

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

Daniel Carlos Horle

**Semeadura direta para restauração de floresta tropical: efeitos de arranjos de  
espécies no estabelecimento e crescimento inicial da comunidade arbórea**

ARARAS  
Setembro / 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

**Semeadura direta para restauração de floresta tropical: efeitos de arranjos de espécies no estabelecimento e crescimento inicial da comunidade arbórea.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Gorne Viani  
Coorientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Priscilla de Paula Loiola

ARARAS  
2021

Horle, Daniel Carlos

Semeadura direta para restauração de floresta tropical: efeitos de arranjos de espécies no estabelecimento e crescimento inicial da comunidade arbórea. / Daniel Carlos Horle, Priscilla de Paula Loiola, Guel Ledo Kanda Bernucci1 -- 2021. 47f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras  
Orientador (a): Ricardo Augusto Gorne Viani  
Banca Examinadora: José Mauro Santana da Silva, Daniel Luis Mascia Vieira, Priscilla de Paula Loiola  
Bibliografia

1. Restauração florestal. 2. Semeadura direta. 3. Mata atlântica. I. Horle, Daniel Carlos. II. Loiola, Priscilla de Paula. III. Bernucci1, Guel Ledo Kanda. IV. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8  
7083



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Agrárias  
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Daniel Carlos Horle, realizada em 29/09/2021.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Ricardo Augusto Gorne Viani (UFSCar)

Prof. Dr. Jose Mauro Santana da Silva (UFSCar)

Prof. Dr. Daniel Luis Mascia Vieira (EMBRAPA)

Profa. Dra. Priscilla de Paula Loiola (UNESP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente.

Aos meus pais e família, minha esposa e minha filha, que sempre me apoiaram em  
minhas decisões.

Dedico.

## **Agradecimentos**

A engenharia florestal sempre foi uma paixão, sou inclusive casado com uma engenheira florestal, e dentro da engenharia florestal a restauração florestal sempre foi um caminho percorrido desde a minha formação. Trabalho há quase 15 anos com restauração e nesse tempo todo sempre me deparei com dúvidas, perguntas e ensejos dentro deste tema.

Nos últimos 3 anos voltei a academia, justamente para sanar essas dúvidas e a minha vontade de investigar mais a fundo todo os processos que envolvem a restauração. Foi nesse momento que conheci a minha coorientadora Dr<sup>a</sup> Priscilla e meu orientador Prof. Dr. Ricardo Viani.

À Dr<sup>a</sup> Priscilla agradeço por ter me recebido de portas abertas no mundo acadêmico, no qual, estava afastado e agradeço todo o apoio do mundo em cada etapa dessa jornada, como disse, ela foi uma das responsáveis por eu mudar de rumo e seguir a vida acadêmica, me apresentou um novo estilo de viver.

Ao Prof. Ricardo Viani, por me receber em seu laboratório de pesquisa, pela orientação leve e tranquila, pela sua essência e vontade de orientar. Trabalhei com muitos profissionais e é sempre muito gratificante trabalhar com pessoas que amam suas profissões, vejo esse amor no Prof. Viani e isso é transmitido em segurança aos seus orientados em suas respectivas jornadas.

Ao programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de São Carlos, por possibilitar a minha pesquisa e aos meus amigos de jornada: Adélia, Lika, Paulo e Karen, que tornaram todo o processo tranquilo e compartilhado.

Agradeço ao parceiro Guel Bernucci que me ajudou em todas as atividades de campo a pensar no projeto e compartilhar sua experiência agroecológica, um grande companheiro. Aos companheiros do LASPEF (Laboratório de Silvicultura e Pesquisas Florestais) pelo ambiente saudável de vivência.

À banca examinadora da qualificação: Dr. Daniel Vieira, Dra. Natalia Guerin e Prof. Dr<sup>a</sup>. Patricia Monquero, por todas as contribuições. E também à banca examinadora da defesa Prof. Dr. José Mauro e novamente ao Dr. Daniel Vieira, que para mim é uma referência no estudo da semeadura direta no Brasil.

Agradeço a minha esposa Natalia, por todo o seu companheirismo e apoio ao longo de mais de 10 anos, por ser a pessoa mais especial dentro desse cenário, sem o seu

apoio não chegaria tão longe. E a minha filha Nina, pela alegria e descontração que trouxe para esse momento.

Obrigado a todos que de algum modo me ajudaram nessa viagem.

Muito obrigado!

## RESUMO

A semeadura direta é uma técnica comum para a restauração de florestas tropicais, no entanto, ainda faltam conhecimentos detalhados sobre arranjos de espécies, estratégias de implantação e custos ideais que permitam seu uso mais eficaz em larga escala. Avaliamos se a semeadura direta por meio de diferentes arranjos de espécies afetou o estabelecimento inicial da comunidade e das espécies arbóreas. Testamos quatro arranjos de riqueza de semeadura (sete, 13, 21 e 29 espécies), semeando a mesma densidade esperada de indivíduos por hectare em cada arranjo, alterando o número de sementes por espécie nos tratamentos. Em uma área destinada à restauração da Floresta Estacional Semidecidual da Mata Atlântica, instalamos 24 parcelas de 10 m × 3 m cada, em um delineamento inteiramente casualizado. Contamos e medimos a altura e o diâmetro a altura do solo dos indivíduos e estimamos os custos com a compra das sementes, a implantação e a manutenção dos indivíduos em cada tratamento durante o primeiro ano. Variações de riqueza entre tratamentos foram reduzidas, pois muitas espécies não emergiram, então, avaliamos o efeito de diferentes densidades de semeadura sobre as cinco espécies que emergiram em todos os arranjos. O tratamento com menos espécies apresentou maior densidade de indivíduos, mas a área basal, o diâmetro e a altura média dos indivíduos na comunidade não variou entre tratamentos. As espécies não sofreram alterações na taxa de estabelecimento e nem no crescimento de acordo com a densidade de semeadura. O custo por indivíduo foi maior no arranjo com mais espécies, porém variou apenas 8,5% entre os tratamentos e foi semelhante ao custo de plantio convencional de mudas. Priorizar espécies com alta taxa de estabelecimento pode reduzir os custos de semeadura direta, mas pode não ser tão barato como relatado anteriormente em outras iniciativas.

**Palavras-chave:** custos de restauração, Mata Atlântica, plântulas nativas, restauração ecológica, sementes.

## ABSTRACT

Direct seeding is a common technique for tropical forest restoration, however we lack detailed knowledge on species arrangements, overall implementation and optimal costs to allow its more efficient large-scale use. We evaluated whether direct seeding through different species arrangements affected the early-establishment of the community and of some of tree species. We tested four seeding richness arrangements (seven, 13, 21 and 29 species), sowing the same density for all treatments, altering density per species. In a site destined for the Brazilian Seasonal Atlantic Forest restoration, we installed 24 plots of 10 m × 3 m each, in a randomized design. We counted and measured seedling height and stem diameter and estimated the costs for seed purchase, implementation, and maintenance of each treatment up to one year after sowing. Richness variation among treatments were reduced after sowing, since many species did not emerge. Thus, we evaluated the effect of different sowing densities on the five species that emerged in all arrangements. The treatment with less species had higher seedling density, but basal area, mean seedling diameter and height of seedlings in the community did not varied among treatments. Species did not change establishment rate nor growth according to sowing density. Cost per seedling was higher in the richest arrangement, however it varied only 8.5% among treatments and similar to the cost of tree seedlings plantings. Prioritizing species with high establishment rate may reduce the costs of direct seeding, however it may not be as cheap as previously reported in other initiatives.

**Keywords:** Atlantic Forest, ecological restoration, restoration costs, seed, seedling.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1-</b> Localização do experimento de semeadura direta em Araras-SP, Sudeste do Brasil e detalhamento da distribuição dos tratamentos e blocos no campo. Tratamentos: A: sete espécies, B: 13, C: 21 e 29 espécies. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 19 |
| <b>Figura 2-</b> A- Exemplo de sementes separadas para alocação em campo, no tratamento com 7 espécies. B - Sementes separadas em balde para a semeadura em campo. Deste modo assegurou o rigor da densidade e arranjo de espécies por tratamento. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 26 |
| <b>Figura 3-</b> Área do experimento de semeadura direta. A) Área antes da semeadura direta, após o primeiro preparo de solo B) Área do experimento após 30 dias da semeadura direta, com a linhas de plantio de feijão guandu e parcelas. C) Experimento com 150 dias após a técnica de semeadura direta, onde é possível observar a linha de espécies arbóreas e a de feijão guandu. D) Experimento com 365 dias, ilustrado com as linhas de semeadura de espécies arbóreas. E) Sobrevoio da área em maio de 2021, com a área do projeto destacada em vermelho. .... | 32 |
| <b>Figura 4</b> – Parâmetros da comunidade arbórea, um ano após a semeadura direta em quatro tratamentos de arranjo de espécies (A: sete espécies, B: 13, C: 21 e 29 espécies): (A) soma das áreas basais, (B) diâmetro a altura do solo (DAS) e (C) altura e (D) densidade de indivíduos As diferenças por meio do teste <i>post hoc</i> de Tukey ( $p < 0,05$ ) são representadas por cores diferentes. ....                                                                                                                                                         | 35 |
| <b>Figura 5</b> - Altura, diâmetro a altura do solo e densidade (número de indivíduos por hectare) de <i>Anadenanthera colubrina</i> (A), <i>Enterolobium timbouva</i> (B), <i>Myracrodruon urundeuva</i> (C), <i>Peltophorum dubium</i> (D) e <i>Sapindus saponaria</i> (E) um ano após a semeadura direta, em diferentes arranjos de tratamentos (A: sete espécies, B: 13, C: 21 e 29 espécies). ....                                                                                                                                                                | 37 |
| <b>Figura 6-</b> Avaliação dos custos por indivíduo estabelecido (Ind.Custo) um ano após a semeadura direta em quatro tratamentos de arranjo de espécies (A: sete espécies, B: 13, C: 21 e 29 espécies). As diferenças por meio do teste <i>post hoc</i> de Tukey ( $p < 0,05$ ) são representadas por cores diferentes. ....                                                                                                                                                                                                                                          | 38 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> – Média ( $\pm$ erro padrão) das variáveis químicas do solo na área experimental utilizada para implantação de semeadura direta, em Araras, SP, Brasil. Dados coletados em duas profundidades (0 - 20 cm e 20 - 40 cm), com três amostras cada, sistematicamente dispostas na área. ....                                                                                                                                                                                                                | 20 |
| <b>Tabela 2</b> - Espécies arbóreas nativas utilizadas no experimento de semeadura direta, com suas taxas de germinação e densidade de semeadura nos tratamentos com sete (A), 13 (B), 21 (C) e 29 (D) espécies. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 22 |
| <b>Tabela 3</b> - Tratamentos com diferentes arranjos de espécies, área total de cada tratamento e densidade de sementes por hectare para cada tratamento. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 24 |
| <b>Tabela 4</b> - Custos de preparação do local, plantio, manutenção, compra de sementes nativas e custos totais do experimento de semeadura direta para restauração da Mata Atlântica, em Araras-SP, sudeste do Brasil. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 28 |
| <b>Tabela 5</b> - Todas as variáveis de desempenho das espécies do experimento de semeadura direta para restauração da Mata Atlântica, em Araras, sudeste do Brasil, 30 e 150 dias após a semeadura, considerando os seguintes indicadores: densidade (Ind.ha <sup>-1</sup> ), diâmetro a altura do solo das plantas (DAS) e altura, e porcentagem de estabelecimento (% Est.) e soma das áreas basais (Soma AB). Tratamentos: A: sete espécies, B: 13, C: 21 e 29 espécies. ** nenhuma muda emergiu. ....              | 30 |
| <b>Tabela 6</b> - Estabelecimento da comunidade arbórea, crescimento e variáveis de custo em arranjos de semeadura direta para restauração florestal, aos 365 dias após a semeadura, em Araras-SP. BA: área basal da comunidade (soma das áreas basais individuais). Os valores são a média do gráfico $\pm$ erro padrão, exceto para o número de espécies, que é a riqueza geral por tratamento, custo por hectare e custo de compra de sementes por hectare, para o qual não há variação dentro dos tratamentos. .... | 33 |
| <b>Tabela 7</b> - Desempenho de espécies arbóreas no experimento de semeadura direta para restauração da Mata Atlântica, em Araras-SP, 365 dias após a semeadura. Outras 16 espécies não tiveram plantas estabelecidas*. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 34 |

