescimento, as plantas jovens tenderam a alocar menos biomassa para as raízes em relação às partes aéreas, com exceção de *H. stigonocarpa* em ambos os tempos e *J. cuspidifolia* no tempo 112 dias.

Palavras-chaves: Massa seca da raiz, Fração de massa na raiz e Volume do recipiente



1. Introdução

Até o ano de 2010 aproximadamente 52% da vegetação do Bioma Cerrado já haviam sido convertidas em áreas de agricultura e pastagens (Beuchle et al. 2015). A diminuição do componente lenhoso que representa mais de 40% dessa vegetação é uma grande ameaça para as áreas naturais remanescentes desse Bioma (Beuchle et al. 2015, Silva et al. 2006, Oliveira et al. 2005).

Um dos métodos mais utilizados em projetos de restauração ecológica é o plantio de mudas (Palma & Laurance 2015). No entanto, fatores como a baixa disponibilidade de mudas de espécies nativas em viveiros e as condições em que são cultivadas podem acabar afetando negativamente o resultado destes projetos (Palma e Laurance 2015, Chirino et al. 2008). Estudos mostram que obstruções físicas e restrição do sistema radicular a pequenos volumes de substrato podem causar prejuízo significativo ao crescimento, fisiologia e morfologia de plântulas, resultando na redução de aquisição de recursos mesmo quando estes não são limitantes (de Melo et al. 2018, Tian et al. 2017, Abreu et al. 2014). No ambiente natural, obstruções ao crescimento abaixo do solo podem ser encontradas em locais de solo compactado, raízes vizinhas, detritos orgânicos, rochas e outros materiais com uma variedade de tamanhos e densidades, dificultando a exploração do substrato (Semchenko et al. 2008, McConnaughay & Bazzaz 1992). Já em viveiros de produção de mudas, a restrição é decorrente do volume do recipiente utilizado para sua produção.

O volume do recipiente é frequentemente considerado uma das variáveis mais influentes na morfologia das mudas (Dominguez-Lerena et al. 2006). Recipientes profundos ou de maior volume permitem a produção de raízes mais longas e maior quantidade de raízes finas, enquanto recipientes curtos ou de menor volume podem causar deformações no sistema radicular (De La Fuente et al 2017) e consequente redução do crescimento da parte aérea (Semchenko et al. 2008). Assim, há um volume ótimo dos recipientes para produção de mudas de boa qualidade. No entanto, o tamanho do recipiente varia em função da espécie, condições ambientais do cultivo e tempo de permanência das mudas no viveiro (Tian et al. 2017, Martínez-Gutiérrez et al. 2016, Chirino et al. 2008). Portanto, a restrição imposta por pequenos recipientes no cultivo de mudas pode ter consequências no desempenho das espécies mesmo após o plantio no local definitivo (Grossnickle & MacDonald 2018), tanto na fase vegetativa quanto reprodutiva, modificando padrões de características morfológicas e fisiológicas da planta (NeSmith e Duval 1998).

Modelos e teorias de realocação de recursos sugerem que as plantas dividem a biomassa entre vários órgãos maximizando a aquisição de nutrientes, luz, água e dióxido de carbono de modo a otimizar sua taxa de crescimento (Bloom et al. 1985). Por exemplo, o maior tamanho do sistema



radicular e do diâmetro do caule melhoram a absorção de água e o transporte para as folhas, diminuindo o efeito do estresse da translocação das mudas para o campo e aumentando as taxas de crescimento das mudas (Grossnickle & MacDonald 2018).

Outro fator que pode influenciar o desempenho das plantas logo após a translocação para o campo são os padrões de alocação de recursos entre partes aéreas e radiculares que difere entre as espécies, mas que podem ser influenciadas pelas condições ambientais pelo estágio de desenvolvimento ou tamanho das plantas (Poorter 2012, Alves & Santos 2002). Assim, um estudo da alometria das raízes e partes aéreas é de suma importância para evitar conclusões equivocadas quando os padrões de alocação observados entre as proporções raiz: parte aérea, são relacionados em função de um único parâmetro (idade, tamanho, estágio ou fase de desenvolvimento) (McConnaughay et al. 1994).

As diferenças interespecíficas na alocação de biomassa entre partes aéreas e radiculares podem ser correlacionadas com a velocidade de crescimento das plantas. Espécies de crescimento lento tendem a alocar proporcionalmente mais biomassa para o sistema radicular e formar raízes mais longas quando comparadas a espécies de crescimento rápido. (Lambers & Poorter 1992).

Espécies de plantas nativas apresentam uma variação intraespecífica na expressão das características de raiz e essa condição mostra a necessidade de considerar os traços do sistema radicular ao escolher o material de restauração já que são de suma importância para o sucesso das espécies em tais projetos (Atwater et al. 2015). Muitas espécies já vêm sendo selecionadas com base em diversas características funcionais, pois realizam uma previsão de seu desempenho, colaborando para o sucesso nos resultados futuros (Perez-Harguindeguy et al. 2016, Pywell et al. 2003).

O cultivo adequado de mudas em viveiro não garante um desempenho superior das plantas, mas aumenta as chances dos indivíduos apresentarem maiores taxas de crescimento e sobrevivência em áreas degradadas (Grossnickle & MacDonald 2018). Dominguez-Lerena et al. (2006), mostraram que os maiores recipientes de cultivo não apenas produziram mudas maiores no viveiro, mas também plantas maiores três anos após o plantio.

Portanto, no presente estudo teve-se como objetivo avaliar experimentalmente o efeito da limitação do volume do recipiente de cultivo de mudas no crescimento em altura e na alocação de recursos entre raízes e partes aéreas de plantas de quatro espécies florestais nativas. Especificamente avaliamos as seguintes hipóteses:

- O crescimento em altura das plantas responde diferencialmente entre as espécies arbóreas à limitação do volume do recipiente usado no cultivo de mudas em viveiro.



- O tempo necessário para a detecção do efeito do tamanho do recipiente de cultivo das mudas varia entre as espécies de plantas
- A biomassa das raízes é influenciada pelo tipo de recipiente usado no cultivo das mudas e este efeito é mais intenso quanto maior for o tempo de cultivo em viveiro
- A alocação de recursos para raízes e partes aéreas da planta varia com o tamanho das plantas.
- A alocação de recursos é dependente do tipo de recipiente usado no cultivo das mudas independentemente do tamanho da planta.

2. Material e métodos

Um experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Embrapa Gado de Corte em Campo Grande, MS entre os meses de abril de 2018 e janeiro de 2019. Quatro espécies arbóreas nativas do Bioma Cerrado foram utilizadas: *Anadenanthera peregrina* var. *falcata* (Benth.) Altschul (Angico preto), *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne (Jatobá do cerrado), *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Aroeira) e *Jacaranda cuspidifolia* Mart. (Caroba).

