



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE UnB PLANALTINA - FUP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE
E DESENVOLVIMENTO RURAL

ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE PLANTIO PARA
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM ÁREAS DE CERRADO SENTIDO RESTRITO

DÉBORAH DA SILVA SANTOS

PLANALTINA – DF

Novembro de 2025

DÉBORAH DA SILVA SANTOS

Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE PLANTIO PARA
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM ÁREAS DE CERRADO SENTIDO RESTRITO**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural.

Orientador: Prof. Dr. Tamiel Khan Baiocchi Jacobson

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Iris Roitman

Planaltina – DF

Novembro de 2025

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

SS237da Santos, Déborah da Silva
Análise comparativa de técnicas de plantio para
restauração ecológica em áreas de Cerrado sentido restrito.
/ Déborah da Silva Santos; orientador Tamiel Khan Baiocchi
Jacobson; co-orientador Iris Roitman. Brasília, 2025.
43 p.

Dissertação(Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento
Rural) Universidade de Brasília, 2025.

1. Recuperação de áreas degradadas. 2. germinação. 3.
espécies nativas. 4. semeadura direta. 5. viabilidade
técnica. I. Jacobson, Tamiel Khan Baiocchi, orient. II.
Roitman, Iris, co-orient. III. Título.

**ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE PLANTIO PARA RESTAURAÇÃO
ECOLÓGICA EM ÁREAS DE CERRADO SENTIDO RESTRITO**

DÉBORAH DA SILVA SANTOS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Tamiel Khan Baiocchi Jacobson (FUP/UnB)

Profª. Maria Cristina de Oliveira (FUP/UnB)

Prof. Fabrício Alvim Carvalho (UFJF) - membro externo

Prof. Reinaldo Miranda Filho (FUP/UnB) - suplente

*Ao Rodrigo e ao Álvaro José, meus grandes
e eternos amores*

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento inicial à Universidade de Brasília - UnB, Faculdade UnB Planaltina - FUP, por ser a base que concretizou o grande sonho de cursar o mestrado. Ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural (PPG-MADER), sou profundamente grata pela oportunidade de me redescobrir como pesquisadora e pelos desafios enriquecedores de retornar à sala de aula.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Tamiel, por todo o incentivo, apoio e, sobretudo, por acreditar em mim desde o primeiro momento. E nos momentos de desafios ele sempre esteve ao meu lado me dando o suporte necessário para não desistir da pesquisa.

Agradeço a todo o apoio que recebi da minha Co-orientadora, Iris, que nos momentos difíceis trouxe sugestões imprescindíveis para a melhoria do trabalho.

Esta jornada foi impulsionada pelo projeto de pesquisa da Embrapa Cerrados (Co-construção de adequações sociotécnicas com base nas experiências do Programa Produtor de Água no Distrito Federal), do qual tive a alegria de fazer parte, como bolsista entre abril de 2022 a março de 2024. Dentro dele, destaco minha gratidão à pesquisadora Suênia Almeida, cuja força e entusiasmo foram fundamentais para que eu acreditasse no meu próprio potencial e visse o mestrado como uma possibilidade real. Sem seu apoio irrestrito, eu não teria sequer conseguido realizar a inscrição no processo seletivo.

Agradeço imensamente à minha rede de apoio pessoal, que me sustentou de forma incondicional e tornou possível a dedicação aos estudos: ao meu companheiro de vida, Rodrigo Antunes, e à minha sogra, Alventina Antunes. Sem o suporte prático e emocional de vocês, esta conquista não seria realidade.

À minha mãe, Rosimeire, pelo amor e apoio inabaláveis; ao meu pai, Otaniel e aos meus irmãos (Letícia e Paulo Roberto), pelo amor e pela vida compartilhada que sempre me deram forças.

Não poderia deixar de mencionar o amigo de longa data e um dos maiores impulsionadores da minha vida profissional na restauração ecológica, Roberto Ogata, parceiro nos plantios de milhares de mudas nativas plantadas no Bioma Cerrado.

Por fim, registro minha gratidão pelo apoio financeiro, fundamental para a execução e conclusão desta pesquisa: aos editais PROAP, pela aquisição de materiais para os experimentos de campo, e à CAPES, pela concessão da bolsa que viabilizou a finalização das atividades do mestrado.

RESUMO

Um dos principais obstáculos para a expansão das ações de restauração ecológica no Cerrado é a escassez de técnicas eficazes e economicamente viáveis. Este estudo avaliou técnicas de plantio de espécies lenhosas em áreas de Cerrado sensu stricto por meio de um experimento de campo. A semeadura foi realizada em março de 2024, utilizando um delineamento completamente aleatório com oito repetições e dois fatores: cinco espécies (*Astronium fraxinifolium*, *Cecropia pachystachya*, *Dipteryx alata*, *Qualea grandiflora* e *Tabebuia aurea*) e três tratamentos — transplante de mudas germinadas em bandejas plásticas (TBJ), transferência de mudas germinadas em copos de papel (TCP) e semeadura direta (TSD). A emergência foi avaliada após 30 dias e a sobrevivência após 12 meses. Os dados foram submetidos à análise de variância, após verificação das premissas de normalidade e homogeneidade das variâncias; quando não atendidas, foram aplicadas análises não paramétricas. As respostas foram específicas para cada espécie, reforçando a necessidade de abordagens individualizadas. O TCP emergiu como uma técnica cuja vantagem logística e baixo custo a tornam extremamente atraente para uso em larga escala, mas seu volume reduzido de substrato (8,18 cm³) resultou em menor sobrevivência média (16,7%). Isso não invalida o TCP, mas destaca a necessidade de otimizações, como o aumento do volume do substrato (40-100 cm³) e o teste de materiais alternativos. *A. fraxinifolium* destacou-se como uma espécie generalista com alta taxa de estabelecimento (85,2%) e estabilidade em todos os tratamentos. *D. alata* comportou-se como uma espécie especialista, alcançando maior estabelecimento no TSD (91,3%). *Q. grandiflora* beneficiou do TBJ com uma taxa de estabelecimento de 73,7%. A restauração no Cerrado deve adotar um portfólio flexível de técnicas, incluindo TCP otimizado e materiais alternativos, para maximizar a eficiência.

Palavras-chave: Recuperação de áreas degradadas; germinação; espécies nativas; semeadura direta, viabilidade técnica.

ABSTRACT

One of the main bottlenecks for expanding ecological restoration actions in the Cerrado is the scarcity of effective and economically viable techniques. This study assessed planting techniques for woody species in áreas de Cerrado sensu stricto through a field experiment. Sowing was conducted in March 2024 using a completely randomized design with eight replicates and two factors: five species (*Astronium fraxinifolium*, *Cecropia pachystachya*, *Dipteryx alata*, *Qualea grandiflora*, and *Tabebuia aurea*) and three treatments - transplanting seedlings germinated in plastic trays (TBJ), transferring paper cup-germinated seedlings (TCP), and direct sowing (TSD). Emergence was evaluated after 30 days, and survival after 12 months. Data were subjected to analysis of variance, following verification of assumptions of normality and homogeneity of variances; when unmet, non-parametric analyses were applied. Responses were species-specific, reinforcing the need for individualized approaches. TCP emerged as a technique while its logistical advantage and low cost make it extremely attractive for large-scale use, its reduced substrate volume (8.18 cm³), resulting in lower average survival (16.7%). This does not invalidate TCP but highlights the need for optimizations such as increasing substrate volume (40–100 cm³), adjusting container size, and testing alternative materials. *A. fraxinifolium* stood out as a generalist species with a high establishment rate (85.2%) and stability across treatments. *D. alata* behaved as a specialist, achieving higher establishment in TSD (91.3%). *Q. grandiflora* benefited from TBJ with a 73.7% establishment rate. Restoration in the Cerrado should adopt a flexible portfolio of techniques, including optimized TCP and alternative materials, to maximize efficiency.

Keywords: Recovery of degraded areas; germination; native species; direct seeding.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Germinação acumulada (em germinador) nos dias 6, 9, 13, 16 e 20 pós-instalação de sementes de cinco espécies arbóreas nativas da fisionomia Cerrado sentido restrito.23
- Figura 2** - Sobrevivência média em nível de comunidade (considerando as três espécies arbóreas nativas da fisionomia Cerrado sensu stricto conjuntamente) aos 12 meses após o transplântio para a área experimental em Planaltina, Distrito Federal, em função dos tratamentos: TBJ (bandeja), TCP (copos de papel) e TSD (semeadura direta). Tratamentos com letras iguais não diferem significativamente entre si (Teste de Dunn, $p > 0,05$). Barras representam o erro padrão da média.....26
- Figura 3** - Média de sobrevivência de *Astronum fraxinifolium*, *Dipteryx alata* e *Qualea grandiflora* sob diferentes tratamentos (TBJ: bandeja; TCP: copos de papel; TSD: semeadura direta) aos 12 meses na área experimental em Planaltina, Distrito Federal. Barras de erro representam o erro padrão. Letras iguais dentro de cada espécie não diferem significativamente ($p > 0,05$).27
- Figura 4** - Média de crescimento em altura (cm) e diâmetro do coleto (mm) de *Astronum fraxinifolium*, *Dipteryx alata* e *Qualea grandiflora* sob diferentes tratamentos (TBJ: bandeja; TCP: copos de papel; TSD: semeadura direta) aos 12 meses na área experimental em Planaltina, Distrito Federal. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos (Dunn, $p < 0,05$). Barras representam média $\pm$ erro padrão.29
- Figura 5** - Relação alométrica entre altura e diâmetro do coleto de *Astronum fraxinifolium*, *Dipteryx alata* e *Qualea grandiflora* em diferentes tratamentos (TBJ: bandeja; TCP: copos de papel; TSD: semeadura direta) aos 12 meses após o transplântio para a área experimental em Planaltina, Distrito Federal.30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massa (g) de 100 e 120 sementes das espécies nativas do Cerrado utilizadas no experimento.	23
Tabela 2 - Espécies, total de sementes, germinação absoluta e porcentagem de germinação (em germinador) (%) (méd ± dp) de cinco espécies arbóreas nativas da fisionomia Cerrado sentido restrito.	24
Tabela 3 - Número de plântulas emergidas, emergência total e porcentagem de emergência por espécie e tratamento (TBJ bandeja, TCP copos de papel, TSD semeadura direta) em cinco espécies arbóreas nativas da fisionomia Cerrado sentido restrito aos 30 dias após a semeadura área experimental em Planaltina, Distrito Federal.	24
Tabela 4 - Porcentagem de emergência, sobrevivência e estabelecimento por espécie e tratamento (TBJ bandeja, TCP copos de papel, TSD semeadura direta) de três espécies arbóreas nativas da fisionomia Cerrado sentido restrito aos 30 dias após a semeadura área experimental em Planaltina, Distrito Federal.	25
Tabela 5 - Números de indivíduos sobreviventes por espécie e tratamento (TBJ bandeja, TCP copos de papel, TSD semeadura direta) 12 meses após semeadura na área experimental em Planaltina, Distrito Federal. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).	27
Tabela 6 - Sobrevivência e altura em nível de espécie (sem considerar os tratamentos) de <i>Astronum fraxinifolium</i> , <i>Dipteryx alata</i> e <i>Qualea grandiflora</i> estabelecidas na área experimental em Planaltina, Distrito Federal. Valores de p em negrito indicam significância estatística ($p < 0,05$).	28
Tabela 7 - Sobrevivência, crescimento e taxa de estabelecimento de <i>Astronum fraxinifolium</i> , <i>Dipteryx alata</i> e <i>Qualea grandiflora</i> em diferentes tratamentos (TBJ: bandeja; TCP: copos de papel; TSD: semeadura direta) aos 12 meses após o transplante na área experimental em Planaltina, Distrito Federal. Letras diferentes na mesma coluna e para a mesma espécie indicam diferença significativa ($p < 0,05$).	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipo de fruto e procedimentos utilizados para o beneficiamento das sementes de cinco espécies arbóreas nativas do Cerrado.	16
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	MATERIAL E MÉTODO	16
2.1	ÁREA DE ESTUDO	16
2.2	DEFINIÇÃO DAS ESPÉCIES	16
2.2.1	Coleta das sementes.....	17
2.2.2	Beneficiamento das sementes	17
2.2.3	Pesagem das sementes	18
2.3	TÉCNICAS AVALIADAS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	18
2.4	AVALIAÇÃO DA GERMINAÇÃO DAS SEMENTES EM LABORATÓRIO	18
2.5	INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM CAMPO E NO VIVEIRO.....	19
2.5.1	Preparo da área e coleta de solo.....	19
2.5.2	Instalação das parcelas do TSD no campo.....	19
2.5.3	Instalação dos recipientes individuais (TBJ e TCP) em viveiro.....	20
2.5.4	Transplântio das plântulas referentes a TBJ e TCP	20
2.6	COLETA DOS DADOS	20
2.7	MANUTENÇÃO DO EXPERIMENTO.....	22
2.8	ANÁLISE DOS DADOS	22
3	RESULTADOS.....	22
3.1	PESAGEM DAS SEMENTES.....	22
3.2	GERMINAÇÃO EM LABORATÓRIO	23
3.3	CARACTERÍSTICAS DO SOLO	24
3.4	EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS NO VIVEIRO	24
3.5	TAXA DE ESTABELECIMENTO DAS ESPÉCIES NO CAMPO	25
3.6	SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO	26
3.6.1	Sobrevivência em nível de comunidade.....	26
3.6.2	Interação espécie-tratamento e sobrevivência em nível de espécie.....	27
3.6.3	Dinâmica de crescimento	29
3.6.4	Relação alométrica	30
4	DISCUSSÃO	31
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A restauração ecológica é definida como o processo de auxiliar a recuperação de ecossistemas que foram degradados, danificados ou destruídos, com o principal objetivo de restabelecer a comunidade vegetal, a estrutura e o funcionamento do ecossistema, aproximando-se das condições originais ou recuperando serviços ecossistêmicos essenciais (SER, 2004). Essa prática fundamenta-se na Ecologia da Restauração, uma ciência dedicada à formulação de conceitos, modelos e metodologias que subsidiam as ações de restauradores (Aronson, Durigan e Brancalion, 2011), expandindo os limites da ecologia teórica e servindo como ponte entre ciências naturais e sociais.