## SUMÁRIO

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUÇÃO.....                                                   | 14 |
| OBJETIVOS.....                                                    | 17 |
| Objetivo geral.....                                               | 17 |
| Objetivos específicos .....                                       | 17 |
| MATERIAL E MÉTODOS.....                                           | 18 |
| Caracterização da área experimental .....                         | 18 |
| Seleção das espécies e arranjos de riqueza dos tratamentos .....  | 20 |
| Densidade da semeadura.....                                       | 24 |
| Preparo da área, semeadura e manutenção .....                     | 24 |
| Análise de dados .....                                            | 26 |
| RESULTADOS .....                                                  | 29 |
| Arranjo de espécies e estabelecimento inicial da comunidade ..... | 35 |
| Desempenho das espécies .....                                     | 36 |
| Custos da semeadura direta.....                                   | 38 |
| DISCUSSÃO .....                                                   | 38 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                        | 42 |
| REFERÊNCIAS .....                                                 | 44 |

## INTRODUÇÃO

O mundo possui mais de 2 bilhões de hectares de ecossistemas degradados que necessitam de restauração (FAO, 2019). Em 2019, a ONU declarou a década da restauração de ecossistemas (2021 – 2030), em uma ação global para unir pesquisas científicas, apoio político e força financeira para ampliar massivamente a restauração de ambientes degradados pelo mundo (ONU, 2020).

Além de ações, iniciativas e compromissos internacionais, nos próximos anos, o Brasil pretende implantar o Programa de Regularização Ambiental em mais de 5 milhões de imóveis cadastrados no CAR (MAPA, 2018). Neste programa, proprietários rurais que apresentam a Reserva Legal (RL) ou a área de preservação permanente (APP) desprovida de vegetação nativa deverão recompor as suas áreas atendendo a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei federal 12.651/2012). No Brasil, de acordo com esta legislação, devem ser restaurados 4,5 milhões de hectares de APP (SOARES-FILHO et al., 2014) e 13,1 milhões de hectares de RL (SOARES-FILHO et al., 2014), totalizando a necessidade de recuperação de 17,6 milhões de hectares.

Diante dessa demanda, diversos estudos estão sendo direcionados para a restauração dos biomas brasileiros, buscando alternativas que respeitem as características ambientais, sociais e econômicas, visando à restauração em pequena e larga escala. A Mata Atlântica, como um reduto de biodiversidade e endemismo do mundo, merece atenção, pois o que equivalia originalmente à 15% do território brasileiro, atualmente foi reduzido para aproximadamente 7% de sua área original (HÜLLER et al., 2017). Além disso, a maior parte da Mata Atlântica remanescente está em pequenos fragmentos florestais com menos de 50 ha (RODRIGUES et al., 2009). A redução florestal ainda tem ocorrido e entre 2018 e 2019 o desmatamento na Mata atlântica aumentou 27,2% (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2020).

Embora existam diversas técnicas para a restauração de florestas tropicais, predomina ainda o plantio de mudas de árvores nativas, baseado muitas vezes em legislações específicas que disciplinam a compensação ambiental. No entanto, essa técnica possui algumas limitações como o custo, podendo chegar a R\$ 21.271,00 por hectare na Mata Atlântica (BENINI et al., 2017), custos das mudas, métodos de implantação e a dificuldade logística (RODRIGUES et al., 2009, PALMA; LAURANCE, 2015, CECCON et al., 2016). Deste modo, tornam-se relevantes pesquisas sobre demais

técnicas de restauração ecológica, desenvolvendo métodos alternativos efetivos de baixo custo, os quais podem alavancar a restauração em pequena e larga escala, sendo a semeadura direta uma alternativa promissora (ENGEL; PAROTTA, 2001).

A semeadura direta já é uma das técnicas mais utilizadas para a restauração de florestas tropicais (PALMA; LAURANCE, 2015; CECCON et al., 2016). Elimina a necessidade de viveiros para o cultivo de mudas, representando uma implantação mais barata e mais fácil do que a técnica convencional de plantio de mudas (FREITAS et al., 2019; RAUPP et al., 2020). Além disso, a semeadura direta não prejudica o desenvolvimento do sistema radicular, como pode acontecer com a transferência de mudas para o campo (CASTRO et al., 2021), e pode ser facilmente implementada pelos proprietários rurais, com maquinários normalmente disponíveis nas propriedades rurais (CAMPOS-FILHO et al., 2013). No entanto, poucos estudos avaliaram os custos da semeadura direta em regiões tropicais (ENGEL; PAROTTA, 2001; COLE et al., 2011; SOUZA; ENGEL 2018, RAUPP et al 2020).

Em contrapartida, a semeadura direta possui algumas limitações, como a grande variação nas taxas de emergência em campo e a maior necessidade e dificuldade de controle de espécies indesejadas em relação as mudas (ENGEL; PAROTTA, 2001), gerando maior intensidade na manutenção pós-implantação. Além disso, existe a necessidade de um balanço entre densidade de sementes utilizadas na técnica e intensidade de manutenção, já que isto pode proporcionar custos unitários de plantas estabelecidas maiores ou menores em relação ao custo unitário das plantas na técnica de plantio de mudas (ISERNHAGEN, 2010). A utilização de altas densidades de sementes eleva o custo, representando desperdício ou necessidade futura de desbaste (ARAKI, 2005), mesmo resultando em uma maior densidade de plântulas em campo.

Embora estejamos aumentando o conhecimento sobre o desempenho das espécies arbóreas na semeadura direta (ENGEL; PAROTTA, 2001; PELLIZZARO et al., 2017; MELI et al., 2018), ainda há carências de informações sobre emergência, taxas de estabelecimento, atributos funcionais e desempenho em campo para a maioria das espécies arbóreas nativas (BALANDIER et al., 2009; CECCON et al., 2016; MELI et al., 2018). As iniciativas de semeadura direta usam, em média, o dobro de espécies e apresentam taxas de sobrevivência e estabelecimento três vezes menores do que o plantio convencional de mudas (PALMA; LAURANCE, 2015). Mesmo utilizando uma alta diversidade de espécies na técnica de semeadura direta, alguns estudos descobriram que

apenas 19 a 40% das espécies se estabelecem na área (ENGEL; PARROTTA 2001; TUNJAI; ELLIOTT, 2012; SOUZA; ENGEL 2018).

Mesmo a semeadura direta podendo ser realizada em alta densidade, em área total, linhas ou covetas, a reinfestação de espécies indesejáveis é inevitável (CAMPOS-FILHO et al., 2013). Remover as espécies indesejadas localizadas entre as plantas de árvores emergidas precocemente, especialmente entre as espécies de crescimento lento, pode ser demorado, caro e dependente de operações manuais (CAMPOS-FILHO et al., 2013). Como a densidade de plantas estabelecidas no campo está relacionada à densidade de semeadura (MELI et al., 2018), uma forma de diminuir a invasão pode ser a semeadura de alta densidade de espécies de rápido crescimento, com altas taxas de estabelecimento, selecionando apenas poucas espécies com essas características. Isso pode promover uma rápida cobertura do solo, aumentar o sombreamento e reduzir as espécies indesejadas, promovendo a criação de uma estrutura florestal (ALMEIDA; VIANI, 2019; MENDES et al., 2021). Por outro lado, a diversidade está positivamente relacionada ao funcionamento do ecossistema (CADOTTE et al., 2011; MOUILLOT et al., 2013), sendo um componente desejável da restauração do ecossistema (CICCARESE et al. 2012). Assim, a redução do número de espécies utilizadas na restauração da floresta tropical acelera a estruturação florestal, mas pode impactar o funcionamento da área no futuro (LAUGHLIN 2014).

Definir quais espécies utilizar na semeadura direta é uma tarefa difícil, pois fatores como distribuição geográfica, potencial germinativo, disponibilidade de sementes e composição florística das espécies ensejam aprofundamento científico para uma definição efetiva das espécies e proporções a serem semeadas. Embora a literatura apresente avaliações de desempenho de diversas espécies na semeadura direta e aponte algumas aptas para o uso nesta técnica (SANTOS et al., 2012, ENGEL; PARROTTA, 2001, MELI et al., 2018, SOUZA; ENGEL, 2018), o conhecimento sobre os diferentes desempenhos das espécies, grupos funcionais, densidades ótimas de sementes e produção de sementes que possibilitariam um amplo espectro de espécies nativas para o uso na restauração via semeadura direta ainda é limitado (MELI et al., 2018).

Na Mata Atlântica não há experimentos que avaliem efeitos da composição e riqueza de espécies arbóreas na semeadura direta, sobre os indicadores de restauração para a comunidade, e sobre o comportamento das espécies, considerando também os custos da semeadura. Entender estes aspectos pode auxiliar na definição de arranjos de

espécies arbóreas para a semeadura direta em regiões tropicais e, assim, contribuir para a execução das ambiciosas metas globais de restauração em larga escala.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho foi testar a hipótese de que o arranjo de espécies afeta o crescimento e o estabelecimento inicial da comunidade arbórea e o desempenho individual das espécies, um ano após a implantação, em uma área de semeadura direta para a restauração florestal.

### **Objetivos específicos**

Para isso, especificamente perguntamos se, na semeadura direta:

1. Densidade e área basal serão maiores quando restringimos o número de espécies e aumentamos a densidade de sementes na semeadura direta, usando apenas espécies de rápido crescimento e com maiores taxas de estabelecimento?
2. Por outro lado, o crescimento individual em altura e diâmetro, a densidade de indivíduos e as taxas de estabelecimento das espécies presentes em todos os tratamentos serão afetados pelos arranjos?
3. Haverá variação nos custos por indivíduo estabelecido nos diferentes arranjos de espécies na semeadura direta?