O efeito do volume do recipiente de cultivo no crescimento e alocação de recursos das plantas foi avaliado através de um experimento totalmente aleatorizado constituído de três níveis de tratamento. As mudas das espécies foram cultivadas em: tubetinho de 110 cm³ de volume (A1), tubetão de 290 cm³ (A2) e citropote de 7000 cm³ (CT) (Figura 1). Para cada combinação de tratamento (espécie e tamanho do recipiente) foram utilizadas 16 réplicas, totalizando 192 mudas. Os recipientes foram preenchidos com substrato comercial Fertilizare© composto por cinzas, compostos orgânicos, pó de pinus e vermiculita com pH 5,5, mantidos em canteiro suspenso.



Figura 1 - Recipientes usados na confecção das mudas. Em A recipiente de 7000 cm³ (CT), em B recipiente de 290 cm³ (A2) e em C recipiente de 110 cm³ (A1)

As sementes utilizadas para a produção das mudas foram adquiridas em empresas especializadas. A espécie *H. stigonocarpa* teve suas sementes submetidas a escarificação mecânica com lixa P120 para superação de dormência. As sementes das demais espécies não passaram por nenhum tratamento pré-germinativo (Lima Junior 2010). Após o término do tratamento pré-germinativo as sementes foram dispostas, em função do seu tamanho, em caixas do tipo gerbox ou bandejas plásticas, ambas preenchidas com substrato e mantidos em câmara de germinação do tipo B.O.D., sob temperaturas alternadas 30°C / 25°C. Após a protrusão da raiz primária foi realizado o transplante para os respectivos recipientes referentes a cada tratamento. Todos os recipientes foram semanalmente adubados com 15 mL de solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950), independente do tratamento; portanto, todas as mudas receberam a mesma quantidade de nutrientes. As mudas foram irrigadas por microaspersão de maneira automática, conforme a porcentagem de umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação. A temperatura máxima variou entre 30-32 °C sendo controlada pelo acionamento automático de ventiladores para troca do ar interno.



O crescimento em altura das mudas (distância entre o ápice da plântula e o colo) foi monitorado individualmente ao longo de 112 dias em intervalos semanais e uma nova medição foi realizada aos 224 dias, ambas com início marcado na data de transplante de cada muda da B.O.D. para o recipiente de cultivo. Do total de 16 indivíduos plantados para cada espécie, oito foram selecionados ao final de 112 dias de crescimento e quatro selecionados ao final de 224 dias, aleatoriamente, para as análises destrutivas, pois foram excluídos os recipientes onde ocorreram mortes das mudas e aqueles que apresentaram média de altura muito inferior ou superior em relação aos demais indivíduos. *M. urundeuva* foi excluída das análises de 224 dias devido ao ataque de cochonilhas, impossibilitando sua avaliação.

Ao final de 112 e 224 dias foram também registradas as seguintes medidas de arquitetura: Massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), fração de massa na raiz (FMR) e massa seca da planta (MSP). Para obtenção da MSR e MSPA as estruturas foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados, e secos em estufa de ventilação forçada a 65 °C, até massa constante, posteriormente as amostras foram pesadas em balança de precisão 0,001g. A FMR foi estimada através da razão entre a MSR e a MSPA, já a MSP foi determinada através da soma da MSR e da MSPA.

2.2 Análise dos dados

A Análise de Variância de Medidas Repetidas foi usada para avaliar o efeito dos tratamentos (A1, A2 e CT) no crescimento em altura ao longo do tempo para cada espécie. Nos casos de significância da interação Tempo $\times$ Tratamento, comparações múltiplas foram conduzidas separadamente através do teste de Tukey. Os resultados do teste de Tukey foram apresentados apenas no momento em que detectamos a primeira diferença entre os tratamentos e no momento em que detectamos alguma nova alteração nos padrões de diferenças entre os tratamentos.

O efeito do tamanho do recipiente de cultivo na massa da raiz e massa seca da parte aérea foi avaliado através de Análise de Variância e seguido do teste de Tukey. A relação entre o FMR e a massa seca da planta de cada espécie foi avaliada através de regressão simples. Para quantificar a intensidade do efeito do tratamento no FMR, independentemente do tamanho da planta, conduzimos uma análise dos resíduos dos modelos ajustados na regressão simples como variáveis dependentes, através de uma Análise de Variância seguida pelo teste de Tukey.

O teste de Shapiro-Wilk foi conduzido para todas as variáveis para verificar se a distribuição dos dados se aproximava da normal e os resíduos foram checados graficamente para verificar se havia



tendências ao longo das estimativas. Assim, a altura da planta, a FMR e a massa seca da raiz foram transformadas para logaritmo neperiano. O nível de significância considerado foi $p < 0,05$. Todas as análises foram conduzidas no Systat 13 (Systat, 2012) e no Origin 8.0.

3. Resultados

3.1 Padrão de crescimento entre os tratamentos

O crescimento das mudas *A. peregrina* ao longo do tempo diferiu entre os tratamentos (Interação Tempo $\times$ Tratamento: $F_{32,144} = 45,342$; $P < 0,001$). Os resultados da ANOVA mostraram que o crescimento em altura foi similar entre os tratamentos durante os primeiros 49 dias, quando as plantas tinham $10,0 \text{ cm} \pm 0,31$ ($\bar{x} \pm \text{EP}$). A partir do 56º dia, a média das alturas das mudas diferiu entre A1 e CT e ao final dos 224 dias as alturas das plantas diferiram entre todos os tratamentos (Figura 2).

Na espécie *M. urundeuva* a interação entre tratamentos e tempo para a variável altura também foi significativa (Interação Tempo $\times$ Tratamento: $F_{30,675} = 15,492$; $P < 0,001$). A altura não diferiu entre os três tratamentos até o 21º dia, quando as plantas apresentavam $8,8 \text{ cm} \pm 0,17$. A partir do 28º dia a média das alturas diferiu entre A1 e CT e com 49 dias detectamos diferenças nas alturas das mudas de A1 em relação a A2 e CT (Figura 2). Ao final do experimento a altura diferiu entre todos os tratamentos (Figura 2).

Para a espécie *H. stigonocarpa*, a altura das mudas diferiu ao longo do tempo e entre os tratamentos (Interação Tempo $\times$ Tratamento: $F_{32,144} = 5,16286$; $P < 0,001$). A altura das plantas em CT diferiu já nos primeiros sete dias de A1 e A2 (Figura 2). Entretanto, no intervalo entre sete e 28 dias as alturas foram similares ($20,2 \text{ cm} \pm 0,35$). A partir do 35º dia detectamos uma diferença entre CT e A1 ficando A2 em posição intermediária, no entanto, a partir dos 63 dias as alturas não diferiram mais entre os tratamentos até o final do experimento (Figura 2).