Em escala global, a restauração ecológica é considerada uma prioridade urgente (Harris, Hobbs e Higgs, 2006; Aronson & Alexander, 2013; Strassburg *et al.*, 2020; Weidlich, Flório e Liebsch, 2021), sendo incorporada em diversos acordos internacionais assumidos pelo governo brasileiro, que visam ampliar as ações de restauração em todo o território nacional (Adams *et al.*, 2021). Nesse contexto, torna-se evidente a estreita conexão entre restauração ecológica e desenvolvimento rural sustentável no Brasil (Calmon *et al.*, 2011; Alves-Pinto *et al.*, 2017; Mesquita *et al.*, 2010) e globalmente (Newton *et al.*, 2021; Meli *et al.*, 2022; Yurui *et al.*, 2021).

Reconhecida como estratégia essencial para mitigar e adaptar-se às mudanças climáticas (Bustamante *et al.*, 2019), a restauração também melhora a estabilidade, resiliência e capacidade dos ecossistemas de prover serviços ambientais cruciais para o setor agropecuário e para a qualidade de vida em áreas rurais e urbanas. Além dos benefícios ambientais, a restauração possui significativo potencial econômico e social, integrando a base da Bioeconomia através da geração de empregos, renda e comercialização de produtos de ecossistemas restaurados (WRI Brasil, 2019).

Enquanto prática, a restauração ecológica é ferramenta indispensável para a regularização ambiental de propriedades rurais brasileiras. A Lei de Proteção da Vegetação Nativa estabelece a obrigatoriedade de restaurar ecossistemas degradados em Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal e remanescentes de vegetação nativa (Brasil, 2012). Propriedades irregulares podem ficar impedidas de acessar políticas públicas de desenvolvimento rural e crédito agrícola (Metzger *et al.*, 2019), destacando a importância estratégica da restauração ecológica.

As estratégias de restauração classificam-se em ativa e passiva, variando conforme o grau de intervenção humana (Holl; Aide, 2011; Chazdon; Uriarte, 2016). Estratégias passivas

dependem da regeneração natural e tendem a ter menor custo que aquelas baseadas no plantio de mudas (Chazdon; Guariguata, 2016), podendo ser aplicadas em maiores extensões. No entanto, mesmo estratégias passivas envolvem custos indiretos como cercamento de áreas e monitoramento (Zahawi *et al.*, 2015). Como destacam Chazdon *et al.* (2021), a principal diferença entre restauração ativa e passiva está nos objetivos, momento e intensidade das intervenções.

O Cerrado, reconhecido como a savana mais biodiversa do mundo (Myers *et al.*, 2000; Borghetti *et al.*, 2023) e segundo maior bioma brasileiro (Brasil, 2020a), apresenta um mosaico complexo de fitofisionomias. Essas formações se organizam em espectros florestais (como Matas de Galeria e Cerradão), savânicos (do Cerrado Denso ao Ralo) e campestres (do Campo Sujo ao Limpo), distribuídas em diversos tipos de solo, que variam desde os Latossolos bem drenados até solos úmidos das Veredas (Ribeiro; Walter, 2008; Bueno *et al.*, 2018). Inicialmente, as técnicas de restauração no Brasil priorizavam o plantio de espécies pioneiras com pouca representação de espécies tardias (Kageyama; Gandara, 2004; Souza; Batista, 2004). Contudo, para as formações savânicas e campestres do bioma Cerrado, onde a estrutura vegetal varia desde savanas com predominância de árvores até campos predominantemente herbáceos, a utilização exclusiva de mudas visando o estrato arbóreo é insuficiente para restaurar sua diversidade fitofisionômica e funcional (Pilon *et al.*, 2023). Reconhecido como *hotspot* de biodiversidade devido ao seu alto endemismo e acelerada degradação (Mittermeier *et al.*, 2011), o Bioma Cerrado, representa prioridade global para conservação. Contudo, consolida-se como a principal fronteira de expansão do agronegócio no Brasil (Souza; Sousa, 2022), tendo perdido 26,3 milhões de hectares de sua cobertura nativa entre 1985 e 2021, com a agricultura mecanizada expandindo-se 663% no período (Parente *et al.*, 2023). Essa conversão acelerada resultou em intensa fragmentação ecossistêmica, com consequente perda de biodiversidade e serviços ambientais (Veldman *et al.*, 2015), além de deflagrar um ciclo de degradação marcado pela contaminação de solos e recursos hídricos por agrotóxicos e pela degradação física do solo (Souza; Sousa, 2022). Coletivamente, tais transformações comprometem a integridade ecológica do bioma – considerado berço das águas – e contribuem significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (Brasil, 2020b).

A relação direta entre áreas nativas e manutenção de serviços ecossistêmicos é particularmente relevante para o Cerrado, assim como para os demais biomas. A substituição da vegetação nativa altera propriedades físicas e hidráulicas do solo (Dionísio; Costa, 2019), reduz evapotranspiração, eleva temperatura superficial (Spera *et al.*, 2016) e prolonga a estação

seca, comprometendo a resiliência da agricultura de sequeiro (Costa; Pires, 2010; Rodrigues *et al.*, 2022).

Neste sentido, existem lacunas significativas no conhecimento técnico sobre propagação de espécies nativas do Cerrado. Entre as espécies arbóreas, são escassas as técnicas eficazes para produção de mudas em viveiro (Brando; Durigan, 2001; Oliveira *et al.*, 2016; Pilon; Durigan, 2013), dificultando sua disponibilização em viveiros comerciais (Oliveira *et al.*, 2016). A baixa disponibilidade de material propagativo permanece como principal limitação na seleção de espécies para restauração (Palma; Laurance, 2015).

Estudos demonstram que a semeadura direta de espécies arbóreas apresenta-se como técnica promissora, oferecendo bom recobrimento do solo e menor custo de implantação (Sampaio *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2017; Meli *et al.*, 2018; Freitas *et al.*, 2019; Rodrigues *et al.*, 2019). No entanto, há maior pressão por predação e competição com gramíneas exóticas (Holl *et al.*, 2000), reduzindo taxas de sucesso comparadas ao plantio de mudas (Palma; Laurance, 2015; Durigan; Melo, 2011).

Porém, observa-se que o sucesso da semeadura direta varia significativamente entre espécies, e depende de interações complexas entre técnicas de manejo e traços funcionais das sementes e plântulas (Ferreira; Vieira, 2024). Complementarmente, Pilon *et al.* (2023) evidenciaram que diferentes técnicas de restauração favorecem distintas formas de vida, sendo que nenhuma técnica isolada é capaz de restaurar toda a diversidade de um ecossistema de referência.

Considerando a década da Restauração de Ecossistemas (2021-2030), que preconiza ações urgentes para proteger ecossistemas intactos e restaurar áreas degradadas (United Nations, 2021), e a posição estratégica do bioma Cerrado - embora com menor visibilidade que a Amazônia (Guéneau *et al.*, 2020) -, torna-se crucial desenvolver e testar técnicas apropriadas para suas distintas fitofisionomias.

Neste contexto, torna-se necessário incorporar e adaptar técnicas consolidadas em outras atividades. O "copinho de papel" (paper pot), amplamente utilizado na produção de mudas de hortaliças (Filgueiras, 1981, 2008; Amaro *et al.*, 2007) e valorizado internacionalmente por sua biodegradabilidade e adaptabilidade a processos mecanizados (Magar *et al.*, 2021), representa alternativa potencialmente viável para ampliar as estratégias de restauração.

Como destacado por Guerra *et al.* (2020), 70% das ações de restauração brasileiras utilizaram sucessão natural ativa ou assistida, enquanto no Cerrado a regeneração natural foi a técnica mais empregada (33%). Em ecossistemas não florestais, a semeadura direta destacou-

se como técnica mais utilizada, porém com necessidade de incorporar áreas de referência e diversificar técnicas avaliadas (Gerra *et al.*, 2020).

As técnicas utilizadas representam um dos principais gargalos para instalação e expansão das ações de restauração (Pilon *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2022). O sucesso depende do conhecimento das espécies nativas e da ecologia local (Lahsen *et al.*, 2016; Felfili *et al.*, 2000), exigindo abordagem integrada que considere quais técnicas ou conjuntos de técnicas são mais adequadas a cada contexto socioambiental.

Diante desse cenário, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar três técnicas de plantio: transplântio de plântulas germinadas em bandeja rígida de plástico (TBJ), transferência dos copos de papel com plântulas germinadas para o campo (TCP) e semeadura direta no campo (TSD) para cinco espécies arbóreas nativas do Cerrado. Objetiva-se avaliar as taxas de germinação e sobrevivência em campo aos 12 meses entre técnicas (nível comunitário) e entre espécies (nível populacional).

A hipótese desse estudo é de que a técnica da transferência dos copos de papel com plântulas germinadas para o campo (TCP) apresenta maior taxa de sobrevivência devido à redução do choque de transplântio, pois evita a remoção das plântulas do recipiente mitigando mecanismos-chave do choque de transplântio identificados por Close *et al.* (2005). Uma vez que o próprio copo seria transferido para as covas no campo sem ter que retirar as plântulas do recipiente como comumente é feito na remoção dos sacos plásticos e tubetes. Isso reduziria a mortalidade pela não manipulação direta do sistema radicular. Além disso espera-se que as técnicas que já levam as plântulas germinadas para o campo (TBJ e TCP) tenham maior taxa de estabelecimento no campo, devido à menor exposição de filtros ecológicos do que as sementes depositadas diretamente no campo como no TSD. Esta investigação alinha-se com a necessidade apontada na literatura recente (Pilon *et al.*, 2023; Ferreira; Vieira, 2024) de diversificar e combinar técnicas para otimizar o sucesso da restauração no Cerrado, considerando as particularidades de suas espécies e fitofisionomias.