Esperamos que na semeadura direta:

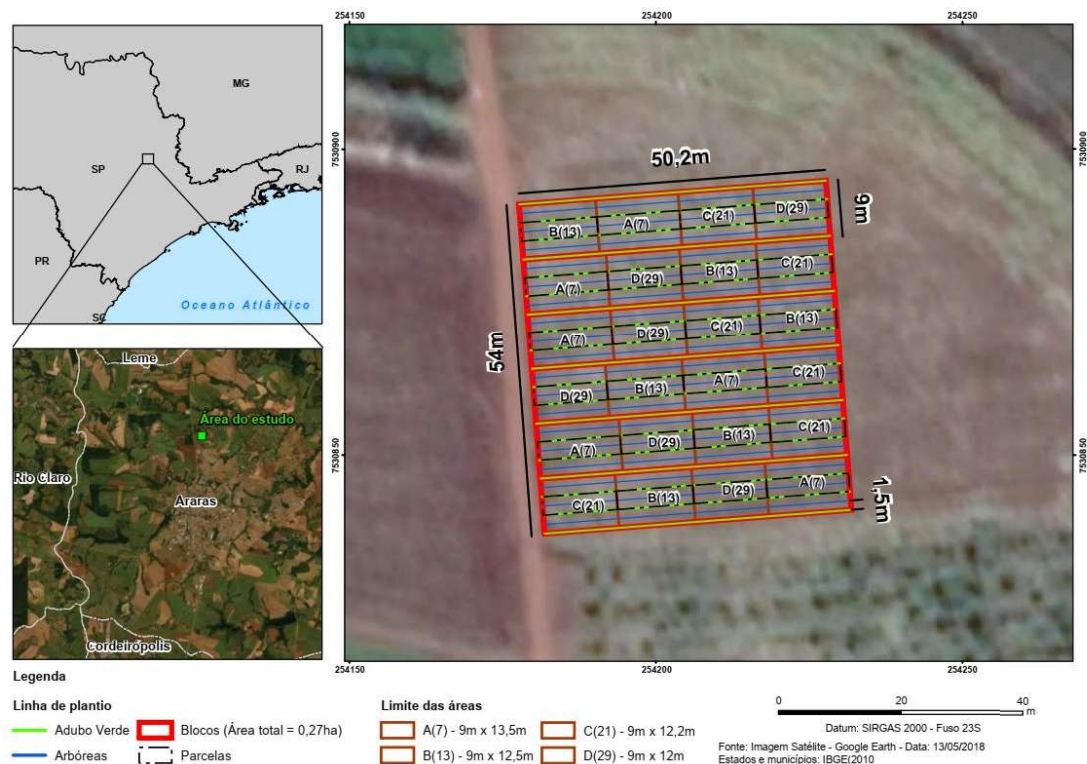
1. O uso de um número menor de espécies na semeadura, apenas de espécies de rápido crescimento e com resultados favoráveis na semeadura direta, aumentará a densidade de indivíduos e área basal inicial da comunidade arbórea em restauração;
2. As espécies presentes em todos os arranjos não variariam em crescimento em altura e diâmetro e nem a taxa de estabelecimento, indicando que a densidade de semeadura de uma espécie não pudesse ser observada já no primeiro ano de semeadura. A densidade das plantas deveria ser reduzida, visto que esta é afetada diretamente pela densidade de semeadura (MELI et al. 2018) e a densidade de semeadura também será reduzida com o aumento da riqueza dos arranjos.

3. A semeadura direta com menor número de espécies e alta densidade apresentará também o menor custo por indivíduo estabelecido, pois tendo maior densidade, o custo será diluído.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área experimental**

O experimento de semeadura direta está localizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, Araras-SP (22° 18'37" S, 47° 23'08" O, Figura 1), em uma área de 0,27 ha, dentro da fitofisionomia Floresta Estacional Semidecidual do Bioma Mata Atlântica (IBGE, 2012). O local do experimento apresenta clima subtropical, com verão chuvoso e inverno seco. Segundo dados climatológicos, o município de Araras possui médias mínimas de 16,3°C em julho e máximas de 22,7°C em janeiro e fevereiro (ALVARES et al., 2013). Os meses com menor e maior média de chuva no município são julho com 22 mm e janeiro com 253 mm de precipitação, respectivamente (ALVARES et al., 2013). A área tem Nitossolo Vermelho Distroférrico latossólico (YOSHIDA & STOLF, 2016) e, antes deste estudo, foi usada por décadas para cultivo de cana-de-açúcar até 2016, com frequente fertilização do solo, o que resultou em alta disponibilidade de nutrientes (Tabela 1). Após 2016, foi destinada à formação da Reserva Legal.



**Figura 1-** Localização do experimento de semeadura direta em Araras-SP, Sudeste do Brasil e detalhamento da distribuição dos tratamentos e blocos no campo. Tratamentos: A: sete espécies, B: 13, C: 21 e 29 espécies.

Para a caracterização química do solo, coletamos três amostras compostas em duas profundidades: de 0-20 cm e de 20- 40 cm. As amostras foram analisadas quanto aos seguintes parâmetros:  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ , matéria orgânica,  $\text{P}_{\text{resina}}$ , K, Ca, Mg, acidez potencial ( $\text{H}^+\text{+Al}$ ), soma de bases, capacidade de troca catiônica total (CTCt), saturação por bases (V%) e micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn e Zn, ambas analisadas de acordo com métodos descritos em VAN RAIJ et al. (2001).

**Tabela 1** – Média ( $\pm$  erro padrão) das variáveis químicas do solo na área experimental utilizada para implantação de semeadura direta, em Araras, SP, Brasil. Dados coletados em duas profundidades (0 - 20 cm e 20 - 40 cm), com três amostras cada, sistematicamente dispostas na área.

| Atributo                                                            | 0-20 cm de profundidade | 20-40 cm profundidade |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| P (mg dm <sup>-3</sup> )                                            | 27,3 $\pm$ 17,2         | 17,7 $\pm$ 11,8       |
| Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> )                              | 33,0 $\pm$ 2,6          | 29,7 $\pm$ 3,8        |
| pH CaCl <sub>2</sub>                                                | 5,1 $\pm$ 0,1           | 5,1 $\pm$ 0,1         |
| K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )                             | 2,3 $\pm$ 0,1           | 0,9 $\pm$ 0,2         |
| Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )                            | 35,3 $\pm$ 1,2          | 37,7 $\pm$ 5,5        |
| Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )                            | 17,3 $\pm$ 0,6          | 15,0 $\pm$ 1,7        |
| H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )                          | 48,0 $\pm$ 3,6          | 49,7 $\pm$ 2,5        |
| Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )                            | 1,7 $\pm$ 1,3           | 1,1 $\pm$ 0,9         |
| Soma de bases (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )                 | 55,0 $\pm$ 1,5          | 53,6 $\pm$ 7,4        |
| Capacidade de troca catiônica (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 103,0 $\pm$ 2,5         | 103,2 $\pm$ 5,3       |
| Saturação por bases (%)                                             | 53,4 $\pm$ 2,5          | 51,7 $\pm$ 4,5        |
| S (mg dm <sup>-3</sup> )                                            | 9,0 $\pm$ 3,6           | 8,0 $\pm$ 3,5         |
| B (mg dm <sup>-3</sup> )                                            | 0,2 $\pm$ 0,1           | 0,2 $\pm$ 0,2         |
| Cu (mg dm <sup>-3</sup> )                                           | 3,9 $\pm$ 0,6           | 3,8 $\pm$ 0,5         |
| Fe (mg dm <sup>-3</sup> )                                           | 40,0 $\pm$ 7,2          | 32,0 $\pm$ 5,3        |
| Mn (mg dm <sup>-3</sup> )                                           | 24,6 $\pm$ 10,9         | 16,7 $\pm$ 8,8        |
| Zn (mg dm <sup>-3</sup> )                                           | 0,8 $\pm$ 0,2           | 0,5 $\pm$ 0,1         |

### Seleção das espécies e arranjos de riqueza dos tratamentos

Foram selecionadas 29 espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica. Dentre as espécies com disponibilidade de sementes em quantidade em viveiro florestal, priorizou-se as nativas mais usadas nos plantios de restauração na Mata Atlântica (Tabela 2; ALMEIDA; VIANI, 2020,). Quatro tratamentos de semeadura foram definidos em um desenho amostral com sete (A), 13 (B), 21 (C) ou 29 (D) espécies (Figura 1). As espécies que compõem o tratamento com sete são consideradas espécies com resultados favoráveis e bons desempenhos na semeadura direta na Mata Atlântica em estudos publicados (ENGEL; PARROTTA, 2001; MENEGHELLO; MATTEI, 2004; SANTOS et al., 2012; AGUIRRE et al. 2015; SOUZA; ENGEL 2018; MELI et al., 2018) e em projetos de restauração da Mata Atlântica. Nos demais tratamentos, foram adicionadas espécies com resultados menos promissores ou pouco conhecidos com relação ao sucesso na semeadura direta, porém são também amplamente utilizadas em plantios de mudas com fins de restauração florestal na Mata Atlântica (ALMEIDA; VIANI, 2020).

As sementes foram adquiridas de um viveiro florestal localizado em Penápolis/SP, em Agosto/2019. Todas os lotes das espécies escolhidas foram submetidos a testes de germinação pelo próprio viveiro, com quebra de dormência em espécies dormentes. Os testes de germinação usaram vermiculita como substrato e o tempo de avaliação variou entre as espécies. Para cada espécie, quatro lotes de 50 sementes cada foram pesados em uma balança de precisão para obtenção da massa fresca (RAS, 2009). Essas pesagens tiveram como objetivo calcular a quantidade de sementes por quilograma de cada espécie e assim possibilitar a definição de densidade de sementes em cada tratamento.

**Tabela 2-** Espécies arbóreas nativas utilizadas no experimento de semeadura direta, com suas taxas de germinação e densidade populacional nos tratamentos com sete (A), 13 (B), 21 (C) e 29 (D) espécies.

| Nome científico                                 | Família botânica | Taxa de germinação (%) | Densidade populacional nos tratamentos |        |
|-------------------------------------------------|------------------|------------------------|----------------------------------------|--------|
|                                                 |                  |                        | A (7)                                  | B (13) |
| <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan   | Fabaceae         | 75                     | 28.571                                 | 15.385 |
| <i>Astronium graveolens</i> Jacq.               | Anarcadiaceae    | 75                     | 28.571                                 | 15.385 |
| <i>Enterolobium timbouva</i> Mart.              | Fabaceae         | 90                     | 23.810                                 | 12.821 |
| <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão           | Anarcadiaceae    | 60                     | 35.714                                 | 19.231 |
| <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.).Taub        | Fabaceae         | 70                     | 30.612                                 | 16.439 |
| <i>Sapindus saponaria</i> L.                    | Sapindaceae      | 50                     | 42.857                                 | 23.077 |
| <i>Solanum licocarpum</i> A.St.-Hil Ruiz & Pav. | Solanaceae       | 75                     | 28.571                                 | 15.385 |
| <i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.                   | Malvaceae        | 70                     |                                        | 16.439 |
| <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna      | Malvaceae        | 70                     |                                        | 16.439 |
| <i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.             | Fabaceae         | 75                     |                                        | 15.385 |
| <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud    | Moraceae         | 40                     |                                        | 28.868 |
| <i>Pterogyne nitens</i> Tul.                    | Fabaceae         | 75                     |                                        | 15.385 |
| <i>Terminalia argentea</i> Mart.                | Combretaceae     | 50                     |                                        | 23.077 |
| <i>Albizia niopoides</i> (Benth.) Burkart       | Fabaceae         | 70                     |                                        |        |
| <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.            | Verbenaceae      | 65                     |                                        |        |
| <i>Colubrina glandulosa</i> G.Perkins           | Rhamnaceae       | 78                     |                                        |        |
| <i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart.   | Bignoniaceae     | 70                     |                                        |        |
| <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.                | Fabaceae         | 70                     |                                        |        |
| <i>Platypodium elegans</i> Vogel                | Fabaceae         | 65                     |                                        |        |
| <i>Psidium guajava</i> L.                       | Myrtaceae        | 75                     |                                        |        |

| Nome científico                                   | Família botânica | Taxa de<br>germinação<br>(%) | Densidad<br>tratamen |      |
|---------------------------------------------------|------------------|------------------------------|----------------------|------|
|                                                   |                  |                              | A (7)                | B (1 |
| <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi              | Anarcadiaceae    | 75                           |                      |      |
| <i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.  | Rutaceae         | 45                           |                      |      |
| <i>Cedrela fissilis</i> Vell.                     | Meliaceae        | 70                           |                      |      |
| <i>Cordia sellowiana</i> Cham.                    | Boraginaceae     | 65                           |                      |      |
| <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud. | Boraginaceae     | 65                           |                      |      |
| <i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms      | Phytolaccaceae   | 70                           |                      |      |
| <i>Genipa americana</i> L.                        | Rubiaceae        | 70                           |                      |      |
| <i>Helietta apiculata</i> Benth.                  | Rutaceae         | 50                           |                      |      |
| <i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.                | Rutaceae         | 55                           |                      |      |

### Densidade da sementeira

Para esse estudo, consideramos, para todas as espécies, que 2% das sementes germinadas se estabeleceriam em um ano. Em estudo com sementeira de árvores em florestas nativas no Xingu, foi identificada uma taxa de estabelecimento de sementes entre 2% e 10% até 3 anos após a sementeira. Portanto, adotamos uma estimativa conservadora (CAMPOS-FILHO et al., 2013). Para esse estudo, usamos como base uma densidade esperada de 3.000 indivíduos por hectare em um prazo de um ano, distribuídos igualmente entre as espécies de cada tratamento. Partindo dessa densidade esperada, calculamos a quantidade de sementes a serem semeadas por espécie em cada tratamento utilizando a taxa de germinação (Tabela 2) e o fator de estabelecimento de 2%.