O crescimento em altura de *J. cuspidifolia* ao longo do tempo diferiu entre os tratamentos (Interação Tempo $\times$ Tratamento: $F_{32,144} = 17,389$; $P < 0,001$). A altura das plantas diferiu entre A1 e CT já nos primeiros sete dias de avaliação (Figura 2). No entanto, após essa primeira semana a altura foi similar entre os tratamentos até o 70º dia quando as mudas apresentavam em média $12,8 \text{ cm} \pm 0,26$. A partir do 77º dia detectamos novamente diferenças nas alturas entre A1 e A2, ficando CT em posição intermediária no 91º dia A1 diferiu de A2 e CT (Figura 2). Ao final de 224 dias de crescimento em CT apresentou maior média em altura em relação aos demais tratamentos (Figura 2).

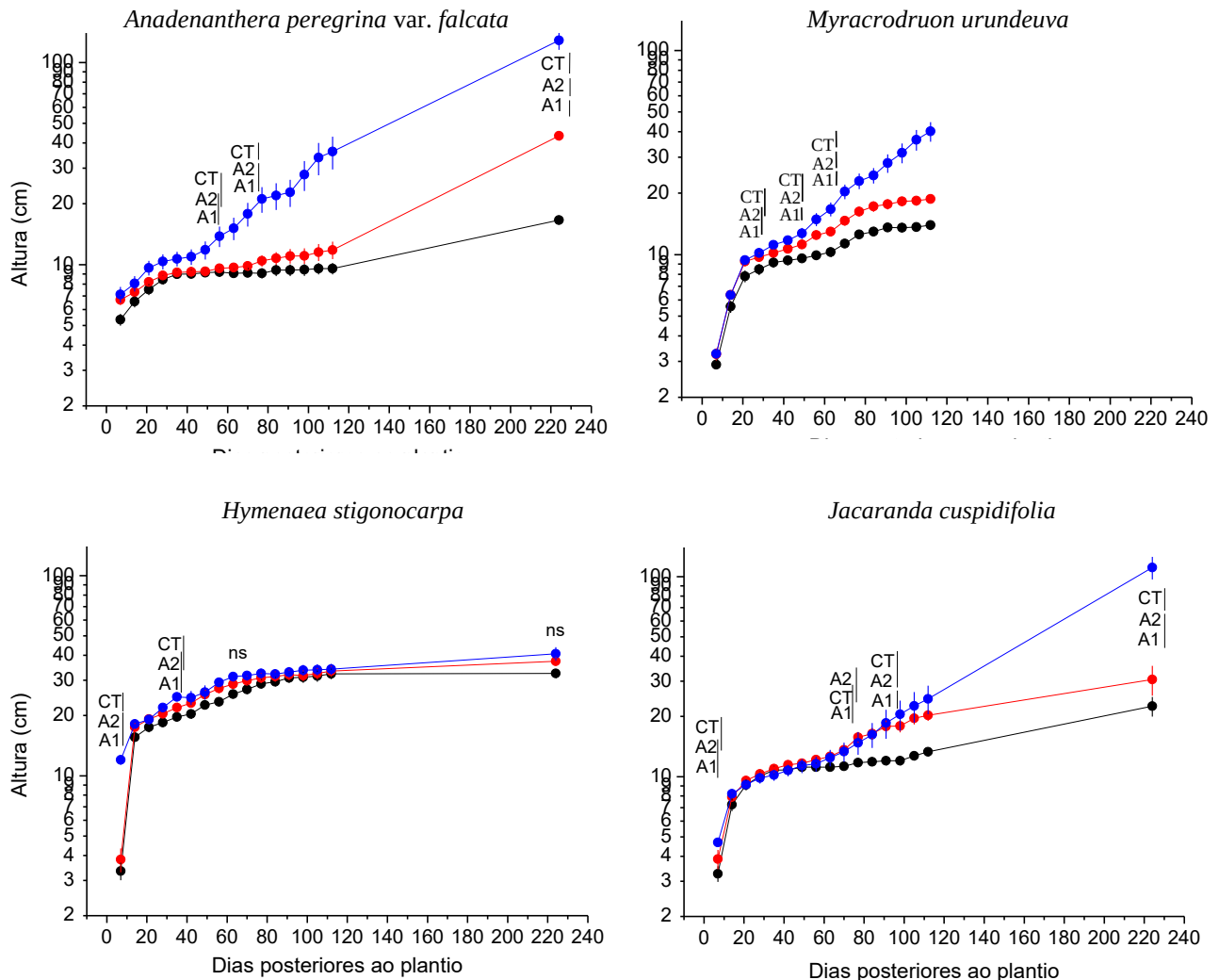


Figura 2 - Altura média das mudas de quatro espécies arbóreas, ao longo do tempo, cultivadas em três tipos de recipientes: círculo azul representa CT (7000 cm³); círculo vermelho representa A2 (290 cm³) e o círculo preto representa A1 (110 cm³). As diferenças entre os tratamentos ao longo do tempo, segundo o teste de Tukey, estão representadas pelas descontinuidades das linhas. As barras representam o erro padrão.

3.2 Biomassa

A massa seca de raiz (MSR) e a massa seca da parte aérea (MSPA) diferiu entre os tratamentos, mas o tempo influenciou os resultados (Interação Tratamento $\times$ Tempo, $F_{2,30} = 12,894$, $p < 0,001$; $F_{2,30} = 4,623$, $p = 0,018$, respectivamente), sugerindo que a intensidade do efeito do volume dos recipientes



diferiu entre os dois tempos. A MSR em *A. peregrina* diferiu entre os tratamentos aos 112 e 224 dias (ANOVA, $F_{2,21} = 23,453$, $p < 0,001$; $F_{2,9} = 109,225$, $p < 0,001$, respectivamente). Inicialmente a MSR diferiu entre os três tratamentos (Figura 3), ao final de 224 dias a MSR em *A. peregrina* diferiu apenas entre o CT e os demais tratamentos (Figura 3). A MSPA diferiu entre os três tratamentos aos 112 e 224 dias (ANOVA, $F_{2,21} = 43,645$, $p < 0,029$; $F_{2,9} = 140,680$, $p < 0,001$, respectivamente) (Figura 3).

Em *M. urundeuva* a MSR e MSPA diferiram entre os três tratamentos no tempo 112 dias (ANOVA, $F_{2,20} = 22,300$, $p < 0,001$; ANOVA, $F_{2,21} = 276,402$, $p < 0,001$, respectivamente) (Figura 3).