O choque de transplântio é caracterizado como uma síndrome multifatorial de estresse pós-plantio, que resulta em mortalidade ou crescimento prejudicado das mudas (Close *et al.*, 2005). Seus mecanismos fisiológicos principais incluem: (i) a ruptura do contato íntimo entre o torrão da muda e o solo do campo (*air gaps*), que compromete a absorção de água; (ii) danos mecânicos e desestruturação do sistema radicular durante a retirada do recipiente; (iii) a dessecação das raízes finas e dos pelos absorventes; e (iv) a perda do microbioma associado (rizosfera e micorrizas) desenvolvido no viveiro. A produção de mudas de alta qualidade para a restauração depende, portanto, da capacidade de superar esse estresse inicial (Grossnickle;

MacDonald, 2017). Nesse contexto, o TCP opera sob a premissa de mitigar diretamente tais mecanismos: ao transferir o recipiente de papel biodegradável integralmente para a cova, elimina-se o dano da extração, preserva-se a arquitetura radicular intacta e mantém-se a rizosfera original, enquanto a biodegradação do papel busca facilitar a transição hídrica e evitar barreiras físicas ao crescimento das raízes. Dessa forma, o TCP se posiciona teoricamente como uma aplicação prática dos conceitos fisiológicos para minimizar falhas no estabelecimento.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada em uma propriedade rural do Núcleo Rural Santos Dumont, em Planaltina no Distrito Federal (15° 40'21,11" S; 47° 38'27.47" W; altitude 942 m), inserida na Bacia do Ribeirão Pípiripau (Cardia, 2024). A área experimental compreende um fragmento de Cerrado sentido restrito, fisionomia savânica característica de solos bem drenados, com árvores e arbustos tortuosos distribuídos em gradientes de densidade (cobertura arbórea de 5% a 70%) (Ribeiro *et al.*, 2023). O fragmento, correspondente à Reserva Legal da propriedade, foi convertido em pastagem na década de 1970, resultando em uma paisagem atual heterogênea, com indivíduos arbóreos remanescentes dispersos de forma espaçada e aleatória.

Para a instalação do experimento, foi delimitada uma parcela homogênea de 120 m², topograficamente uniforme e com cobertura de aproximadamente 90% de gramíneas exóticas invasoras, predominantemente braquiária (*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) R.D.Webster). O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho álico (Santos *et al.*, 2018), o que está em conformidade com a descrição pedológica típica dessa fitofisionomia, caracterizada por Latossolos de baixa fertilidade, ácidos e com alta saturação por alumínio (Ribeiro *et al.*, 2023).

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com verão chuvoso e inverno seco e frio. A temperatura média anual é de 22,8 °C, com média máxima de 31,9 °C em setembro e média mínima de 18 °C em julho e média de precipitação de 1.500 mm (INMET 2025). No local de estudo, de acordo com dados de uma estação meteorológica, a média de precipitação durante o período avaliado foi de 1.564 mm entre março de 2024 a março de 2025.

2.2 DEFINIÇÃO DAS ESPÉCIES

A seleção das espécies considerou a necessidade de representar grupos ecológicos distintos e a adequação ao contexto local da área de estudo, um fragmento de Cerrado sentido restrito. Para isso, adotou-se a classificação de Ribeiro *et al.* (2023), que distingue espécies arbóreas com preferência por ambientes abertos (formações savânicas e campestres) daquelas com preferência por ambientes florestais.

Com base em revisão bibliográfica, foram selecionadas cinco espécies nativas de reconhecida importância florística e ampla distribuição no bioma (Ratter *et al.*, 2003; Franço,so,

2014). A escolha também considerou atributos funcionais complementares e a viabilidade germinativa, visando compor um conjunto representativo para experimentos de restauração ecológica.

O grupo com preferência por formações florestais foi representado por *Astronium fraxinifolium* Schott (Anacardiaceae), *Cecropia pachystachya* Trécul (Urticaceae) e *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae). Para representar o grupo típico de formações abertas, característico da fisionomia local, foram escolhidas *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae) e *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore (Bignoniaceae).

2.2.1 Coleta das sementes

A coleta de sementes foi realizada entre agosto e setembro de 2023, nos municípios de Alvorada do Norte e Mambá, estado de Goiás. As sementes foram obtidas em áreas nativas do Bioma Cerrado assegurando-se a representatividade genética por meio da coleta de, no mínimo, dez (10) matrizes por espécie. As sementes foram acondicionadas em sacos de papel semipermeável e mantidas à temperatura ambiente até o momento da semeadura.

2.2.2 Beneficiamento das sementes

O beneficiamento foi realizado manualmente, com procedimentos específicos para cada espécie, conforme detalhado no quadro 1 e baseado nos princípios estabelecidos para tecnologia de sementes florestais (Brasil, 2009; Salomão, 2003) (Quadro 1).

Quadro 1 - Tipo de fruto e procedimentos utilizados para o beneficiamento das sementes de cinco espécies arbóreas nativas do bioma Cerrado.

Espécie	Tipo de fruto	Procedimento de beneficiamento
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Drupa seca	Secagem dos frutos à sombra; sementes separadas das estruturas florais por peneiramento e ventilação leve.
<i>Cecropia pachystachya</i>	Fruto carnoso (sícone)	Despolpa manual com peneira e água corrente; secagem das sementes à sombra sobre papel absorvente.
<i>Dipteryx alata</i>	Drupa com endocarpo lenhoso	Extração mecânica das sementes com auxílio de facão, com cuidado para evitar danos ao embrião.
<i>Qualea grandiflora</i>	Cápsula seca e deiscente	Secagem à sombra para deiscência natural; sementes aladas separadas manualmente
<i>Tabebuia aurea</i>	Cápsula seca e deiscente	Frutos coletados em pré-deiscência; secagem natural; sementes separadas manualmente

2.2.3 Pesagem das sementes

Em outubro de 2023, as sementes das espécies estudadas foram pesadas (massa de 100 e de 120 sementes) em balança de precisão (Marte, Modelo AUX320), no Laboratório de Química Analítica de Plantas (LQAP) da Embrapa Cerrados, em Planaltina, Distrito Federal.

2.3 TÉCNICAS AVALIADAS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para o delineamento experimental em campo, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com dois fatores: cinco espécies arbóreas nativas do Cerrado e três tratamentos (transplântio de plântulas germinadas em bandeja rígida de plástico (TBJ), transferência dos copos de papel com plântulas germinadas para o campo (TCP) e semeadura direta no campo (TSD) com oito repetições. A randomização dos fatores foi feita pelo sorteio da espécie arbórea e do tratamento que foi utilizado em cada parcela.

Foram instaladas 120 unidades experimentais (parcelas) de 1m x 1 m, dispostas em área total de 15 m x 8 m (120 m²). Em cada parcela, foram semeados cinco propágulos para aumentar a probabilidade de emergência. O esquema experimental totalizou (5 espécies × 3 tratamentos × 8 parcelas = 120 parcelas) e (120 parcelas × 5 sementes/parcela = 600 sementes semeadas no total).

A semeadura foi realizada em março de 2024 em duas etapas concomitantes. Para o tratamento TSD, as sementes foram depositadas diretamente no solo das parcelas. Paralelamente, para os tratamentos TBJ e TCP, as sementes foram semeadas em bandejas plásticas e copos de papel e mantidas em viveiro.

A emergência das plântulas foi monitorada 30 dias após a semeadura, em cada tratamento. Na sequência, as plântulas dos tratamentos TBJ e TCP foram transplantadas para suas respectivas parcelas no campo (maio de 2024). A sobrevivência das espécies foi avaliada 12 meses após o transplântio, em maio de 2025.

2.4 AVALIAÇÃO DA GERMINAÇÃO DAS SEMENTES EM LABORATÓRIO

A avaliação da germinação foi realizada em germinador modelo Mangelsdorf, marca J Prolab, em novembro de 2023, no Laboratório de Sementes da Embrapa Cerrados em Planaltina, Distrito Federal. Este germinador é um tipo de câmara de germinação projetada para controlar precisamente a temperatura, umidade e iluminação. Para o experimento, foram utilizados temperatura de 30°C e fotoperíodo claro constante. Previamente, as sementes foram

lavadas em solução de hipoclorito de sódio (2,5%) por 60 segundos e subsequentemente, lavadas com água destilada.

O experimento foi realizado utilizando papel germitest umedecido como substrato, sendo quatro repetições por espécie. Por serem maiores, as sementes de *D. alata* foram acondicionadas em rolos de papel, enquanto as demais espécies (*A. fraxinifolium*, *C. pachystachya*, *Q. grandiflora* e *T. aurea*) foram distribuídas em caixas Gerbox. O número de sementes por repetição foi definido com base no espaço disponível (seja no Gerbox ou no rolo de papel) para garantir um espaçamento equitativo entre elas, sendo estabelecido em 100 para *C. pachystachya*, 50 para *A. fraxinifolium* e 25 para *Q. grandiflora*, *T. aurea* e *D. alata*.

As sementes foram mantidas no germinador com temperatura de 30 °C e fotoperíodo claro constante controlados com manutenção de umidade a cada 48 horas durante o período total da avaliação.

2.5 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM CAMPO E NO VIVEIRO

2.5.1 Preparo da área e coleta de solo

Inicialmente foi efetuado corte raso da vegetação herbácea (gramíneas invasoras) utilizando roçadeira costal, com subsequente remoção de biomassa vegetal e extração manual das gramíneas invasoras remanescentes. Com intuito de diminuir a densidade e homogeneizar o horizonte superficial do solo, foi realizado preparo de solo, via revolvimento mecânico, com o auxílio de motocultivador (modelo BTTG-6.5, Branco Tratorito®). Adicionalmente, com o objetivo de mitigar predação de sementes, foram instaladas 500g (10 saches de 50g) de iscas formicidas (Mirex-S®) nas bordas da área experimental, antes da implantação do experimento (fevereiro de 2024) e imediatamente após a semeadura (março de 2024).

Foram coletadas quatro amostras compostas de solo (duas subamostras), aleatoriamente, na camada de 0–20 e de 0-40 cm de profundidade. As amostras foram encaminhadas para análise (pH, matéria orgânica, macronutrientes e micronutrientes), conforme procedimentos descritos por Silva *et al.* (2009), seguindo o protocolo padrão Embrapa (Teixeira *et al.*, 2017).

2.5.2 Instalação das parcelas do TSD no campo

A semeadura do tratamento TSD foi realizada em 18 de março de 2024 (fim da época chuvosa), adotando-se procedimentos específicos conforme características das sementes. Para

A. fraxinifolium e *D. alata*, as sementes foram depositadas em cavidades com profundidade compatível com as suas dimensões. Para *Q. grandiflora* e *T. aurea*, espécies que apresentam sementes aladas, estas foram posicionadas sobre o solo e cobertas com fina camada de solo. Para *C. pachystachya*, cujas sementes são muito pequenas, o solo foi levemente compactado antes da semeadura. Este procedimento visou aumentar a densidade superficial do solo, limitando a profundidade da semente no solo, visando facilitar a emergência das plântulas. Para assegurar a disponibilidade hídrica nos primeiros dias pós plantio, foi instalado sistema de irrigação por aspersão.

2.5.3 Instalação dos recipientes individuais (TBJ e TCP) em viveiro

Para os tratamentos TBJ e TCP, a semeadura foi conduzida em viveiro (março de 2024), onde as sementes emergidas permaneceram durante os 30 dias que incluíram o período de avaliação. No tratamento TBJ, utilizou-se substrato comercial (Carolina Soil®) disposto em bandejas plásticas rígidas de polipropileno com 200 células. Para o tratamento TCP, foram confeccionados manualmente 200 copos de papel pardo com formato cilíndrico (2,5 cm de diâmetro × 5 cm de altura, volume de 8,18 cm³), utilizando-se gabarito plástico como molde. Os copos foram organizados em bandejas rígidas e preenchidos com o substrato comercial citado acima. Em ambos os tratamentos, foram semeadas 40 sementes por espécie, distribuídas uniformemente entre as células e copos, totalizando 200 sementes por tratamento.

2.5.4 Transplântio das plântulas referentes a TBJ e TCP

Em maio de 2024, realizou-se o transplântio das plântulas do TBJ e TCP diretamente para o solo, em condições de campo. Para padronizar o posicionamento das plântulas dentro da parcela, utilizou-se trena alinhada às estacas instaladas, a cada metro, nas bordas da área experimental.

O procedimento de transplântio diferiu entre os tratamentos. No TBJ, as plântulas foram removidas da bandeja (mantendo o agregado de substrato ao redor das raízes), e transplantadas para cavidades com profundidade compatível com o volume radicular. No TCP, os copos de papel contendo as plântulas foram alocados diretamente nas parcelas designadas, nivelados à superfície do solo, em cavidades com profundidade adequada às suas dimensões.