Em função das diferenças no percentual de germinação das espécies usadas em cada tratamento, houve variação na densidade de sementeira e na área de cada tratamento, no entanto, o tamanho das parcelas permaneceram iguais. Cada tratamento gerou uma área diferente para garantir a mesma taxa de estabelecimento prevista (2%) e a densidade esperada entre as diferentes espécies e conjuntos de tratamentos (Tabela 3). Na média, a densidade de sementeira dos tratamentos foi de 227.200 sementes por hectare variando entre 218.700 e 233.400 (Tabela 3).

**Tabela 3-** Tratamentos com diferentes arranjos de espécies, área total de cada tratamento e densidade de sementes por hectare para cada tratamento.

| Tratamentos   | Área total (m <sup>2</sup> ) | Densidade de sementes (sem.ha <sup>-1</sup> ) | Sementes por metro linear |
|---------------|------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|
| Sete espécies | 729                          | 218.707                                       | 65                        |
| 13 espécies   | 675                          | 233.424                                       | 70                        |
| 21 espécies   | 659                          | 225.296                                       | 67                        |
| 29 espécies   | 648                          | 232.471                                       | 69                        |
| Média         | 678                          | 227.263                                       | 68                        |

### Preparo da área, sementeira e manutenção

Antes da implantação, fizemos uma ronda de controle de formigas-cortadeiras, aramos e gradeamos a área em dois momentos (junho e dezembro/2019), usamos a enxada rotativa antes do plantio (dezembro/2019) para eliminação de gramíneas invasoras e espécies indesejadas. Após esta etapa, foram abertos sulcos de sementeira espaçados 1,5 m entre si, com riscador acoplado a um trator. Não foi usado herbicida no preparo da área para plantio. Na implantação e manutenção, formigas-cortadeiras foram controladas durante quatro momentos, com aplicação de iscas de sulfluramida nos caminhos. Não

houve adubação química, uma vez que não se identificou a necessidade mediante avaliação da análise do solo (Tabela 1).

A semeadura das espécies arbóreas foi realizada em dezembro/2019, concomitantemente com a de feijão-guandu-fava-larga (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), como adubação verde, feita na densidade de 25 kg.ha<sup>-1</sup>. O feijão-guandu-fava-larga foi alocado nas entrelinhas das espécies arbóreas, ou seja, a cada 3 m. O uso de arbustos anuais e semiperenes tem sido comum na semeadura direta para restauração florestal, pois é um auxílio no controle de espécies invasoras (REIS et al., 2019). A dormência das sementes não foi quebrada para nenhuma espécie, reduzindo o processamento e representando o usual da semeadura direta (JESUS et al., 2017).

Cada parcela continha três linhas de plantio, espaçadas 3 m entre si. Em todo o experimento foram instaladas 24 parcelas de 30 m<sup>2</sup> (10 x 3 m), seis por tratamento. Foi usado o delineamento em blocos casualizado. Para maior regularidade na distribuição das sementes, foi preparado um saco plástico contendo a quantidade de sementes de cada espécie para cada linha de plantio na parcela. Dentro de cada parcela, cada saco continha a mesma quantidade de sementes (Figura 2). As sementes dos sacos foram colocadas num balde e distribuídas manualmente nas linhas de plantio.



**Figura 2-** A- Exemplo de sementes separadas para alocação em campo, no tratamento com 7 espécies. B - Sementes separadas em balde para a semeadura em campo. Deste modo assegurou o rigor da densidade e arranjo de espécies por tratamento.

Em um ano de projeto foram necessárias atividades de manutenção visando o sucesso do processo de restauração florestal. Foram realizadas nos três primeiros meses após o plantio, cinco atividades de roçada e capina manual e uma aplicação com pulverizador costal de herbicida gramínicida pós-emergente (haloxifope-P-metílico) em locais de alta infestação por braquiária (*Urochloa* sp.) na concentração de 0,5 ml/l. Na capina manual, após a retirada das espécies indesejadas o material foi depositado nas entrelinhas de plantio.

### Análise de dados

Trinta, 150 dias e um ano após a semeadura, contamos, identificamos e medimos a altura e diâmetro a altura do solo de todas os indivíduos de árvores na linha central de cada uma das 24 parcelas. A altura foi medida do nível do solo até a última folha em sua posição natural, com uma régua ou fita métrica. O diâmetro a altura do solo (DAS) foi medido com um paquímetro digital. A área basal foi calculada através do diâmetro

(PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013) e a densidade foi definida como o número de indivíduos por hectare.

Calculou-se a densidade de indivíduos, a área basal da comunidade (soma das áreas basais individuais) e o DAS e a altura médios das plantas por parcela para comparar essas variáveis entre os tratamentos, um ano após a semeadura. Para avaliar se os arranjos de espécies impactaram a emergência e o crescimento individual das plantas, comparamos o DAS e a altura médios, bem como a densidade de plantas e a taxa de estabelecimento (número de plantas dividido pelo número de sementes viáveis semeadas multiplicadas por 100) entre os tratamentos para as espécies que se estabeleceram nos quatro tratamentos.

Compilamos os custos incorridos para (1) compra de sementes e (2) preparação do local, semeadura e manutenção ao longo do primeiro ano (Tabela 4). Calculamos os custos de maquinário e mão de obra registrando o tempo (em horas) gasto em cada implantação de campo ou atividade de manutenção, para o qual fixamos um valor de U\$ 28,7 por máquina-hora e U\$ 2,39 para cada homem-hora despendida nas atividades. Em seguida, calculamos o custo por hectare para cada tratamento. Não foi possível comparar os custos por hectare entre os tratamentos porque não houve variação nos custos entre as parcelas dentro de cada tratamento, mas mostramos e discutimos esses valores, uma vez que os custos são importantes para a tomada de decisão quanto à seleção e utilização de técnicas de restauração florestal. Dividimos o custo total da semeadura direta em cada parcela pelo número de plantas na parcela para gerar o custo por indivíduo estabelecido um ano após a semeadura (RAUPP et al 2020). Esses custos por indivíduo foram comparados entre os tratamentos. Os custos foram convertidos de Real para Dólar americano considerando a taxa de câmbio de R\$ 5,23 para cada U\$ 1,00, contabilizada no dia 20/07/2021.

Comparamos os tratamentos usando ANOVAs seguidas do teste *post hoc* de Tukey e incluindo a diferença dos blocos, uma vez que nossos dados foram linearizados e homogêneos. Foram analisados apenas os dados coletados um ano após a semeadura. Valores atípicos foram removidos quando necessário. Todas as análises estatísticas foram realizadas em R (R Core Team 2020).

**Tabela 4-** Custos de preparação do local, plantio, manutenção, compra de sementes nativas e custos totais diretos para restauração da Mata Atlântica, em Araras-SP, sudeste do Brasil.

| Atividades                                                 | Unidades     | Custos<br>Unitários<br>(US\$) | Unidades<br>Consumidas | Custos do<br>experimento<br>(2711 m²) |
|------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Controle de formigas                                       | Hora homem   | \$2,39                        | 4                      | \$9,56                                |
| Compra de formicida                                        | Kg           | 5,69                          | 0,5                    | \$2,85                                |
| Preparo do solo (aração e gradagem)                        | Hora máquina | \$28,7                        | 0,46                   | \$13,20                               |
| Enxada rotativa                                            | Hora máquina | \$28,7                        | 0,36                   | \$10,33                               |
| Atividades de semeadura direta de nativas e adubação verde | Hora homem   | \$2,39                        | 12                     | \$28,68                               |
| Controle de espécies invasoras                             | Hora homem   | \$2,39                        | 84                     | \$200,76                              |
| Herbicida pós emergente                                    | ml           | \$7,30                        | 0,25                   | \$1,83                                |
| Aplicação de herbicidas                                    | Hora homem   | \$2,39                        | 8                      | \$19,12                               |
| Compra de adubos verdes                                    | kg           | \$1,91                        | 6,7                    | \$12,80                               |
| Compra de sementes nativas                                 | kg           | \$26,66                       | 12,23                  | \$326,03                              |
| <b>Total de custos</b>                                     | -            | -                             | -                      | <b>\$625,16</b>                       |