Para a espécie *H. stigonocarpa* os resultados da ANOVA de Medidas Repetidas mostraram que para a MSR o efeito do volume do recipiente dependeu do tempo, mas não para MSPA (Interação Tratamento $\times$ Tempo: $F_{2,30} = 4,015$, $p < 0,001$; $F_{2,30} = 2,391$, $p = 0,109$, respectivamente). No entanto, o efeito do volume do recipiente de cultivo não influenciou a MSR em ambos os tempos de cultivo, 112 e 224 dias, (ANOVA, $F_{2,21} = 1,030$, $p = 0,374$; $F_{2,9} = 2,579$, $p = 0,130$, respectivamente) sugerindo que apesar de que as diferenças entre as médias tenham diferido entre os dois tempos, as médias de MSR, dentro do fator Tempo, não diferiram entre os tratamentos. O mesmo pode ser observado para MSPA em ambos os tempos de cultivo (ANOVA, $F_{2,21} = 1,218$, $p = 0,316$; $F_{2,9} = 1,956$, $p = 0,197$, respectivamente) (Figura 3).

O volume do recipiente de cultivo influenciou a MSR e a MSPA em *J. cuspidifolia*, mas o tempo influenciou os resultados (Interação Tratamento $\times$ Tempo, $F_{2,30} = 18,865$, $p < 0,001$; $F_{2,30} = 100,917$, $p < 0,001$, respectivamente). Aos 112 e aos 224 dias a MSR diferiu entre os tratamentos (ANOVA, $F_{2,21} = 30,968$, $p < 0,001$; $F_{2,9} = 9,664$, $p < 0,001$, respectivamente). Aos 112 dias o recipiente A2 apresentou valor de massa seca de raiz superior quando comparadas a A1 e CT que não diferiram entre si, porém aos 224 dias a MSR no CT superou os demais tratamentos, ficando A2 em posição intermediária (Figura 3). A MSPA também diferiu entre os tratamentos aos 112 e 224 dias de avaliação (ANOVA, $F_{2,21} = 34,000$, $p < 0,001$; $F_{2,9} = 72,412$, $p < 0,001$, respectivamente), inicialmente ocorreu diferença entre os três tratamentos, porém aos 224 dias A1 e A2 não diferiram entre si (Figura 3).

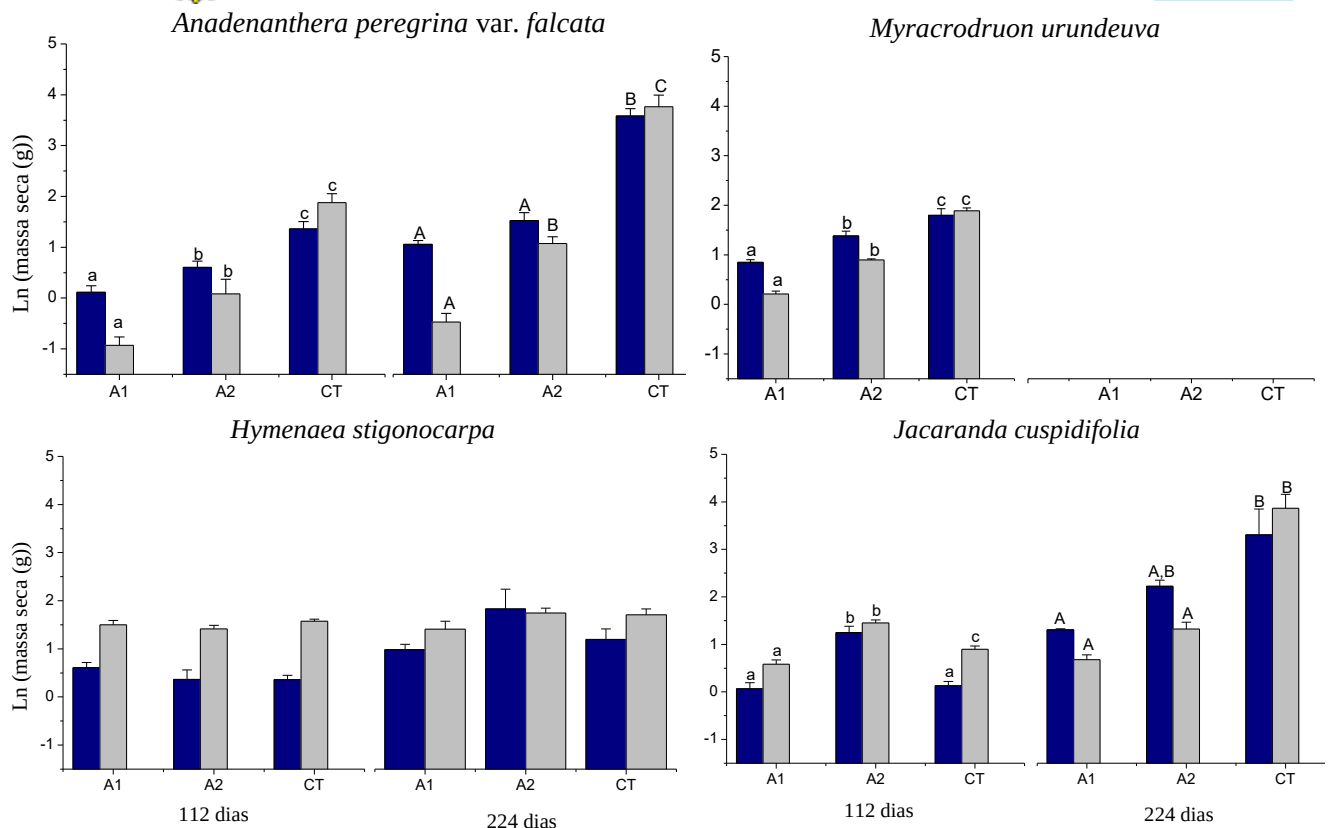


Figura 3 – Massa seca média da raiz e massa seca da parte aérea de mudas de quatro espécies arbóreas cultivadas em três tipos de recipientes: A1 (110 cm³), A2 (290 cm³) e CT (7000 cm³). As colunas azuis representam a massa seca da raiz (MSR) e as colunas cinzas representam a massa seca da parte aérea (MSPA). As barras representam erro padrão. Letras diferentes representam diferenças significativas segundo os resultados do teste de Tukey seguidos da ANOVA.