2.6 COLETA DOS DADOS

A coleta de dados abrangeu quatro estágios do desenvolvimento das plantas, desde a caracterização inicial das sementes até o crescimento em campo, sendo:

a) Caracterização das sementes

As sementes foram contabilizadas e separadas em lotes de 100 e 120 unidades, e pesadas em balança de precisão para determinação da massa.

b) Germinação em laboratório

As avaliações de germinação foram realizadas aos 6, 9, 13, 16 e 20 dias após a instalação do experimento em germinador, por meio da contabilização das sementes germinadas em cada repetição.

c) Emergência de plântulas

A emergência foi avaliada em abril de 2024, 30 dias após a semeadura, mediante contagem dos indivíduos emergidos em cada tratamento.

d) Sobrevivência

A sobrevivência foi avaliada em maio de 2025, 12 meses após o transplântio para o campo. A variável foi quantificada como o número total de indivíduos vivos por espécie e tratamento, permitindo o cálculo de médias por parcela em uma escala de 0 a 5 indivíduos. A porcentagem de sobrevivência foi calculada pela razão entre o número de indivíduos vivos na data da avaliação e o número inicial de indivíduos emergidos.

e) Parâmetros de crescimento

Para avaliação da dinâmica de crescimento, a altura e o diâmetro do coleto foram mensurados 12 meses após o transplântio das plântulas dos tratamentos TBJ e TCP para a área onde o TSD já estava estabelecido. As mensurações, realizadas em maio de 2025, abrangeram as plantas de todos os tratamentos. Os valores de altura foram coletados utilizando fita métrica (cm), do solo ao ápice da planta, e o diâmetro do coleto foi coletado utilizando paquímetro digital (mm), a cinco cm acima do solo.

Para fins de análise comparativa entre tratamentos e espécies, foram calculados os seguintes índices, tomando como referência o número inicial de sementes para cada nível de agregação:

- Emergência: $(\text{plântulas emergidas} / \text{sementes plantadas}) \times 100$;
- Sobrevivência: $(\text{plantas vivas aos 12 meses} / \text{sementes plantadas}) \times 100$ e
- Estabelecimento: $(\text{sobrevivência} / \text{emergência}) \times 100$.

Os índices foram determinados em três níveis de análise:

- (i) Geral, em nível de comunidade vegetal, considerando o total de 600 sementes;
- (ii) Por espécie, em nível de população, com base em 120 sementes por espécie;
- (iii) Por tratamento, utilizando como denominador 200 sementes por tratamento.

Na data anterior ao transplântio, formigas do gênero *Atta* danificaram as folhas primárias de todas as plântulas de *Q. grandiflora* do tratamento TCP mantidas em casa de vegetação. Este incidente influenciou a sobrevivência dessa espécie e tratamento no campo.

2.7 MANUTENÇÃO DO EXPERIMENTO

Após implantação do experimento, além da irrigação e controle de formigas na área do experimento, foi realizado o controle mecânico com arranquio d de rebrotas de plantas competidoras e ervas daninhas que emergiam de forma espontânea na área.

2.8 ANÁLISE DOS DADOS

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3×3 , compreendendo três tratamentos (TBJ: bandeja; TCP: copos de papel; TSD: semeadura direta) e três espécies arbóreas (*A. fraxinifolium*, *D. alata*, *Q. grandiflora*). As espécies *C. pachystachya* e *T. aurea* foram excluídas das análises estatísticas devido à mortalidade total observada.

Foram analisadas as seguintes variáveis resposta: sobrevivência (número médio de plantas vivas por parcela aos 12 meses) e crescimento, avaliado por meio de altura (cm) e diâmetro do coleto (mm). A taxa de estabelecimento foi calculada como a porcentagem de plântulas emergidas que sobreviveram até o final do experimento.

Para todas as análises, verificaram-se os pressupostos de normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variâncias através do teste de Levene. Quando ambos os pressupostos foram atendidos, utilizou-se ANOVA paramétrica (one-way e two-way), seguida do teste de Tukey para comparações múltiplas. Quando os pressupostos foram violados, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn com correção de Bonferroni para comparações múltiplas.

Como análises complementares, incluíram-se estatísticas descritivas por grupo experimental e investigação da relação alométrica entre altura e diâmetro por meio de correlação de Pearson. Todas as análises foram executadas no ambiente R (R Core Team, 2024), adotando-se nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

3 RESULTADOS

3.1 PESAGEM DAS SEMENTES

A massa de 100 sementes variou consideravelmente entre as espécies (Tabela 1). *C. pachystachya* apresentou a menor massa (0,07 g), seguida por *A. fraxinifolium* (3,70 g). Valores

intermediários foram observados em *Q. grandiflora* (16,61 g) e *T. aurea* (22,21 g). *D. alata* destacou-se com a maior massa, 132,25 g por 100 sementes.

Tabela 1 - Massa (g) de 100 e 120 sementes das espécies nativas do Cerrado utilizadas no experimento.

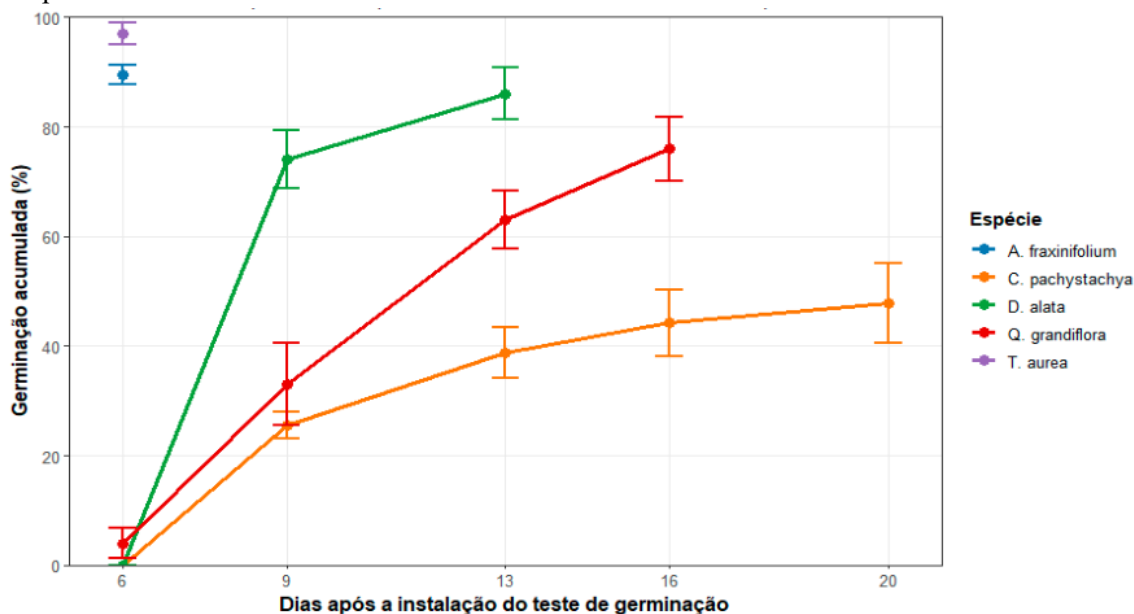
Espécie	Massa de 100 sementes (g)	Massa de 120 sementes (g)
<i>Cecropia pachystachya</i>	0,07	0,09
<i>Astronium fraxinifolium</i>	3,70	4,44
<i>Qualea grandiflora</i>	16,61	19,86
<i>Tabebuia aurea</i>	22,21	26,68
<i>Dipteryx alata</i>	132,25	157,40

3.2 GERMINAÇÃO EM LABORATÓRIO

Observou-se ampla variação na velocidade e sincronia da germinação entre as espécies (Figura 1).

Barras representam o erro-padrão da média (n=4).

Figura 1 - Germinação acumulada (em germinador) nos dias 6, 9, 13, 16 e 20 pós-instalação de sementes de cinco espécies arbóreas nativas da fisionomia Cerrado sentido restrito.



A. fraxinifolium e *T. aurea* apresentaram germinação rápida e sincronizada, concluída no 6º dia. Um padrão intermediário foi observado em *D. alata* e *Q. grandiflora*, com a maioria das sementes germinando entre o 13º e o 16º dia. Por fim, *C. pachystachya*, com germinação prosseguindo gradualmente até a última avaliação, resultando na menor porcentagem de germinação e na maior variabilidade entre as repetições (Tabela 2).

Tabela 2 - Espécies, total de sementes, germinação absoluta e porcentagem de germinação (em germinador) (%) (méd ± dp) de cinco espécies arbóreas nativas da fisionomia Cerrado sentido restrito.

Espécie	Total de Sementes (n)	Germinação Absoluta	Porcentagem de germinação (%)
<i>Astronium fraxinifolium</i>	200	179	89,5 ± 3,4
<i>Cecropia pachystachya</i>	400	191	47,8 ± 14,5
<i>Dipteryx alata</i>	100	86	86,0 ± 9,5
<i>Qualea grandiflora</i>	100	76	76,0 ± 11,8
<i>Tabebuia aurea</i>	100	97	97,0 ± 3,8

3.3 CARACTERÍSTICAS DO SOLO

O solo da área de estudo apresentou textura argilosa e muito argilosa, com pH 4,3 (CaCl₂). Os teores de matéria orgânica variaram entre 4,6 dag kg⁻¹ (0–20 cm) e 3,9 dag kg⁻¹ (20–40 cm) e com teores de P e K variando entre 3,3–2,8 mg dm⁻³ e 65–31 mg dm⁻³, respectivamente. Para os cátions trocáveis, as concentrações de Ca e Mg variaram entre 1,26–1,12 e 0,73–0,61 cmolc dm⁻³ respectivamente. As concentrações de Al e H+Al variaram entre 0,49–60 e 6,80–6,50 cmolc dm⁻³. A saturação por bases apresentou valores de 24,0% e 21,8%, e a saturação por alumínio (Al), de 18,5% e 24,9%. Entre os micronutrientes, observaram-se teores de B 0,12 para 0,07 mg dm⁻³, Cu de 0,14 para 0,23 mg dm⁻³, Fe de 54 para 48 mg dm⁻³, Mn de 2,9 para 2,7 mg dm⁻³ e Zn de 0,33 para 0,76 mg dm⁻³.

3.4 EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS NO VIVEIRO

Aos 30 dias após a semeadura, a emergência de plântulas variou de 0% a 51,7% entre as espécies e tratamentos (Tabela 3). *D. alata* (51,7%) e *A. fraxinifolium* (50,8%) apresentaram as maiores taxas de emergência considerando o total por espécie, enquanto *C. pachystachya* não atingiu emergência superior a 4,2% e *T. aurea* não registrou emergência.

Considerando o total por tratamento, o TCP promoveu a maior emergência (71 plântulas; 35,5%), seguido pelo TBJ (64; 32,0%) e TSD (45; 22,5%), totalizando 180 plântulas emergidas (30% do total semeado).

Tabela 3 - Número de plântulas emergidas, emergência total e porcentagem de emergência por espécie e tratamento (TBJ bandeja, TCP copos de papel, TSD semeadura direta) em cinco espécies arbóreas nativas da fisionomia Cerrado sentido restrito aos 30 dias após a semeadura área experimental em Planaltina, Distrito Federal.

Espécie	TBJ (bandeja)	TCP (copos de papel)	TSD (semeadura direta)	Total	Emergência
---------	---------------	----------------------	------------------------	-------	------------

<i>Astronium fraxinifolium</i>	23	22	16	61	50,8%
<i>Cecropia pachystachya</i>	3	2	0	5	4,2%
<i>Dipteryx alata</i>	19	20	23	62	51,7%
<i>Qualea grandiflora</i>	19	27	6	52	43,3%
<i>Tabebuia aurea</i>	0	0	0	0	0,0%
Total por Tratamento	64	71	45	180	
Emergência/ Tratamento	32,0%	35,5%	22,5%	30,0%	

3.5 TAXA DE ESTABELECIMENTO DAS ESPÉCIES NO CAMPO

A taxa de estabelecimento analisada a partir da comparação entre a emergência inicial (30 dias) e a taxa de sobrevivência final (12 meses), revelou diferenças entre as espécies e tratamentos (Tabela 4). *A. fraxinifolium* apresentou a maior taxa de estabelecimento geral (85,2%), demonstrando alta eficiência na conversão de plântulas emergidas em indivíduos estabelecidos, seguida por *D. alata* (53,2%) e *Q. grandiflora* (32,7%).