## RESULTADOS

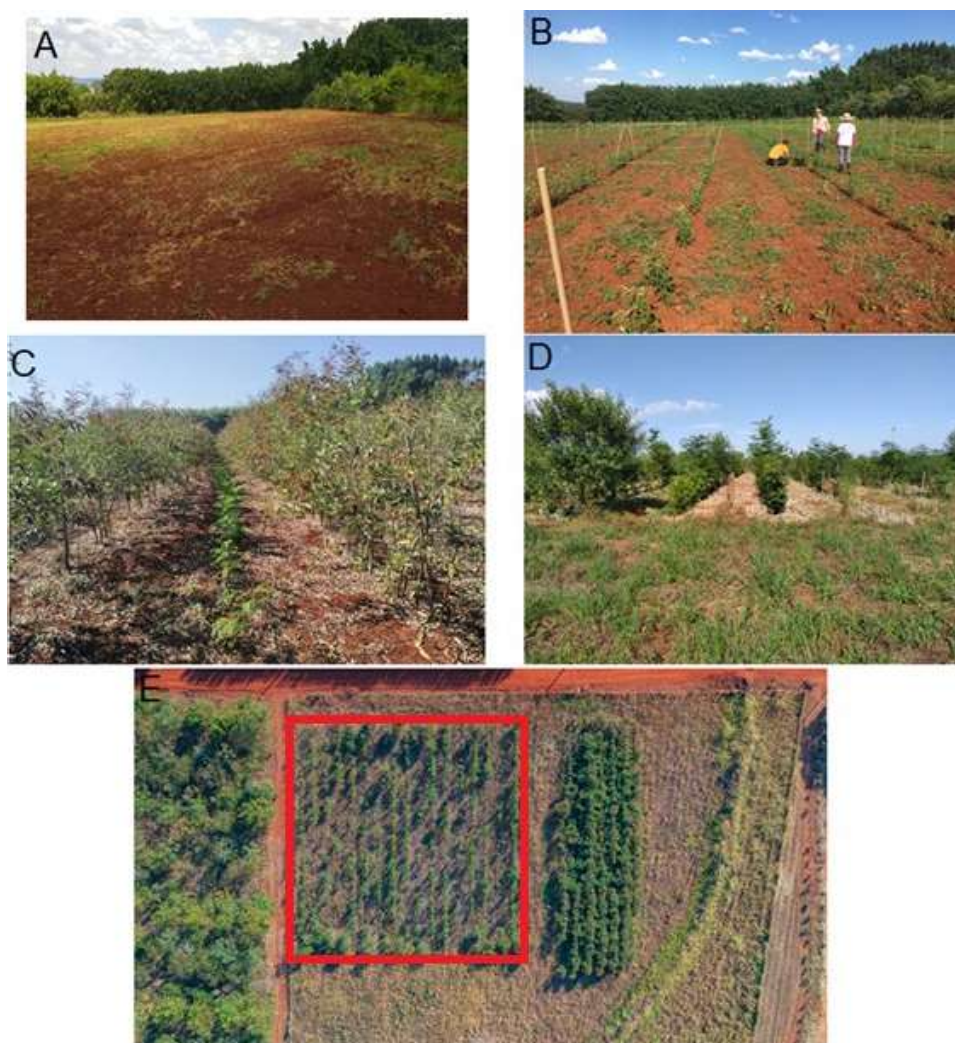
Monitoramos o projeto em três períodos, 30, 150 e 365 dias após a semeadura direta e os resultados analisados foram somente os do último monitoramento. No entanto, a Tabela 5 apresenta os dados obtidos parcialmente ao longo dos monitoramentos considerando DAS, altura, número de indivíduos por hectare e porcentagem de estabelecimento. Apenas duas espécies (*Genipa americana* e *Cordia sellowiana*) tinham indivíduos nas avaliações de 30 ou 150 dias, com baixas densidades, e depois estiveram ausentes no levantamento de um ano (Tabela 6).

**Tabela 5-** Todas as variáveis de desempenho das espécies do experimento de semeadura direta para Araras, sudeste do Brasil, 30 e 150 dias após a semeadura, considerando os seguintes indicadores: densidade das plantas (DAS) e altura, e porcentagem de estabelecimento (% Est.) e soma das áreas basais (Soma AB). 7 C: 21 e 29 espécies. \*\* nenhuma muda emergiu.

| Nome científico                    | 30 dias   |                      |             |       |         |           |                      | 150 dias |
|------------------------------------|-----------|----------------------|-------------|-------|---------|-----------|----------------------|----------|
|                                    | DAS (mm)  | Ind.ha <sup>-1</sup> | Altura (cm) | % Est | Soma AB | DAS (mm)  | Ind.ha <sup>-1</sup> |          |
| <i>Anadenanthera colubrina</i>     | 1,06±0,49 | 2458±1623,53         | 7,32±2,09   | 15,88 | 206,64  | 3,91±1,03 | 2347±1492,26         | 3        |
| <i>Apeiba tibourbou</i>            | **        | **                   | **          | **    | **      | 1,11      | 55                   | 1        |
| <i>Balfourodendron riedelianum</i> | **        | **                   | **          | **    | **      | 1         | 55                   | 1        |
| <i>Ceiba speciosa</i>              | 2,44±0,48 | 3203±1609,36         | 5,51±0,83   | 28,02 | 899,93  | 7,21±1,60 | 2629±1371,45         | 2        |
| <i>Cordia Sellowiana</i>           | 1         | 333                  | 1,5         | 0,73  | 0,78    | **        | **                   | 1        |
| <i>Enterolobium timboiua</i>       | 2,04±0,65 | 1960±1433,15         | 8,04±3,23   | 10,77 | 326     | 5,65±2,38 | 1347±1191,20,        | 3        |
| <i>Genipa americana</i>            | 0,1       | 333                  | 1           | 0,79  | 0,0078  | **        | **                   | 1        |
| <i>Jacaranda cuspidifolia</i>      | 0,25±0,26 | 2317,81±1069,31      | 2,00±0,46   | 21,69 | 25,26   | 2,43±0,71 | 2667±1318,54         | 1        |
| <i>Myracrodruon urundeuva</i>      | 0,37±0,48 | 2028±1604,64         | 2,35±0,50   | 10,05 | 44,41   | 2,15±0,80 | 1913±1460,65         | 1        |
| <i>Myroxylon peruiferum</i>        | **        | **                   | **          | **    | **      | **        | **                   | 1        |
| <i>Peltophorum dubium</i>          | 0,67±0,51 | 2981±1772,97         | 4,19±0,90   | 13,48 | 132,6   | 5,73±1,72 | 2753±1658,21         | 2        |

| Nome científico            | 30 dias     |                      |                |       |            |             |                      | 1 |
|----------------------------|-------------|----------------------|----------------|-------|------------|-------------|----------------------|---|
|                            | DAS<br>(mm) | Ind.ha <sup>-1</sup> | Altura<br>(cm) | % Est | Soma<br>AB | DAS<br>(mm) | Ind.ha <sup>-1</sup> |   |
| <i>Platpodium elegans</i>  | **          | **                   | **             | **    | **         | 1,42±0,38   | 3556±832,82          | 7 |
| <i>Psidium guajava</i>     | **          | **                   | **             | **    | **         | 0,59±0,11   | 381±125,98           | 3 |
| <i>Pterogyne nitens</i>    | 0,83±0,71   | 2370±1608,34         | 4,87±2,01      | 22,21 | 162,27     | 2,44±0,60   | 2407,4±1421,38       | 1 |
| <i>Sapindus saponaria</i>  | 1,86±0,62   | 2072±1210,04         | 7,54±1,00      | 8,55  | 632,39     | 2,45±0,48   | 6208±3346,08         | 1 |
| <i>Terminalia argentea</i> | **          | **                   | **             | **    | **         | 0,81±0,26   | 667±471,4            |   |
| <b>Média geral</b>         | 1,17±0,92   | 2378±1538,17         | 5,22±2,72      | 13,22 | 243,05     | 3,64±2,28   | 2730±2245,69         | 2 |
| <b>Total</b>               |             | 20.057               |                |       | 2430,56    |             | 27.544               |   |

Aos 365 dias, havia 1.610 indivíduos (Figura 3) na área de restauração, com taxa de estabelecimento de 9,84% e densidade de 21.666 indivíduos por hectare (Tabela 6). A taxa de estabelecimento por espécie variou de 0 a 60,64% e a densidade de 0 a 7.041,6 indivíduos por hectare (Tabela 7). A área basal média foi de 1,82 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, a altura média de 54,65 cm e a média aritmética do DAS de 7,75 mm por muda (Tabela 6). A altura e o diâmetro variaram consideravelmente entre as espécies (Tabela 7).



**Figura 3-** Área do experimento de semeadura direta. A) Área antes da semeadura direta, após o primeiro preparo de solo B) Área do experimento após 30 dias da semeadura direta, com as linhas de plantio de feijão guandu e parcelas. C) Experimento com 150 dias após a técnica de semeadura direta, onde é possível observar a linha de espécies arbóreas e a de feijão guandu. D) Experimento com 365 dias, ilustrado com as linhas de semeadura de espécies arbóreas. E) Sobrevoio da área em maio de 2021, com a área do projeto destacada em vermelho.

**Tabela 6** - Estabelecimento da comunidade arbórea, crescimento e variáveis de custo em arranjos de semeadura direta para restauração florestal, aos 365 dias após a semeadura, em Araras-SP. BA: área basal da comunidade (soma das áreas basais individuais). Os valores são a média do gráfico  $\pm$  erro padrão, exceto para o número de espécies, que é a riqueza geral por tratamento, custo por hectare e custo de compra de sementes por hectare, para o qual não há variação dentro dos tratamentos.

| Variáveis                                     | Tratamentos          |                      |                      |                      | Geral<br>(média ou total) |
|-----------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
|                                               | A (7 espécies)       | B (13)               | C (21)               | D (29)               |                           |
| Número de espécies                            | 5                    | 9                    | 11                   | 13                   | 13                        |
| Densidade (indivíduos.m <sup>-1</sup> )       | 8,20 $\pm$ 1,04      | 8,47 $\pm$ 2,33      | 5,57 $\pm$ 1,81      | 4,60 $\pm$ 1,03      | 6,71 $\pm$ 2,29           |
| Densidade (indivíduos.ha <sup>-1</sup> )      | 27.333 $\pm$ 3.470,5 | 25.333 $\pm$ 7.785,0 | 18.611 $\pm$ 6.056,8 | 15.388 $\pm$ 3.451,2 | 21.666 $\pm$ 7.636,8      |
| Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) | 2,37 $\pm$ 0,01      | 2,09 $\pm$ 0,01      | 1,29 $\pm$ 0,010     | 1,53 $\pm$ 0,010     | 1,82 $\pm$ 0,01           |
| DAS (mm)                                      | 7,89 $\pm$ 0,70      | 7,55 $\pm$ 1,47      | 7,76 $\pm$ 1,31      | 7,79 $\pm$ 1,93      | 7,75 $\pm$ 1,33           |
| Altura média (cm)                             | 58,30 $\pm$ 9,05     | 55,13 $\pm$ 8,49     | 53,99 $\pm$ 11,3     | 51,18 $\pm$ 10,55    | 54,65 $\pm$ 10,03         |
| Custo por indivíduo                           | US\$ 0,09 $\pm$ 0.01 | US\$ 0,08 $\pm$ 0.02 | US\$ 0,12 $\pm$ 0.05 | US\$ 0,15 $\pm$ 0.03 | US\$ 0,13 $\pm$ 0.04      |
| Custos da compra de sementes por hectare      | US\$ 1.325,79        | US\$ 1.216,15        | US\$ 1.135,91        | US\$ 1.118,16        | US\$ 1.202,71             |
| Custos por hectare                            | US\$ 2.429,12        | US\$ 2.319,48        | US\$ 2.239,24        | US\$ 2.221,49        | US\$ 2.306,03             |

**Tabela 7** - Desempenho de espécies arbóreas no experimento de semeadura direta para restauração d dias após a semeadura. Outras 16 espécies não tiveram plantas estabelecidas\*.