3.3 Alocação de recursos

A alocação de recursos para as raízes (FMR) em *A. peregrina* foi negativamente relacionada com o tamanho da planta aos 112 dias de avaliação ($y = 1,218 - 0,697x$; $F_{1,21} = 50,765$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,71$) e aos 224 dias ($y = 1,821 - 0,478x$; $F_{1,10} = 25,889$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,72$). Plantas menores alocaram mais recursos para raízes quando comparadas com plantas maiores. O resultado da análise dos resíduos mostrou que os tratamentos não influenciaram a alocação de recursos aos 112 dias (ANOVA, $F_{2,20} = 0,398$; $p = 0,677$), porém os tratamentos diferiram aos 224 dias, independentemente do tamanho da planta (ANOVA, $F_{2,9} = 5,262$; $p = 0,031$) (Figura 4). A fração da massa radicular foi maior em A1 quando comparado com A2 e CT que não diferiram entre si (Figura 4). Estes resultados indicam que essa espécie, quando cultivada em recipientes pequenos (A1), alocou mais recursos para as raízes em comparação com a parte aérea do que seria esperado pelo seu tamanho.



Na espécie *M. urundeuva* a alocação de recursos para as raízes também foi negativamente relacionada com o tamanho da planta ($y = 1,148 - 0,428x$; $F_{1,21} = 11,883$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,36$). O resultado da análise dos resíduos mostrou que os tratamentos não influenciaram a alocação de recursos independentemente do tamanho da planta (ANOVA, $F_{2,20} = 1,415$, $p = 0,266$) (Figura 4).

Em *H. stigonocarpa* a alocação de recursos para as raízes foi positivamente relacionada com o tamanho da planta aos 112 dias ($y = -2,177 + 0,625x$; $F_{1,22} = 8,153$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,27$) e aos 224 dias de avaliação ($y = -2,623 + 1,050x$; $F_{1,10} = 7,765$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,44$), plantas menores alocaram mais recursos para as raízes quando comparadas com plantas maiores aos 112 dias. Os resultados da análise dos resíduos mostraram que os tratamentos influenciaram a alocação de recursos para raízes independentemente do tamanho da planta aos 112 dias (ANOVA, $F_{2,21} = 4,789$; $p = 0,019$), porém aos 224 dias os tratamentos não diferiram (ANOVA, $F_{2,9} = 0,585$; $p = 0,577$) (Figura 4). A FMR foi maior em A1 quando comparado com CT, ficando A2 em posição intermediária (Figura 4). Os resultados indicam que nos primeiros 112 dias de desenvolvimento de *H. stigonocarpa* em recipientes menores (A1) as plantas alocaram mais recursos para as raízes em relação ao que seria esperado pelo o tamanho da planta quando comparados com os recipientes maiores (CT).

Para a espécie *J. cuspidifolia*, aos 112 dias, a alocação de recursos para as raízes foi positivamente relacionada com o tamanho da planta ($y = -1,129 + 0,431x$; $F_{1,22} = 16,781$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,41$), porém aos 224 dias detectamos uma relação inversa, a FMR foi negativamente relacionada com o tamanho da planta ($y = 1,418 - 0,379x$; $F_{1,10} = 5,801$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,37$). O resultado da análise dos resíduos mostrou que os tratamentos influenciaram a alocação de recursos para raízes apenas aos 112 dias (ANOVA, $F_{2,21} = 5,714$, $p = 0,010$) aos 224 dias os tratamentos não influenciaram a alocação de recursos para raízes (ANOVA, $F_{2,9} = 2,249$, $p = 0,161$) (Figura 4). Os resultados mostram que para essa espécie os recipientes de menor volume (A1) aos 112 dias alocaram mais recursos para as raízes do que o esperado em relação ao seu tamanho.