Tabela 4 - Porcentagem de emergência, sobrevivência e estabelecimento por espécie e tratamento (TBJ bandeja, TCP copos de papel, TSD semeadura direta) de três espécies arbóreas nativas da fisionomia Cerrado sentido restrito aos 30 dias após a semeadura área experimental em Planaltina, Distrito Federal.

Espécie	Tratamento	Emergência (%)	Sobrevivência (%)	Estabelecimento (%)
<i>Astronium fraxinifolium</i>	TBJ	57,5	55,0	95,7
	TCP	55,0	37,5	68,2
	TSD	40,0	37,5	93,8
Média		50,8	43,3	85,2
<i>Dipteryx alata</i>	TBJ	47,5	17,5	36,8
	TCP	50,0	12,5	25,0
	TSD	57,5	52,5	91,3
Média		51,7	27,5	53,2
<i>Qualea grandiflora</i>	TBJ	47,5	35,0	73,7
	TCP	67,5	0,0	0,0
	TSD	15,0	7,5	50,0
Média		43,3	14,2	32,7
Média Geral	TBJ	32,0	21,5	67,2
	TCP	35,5	10,0	28,2
	TSD	22,5	19,5	86,7

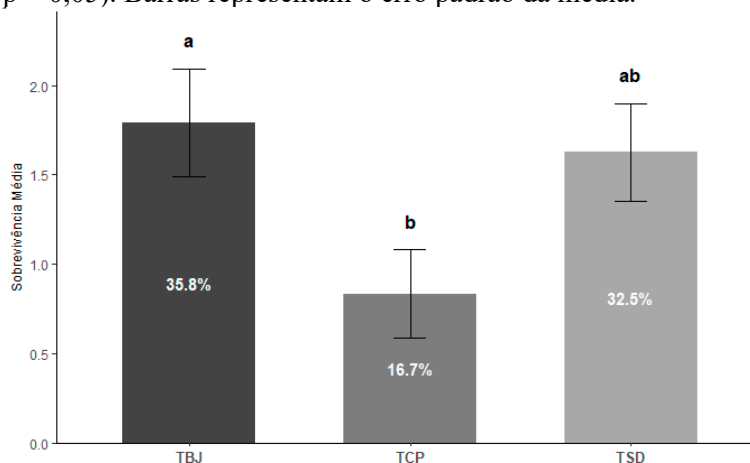
A. fraxinifolium apresentou alta taxa de estabelecimento em TBJ (95,7%) e TSD (93,8%). *D. alata* apresentou alta taxa de estabelecimento em TSD (91,3%), com porcentagens abaixo de 37% nos demais tratamentos. *Q. grandiflora* foi severamente impactada pela herbivoria no ambiente de viveiro, apresentando taxa de estabelecimento de 0% em TCP, porém, apresentou taxa de estabelecimento de 73,7% no TBJ.

3.6 SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO

3.6.1 Sobrevivência em nível de comunidade

Os tratamentos influenciaram significativamente a média de sobrevivência em nível de comunidade ($\chi^2 = 7,240$; $p = 0,0268$) (Figura 2). A média de sobrevivência foi significativamente maior no tratamento TBJ (35,8%) em comparação com TCP (16,7%) ($Z = 2,477$; $p = 0,020$). O tratamento TSD (32,5%) também promoveu sobrevivência superior ao TCP ($Z = -2,149$; $p = 0,047$). A sobrevivência entre os tratamentos TBJ e TSD não diferiu significativamente ($Z = 0,328$; $p = 1,000$) (Figura 2).

Figura 2 - Sobrevivência média em nível de comunidade (considerando as três espécies arbóreas nativas da fisionomia Cerrado sensu stricto conjuntamente) aos 12 meses após o transplântio para a área experimental em Planaltina, Distrito Federal, em função dos tratamentos: TBJ (bandeja), TCP (copos de papel) e TSD (semeadura direta). Tratamentos com letras iguais não diferem significativamente entre si (Teste de Dunn, $p > 0,05$). Barras representam o erro padrão da média.



A taxa de sobrevivência geral do experimento, considerando as cinco espécies semeadas, foi de 17,0% (Tabela 5). Entre as sobreviventes, *A. fraxinifolium* apresentou a maior taxa (43,3%), seguida por *D. alata* (27,5%) e *Q. grandiflora* (14,2%). Duas espécies (*C. pachystachya* e *T. aurea*) não sobreviveram em nenhum tratamento. Analisando a sobrevivência por tratamento para todas as espécies combinadas, TBJ (21,5%) e TSD (19,5%)

apresentaram valores próximos e aproximadamente o dobro daqueles observados no TCP (10,0%) (Tabela 5).

Tabela 5 - Números de indivíduos sobreviventes por espécie e tratamento (TBJ bandeja, TCP copos de papel, TSD semeadura direta) 12 meses após semeadura na área experimental em Planaltina, Distrito Federal. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

Espécie	TBJ	TCP	TSD	Total	Sobrevivência Espécie
<i>Astronium fraxinifolium</i>	22a	15b	15b	52	43,3%
<i>Cecropia pachystachya</i>	0	0	0	0	0%
<i>Dipteryx alata</i>	7c	5cd	21a	33	27,5%
<i>Qualea grandiflora</i>	14b	0d	3d	17	14,2%
<i>Tabebuia aurea</i>	0	0	0	0	0%
Total por tratamento	43	20	39	102	
Sobrevivência/tratamento	21,5% a	10,0% b	19,5% ab	17,0%	

3.6.2 Interação espécie-tratamento e sobrevivência em nível de espécie

A média de sobrevivência foi influenciada de forma independente pela espécie ($\chi^2 = 16,33$; $p < 0,001$) e pelo tratamento ($\chi^2 = 7,24$; $p = 0,027$). A interação significativa entre esses fatores foi investigada em análises separadas por espécie, que revelaram respostas distintas aos tratamentos (Figura 3).

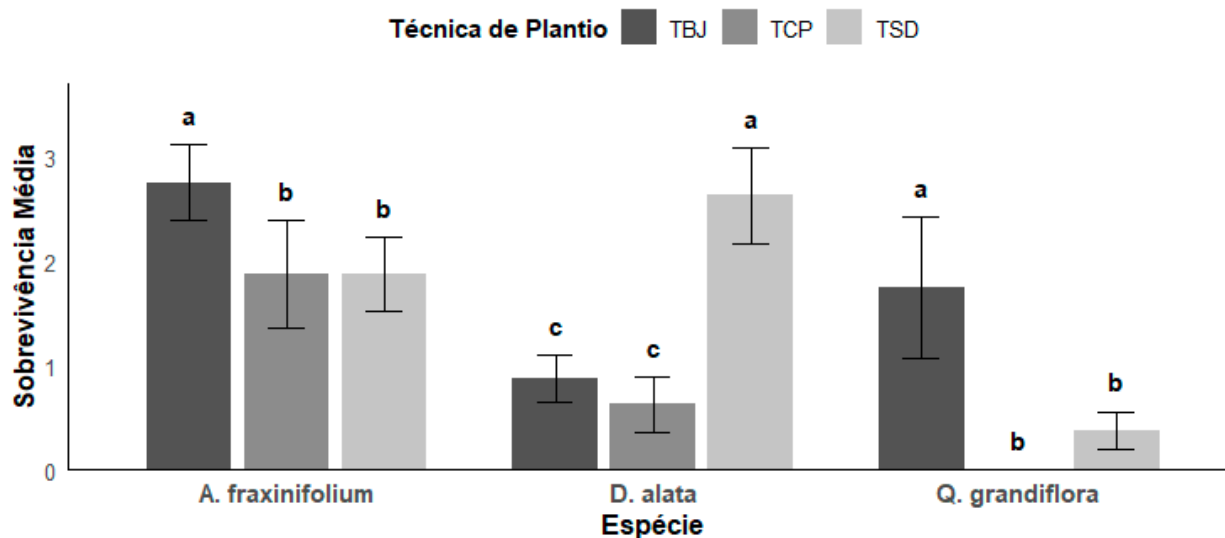
A. fraxinifolium apresentou a média de sobrevivência similar entre todos os tratamentos ($\chi^2 = 2,22$; $p = 0,329$), sem diferenças significativas nas comparações entre TBJ e TCP ($Z = 1,210$; $p = 0,339$) e nem entre TBJ e TSD ($Z = 1,359$; $p = 0,261$). Da mesma forma, o tratamento TCP não foi significativamente superior ao TSD ($Z = 0,149$; $p = 1,000$).

D. alata apresentou alta sensibilidade da média de sobrevivência aos tratamentos ($\chi^2 = 9,96$; $p = 0,007$), com sobrevivência significativamente superior no TSD em comparação ao TBJ ($Z = -2,416$; $p = 0,024$) e TCP ($Z = -2,965$; $p = 0,005$).

Q. grandiflora exibiu resposta intermediária na média de sobrevivência ($\chi^2 = 7,50$; $p = 0,024$), com maior valor no TBJ em relação ao TCP ($Z = 2,738$; $p = 0,009$). O tratamento TSD não diferiu significativamente do TBJ ($Z = 1,401$; $p = 0,242$) nem do TCP ($Z = -1,337$; $p = 0,272$) (Figura 3).

Figura 3 - Média de sobrevivência de *Astronium fraxinifolium*, *Dipteryx alata* e *Qualea grandiflora* sob diferentes tratamentos (TBJ: bandeja; TCP: copos de papel; TSD: semeadura direta) aos 12 meses na área experimental em Planaltina, Distrito Federal. Barras de erro representam o erro padrão. Letras iguais dentro de cada espécie não diferem significativamente ($p > 0,05$).

Barras de erro representam o erro padrão da média. Letras iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$).



Para investigação em nível de espécie, conduziram-se análises detalhadas individuais (Tabela 6). Os dados que apresentaram distribuição normal ($p \geq 0,05$) e homogeneidade de variâncias ($p \geq 0,05$) foram analisados por ANOVA de uma via, seguida do teste de Tukey, e Kruskal-Wallis seguido de teste de Dunn e correção de Bonferroni quando os dados não apresentaram distribuição normal ($p < 0,05$) (Tabela 6).

Tabela 6 - Sobrevivência e altura em nível de espécie (sem considerar os tratamentos) de *Astronium fraxinifolium*, *Dipteryx alata* e *Qualea grandiflora* estabelecidas na área experimental em Planaltina, Distrito Federal. Valores de p em negrito indicam significância estatística ($p < 0,05$).

Espécie	Variável	Normalidade (Shapiro-Wilk)	Homogeneidade (Levene)	ANOVA (p)	Kruskal-Wallis (p)	Resultado das Comparações
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Sobrevivência	W = 0,938; p = 0,144	F = 0,929; p = 0,411	0,254	-	Não significativo
	Altura	W = 0,968; p = 0,144	F = 0,823; p = 0,445	0,024	-	TSD > TBJ
<i>Dipteryx alata</i>	Sobrevivência	W = 0,898; p = 0,019	F = 1,091; p = 0,354	0,001	0,007	TSD > TBJ, TCP
	Altura	W = 0,862; p = 0,001	F = 3,611; p = 0,039	0,001	<0,001	TSD > TBJ, TCP
<i>Qualea grandiflora</i>	Sobrevivência	W = 0,873; p = 0,006	F = 7,378; p = 0,004	0,015	0,024	TCP < TBJ
	Altura	W = 0,933; p = 0,247	F = 0,397; p = 0,538	0,046	-	TSD > TBJ

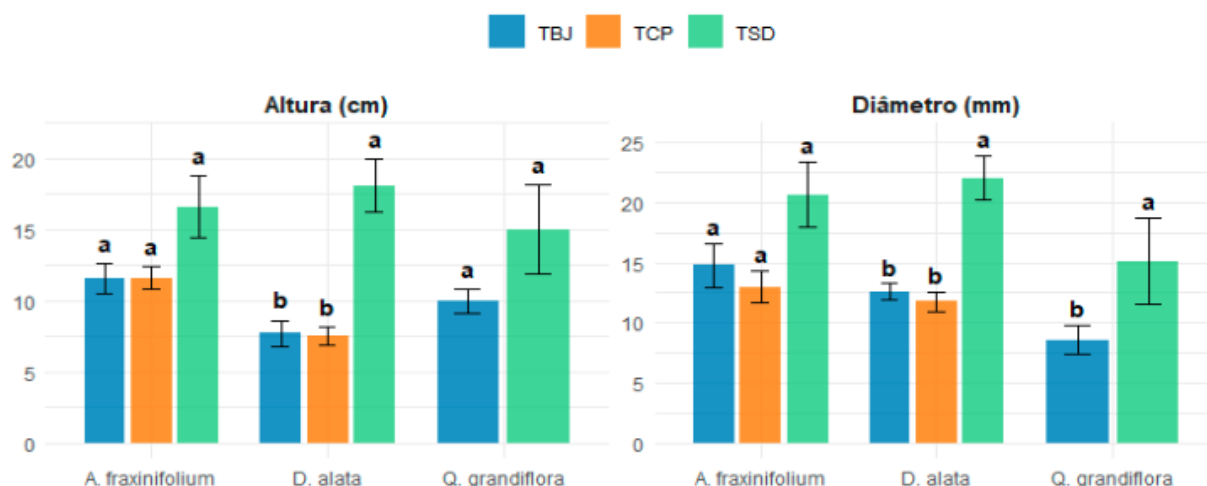
A. fraxinifolium destacou-se, não apresentando diferenças significativas na sobrevivência entre os tratamentos ($p = 0,254$). Em contrapartida, *D. alata* mostrou resposta diferenciada aos tratamentos, com efeito altamente significativo ($p = 0,001$), sendo a média de

sobrevivência no tratamento TSD 316% maior que no TCP. *Q. grandiflora*, também respondeu significativamente aos tratamentos ($p = 0,015$), com impacto severo da herbivoria no TCP.