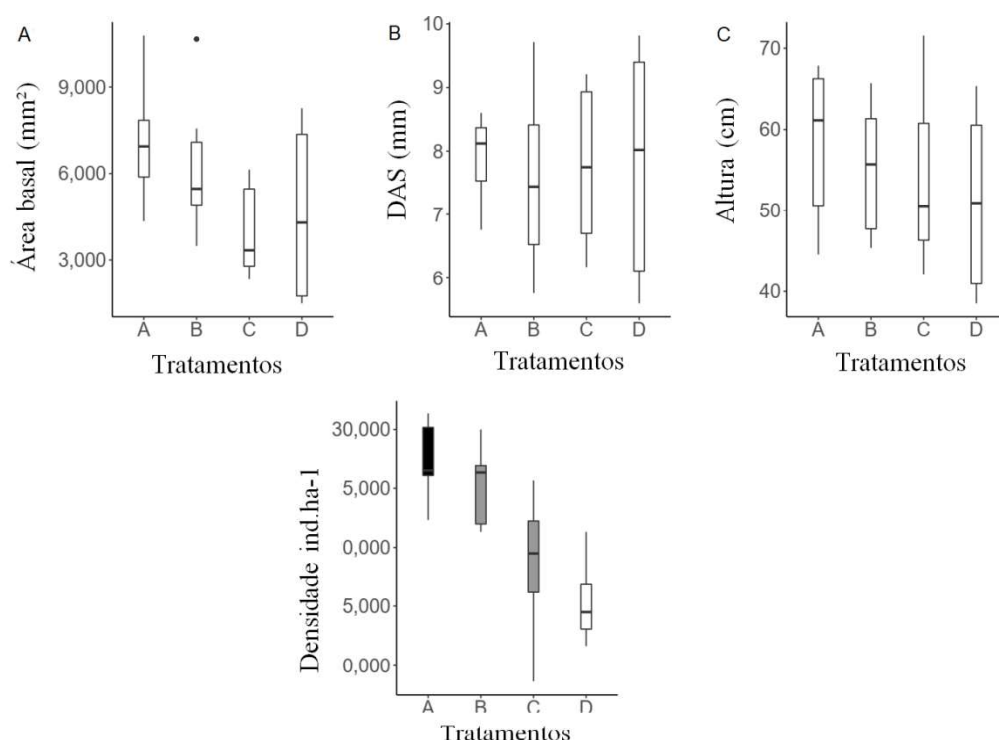
| Nome científico                                  | Densidade<br>(Indivíduos. M <sup>-1</sup> ) | Densidade<br>(Indivíduos. Há <sup>-1</sup> ) | Taxa de<br>estabelecimento<br>(%) | Altura<br>(cm) | DAS<br>(mm) |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------|
| <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan    | 0,23                                        | 2.250,00                                     | 19,38                             | 88,95          | 9,09        |
| <i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl. | 0,01                                        | 55,56                                        | 1,13                              | 8,20           | 1,30        |
| <i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna       | 0,20                                        | 2.018,52                                     | 25,22                             | 72,04          | 15,06       |
| <i>Enterolobium timbouva</i> Mart.               | 0,23                                        | 2.291,67                                     | 19,74                             | 66,29          | 6,83        |
| <i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.              | 0,25                                        | 2.518,52                                     | 31,47                             | 45,82          | 6,17        |
| <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão            | 0,16                                        | 1.611,11                                     | 13,88                             | 45,60          | 5,87        |
| <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.                 | 0,00                                        | 27,78                                        | 0,46                              | 11,50          | 1,77        |
| <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.).Taub         | 0,23                                        | 2.347,22                                     | 20,21                             | 110,60         | 19,05       |
| <i>Platypodium elegans</i> Vogel                 | 0,31                                        | 3.083,33                                     | 50,90                             | 27,54          | 3,27        |
| <i>Psidium guajava</i> L.                        | 0,01                                        | 55,56                                        | 0,92                              | 22,25          | 2,87        |
| <i>Pterogyne nitens</i> Tul.                     | 0,23                                        | 2.296,30                                     | 28,69                             | 49,61          | 6,33        |
| <i>Sapindus saponária</i> L.                     | 0,70                                        | 7.041,67                                     | 60,64                             | 30,61          | 4,36        |
| <i>Terminalia argentea</i> Mart.                 | 0,01                                        | 129,63                                       | 1,62                              | 16,99          | 1,95        |

\*espécies não estabelecidas: *Astronium graveolens* Jacq., *Solanum licocarpum* A.St.-Hil Ruiz & Pa., *Apeiba tibourbou* Aubl. *Maclura tinctoria* Burkart., *Citharexylum myrianthum* Cham., *Colubrina glandulosa* G.Perkins., *Cydistax antisiphilitica* (Mart.) Mart., *Schinus terebinthifolia* F Cham., *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms., *Genipa americana* L., *Helietta apiculata* Benth., *Zant*

Apenas 13 das 29 espécies semeadas se estabeleceram um ano após a semeadura (44%): cinco de sete no tratamento A (71,4%), nove de 13 no tratamento B (75%), 11 de 21 (53,9%) e 13 de 29 (44,8%). O elevado número de espécies sem plantas estabelecidas um ano após a semeadura, principalmente nos dois tratamentos mais ricos, reduziu a diferença de riqueza entre os tratamentos. Portanto, focamos em analisar as densidades de semeadura das espécies que se estabeleceram na restauração.

### Arranjo de espécies e estabelecimento inicial da comunidade

Embora tenhamos projetado o estabelecimento da mesma densidade de plantas em todos os arranjos, ela diferiu entre os tratamentos um ano após a semeadura, no entanto, não houve diferença na soma das áreas basais, altura média ou média aritmética de DAS (todos  $p > 0,05$ ; Figura 4). O tratamento A (7) apresentou a maior densidade (27.333 ind.ha<sup>-1</sup>) enquanto o tratamento D (29) apresentou a menor densidade (15.388 ind.ha<sup>-1</sup>;  $p < 0,001$ ;  $F = 9,71$ ; Figura 4).

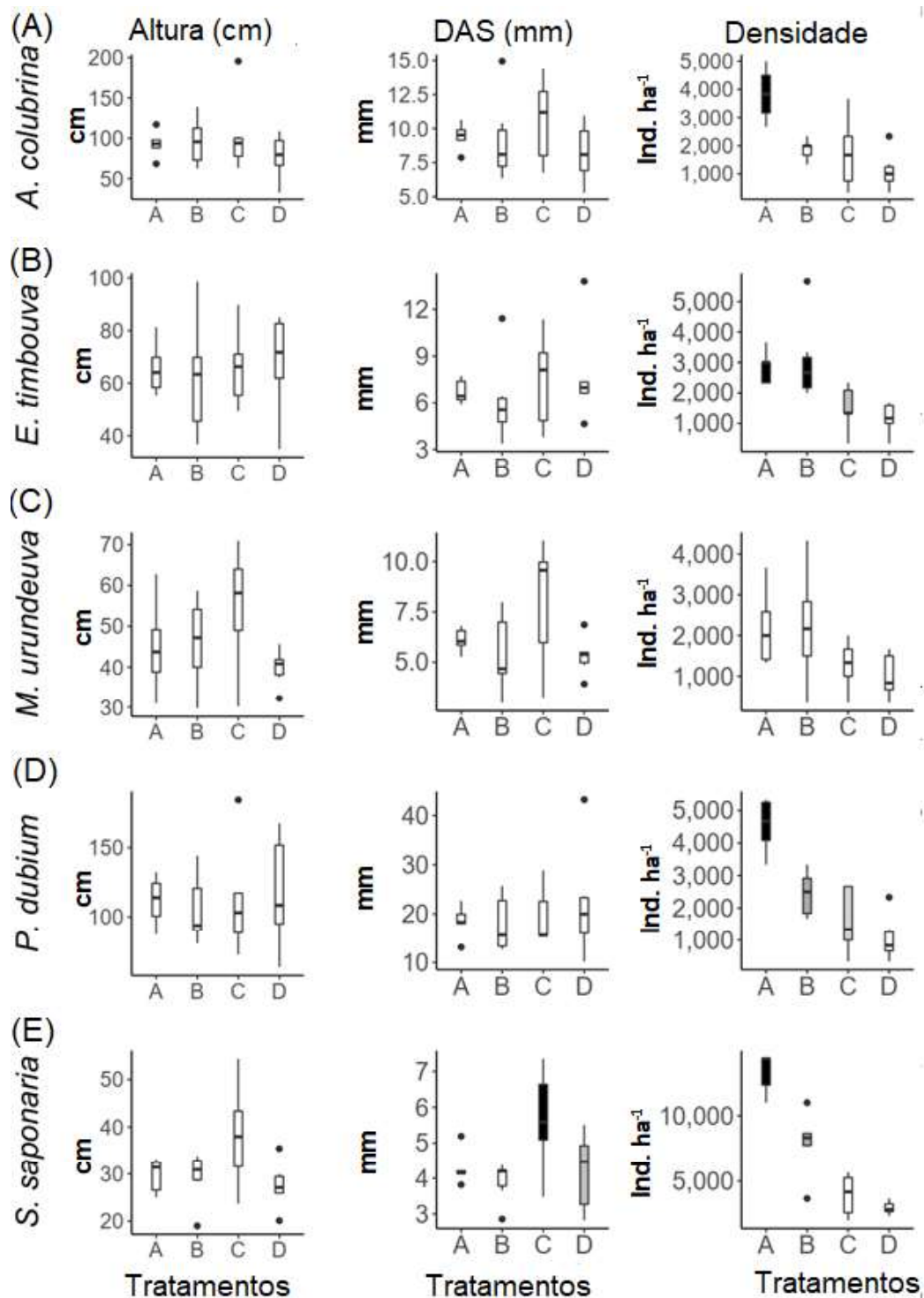


**Figura 4** – Parâmetros da comunidade arbórea, um ano após a semeadura direta em quatro tratamentos de arranjo de espécies (A: sete espécies, B: 13, C: 21 e 29 espécies): (A) soma das áreas basais, (B) diâmetro a altura do solo (DAS) e (C) altura e (D) densidade de indivíduos. As diferenças por meio do teste *post hoc* de Tukey ( $p < 0,05$ ) são representadas por cores diferentes.

## Desempenho das espécies

Cinco espécies apareceram em todos os tratamentos, um ano após a semeadura: *Anadenanthera colubrina*, *Enterolobium timbouva*, *Myracrodruon urundeuva*, *Peltophorum dubium* e *Sapindus saponaria*. Juntamente com *Ceiba speciosa*, *Jacaranda cuspidifolia*, *Pterogyne nitens* (arranjos B-D) e *Platypodium elegans* (C-D), essas nove espécies tiveram taxas de estabelecimento acima de 13% e densidades acima de 1.600 ind.ha<sup>-1</sup>.

No geral, as espécies não aumentaram a taxa de estabelecimento nem cresceram mais rápido quando as densidades de semeadura ou o número de espécies foram menores (Tabela 7). *Anadenanthera colubrina* e *Peltophorum dubium* apresentaram maior área basal ( $p = 0,005$ ,  $F = 5,79$ ) e densidade de plantas ( $p = 0,001$ ;  $F = 9,98$ , Figura 5) no tratamento A (7), respectivamente; *Enterolobium timbouva* apresentou maior densidade nos tratamentos A (7) e B (13) do que nos outros dois ( $p = 0,003$ ;  $F = 5,82$ ); e *Myracrodruon urundeuva* não apresentou diferenças entre os tratamentos (todos  $p > 0,05$ ). *Sapindus saponaria* apresentou maior densidade de plantas ( $p < 0,001$ ;  $F = 48,61$ ) e área basal ( $p < 0,001$ ;  $F = 12,40$ ) no tratamento A (7), enquanto o diâmetro de suas plantas foi maior para o tratamento C (21) seguido por D (29) ( $p = 0,02$ ;  $F = 3,88$ ), sendo esta a única das cinco espécies que reduziu o crescimento em maior densidade de semeadura.

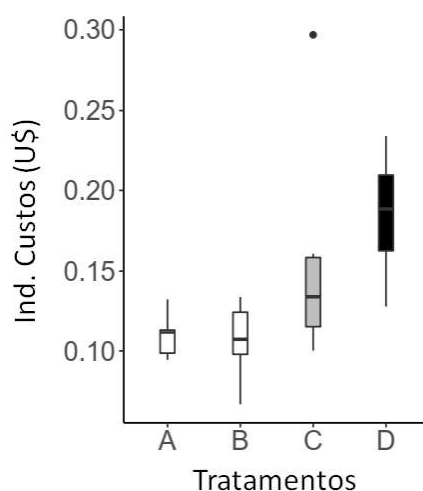


**Figura 5** - Altura, diâmetro a altura do solo e densidade (número de indivíduos por hectare) de *Anadenanthera colubrina* (A), *Enterolobium timbouva* (B), *Myracrodruon urundeuva* (C), *Peltophorum dubium* (D) e *Sapindus saponaria* (E) um ano após a semeadura direta, em diferentes arranjos de tratamentos (A: sete espécies, B: 13, C: 21 e 29 espécies).