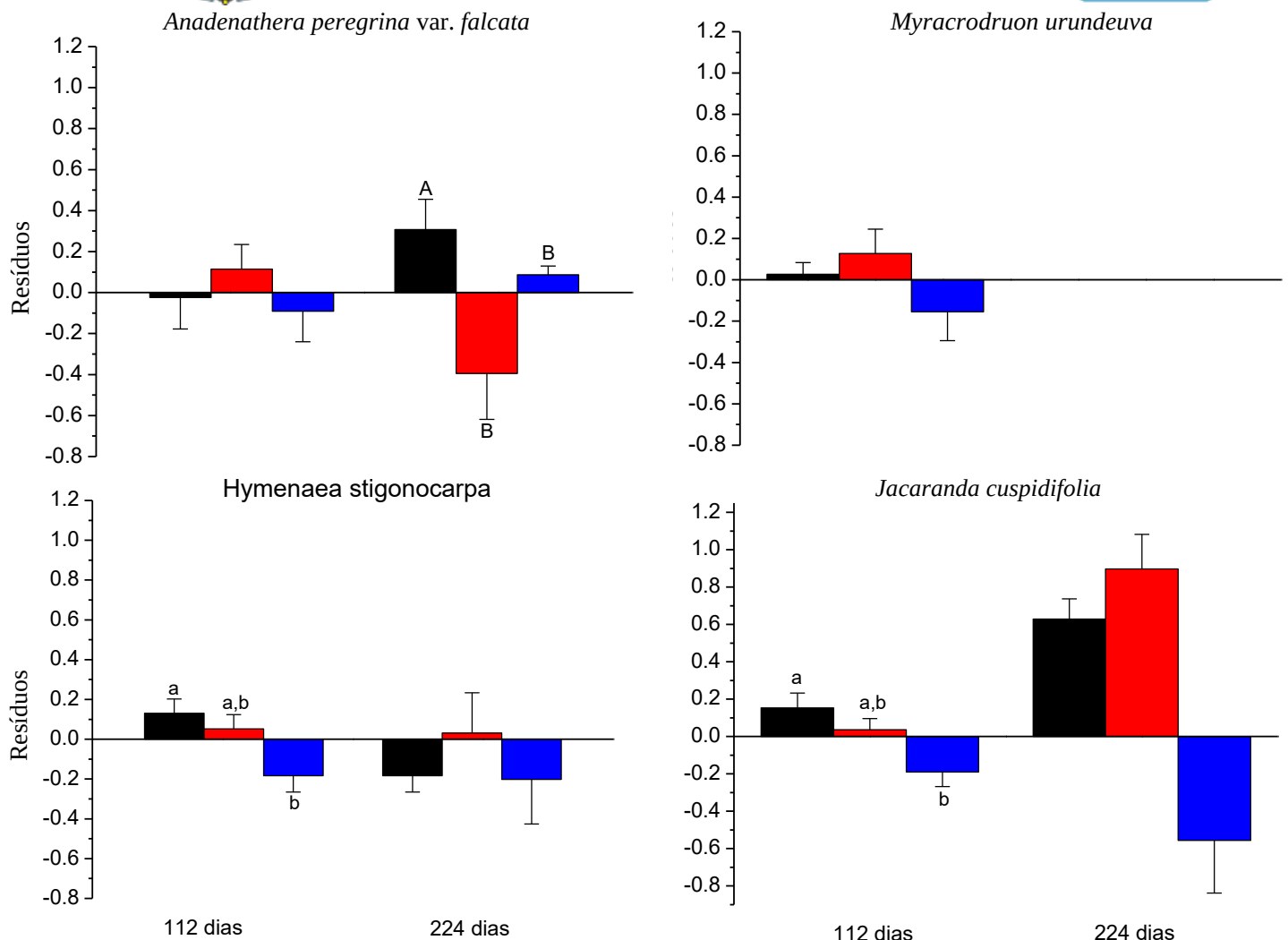


Figura 4 – Alocação de recursos para as raízes em relação ao tamanho da planta em quatro espécies arbóreas cultivadas em três tamanhos de recipientes (barra preta representa A1 (110 cm), barra vermelha representa A2 (290 cm³) e a barra azul representa CT (7000 cm³)). Colunas da esquerda apresentam os resultados após 112 dias de crescimento e as colunas da direita apresentam os resultados após 224 dias de crescimento.

4. Discussão

4.1 Crescimento em altura limitado pelo volume

O crescimento em altura das mudas apresentou diferenças entre os tratamentos para as quatro espécies estudadas. Como esperado, o recipiente de maior volume, citropote com 7000 cm³, foi o que



obteve as maiores médias de altura das plantas ao final do experimento. O volume maior do recipiente induz o crescimento vegetativo mais vigoroso e melhora o vigor das mudas (Fascella & Rouphael 2017). A relação entre o crescimento da parte aérea com a restrição radicular causada pelo recipiente de cultivo já vem sendo relatado por diversos autores para plantas cultivadas (Martínez-Gutiérrez et al. 2016, Vallone et al. 2010, Kharkina et al. 1999), ornamentais (Fascella & Rouphael 2017, Ternes et al. 1994) e árvores nativas com potencial de restauração (de Melo et al. 2018, De la Fuente et al. 2017, Tian et al. 2017).

Vale a pena ressaltar que viveiros buscam uma produção de mudas eficientes e de forma econômica (Riikonen & Luoranen 2018). Por esse lado os recipientes com maior volume não apresentam vantagem, pois é necessária uma maior quantidade de substrato e espaço dentro dos viveiros acabando por encarecer a produção. Apesar disso, é importante pensar na qualidade das mudas produzidas, visando uma economia na instalação e manutenção dos projetos que são, de fato, o objetivo final das mudas.

No presente estudo, as plantas foram mantidas bem irrigadas e nutridas, não podendo estes dois fatores serem os responsáveis por diferenças no crescimento em altura. Entretanto, evidências sugerem que em situação de restrição radicular, a ação conjunta de hormônios produz um sinal químico que é translocado da raiz e chega, via xilema, na parte aérea podendo alterar a morfologia da planta inibindo o crescimento (Kharkina et al. 1999, Ternes et al. 1994). O hormônio conhecido como ABA (ácido abscísico) age impedindo a formação de raízes finas, portanto em situação de restrição radicular a concentração de ABA na seiva de plantas tende a aumentar (Ternes et al. 1994, Rymen et al. 2017). Outro hormônio envolvido nesse processo é a citocinina produzida, principalmente, no meristema da raiz. Quando em situação de restrição radicular ocorre a redução dos níveis de citocinina no xilema que chegam aos tecidos foliares alterando o crescimento e desenvolvimento das folhas (Yong et al. 2010). Além disto, uma menor concentração de oxigênio nos recipientes de menor volume também poderia explicar a redução do crescimento da parte aérea das mudas, já que, o confinamento das raízes pode chegar a tal ponto que restrinja seu próprio suprimento de oxigênio (Climent et al. 2011, Kharkina et al. 1999). De fato, nossos resultados mostraram que o recipiente de maior volume favoreceu o crescimento das mudas, provavelmente por permitir um alongamento livre das raízes mantendo a síntese e a translocação hormonal e o suprimento de oxigênio em níveis adequados ao crescimento das mudas.

Dentre as espécies experimentais, *H. stigonocarpa* tinha a maior semente quando comparadas às outras espécies. A diferença entre os tratamentos no seu crescimento inicial, em plântulas bem jovens



com apenas sete dias, sugere uma inibição causada pela restrição do volume do recipiente logo após a sua emergência como observamos entre os recipientes de menor volume (A1 e A2) quando comparados a CT (Figura 2). Espécies com sementes de grande tamanho geralmente apresentam uma adaptação para o rápido desenvolvimento de partes aéreas e radiculares conferindo vantagem na competição por recursos acima e abaixo do solo devido ao estoque de nutrientes em seus cotilédones (Pereira et al. 2013, Masková & Herben 2018). No entanto, estas diferenças diminuíram ao longo do desenvolvimento da planta, de maneira que após 61 dias não detectamos mais estas diferenças. Espécies de sementes maiores tem um crescimento muito alto nas primeiras semanas após a emergência, mas estas taxas diminuem rapidamente sendo consideradas como espécies de crescimento lento (Pereira et al. 2013). Assim, parece que mesmo que o volume do recipiente tenha inibido o crescimento das mudas de *H. stigonocarpa* durante este pico inicial de crescimento, as plantas dos recipientes menores parecem ter ajustado o crescimento nas semanas seguintes de maneira que após 61 dias não detectamos mais estas diferenças. Por outro lado, o tempo do experimento pode ter sido insuficiente para detectar diferenças que poderiam aparecer ao longo do desenvolvimento destas plantas.

4.2 Massa das raízes influenciada pelo recipiente de cultivo

A massa seca das raízes de *A. peregrina* e *M. urundeuva* aos 112 dias e de *J. cuspidifolia* aos 224 dias foi diretamente proporcional ao volume dos recipientes, o que seria esperado, pois as mudas ajustam-se fisiologicamente em resposta ao estresse causado pela limitação do volume do recipiente de cultivo (Bloom et al. 1985). Estes resultados sugerem que o volume disponível para o crescimento da raiz influenciou diretamente o desenvolvimento do sistema radicular e partes aéreas destas plantas. Além disto, nas espécies *A. peregrina* e *M. urundeuva* a massa das raízes era maior do que a massa das partes aéreas nos recipientes menores já nos primeiros 112 dias de cultivo. Em *J. cuspidifolia* a massa do sistema radicular foi maior do que as partes aéreas apenas aos 224 dias (Figura 3).