3.6.3 Dinâmica de crescimento

O crescimento das plantas foi significativamente influenciado pelos tratamentos, com efeito altamente significativo do tratamento na altura ($F = 14,68$; $p < 0,001$) e no diâmetro do coleto ($\chi^2 = 27,00$; $p < 0,001$). O tratamento TSD destacou-se significativamente, apresentando valores das médias de altura 43% maiores que TBJ e TCP ($F = 14,68$; $p < 0,001$). Já para os valores médios do diâmetro, TSD apresentou valores 67% maiores que os demais tratamentos ($\chi^2 = 27,00$; $p < 0,001$) (Figura 4).

Figura 4 - Média de crescimento em altura (cm) e diâmetro do coleto (mm) de *Astronum fraxinifolium*, *Dipteryx alata* e *Qualea grandiflora* sob diferentes tratamentos (TBJ: bandeja; TCP: copos de papel; TSD: semeadura direta) aos 12 meses na área experimental em Planaltina, Distrito Federal. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos (Dunn, $p < 0,05$). Barras representam média $\pm$ erro padrão.



Análises específicas por espécie confirmaram os maiores valores para ambas as variáveis no tratamento TSD (Tabela 7). Para a espécie *D. alata*, observou-se diferença significativa entre TSD e TBJ na altura ($Z = -2,42$; $p = 0,024$) e no diâmetro ($Z = -2,86$; $p = 0,006$), bem como entre TSD e TCP para a altura ($Z = -2,97$; $p = 0,005$) e diâmetro ($Z = -3,06$; $p = 0,003$). Para *Q. grandiflora*, a comparação entre TSD e TBJ no diâmetro foi significativa ($Z = -2,09$; $p = 0,019$). Em *A. fraxinifolium*, observaram-se tendências marginais entre TSD e TCP para diâmetro ($Z = -2,16$; $p = 0,046$) e entre TSD e TBJ para diâmetro ($Z = -2,06$; $p = 0,060$).

Tabela 7 - Sobrevivência, crescimento e taxa de estabelecimento de *Astronum fraxinifolium*, *Dipteryx alata* e *Qualea grandiflora* em diferentes tratamentos (TBJ: bandeja; TCP: copos de papel; TSD:

semeadura direta) aos 12 meses após o transplântio na área experimental em Planaltina, Distrito Federal. Letras diferentes na mesma coluna e para a mesma espécie indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

Espécie	Tratamento	Sobrevivência (plantas/parcela)	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Taxa de Estabelecimento (%)
<i>Astronium fraxinifolium</i>	TBJ	$2,75 \pm 1,04$ a	$11,58 \pm 4,91$ a	$4,92 \pm 2,77$ a	95,7
	TCP	$1,88 \pm 1,46$ a	$11,60 \pm 3,04$ a	$4,33 \pm 1,65$ a	68,2
	TSD	$1,88 \pm 0,99$ a	$16,60 \pm 8,42$ a	$6,88 \pm 3,52$ a	93,8
<i>Dipteryx alata</i>	TBJ	$0,88 \pm 0,64$ b	$7,71 \pm 2,48$ b	$4,20 \pm 0,57$ b	36,8
	TCP	$0,63 \pm 0,74$ b	$7,50 \pm 1,41$ b	$3,92 \pm 0,59$ b	25,0
	TSD	$2,62 \pm 1,30$ a	$18,14 \pm 8,44$ a	$7,34 \pm 2,80$ a	91,3
<i>Qualea grandiflora</i>	TBJ	$1,75 \pm 1,91$ a	$10,04 \pm 3,21$ a	$2,86 \pm 1,50$ b	73,7
	TCP	$0,00 \pm 0,00$ b	-	-	0,0
	TSD	$0,38 \pm 0,52$ ab	$15,00 \pm 5,41$ a	$5,03 \pm 2,06$ a	50,0

3.6.4 Relação alométrica

Ao correlacionar todas as alturas com todos os diâmetros das 102 plantas vivas, independentemente da espécie ou tratamento, observou-se uma correlação positiva muito forte entre altura e diâmetro do coleto (Pearson: $r = 0,909$; $p < 0,001$). O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,826$) mostra que 82,6% da variação conjunta entre altura e diâmetro é compartilhada.

Análises separadas por espécie revelaram que esta relação se mantém estatisticamente significativa ($p < 0,001$) em todas elas, porém com forças de correlação distintas. *D. alata* apresentou a correlação mais forte ($r = 0,967$; $p < 0,001$), com $R^2 = 0,935$ indicando que as variáveis compartilham 93,5% de sua variação. *A. fraxinifolium* também exibiu correlação muito forte ($r = 0,919$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,845$), enquanto *Q. grandiflora* manteve uma correlação forte e estatisticamente significativa ($r = 0,871$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,759$) (Figura 5).

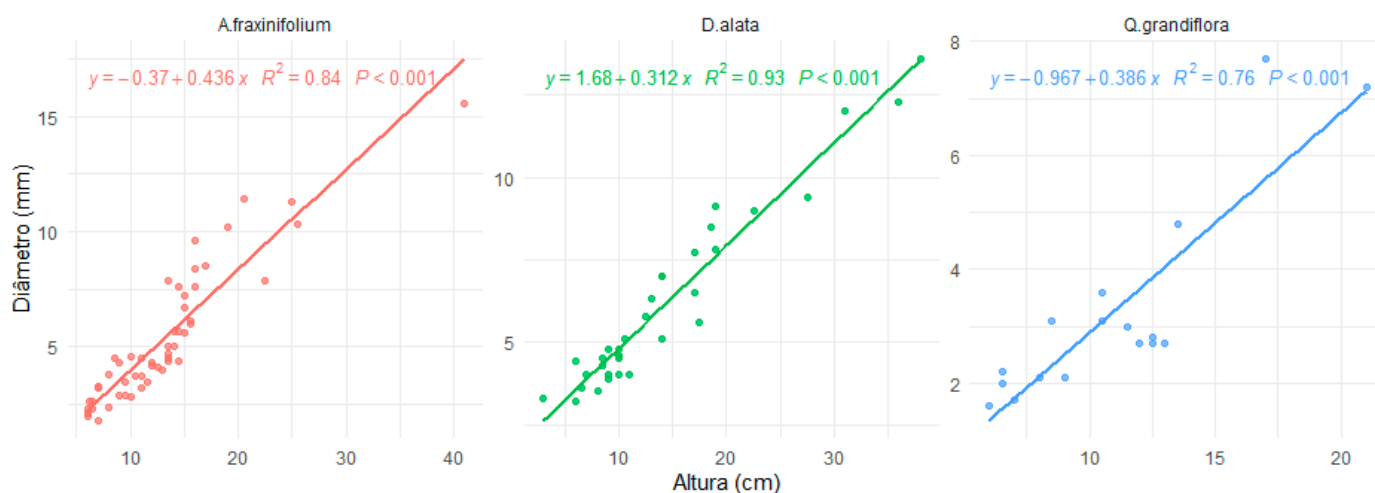


Figura 5 - Relação alométrica entre altura e diâmetro do coleto de *Astronium fraxinifolium*, *Dipteryx alata* e *Qualea grandiflora* em diferentes tratamentos (TBJ: bandeja; TCP: copos de papel; TSD: semeadura direta) aos 12 meses após o transplântio para a área experimental em Planaltina, Distrito Federal.

4 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo refutaram a hipótese inicial. Embora concebido para minimizar os mecanismos fisiológicos do choque de transplante (Close *et al.*, 2005), o TCP apresentou a menor taxa de sobrevivência em nível de comunidade (16,7%), sendo estatisticamente inferior tanto ao TBJ (35,8%) quanto ao TSD (32,5%). Esse padrão contradiz a premissa de que a transferência integral do recipiente biodegradável, ao evitar danos radiculares e manter a integridade do torrão, resultaria em um melhor estabelecimento. Apesar de baixa em relação aos outros tratamentos, a sobrevivência do TCP (16,7%) situa-se acima do patamar de 10% considerado aceitável como taxa de emergência para semeadura direta em estudos de restauração ecológica (Engel e Parrotta, 2001; Campos Filho *et al.*, 2013). Contudo, permanece bem abaixo das taxas médias de sobrevivência (acima de 60%) reportadas para estudos com semeadura direta com espécies nativas nos primeiros doze meses após a semeadura (Oliveira *et al.*, 2019; Pellizzaro *et al.*, 2017). Esta disparidade entre o potencial teórico e o desempenho prático sugere que outros fatores, não diretamente relacionados ao manejo do torrão no plantio, foram determinantes para o sucesso das mudas nas condições deste experimento.

Como possíveis explicações, destacam-se: (i) uma degradação inadequada do papel no campo, seja por rapidez excessiva ou por lentidão, o que poderia comprometer o equilíbrio hídrico ou atuar como barreira física ao crescimento radicular; ou (ii) uma interação negativa entre o papel úmido e a rizosfera, favorecendo condições de anaerobiose ou atraindo agentes patogênicos. Um fator adicional potencialmente limitante é o volume reduzido dos recipientes utilizados (8,18 cm³), significativamente inferior à faixa de 40-100 cm³ analisada por Nandede, Raheman e Kumar (2014) como viável para o estabelecimento. Embora esse volume menor tenha sido vantajoso para a fase de emergência no viveiro, ele pode ter restringido o desenvolvimento do sistema radicular e das reservas da muda, resultando em algum nível de comprometimento na resiliência pós-plantio.

Portanto, mesmo diante de uma premissa fisiológica sólida, a eficácia operacional do TCP mostrou-se fortemente dependente de variáveis relacionadas à fabricação do recipiente (como sua taxa de degradação e, notadamente, seu volume) e ao manejo pré-plantio. Esses aspectos necessitam de investigação mais aprofundada para que o potencial da técnica seja plenamente aproveitado, recomendando-se, para pesquisas futuras, testar volumes entre 40-100 cm³ a fim de equilibrar viabilidade econômica e eficácia ecológica.

Nossos resultados evidenciam que o tratamento mais bem-sucedido variou em função da espécie, destacando a importância da interação espécie-tratamento. Esta conclusão está alinhada com Sampaio, Schmidt e Figueiredo (2022), que afirmam que o sucesso na restauração ecológica de savanas é espécie-específico, dependendo de características como tamanho da semente, tolerância à dessecação e suscetibilidade à predação. Em nível de comunidade, o TBJ apresentou a maior sobrevivência média e um desempenho estável. Este tratamento demonstrou alta eficiência para *A. fraxinifolium* (95,7% de estabelecimento) e foi o único viável para *Q. grandiflora* (73,7%), cujo fracasso no TCP (0%) foi atribuído à herbivoria no viveiro. Paradoxalmente, o TSD que expõe as sementes a todos os filtros ecológicos iniciais (Sampaio, Schmidt e Figueiredo 2022) equiparou-se ao TBJ em sobrevivência geral (32,5%) e superou todos os demais em crescimento. Este tratamento foi notavelmente superior para *D. alata*, alcançando a maior sobrevivência (52,5%) e crescimento. Portanto, em vez de uma técnica universalmente superior, os resultados apontam para um *trade-off* entre o controle no estabelecimento inicial (viveiro) e o desempenho posterior no campo.