### Custos da semeadura direta

A semeadura direta custou em média U\$ 2.306,03 por hectare (Tabela 6), dos quais 52% se referem à compra de sementes e 42% à preparação, semeadura e manutenção do local (Tabela 4). O custo de compra da semente variou de U\$ 1.118,16 a U\$ 1.325,79 por hectare entre os tratamentos (Tabela 6).

O custo total por hectare variou apenas 8,5% entre os tratamentos. O custo médio por indivíduo após um ano foi de U\$ 0,13, porém variou de U\$ 0,08 a U\$ 0,15 (87%), conforme o tratamento. O custo por indivíduo foi maior para D (29) (Figura 6) em comparação aos outros tratamentos, e variou muito entre as espécies, de U\$ 0,009 a U\$ 4,66 (Tabela 7).



**Figura 6-** Avaliação dos custos por indivíduo estabelecido (Ind.Custo) um ano após a semeadura direta em quatro tratamentos de arranjo de espécies (A: sete espécies, B: 13, C: 21 e 29 espécies). As diferenças por meio do teste *post hoc* de Tukey ( $p < 0,05$ ) são representadas por cores diferentes.

### DISCUSSÃO

Restringir o número de espécies e usar apenas espécies arbóreas com maiores taxas de estabelecimento e crescimento levou a um maior estabelecimento no campo e, consequentemente, a uma maior densidade de plantas na semeadura direta, como esperado (MELI et al., 2018). Várias espécies não tiveram plantas estabelecidas um ano após a semeadura nos tratamentos mais ricos, apenas 13 das 29 espécies emergiram, e a porcentagem de espécies sem plantas no campo foi maior para os dois arranjos mais ricos. Esses resultados corroboram com estudos anteriores, que mostram que quase metade das espécies semeadas podem não emergir (ENGEL; PARROTTA 2001; KNIGHT et al., 2013; SOUZA; ENGEL, 2018).

A redução da diferença na riqueza de espécies entre os tratamentos nos levou a analisar o papel da densidade de semeadura, que diminuiu do tratamento inferior para o mais rico, no estabelecimento e crescimento individual. Maior densidade de semeadura não resultou em um maior crescimento inicial da comunidade arbórea (ou seja, maior área basal da comunidade), nem em um menor crescimento das plantas (ou seja, diferenças na altura média e diâmetro entre as espécies que surgiram em todos os arranjos), provavelmente por causa da limitação de duração do experimento. Espera-se que a competição diminua o crescimento das plantas em parcelas com densidade mais alta, devido aos recursos limitados, mas apenas quando os indivíduos estiverem realmente compartilhando o espaço - provavelmente nos próximos anos. Diferenças foram encontradas entre as espécies; entretanto, as espécies em geral não variaram suas taxas de estabelecimento de acordo com a densidade de semeadura nem tiveram um crescimento maior quando a densidade de plantas foi menor. Esses resultados indicam que tanto a emergência quanto o crescimento no primeiro ano de semeadura direta não dependem da densidade (MELI et al., 2018).

Grande variação foi encontrada na taxa de estabelecimento e no crescimento no primeiro ano entre as espécies. Das 13 espécies estabelecidas, oito (*Anadenanthera colubrina*, *Enterolobium timbouva*, *Pterogyne nitens*, *Peltophorum dubium*, *Sapindus saponaria*, *Ceiba speciosa*, *Jacaranda cuspidifolia* e *Platypodium elegans*), tiveram taxas de estabelecimento de médio a muito alto (acima de 19%), e mais de 2.000 plantas por hectare um ano após a semeadura. Sete dessas espécies também estão entre as oito primeiras em diâmetro ou altura e podem ser definidas como espécies de bom desempenho para semeadura direta na Mata Atlântica, combinando alta taxa de estabelecimento e rápido crescimento. Além disso, a taxa média de estabelecimento de 9,8% é superior aos 2% esperados, resultando em alta densidade de indivíduos em todos os tratamentos (de 15.300 a 27.300 plantas por hectare, e de 4,6 a 8,5 indivíduos por metro linear). Essas taxas de estabelecimento e densidade de indivíduos são maiores do que aquelas encontradas ou preconizadas por semeadura direta para iniciativas de restauração florestal (ENGEL; PARROTTA 2001; MELI et al., 2018; SOUZA; ENGEL, 2018) e muito maiores do que as 3.000 mudas em regeneração esperadas para a Mata Atlântica, em áreas de restauração (CHAVES et al., 2015; VIANI et al., 2017). Isso sugere que algum grau de desbaste natural ainda ocorrerá na área, especialmente porque as plantas estão concentradas em linhas. Na semeadura direta em áreas de floresta, densidades de

árvores maiores que 3.000 indivíduos.ha<sup>-1</sup> causam competição por recursos, aumentam a mortalidade e reduzem o crescimento individual (MELI et al., 2018). Isso reforça a importância do conhecimento sobre o desempenho das espécies arbóreas na semeadura direta (SANTOS JÚNIOR et al., 2004; COLE et al., 2011; SOUZA; ENGEL 2018) e do ajuste da distribuição das sementes e, conseqüentemente, das plantas no campo para otimizar a semeadura direta para fins de restauração florestal.

Embora não possamos inferir os motivos da falha de muitas espécies em se estabelecer em nossa área de restauração, essas ausências representam perdas e custos da técnica. Esses resultados enfatizam, novamente, que obter conhecimento para prever eficazmente o desempenho das espécies no campo na semeadura direta não é apenas necessário para uma melhor seleção das espécies arbóreas, mas também para evitar o estabelecimento muito baixo (SOUZA; ENGEL, 2018) ou mesmo densidades de semeadura muito altas. Esse conhecimento deve ser gerado com base em dados de campo, uma vez que a emergência e o crescimento em estufas frequentemente deixam de representar as condições em que a semeadura é feita (PELLIZZARO et al., 2017).

Ainda há um debate se a introdução de apenas algumas espécies de árvores, geralmente de crescimento rápido, sombreamento e/ou espécies estruturais (*framework species*) é suficiente para a restauração ativa da floresta tropical (ALMEIDA; VIANI 2019; BOESCHOTEN et al., 2021; GUERIN et al., 2021). Se o objetivo da restauração é ser o gatilho que cria rapidamente uma cobertura florestal para suprimir ervas invasoras, como gramíneas (ALMEIDA; VIANI 2019), e a partir disso outros processos ocorreriam de forma natural na área, então nossos resultados mostram que a seleção e semeadura de apenas espécies de bom desempenho podem, em menos tempo, atingir esse objetivo. Por exemplo, se tivéssemos semeado apenas as oito espécies de maiores taxas de estabelecimento mencionadas acima, numa densidade de semeadura igual por espécie e tendo como objetivo ter no total 3.000 ind.ha<sup>-1</sup> após um ano (375 mudas por espécie), semearíamos 15.167 ind.ha<sup>-1</sup>, a um custo de US\$ 0,03 por indivíduo estabelecido, e um custo global de US\$ 1.212,67 por hectare. Isso reduziria 53% do nosso custo médio de semeadura direta e seria inferior aos US\$ 1.754,48 relatados como o custo geral para semeadura direta no Brasil (BRANCALION et al., 2019). Embora este seja um exemplo hipotético, achamos que é plausível, uma vez que não encontramos nenhum efeito do arranjo de espécies na emergência de plântulas ou no crescimento inicial das espécies. Além disso, como espécies de bom desempenho geralmente germinam e crescem

rapidamente no campo, essas espécies podem tornar a restauração por meio de semeadura direta mais previsível, permitindo a antecipação de falhas e ações de manejo adaptativas mais rápidas (MELI et al., 2018).

Os dados de campo de nosso estudo preenchem uma lacuna de custos diretos de semeadura para a Mata Atlântica no Brasil (BRANCALION et al., 2019). Além disso, mostra que a semeadura direta pode não ser tão barata como relatado em outros estudos e regiões (ENGEL; PARROTA 2001; BRANCALION et al., 2019, RAUPP et al., 2020) e sendo semelhante ao plantio de árvores em alguns contextos (BRANCALION et al., 2019). Mas dois pontos importantes são destacados. Em primeiro lugar, o custo das sementes é uma parte importante do custo da semeadura direta (52%), sendo superior até mesmo aos custos relacionados a preparo, semeadura e manutenção do local (48%). Estudos anteriores reafirmam ao encontrado nesta pesquisa, custos com sementes é superior aos custos de implantação e manutenção na semeadura direta (BRANCALION et al., 2019). Defendemos que é preciso contabilizar precisamente esses custos, também para encontrar opções de menor custo de plantio e manutenção pós-plantio da semeadura direta, considerando o controle de espécies indesejáveis, que geralmente depende de capina manual onerosa e com grande demanda de mão de obra (GRACE; FORD, 1996; CAMPOS-FILHO et al., 2013; HE; SILLIMAN 2015; KLIPPEL et al., 2015).

Um erro frequente é avaliar o custo da semeadura direta desconsiderando o custo por hectare, e analisar apenas o custo por indivíduo (COLE et al., 2011, CAMPOS-FILHO et al., 2013). Nosso custo de semeadura direta por indivíduo foi de U\$ 0,13, que é apenas 3,5% do custo médio por muda de árvore no método convencional de plantio de mudas na Mata Atlântica (RODRIGUES et al., 2011). De fato, esse custo é bem menor na semeadura direta mesmo quando consideramos nosso maior custo por indivíduo (U\$ 0,15). No entanto, o custo médio de U\$ 2.306,03 por hectare de nossa semeadura direta foi muito semelhante ao custo por hectare de plantio de mudas de árvores (BRANCALION et al., 2019), pois a densidade de plantas em nosso experimento um ano após a semeadura é aproximadamente 13 vezes do 1.667 que é usualmente encontrado para plantio de árvores (RODRIGUES et al., 2011). Além disso, o custo individual por indivíduo estabelecido na semeadura direta em nosso experimento tende a aumentar com o tempo, pois o desbaste natural deve diminuir a densidade individual. Assim, um baixo custo por indivíduo estabelecido é possível de ser obtido com um alto custo por hectare, se houver alta densidade de plantas em decorrência de altas densidades de semeadura.

Portanto, sozinho, deve ser visto de forma cautelosa como um indicador do custo da semeadura.