Plantas com raízes restritas ao crescimento tem uma redução na biomassa radicular e consequentemente uma redução também nas partes aéreas (Kharkina et al. 1999, Yong et al. 2010,). Em nossos resultados detectamos essas respostas à restrição do volume do recipiente de cultivo em três das quatro espécies avaliadas no experimento com exceção apenas de *H. stigonocarpa* que possui uma taxa de crescimento mais baixa, inerente da espécie quando comparada com as demais espécies. Por outro lado, nos recipientes com menor volume também podem ocorrer a diminuição da disponibilidade de nutrientes e teor de umidade retidos no solo levando a uma redução na taxa fotossintética líquida e consequentemente na produção de biomassa (Fascella & Rouphael 2017). Assim é possível que a



restrição física imposta pelo volume do recipiente combinada a uma possível disponibilidade mais baixa de recursos em recipientes menores tenham limitado o desenvolvimento destas plantas.

4.3 Variação da alocação de recursos entre os tratamentos

A alocação de recursos para as raízes (FMR) aos 224 dias foi negativamente relacionada com o tamanho da planta em três das quatro espécies usadas no experimento e positivamente relacionada com o tamanho em *H. stigonocarpa*. Os modelos ajustados sugerem que ao longo do crescimento, as plantas jovens tenderam a alocar menos biomassa para as raízes em relação às partes aéreas, com exceção de *H. stigonocarpa* em ambos os tempos e *J. cuspidifolia* no tempo 112 dias. Para *J. cuspidifolia* o tempo necessário para a detecção da relação negativa, entre estas duas variáveis, foi de 224 dias. Assim, no início do seu desenvolvimento (112 dias), as plantas desta espécie tenderam a alocar mais biomassa para as raízes, mas posteriormente tenderam a alocar mais biomassa para as partes aéreas. Em *H. stigonocarpa* a relação entre a alocação da biomassa para raízes e o tamanho da planta foi positiva em ambos os tempos sugerindo que como esta espécie tem um crescimento mais lento, o tempo necessário para detectar uma relação negativa entre estas duas variáveis tenha sido insuficiente. Apenas um experimento com maior duração de tempo poderia esclarecer este padrão para *H. stigonocarpa*.

Variações fenotípicas de plantas podem ser determinadas pela idade, tamanho ou estágio de desenvolvimento da planta ou a plasticidade exibida em resposta a adaptação ambiental (Coleman et al. 1994, McConnaughay et al. 1994, Coleman et al. 2011, Hérault et al. 2011). Como detectamos uma grande variação na alocação da biomassa entre raízes e partes aéreas, mas também de tamanho total das plantas entre os tratamentos, estes efeitos poderiam estar confundidos, dificultando a separação entre as respostas da alocação de biomassa devido exclusivamente ao tamanho (ou estágio de desenvolvimento) da planta e a plasticidade fenotípica, em resposta a restrição do volume dos recipientes de cultivo. No entanto, as análises de resíduos separaram claramente os dois efeitos (tamanho $\times$ tratamentos) e mostraram que a alocação de biomassa variou com o tamanho da planta, mas respondeu também aos tratamentos para *A. peregrina* e *M. urundeuva* a partir de 112 dias de avaliação e *J. cuspidifolia* apenas a partir 224 dias. Estas espécies quando cultivadas em recipientes com menor volume de substrato, alocaram proporcionalmente mais recursos para as raízes, em relação a planta total, devido à restrição imposta ao crescimento do sistema radicular.

Climent et al. (2011) mostrou que a FMR é afetada significativamente pela espécie, mas também pelo volume de substrato disponível para a raiz e pela interação entre ambos. O aumento da



massa seca das raízes em relação a parte aérea nos recipientes de menor volume pode ter sido causado pela maior produção de raízes secundárias, que tendem a encher o recipiente devido à restrição imposta ao crescimento da raiz principal, a fim de causar uma compensação na assimilação de recursos (Atwell 1988, Kharkina et al. 1999,). Assim, é possível os maiores valores de MSR em relação a MSPA em recipientes menores seja resultado dessa produção aumentada de raízes secundários, em função da restrição física do crescimento da raiz principal. No entanto, apesar de não ter sido quantificado a biomassa de raízes finas ($< 2\text{mm}$ de diâmetro) observamos que grande parte dessas raízes se apresentava visivelmente espessa e adensada, quando comparada com as raízes dos recipientes com maior volume de substrato (CT), possivelmente pela maior lignificação das raízes. O aumento do diâmetro e consequente lignificação das raízes resulta em menor capacidade de absorção em relação a sua massa tornando-as relativamente menos funcionais, mas contribuindo para o aumento da massa seca (Gordon & Jackson 2000).

A interpretação da variação de características fenotípicas pode ser realizada em função da idade da planta, tamanho ou estágio de desenvolvimento e a plasticidade exibida em resposta a adaptação às condições ambientais é resultado de ajustes na alocação de biomassa e/ou da deriva ontogenética (Coleman et al. 1994, Mašková & Herben 2018). Além disto, alocação de biomassa nas plantas para raízes ou partes aéreas está fortemente relacionada a disponibilidade de recursos para o crescimento, sendo assim, as plantas tendem a alocar mais biomassa às raízes se o recurso limitante estiver abaixo do solo (nutrientes e água) e alocarão relativamente mais biomassa para partes aéreas se o fator limitante estiver acima do solo (luz e CO_2) (Bloom et al. 1985, Poorter et al. 2012). Portanto como mostrado pelos nossos resultados, as condições ambientais dos microsítios podem influenciar a alocação da biomassa das plantas para raízes ou partes aéreas determinando a arquitetura das plantas, especialmente no início de seu desenvolvimento

5. Considerações finais

Nosso experimento mostrou que o crescimento em altura das plantas de três das quatro espécies respondeu diferencialmente a limitação causada pelo volume do recipiente de cultivo. O recipiente de maior volume foi o que apresentou as maiores médias de altura. Mesmo na ausência de um experimento que poderia avaliar as consequências dos efeitos do recipiente de cultivo na sobrevivência e no crescimento das plantas em situações de campo, nossos resultados sugerem que o cultivo de mudas em recipientes maiores pode aumentar as chances de sobrevivência e as taxas de crescimento em campo



em projetos de restauração de áreas degradadas. Assim, o tamanho do recipiente e o tempo de permanência de mudas destas espécies nativas podem ser indicativos de qualidade de mudas.

Apesar da massa seca da raiz apresentar valores maiores que a massa seca da parte aérea não podemos afirmar que essa condição seja benéfica para as mudas pois as raízes apresentam uma lignificação acentuada diminuindo a funcionalidade desse órgão e consequentemente causando prejuízos na estabelecimento e crescimento em campo.