Com relação às espécies *A. fraxinifolium*, *D. alata* e *Q. grandiflora* demonstraram viabilidade, enquanto *T. aurea* e *C. pachystachya* não sobreviveram devido às limitações específicas no estabelecimento. Dentre as espécies viáveis, *A. fraxinifolium* e *D. alata* e apresentaram altas taxas de germinação em laboratório 89,5% e 86%, respectivamente, com bons resultados em campo.

A. fraxinifolium destacou-se em nosso estudo com uma taxa de estabelecimento geral de 85,2%, atingindo mais de 93% nos tratamentos TBJ e TSD. Sua alta velocidade germinativa pode representar um preditor significativo de sucesso em restauração (Laumann, Vieira e Rabelo, 2023). No entanto, a taxa de sobrevivência geral de 43,3% encontra-se bem abaixo dos valores encontrados para a mesma espécie por Oliveira *et al.*, (2019) de 94,1% de sobrevivência aos 12 meses. Suas características biológicas, como a dispersão anemocórica e sementes pequenas (3,70 g/100 sementes), compatíveis com um equilíbrio entre reserva nutritiva e dispersão eólica (Braz, Matos e Andrade, 2018), explicam sua alta adaptabilidade. Padrões de dispersão menos agregados em comparação com espécies zoocóricas (De Souza, Engel e Alves, 2022) tornam-na fundamental para plantios de restauração em áreas extensas e distantes de remanescentes de vegetação nativa. A versatilidade de *A. fraxinifolium*, evidenciada pelas altas taxas de germinação e estabelecimento no presente estudo, em todos os tratamentos, alinha-se com as recomendações de Ribeiro *et al.* (2023), que indicam tanto a semeadura direta quanto a produção de mudas como viáveis. Sua tolerância à sombra, resistência ao fogo, crescimento lento (até 30 cm/ano) e longevidade (20-100 anos) posicionam-na como uma espécie de fase

sucessional avançada (Ribeiro *et al.*, 2023), crucial para a sustentabilidade de longo prazo dos plantios de restauração. Ademais, sua resistência inerente é particularmente valiosa em cenários onde a manutenção pós-plantio é limitada, um contraste marcante com nossa experiência de trabalho em campo, na qual mesmo espécies bem estabelecidas demandaram intervenções contínuas contra a intensa competição e os ataques persistentes de formigas cortadeiras.

Para *D. alata*, sua resposta superior ao TSD (com sobrevivência 316% maior que no TCP) potencializa o retorno ecológico desse tratamento. Em outras palavras, o custo adicional associado à implantação via TSD com a aquisição de sementes que pesam mais justifica-se pelos benefícios econômicos e ecológicos futuros, superiores ao dispêndio inicial. Isso corrobora os achados de Rodrigues, Freitas e Veloso (2019), que relatam maior resistência a estresses pós-plantio em indivíduos estabelecidos por esse método.

Neste estudo, *D. alata* exibiu ampla variação nas taxas de estabelecimento entre os tratamentos: 91,3% no TSD, contra valores inferiores a 37% nos demais. Essa disparidade está possivelmente associada ao tamanho de suas sementes e à preservação mais eficiente do sistema radicular no TSD (Passaretti, Pilon e Durigan, 2020). A eficácia desse tratamento alinha-se a atributos biológicos como sementes grandes (maiores que 20 mm), alta taxa de germinação (superior a 80%) e emergência rápida (até duas semanas) (Ribeiro *et al.*, 2023). Na prática, *D. alata* mostra-se estratégica para áreas degradadas (Lima *et al.*, 2018) por apresentar traços funcionais como sistema radicular profundo e eficiência no uso de recursos (Santos, Silva-Neto e Trevisan, 2024). Com crescimento moderado (30–100 cm/ano), tolerância à sombra, resistência ao fogo e caracterização como espécie de fase 4, ou seja, é uma espécie tardia que duram mais que 10 anos podendo até durar séculos (Ribeiro *et al.*, 2023) consolidam-na como elemento estrutural de longo prazo em plantios de restauração. A versatilidade de múltiplas formas de plantio sugerida por Ribeiro *et al.* (2023) contrasta, portanto, com a clara superioridade do TSD observada em nosso experimento, posicionando *D. alata* como espécie-chave para a semeadura direta em larga escala, o que corrobora com Sampaio, Shmidt e Figueiredo (2022).

Q. grandiflora germinou 76% em laboratório sem quebra de dormência, mas estabeleceu apenas 32,7% em campo. Essa disparidade evidencia sua dependência por alumínio (Al). Nossos resultados com sementes intactas corroboram Nogueira (2023): a dormência não é o principal fator limitante. A baixa saturação de Al no solo do nosso experimento (18,5–24,9%) mostrou-se decisiva para o desenvolvimento pós-germinativo (Haridasan, 2008). Essa restrição é consistente com a dependência nutricional do Al, onde sua ausência compromete raízes, hidratação foliar e desempenho da Rubisco (Cury, Silva e Nogueira, 2020; Silva, Cury

e Nogueira, 2023). Com a técnica mais eficiente – transplântio em bandeja – registrando estabelecimento de 73,7%, a herbivoria por *Atta* sp. na transferência de copos reforçou filtros bióticos mesmo em estágio protegido.

Ademais, o contraste entre a taxa de emergência de 67,5% no TCP e a sobrevivência nula no mesmo tratamento evidencia a herbivoria por *Atta* sp. como um filtro biótico crítico no viveiro. Essa vulnerabilidade tornou-se evidente em um evento abrupto de herbivoria, no qual mudas em TCP foram severamente afetadas na véspera do transplântio, enquanto as do TBJ permaneceram intactas. Essa distinção no ataque por formigas pode ser atribuída à natureza do recipiente: os copos de celulose úmidos podem ter atuado como atrativo para formigas, seja como recurso alimentar ou como substrato para cultivo de fungo, enquanto as bandejas de plástico, quimicamente inertes, não produziram o mesmo efeito. Esse fenômeno corrobora nossa experiência prática de que formigas cortadeiras representam um dos maiores entraves operacionais em restauração, capazes de danificar rapidamente até mesmo árvores estabelecidas e onerar significativamente o manejo pós-plantio dos projetos de restauração ecológica.

Contextualizando sua ecologia, *Q. grandiflora* é uma espécie anemocórica, com sementes de massa intermediária (16,61 g/100 sementes), compatível com um equilíbrio entre reserva nutritiva e dispersão eólica (Braz, Matos e Andrade, 2018). Sua taxa de germinação varia entre 50 e 80%, com taxa de emergência geralmente rápida (Ribeiro *et al.*, 2023). Seu padrão de dispersão tende a ser menos agregado que o de espécies zoocóricas (De Souza, Engel e Alves, 2022), o que a torna valiosa para a colonização de áreas abertas e distantes de remanescentes de vegetação nativa. Apesar de sua intolerância à sombra e crescimento lento (até 30 cm/ano), a espécie pode ser implantada por mudas ou semeadura direta, segundo Ribeiro *et al.* (2023). É classificada como espécie de fase 4 (acima de 20 anos), o que a torna interessante para cumprir um papel ecológico fundamental na estruturação da vegetação em médio prazo (Ribeiro *et al.*, 2023).

As maiores limitações foram observadas nas espécies *C. pachystachya* e *T. aurea*, que não sobreviveram em campo. *C. pachystachya* germinou 47,8% sem tratamentos para quebra de dormência. Esse valor supera os 46,5% reportados para dispersão por aves (Bocchese, Oliveira e Laura, 2008), mas é inferior aos 80% com morcegos (Oliveira, Carvalho e Zortéa, 2013), confirmando dormência física, padrão comum no Cerrado (Zaidan e Carreira, 2008). O mecanismo regula a germinação para condições favoráveis (Rodrigues Filho, Silva e Vieira, 2023), integrando-se às redes frugívoras do bioma (Kuhlmann e Ribeiro, 2016; Carvalho, Malhi e Oliveras Menor, 2023). As sementes minúsculas (0,07 g) possivelmente representaram dupla

desvantagem: baixa reserva nutricional e reduzido poder competitivo (Passaretti, Pilon e Durigan, 2020).

T. aurea não emergiu em campo, apesar de sua alta germinação (97,0%). Essa ausência pode ser atribuída à perda de viabilidade durante o armazenamento. Neves, Dalchiavon e Silva (2014) demonstraram que as sementes perdem viabilidade rapidamente, caindo para 7% após seis meses – período equivalente ao intervalo entre nossa coleta (agosto/setembro 2023) e semeadura (março 2024). A sensibilidade pós-colheita limita o uso da espécie em projetos de restauração que dependam de armazenamento temporário.

A performance distinta das espécies estudadas reforça a necessidade de abordagens customizadas em restauração ecológica. *A. fraxinifolium* emergiu como espécie generalista, com alta taxa de estabelecimento independentemente da técnica de plantio, característica valiosa para plantios de restauração. Em contraste, *D. alata* mostrou-se especialista, com estabelecimento otimizado via semeadura direta, enquanto *Q. grandiflora* demandaria proteção adicional contra herbívoros em fases iniciais.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, C. et al. Governança da restauração florestal da paisagem no Brasil: desafios e oportunidades. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 58, p. 450-73, 2021.
- ALVES-PINTO, H. N.; STRASSBURG, B. B. N.; BRANCALION, P. H. S. Reconciling rural development and ecological restoration: Strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest. **Land Use Policy**, v. 60, p. 419-426, 2017.
- ARONSON, J.; ALEXANDER, S. Ecosystem restoration is now a global priority: time to roll up our sleeves. **Restoration Ecology**, v. 21, n. 3, p. 293-296, 2013.
- ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **IF Série Registros**, n. 44, p. 1-38, 2011.
- BOCCHESE, R. A.; OLIVEIRA, A. K. M.; LAURA, V. A. Germinação de sementes de *Cecropia pachystachya* Trécul (Cecropiaceae) em padrões anteriores e posteriores à passagem pelo trato digestório de aves dispersoras de sementes. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 19-26, 2008.
- BORGHETTI, F.; BARBOSA, E.; RIBEIRO, L.; RIBEIRO, J. F.; MACIEL, E.; WALTER, B. M. T. (2023). Fitogeografia das savanas sul-americanas. **Heringeriana**, v. 17, n. 1, p. e918014, 2023.
- BRANDO, P. M.; DURIGAN, G. Época de maturação dos frutos, beneficiamento e germinação de sementes de espécies lenhosas do Cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 8, p. ?, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de gases de Efeito Estufa**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2020b.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **O Bioma Cerrado**. Brasília, DF, 2020a.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: Congresso Nacional, 2012.
- BRAZ, M. I. G.; MATOS, D. M. S.; ANDRADE, I. M. Seed mass, germination and seedling traits for some central Brazilian Cerrado trees. **Seed Science and Technology**, v. 46, n. 3, p. 455-469, 2018.
- BUENO, M. L. et al. The environmental triangle of the Cerrado Domain: Ecological factors driving shifts in tree species composition between forests and savannas. **Journal of Ecology**, v. 106, n. 5, p. 2109-2120, 2018.

- BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 24, p. 1249-1270, 2019.
- CALMON, M. et al. Emerging threats and opportunities for large-scale ecological restoration in the Atlantic Forest of Brazil. **Restoration Ecology**, v. 19, n. 2, p. 154-158, 2011.
- CAMPOS-FILHO, Eduardo M. et al. Mechanized direct-seeding of native forests in Xingu, Central Brazil. **Journal of sustainable forestry**, v. 32, n. 7, p. 702-727, 2013.
- CARDIA, G. M. S. Plantando conservação e colhendo segurança hídrica: o caso do Projeto Produtor de Água do Pipiripau em Planaltina. 2024. **Dissertação** (Mestrado em Meio ambiente e Desenvolvimento Rural) - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2024.
- CARVALHO, R. B.; MALHI, Y.; OLIVERAS MENOR, I. Frugivory and seed dispersal in the Cerrado: Network structure and defaunation effects. **Biotropica**, v. 55, n. 4, p. 454-465, 2023.
- CHAZDON, R. L.; GUARIGUATA, M. R. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 716-730, 2016.
- CHAZDON, R. L.; URIARTE, M. Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 709-715, 2016.
- CHAZDON, R. L. et al. The intervention continuum in restoration ecology: rethinking the active–passive dichotomy. **Restoration Ecology**, p. e13535, 2021.
- CLOSE, Dugald C.; BEADLE, Christopher L.; BROWN, Philip H. The physiological basis of containerised tree seedling ‘transplant shock’: a review. **Australian Forestry**, v. 68, n. 2, p. 112-120, 2005.
- COSTA, M. H.; PIRES, G. F. Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 13, p. 1970-1979, 2010.
- CURY, N. F.; SILVA, G. S.; NOGUEIRA, M. A. Root proteome and metabolome reveal a high nutritional dependency of aluminium in *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae). **Plant and Soil**, v. 446, n. 1–2, p. 125–143, 2020.
- DE SOUZA, D. C.; ENGEL, V. L.; ALVES, L. F. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant functional traits and restoration techniques. **Restoration Ecology**, v. 30, n. 4, p. e13568, 2022.
- DIONIZIO, E. A.; COSTA, M. H. Influence of land use and land cover on hydraulic and physical soil properties at the cerrado agricultural frontier. **Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 24, 2019.
- DURIGAN, G.; MELO, A. C. G. An overview of public policies and research on ecological restoration in the state of São Paulo, Brazil. **Biodiversity conservation in the Americas: lessons and policy recommendations**, p. 320-355, 2011.

ENGEL, Vera Lex; PARROTTA, John A. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central Sao Paulo state, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 152, n. 1-3, p. 169-181, 2001.

FELFILI, J. M. et al. Recuperação de matas de galeria. **Embrapa Cerrados Planaltina DF, Série Técnica**, v. 21, n. 1, p. 45-45, 2000.

FERREIRA, M. C.; VIEIRA, D. L. M. Making the most of native seeds: Management techniques interact with seed and seedling traits for enhancing direct seeding success. **Forest Ecology and Management**, v. 574, p. 122353, 2024.

FRANÇOSO, R. D. Padrões biogeográficos e composição das comunidades arbóreas do cerrado brasileiro. 2014. **Tese (Doutorado)** - Universidade de Brasília, 2014.

FREITAS, M. G.; RODRIGUES, S. B.; VIEIRA, D. L. M. Direct seeding reduces costs and enhances diversity in tropical forest restoration. **Forest Ecology and Management**, v. 491, p. 119177, 2021.

GROSSNICKLE, Steven C.; MACDONALD, Joanne E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. **New forests**, v. 49, n. 1, p. 1-34, 2018.

GUENEAU, S.; DINIZ, J. D. A. S.; NOGUEIRA, M. C. R. **Alternativas para o desenvolvimento do bioma Cerrado: o uso sustentável da sociobiodiversidade pelas comunidades agroextrativistas**. Brasília, DF: IEB Mil Folha, 2020.

GUERRA, A. et al. Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 117802, 2020.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the Cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 183-195, 2008.

HARRIS, J. A.; HOBBS, R. J.; HIGGS, E. Ecological restoration and global climate change. **Restoration Ecology**, v. 14, n. 2, p. 170-176, 2006.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems?. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011.

HOLL, K. D. et al. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. **Restoration Ecology**, v. 8, n. 4, p. 339-349, 2000.

INMET – Instituto Nacional de Metereologia (2025) Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos/> [Acesso em 10/10/ 2025]

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2004. p. 249-269.

KUHLMANN, M.; RIBEIRO, J. F. Fruits and frugivores of the Brazilian Cerrado: ecological and phylogenetic considerations. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 3, p. 432-444, 2016.

LAHSEN, M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; DALLA-NORA, E. L. Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at our peril. **Environment: science and policy for sustainable development**, v. 58, n. 6, p. 4-15, 2016.

LAUMANN, P. D.; VIEIRA, D. L. M.; RABELO, F. G. Germination speed and success: key predictors for direct seeding restoration in the Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 529, p. 120706, 2023.

LIMA, E. M. et al. Crescimento inicial de espécies arbóreas nativas em solos degradados e com presença de plintita no Bioma Cerrado, Brasília – DF. **Nativa**, v. 6, n. especial, p. 787-794, 2018.

MAGAR, A. P. et al. Optimization of growing media and pot size for vegetable seedlings grown in cylindrical paper pots using response surface methodology. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 11, p. 1712-1721, 2021.

MELI, P. et al. Ecosystem restoration and human well-being in Latin America. **Ecosystems and People**, v. 18, n. 1, p. 609-615, 2022.

MELI, P. et al. Optimizing seeding density of fast-growing native trees for restoring the Brazilian Atlantic Forest. **Restoration Ecology**, v. 26, n. 2, p. 212-219, 2018.

MESQUITA, C. A. B.; COOPLANTAR: a Brazilian initiative to integrate forest restoration with job and income generation in rural areas. **Ecological Restoration**, v. 28, n. 2, p. 199-207, 2010.

METZGER, J. P. et al. Por que o Brasil precisa de suas Reservas Legais. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 3, p. 104-116, 2019.

MITTERMEIER, R. A. et al. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. In: **Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 3-22.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NANDEDE, B. M.; RAHEMAN, H.; KUMAR, G. V. P. Standardization of Potting Mix and Pot Volume for the Production of Vegetable Seedlings in Paper Pot. *Journal of Plant Nutrition*, 37(8), 1214–1226, 2014. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.881867>

NEVES, G. S.; DALCHIAVON, E. M.; SILVA, F. C. Viabilidade e longevidade de sementes de *Tabebuia aurea* Benth. & Hook. submetidas a diferentes métodos de armazenamento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 737-742, 2014.

NEWTON, A. C. et al. Ecological restoration of agricultural land can improve its contribution to economic development. **PloS one**, v. 16, n. 3, p. e0247850, 2021.

NOGUEIRA, M. A. Da germinação à regeneração: o papel do alumínio (Al) e sua interação com os processos fisiológicos de espécies acumuladoras de Al do Cerrado. 2023. **Tese** (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2023.

OLIVEIRA, L. C.; CARVALHO, R. B.; ZORTÉA, M. Germinação de sementes de *C. pachystachya* após passagem pelo trato digestório de morcegos frugívoros. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 4, p. 345-349, 2013.

OLIVEIRA, M. C. et al. **Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado**. 1. ed. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2016. 124 p.

OLIVEIRA, M. et al. **A Paisagem Social no Planejamento da Restauração**. São Paulo: WRI Brasil, IEE, UNICAMP, 2022.

OLIVEIRA, Maria Cristina et al. Sobrevivência e crescimento de espécies nativas do Cerrado após semeadura direta na recuperação de pastagem abandonada. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 14, n. 3, p. 313, 2019.

PALMA, A. C.; LAURANCE, S. G. W. 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**, v. 18, n. 4, p. 561-568, 2015.

PARENTE, L. et al. Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. **Land**, v. 12, n. 2, p. 283, 2023.

PASSARETTI, R. A.; PILON, N. A. L.; DURIGAN, G. Weed control, large seeds and deep roots: Drivers of success in direct seeding for savanna restoration. **Applied Vegetation Science**, v. 23, n. 3, p. 406-416, jul. 2020.

PELLIZZARO, K. F.; VIEIRA, D. L. M.; SILVA, R. R. P. Germination and initial growth of Cerrado species: implications for restoration. **Flora**, v. 234, p. 1-9, 2017.

PILON, N. A. L.; DURIGAN, G. Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação de cerrado. **Scientia Florestalis**, v. 41, n. 99, p. 389-399, 2013.

PILON, N. A. L. et al. Challenges and directions for open ecosystems biodiversity restoration: An overview of the techniques applied for Cerrado. **Journal of Applied Ecology**, v. 60, n. 5, p. 845-859, 2023.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh journal of botany**, v. 60, n. 1, p. 57-109, 2003.

RAUPP, P. P. et al. Direct seeding reduces the costs of tree planting for forest and savanna restoration. **Ecological Engineering**, v. 158, p. 106008, 2020.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Embrapa, Planaltina, DF, 2008. p. 151-212.

RIBEIRO, J. F.; KUHLMANN, M.; OGATA, R. S.; OLIVEIRA, M. C. de; VIEIRA, D. L. M.; SAMPAIO, A. B. Guia de plantas do cerrado para recomposição da vegetação nativa. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 2. ed. rev. ampl. 879 p., 2023.

- RODRIGUES, A. A. et al. Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**, v. 28, n. 22, p. 6807-6822, 2022.
- RODRIGUES, S. B.; FREITAS, M. G.; VELOSO, M. D. M. Direct seeded and colonizing species guarantee successful early restoration of South Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 451, p. 117559, 2019.
- RODRIGUES FILHO, J.; SILVA, R. R. P.; VIEIRA, D. L. M. Dormancy in seeds of brazilian cerrado and dense Ombrophilous forest. **BioBrasil**, v. 13, n. 2, 2023.
- SALOMÃO, A. N. **Germinação de sementes e produção de mudas de plantas do Cerrado**. Brasília, DF: Rede de Sementes do Cerrado, 2003.
- SAMPAIO, A. B. et al. **Guia de restauração do Cerrado: volume 1: semeadura direta**. 2015.
- SAMPAIO, A. B.; SCHMIDT, I. B.; FIGUEIREDO, I. B. Lessons on direct seeding to restore Neotropical savanna. **Ecological Engineering**, v. 176, p. 106533, 2022.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SANTOS, L. A. C.; SILVA-NETO, C. M.; TREVISAN, A. C. D. Traços Funcionais de Plantas Nativas do Bioma Cerrado: Uma Revisão Sistemática. **Fronteiras**, v.13, n.2, p.50-69, 2024.
- SILVA, F. C. et al. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- SILVA, R. R. P.; VIEIRA, D. L. M. Direct seeding of 16 Brazilian savanna trees: responses to seed burial, mulching and an invasive grass. **Applied Vegetation Science**, v. 20, n. 3, p. 410-421, 2017.
- SILVA, G. S.; CURY, N. F.; NOGUEIRA, M. A. The absence of aluminum compromises the root integrity and reduces leaf hydration and Rubisco performance in *Qualea grandiflora*, an Al-accumulating species. **Plant Biology**, v. 25, n. 5, p. 740-749, 2023.
- SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE & POLICY WORKING GROUP. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004.
- SOUZA, F. M.; BATISTA, J. L. F. Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest Ecology and Management**, v. 191, n. 1-3, p. 185-200, 2004.
- SOUZA, S. D. G.; SOUSA, M. L. M. Efeitos ambientais da modernização agrícola no Brasil: o avanço da agricultura e pastagem nos biomas brasileiros. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 39, n. 2, p. 1-21, 2022.
- SPERA, S. A. et al. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global change biology**, v. 22, n. 10, p. 3405-3413, 2016.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Global priority areas for ecosystem restoration. **Nature**, v. 586, n. 7831, p. 724-729, 2020.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **The United Nations Decade on Ecosystem Restoration Strategy**. 2021.

VELDMAN, J. W. et al. Where tree planting and forest expansion are bad for biodiversity and ecosystem services. **BioScience**, v. 65, n. 10, p. 1011-1018, 2015.

WEIDLICH, E. W. A.; FLÓRIDO, F. G.; LIEBSCH, D. Priority effects and ecological restoration. **Restoration Ecology**, v. 29, n. 1, p. e13317, 2021.

WRI BRASIL. **Você sabe o que é Planaveg? Conheça o plano do Brasil para restaurar 12 milhões de hectares**. 2019.

YURUI, L. et al. Towards the progress of ecological restoration and economic development in China's Loess Plateau and strategy for more sustainable development. **Science of the Total Environment**, v. 756, p. 143676, 2021.

ZAHAWI, R. A.; REID, J. L.; HOLL, K. D. Hidden costs of passive restoration. **Restoration Ecology**, v. 22, n. 3, p. 284-287, 2014.

ZAIDAN, L. B. P.; CARREIRA, R. C. Seed germination in Cerrado species. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 167-181, 2008.