6. Referências

Abreu AHM, Leles PSS, Melo LA, Ferreira DHAA, Monteiro FAS. 2014. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. Floresta 45:141-15

Atwater DZ, James JJ, Leger EA. 2015. Seedling root traits strongly influence field survival and performance of a common bunchgrass. Basic and Applied Ecology 16:128-140.

Atwell BJ. 1988. Physiological responses of lupin roots to soil compaction. Plant and Soil 111:277-281.

Beuchle R, Grecchi RC, Shimabukuro YE, Seliger R, Eva HD, Sano E, Achard F. 2015. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. Applied Geography 58:116-127.

Bloom AJ, Chapin FS, Mooney HÁ. 1985. Resource limitation in plants—an economic analogy. Annual Review of Ecology and Systematics 16:363–392.

Chirino E, Vilagrosa A, Hernández EI, Matos A, Vallejo VR. 2008. 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 256:779-785.



Climment J, Chambel MR, Pardos M, Lario F, Villar-Salvador P. 2011. Biomass allocation and foliage heteroblasty in hard pine species respond differentially to reduction in rooting volume. *European Journal of Forest Research* 130:841–850.

Coleman JS, McConnaughay KDM, David D. 1994. Ackerly Interpreting phenotypic variation in plants. *TREE* 9:187-191.

De La Fuente LM, Ovalle JF, Arellano EC, Ginocchio R. 2017. 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* 10:776.

De Melo LA, Abreu AHM, Leles PSS, de Oliveira RR, da Silva DT. 2018. Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth produzidas em diferentes volumes de recipientes. *Ciência Florestal* 28:47-55.

Dominguez-Lerena S, Sierra NH, Manzano IC, Bueno LO, Rubira JP, Mexal JG. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field *Forest Ecology and Management* 221:63-71.

Fascella G, Rouphael Y. 2017. Influence of container volume and irrigation system on photosynthesis, water productivity and growth of potted *Euphorbia × lomi*. *Acta Sci Pol Hortorum Cultus* 16:163–171.

Gordon WS, Jackson RB. 2000. Nutrient concentrations in fine roots. *Ecology* 81:275–280.

Grossnickle SC, MacDonald JE. 2018. Why seedlings grow: Influence of plant attributes. *New Forests* 49:1–34.

Hérault B, Bachelot B, Poorter L, Rossi V, Bongers F, Chave J, ... & Baraloto, C. 2011. Functional traits shape ontogenetic growth trajectories of rain forest tree species. *Journal of ecology* 99:1431-1440.



Hoagland DR, Arnon DI. 1950. The water culture method for growing plants without soils Berkeley. California Agricultural Experimental Station 347.

Kharkina TG, Ottosen C-O, Rosenqvist E. 1999. Effects of root restriction on the growth and physiology of cucumber plants. *Physiologia Plantarum* 105:434 – 441.

Lambers HANS, Poorter H. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *In Advances in ecological research*, Academic Press, v.23, p.187-261.

Lima Junior MJV. 2010. ed. Manual de Procedimentos para Análise de Sementes Florestais. UFAM - Manaus-Amazonas, Brasil.146p.

Martínez-Gutiérrez GA, Morales I, Aquino-Bolaños T, Escamirosa-Tinoco C, Hernández-Tolentino M. 2016. Substrate volume and nursery times for earliness and yield of greenhouse tomato. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 28:897-902.

Mašková T, Herben T. 2018. Root:shoot ratio in developing seedlings: How seedlings change their allocation in response to seed mass and ambient nutrient supply. *Ecology and Evolution* 1–8.

McConnaughay KDM, Bazzaz FA. 1992. The occupation and fragmentation of space: consequences of neighbouring roots. *Functional Ecology* 6:704-710.

NeSmith DS, Duval JR. 1998. The effect of container size. *HorTechnology* 8:495-498.

Oliveira RS, Bezerra L, Davidson EA, Pinto F, Klink CA, Nepstad DC, Moreira A. 2005. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. *Functional Ecology* 19:574-581.

Origin 8.0 (OriginLab, Northampton, MA)

Palma AC, Laurance SG. 2015. A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go? *Applied Vegetation Science* 18:561-568.



- Pereira SR, Laura VA, de Souza ALT. 2013. Establishment of Fabaceae Tree Species in a Tropical Pasture: Influence of Seed Size and Weeding Methods. *Restoration Ecology* 21:67–74.
- Perez-Harguindeguy N, Diaz S, Garnier E, Lavorel S, Poorter H, Jaureguiberry P, Urcelay C. 2016. Corrigendum to: new handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 64:715-716.
- Poorter H, Niklas KJ, Reich PB, Oleksyn J, Poot P, Mommer L. 2012. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist* 193:30-50.
- Pywell RF, Bullock JM, Roy DB, Warman LIZ, Walker KJ, Rothery P. 2003. Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. *Journal of applied Ecology* 40:65-77.
- Riikonen J, Luoranen J. 2018. Seedling Production and the Field Performance of Seedlings. *Forests* 9:740.
- Rymen B, Kawamura A, Schäfer S, Breuer C, Iwase A, Shibata M, Ikeda M, Mitsuda N, Koncz C, Ohme-Takagi M, Matsui M, Sugimoto K. 2017. ABA Suppresses Root Hair Growth via the OBP4 Transcriptional Regulator. *Plant Physiology* 173:1750–1762.
- Semchenko M, Zobel K, Heinemeyer A, Hutchings MJ. 2008. Foraging for space and avoidance of physical obstructions by plant roots: a comparative study of grasses from contrasting habitats. *New Phytologist* 179:1162-1170.
- Silva JF, Fariñas MR, Felfili JM, Klink CA. 2006. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography* 33:536–548.
- Systat. 2012. Systat for Windows, Version 130 (BA Tangen, MG Bu, eds.). Systat Software Inc, Richmond, California.



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Ternes M, Andrade AP, Jorin J, Benlloch M. 1994. Root-shoot signalling in sunflower plants with confined root systems. *Plant and Soil* 166:31-36.

Tian N, Fang S, Yang W, Shang X, Fu X. 2017. Influence of Container Type and Growth Medium on Seedling Growth and Root Morphology of *Cyclocarya paliurus* during Nursery Culture. *Forests* 8:387.

Vallone HS, Guimarães RJ, Mendes ANG, Souza CAS, da Cunha RL, Dias FP. 2010. Containers and substrates in seedlings production of coffee tree. *Ciência agrotecnologia* 34:55-60.

Yong JWH, Letham DS, Wong SC, Farquhar GD. 2010. Effects of root restriction on growth and associated cytokinin levels in cotton (*Gossypium hirsutum*). *Functional Plant Biology* 37:974–984.