Nossos resultados indicam que a semeadura direta para restauração florestal é viável se concentrada em espécies arbóreas de bom desempenho, ou seja, com altas taxas de estabelecimento no campo, o que pode tornar a semeadura direta mais barata, mas não tão barata como relatado anteriormente em outras iniciativas (ENGEL; PARROTTA 2001; SOUZA; ENGEL 2018; BRANCALION et al., 2019). Para promover uma restauração de precisão no próximo século (CASTRO et al., 2021), um caminho para a ampla utilização da semeadura direta é continuar ganhando conhecimento sobre o desempenho das espécies e sobre os fatores que controlam o estabelecimento e o crescimento destas no campo, que contribuirão para uma melhor seleção de espécies e para encontrar as densidades de semeadura ideais, equilibrando os custos de compra de sementes com a densidade de plantas.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em nosso estudo foi possível inferir que a maior densidade de semeadura direta resulta em maior densidade de indivíduos, mas não afeta o crescimento geral da floresta após um ano. Identificamos que os custos de plantio e manutenção da semeadura direta é menor do que os custos com a compra de sementes. Observamos que tanto o custo por indivíduo estabelecido quanto por hectare devem ser contabilizados nas iniciativas de semeadura direta, pois podemos ter baixos custos por indivíduo estabelecido com um alto custo por hectare, dependendo da densidade de semeadura por espécies. Por fim, ressaltamos que a seleção de espécies com maiores taxas de estabelecimento inicial pode reduzir custos e melhorar a eficiência da semeadura direta na restauração da Mata Atlântica e outros ecossistemas florestais.

Podemos considerar também que o plantio em linhas pode ser realizado em uma densidade inferior a utilizada nesta pesquisa, evitando assim uma futura competição por ambiente ou necessidade de desbastes de indivíduos arbóreos nas atividades de manutenção. Essa condição nos levar a refletir sobre o fator de estabelecimento único para todas as espécies de 2% utilizado nessa pesquisa, sendo um valor conservador e podendo ser redesenhado em projetos futuras com semeadura direta utilizando um fator de estabelecimento individual por espécie, gerado a partir de estudos como este. Assim é

possível determinar uma quantidade de sementes próxima de uma densidade ótima de indivíduos na área e, conseqüentemente, reduzir o custo com compras de sementes e, por fim, o custo da semeadura direta na restauração da Mata Atlântica.

## REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, A.G., LIMA, J.T., TEIXEIRA, J., GANDOLFI, S., (2015). **Potencial da semeadura direta na restauração florestal de pastagem abandonada no município de Piracaia, SP, Brasil.** Hoehnea 42, 629–640.
- ALMEIDA, C. DE & VIANI, R.A.G., (2020) **Espécies arbóreas plantadas na restauração da Mata Atlântica.** Laboratório de Silvicultura e Pesquisas Florestais, LASPEF-UFSCar. 2020. Data center <https://laspef.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Almeida-e-Viani-2020-especies-plantadas-na-restauracao-Mata-Atlantica.pdf>. (acessado 10/06/2020).
- ALMEIDA, C. DE, VIANI, R.A.G., (2019). **Selection of shade trees in forest restoration plantings should not be based on crown tree architecture alone.** Restor. Ecol. 27, 832–839.
- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., DE MORAES GONÇALVES, J.L., SPAROVEK, G., (2013). **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorol. Z. 22, 711–728.
- ARAKI, D. F. (2005) **Avaliação da semeadura a lanço de espécies florestais nativas para recuperação de áreas degradadas.** Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 19 maio 2005.
- BALANDIER, P., FROCHOT, H., SOURISSEAU, A., (2009). **Improvement of direct tree seeding with cover crops in afforestation: Microclimate and resource availability induced by vegetation composition.** For. Ecol. Manag. 257, 1716–1724.
- BENINI, R. de M.; LENTI, F. E. B.; TYMUS, J. R. C.; SILVA, A. P. M. da; ISERNHAGEN, I. (2017). **Custos de restauração da vegetação nativa no Brasil.** Bilíngue IN: BENINI, R. de M.; ADEODATO, S. Economia da restauração florestal = Forest restoration economy. São Paulo: The Nature Conservation. p. 20-37.
- BOESCHOTEN, L.E., VAN BREUGEL, M., BAILON, M., BALBUENA, J., NUÑEZ, M., CEREZO, A., HALL, J.S., (2021). **Framework Species Approach Proves Robust in Restoring Forest on Fire Prone Invasive Grass: A Case Study from Panama.** J. Sustain. For. 40, 197–215.
- BRANCALION, P.H.S., MELI, P., TYMUS, J.R.C., LENTI, F.E.B., M. BENINI, R., SILVA, A.P.M., ISERNHAGEN, I., HOLL, K.D., (2019). **What makes ecosystem restoration expensive? A systematic cost assessment of projects in Brazil.** Biol. Conserv. 240, 108274.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECURARIA E ABASTECIMENTO – MAPA (2018). **Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/ultimas-noticias/1495-car-sera-obrigatorio-a-partir-de-01-01-2019>.** (Acessado em 08 de junho 2019).
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECURARIA E ABASTECIMENTO – MAPA., (2009) **Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura,**

**Pecuária e Abastecimento.** Secretaria de Defesa Agropecuária. –Brasília; Mapa/ACS,.399 p.

CADOTTE, M.W., CARSCADDEN, K., MIROTCNICK, N., (2011). **Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services.** J. Appl. Ecol. 48, 1079–1087.

CAMPOS-FILHO, E.M., DA COSTA, J.N.M.N., DE SOUSA, O.L., JUNQUEIRA, R.G.P., (2013). **Mechanized Direct-Seeding of Native Forests in Xingu, Central Brazil.** J. Sustain. For. 32, 702–727.

CASTRO, J., MORALES-RUEDA, F., NAVARRO, F.B., LÖF, M., VACCHIANO, G., ALCARAZ-SEGURA, D., (2021). **Precision restoration: a necessary approach to foster forest recovery in the 21st century.** Restor. Ecol. n/a, e13421.

CECCON, E., GONZÁLEZ, E.J., MARTORELL, C., (2016). **Is Direct Seeding a Biologically Viable Strategy for Restoring Forest Ecosystems? Evidences from a Meta-analysis.** Land Degrad. Dev. 27, 511–520.

CHAVES, R.B., DURIGAN, G., BRANCALION, P.H.S., ARONSON, J., (2015). **On the need of legal frameworks for assessing restoration projects success: new perspectives from São Paulo state (Brazil).** Restor. Ecol. 23, 754–759.

CICCARESE, L., MATTSSON, A., PETTENELLA, D., (2012). **Ecosystem services from forest restoration: thinking ahead.** New For. 43, 543–560.

COLE, R., HOLL, K., KEENE, C.L., ZAHAWI, R., (2011). **Direct seeding of late-successional trees to restore tropical montane forest.** For. Ecol. Manag. - For. ECOL MANAGE 261, 1590–1597.

ENGEL, V.L., PARROTTA, J.A., (2001). **An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil.** For. Ecol. Manag. 152, 169–181.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO (2019). Dados acessados: <https://nacoesunidas.org/onu-declara-decada-sobre-restauracao-de-ecossistemas>. (Acessado 05 Maio 2019).

FREITAS, M.G., RODRIGUES, S.B., CAMPOS-FILHO, E.M., DO CARMO, G.H.P., DA VEIGA, J.M., JUNQUEIRA, R.G.P., VIEIRA, D.L.M., (2019). **Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years.** For. Ecol. Manag. 438, 224–232.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA (2020) <https://www.sosma.org.br/noticias/desmatamento-na-mata-atlantica-cresce-quase-30/> (Acessado 10 de junho 2020).

GRACE, J.B., FORD, M.A., (1996). **The potential impact of herbivores on the susceptibility of the marsh plant *Sagittaria lancifolia* to saltwater intrusion in coastal wetlands.** Estuaries 19, 13–20.

GUERIN, N., MENDES, F.B.G., CIANCIARUSO, M.V., SUGANUMA, M.S., DURIGAN, G., (2021). **Pure or mixed plantings equally enhance the recovery of the Atlantic forest.** For. Ecol. Manag. 484, 118932.

HE, Q., SILLIMAN, B.R., (2015). **Biogeographic consequences of nutrient enrichment for plant–herbivore interactions in coastal wetlands.** Ecol. Lett. 18, 462–471.

HÜLLER, A., COELHO, G.C., MENEGHELLO, G.E., PESKE, S.T., HÜLLER, A., COELHO, G.C., MENEGHELLO, G.E., PESKE, S.T., (2017). **Evaluation of direct seeding and seedling planting of two neotropical tree species with the use of natural inputs.** Rev. Árvore 41. (4).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Ed.), (2012). **Manual técnico da vegetação brasileira, 2ª edição revista e ampliada.** ed, Manuais técnicos em geociências. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, Rio de Janeiro.

ISERNHAGEN, I. (2010). **Uso de semeadura direta de espécies arbóreas nativas para a restauração florestal de áreas agrícolas, sudeste do Brasil.** Piracicaba, Tese doutorado 105 p. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

JESUS, J.B. DE, FERREIRA, R.A., GAMA, D.C., GOES, J.H.A. DE, (2017). **Estabelecimento de Espécies Florestais Nativas Via Semeadura Direta no Rio Piauitinga - Sergipe.** Floresta E Ambiente 24.

KLIPPEL, V.H., PEZZOPANE, J.E.M., SILVA, G.F. DA, CALDEIRA, M.V.W., PIMENTA, L.R., TOLEDO, J.V., (2015). **Avaliação de métodos de restauração florestal de mata de tabuleiros-es.** Rev. Árvore 39, 69–79.

KNIGHT, A.J.P., BEALE, P.E., DALTON, G.S., (2013). **Direct seeding of native trees and shrubs in low rainfall areas and on non-wetting sands in South Australia.** Agrofor. Syst. 39, 225.

LAUGHLIN, D.C., (2014). **Applying trait-based models to achieve functional targets for theory-driven ecological restoration.** Ecol. Lett. 17, 771–784.

MELI, P., ISERNHAGEN, I., BRANCALION, P.H.S., ISERNHAGEN, E.C.C., BEHLING, M., RODRIGUES, R.R., (2018). **Optimizing seeding density of fast-growing native trees for restoring the Brazilian Atlantic Forest: Optimizing seeding density in forest restoration.** Restor. Ecol. 26, 212–219.

MENDES, L.M., CÉSAR, R.G., UEZU, A., BELTRAME, T.P., RODRIGUEZ, L.C.E., GOMES, H.B., CULLEN, L., (2021). **Large canopy and animal-dispersed species facilitate natural regeneration in tropical forest restoration.** Restor. Ecol. 29, e13406.

MENEGHELLO, G.E., MATTEI, V.L., (2004). **Semeadura direta de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), canafistula (*Peltophorum dubium*) e cedro (*Cedrela fissilis*) em campos abandonados.** Ciênc. Florest. 14, 21.

MOUILLOT, D., BELLWOOD, D.R., BARALOTO, C., CHAVE, J., GALZIN, R., HARMELIN-VIVIEN, M., KULBICKI, M., LAVERGNE, S., LAVOREL, S., MOUQUET, N., PAINE, C.E.T., RENAUD, J., THUILLER, W., (2013). **Rare Species Support Vulnerable Functions in High-Diversity Ecosystems**. PLOS Biol. 11, e1001569.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, ONU (2020). site. <https://www.unenvironment.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/pnuma-recebe-sugestoes-para-decada-de-restauracao-de-ecossistemas-datada-de-03/03/2020>. acessado em 17/11/2020.

PALMA, A.C., LAURANCE, S.G.W., (2015). **A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go?** Appl. Veg. Sci. 18, 561–568.

PELLIZZARO, K., CORDEIRO, A., ALVES, M., MOTTA, C., REZENDE, G., SILVA, R., RIBEIRO, J., SAMPAIO, A., VIEIRA, D., SCHMIDT, I., (2017). **“Cerrado” restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species**. Braz. J. Bot. 40.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., DÍAZ, S., GARNIER, E., LAVOREL, S., POORTER, H., JAUREGUIBERRY, P., BRET-HARTE, M.S., CORNWELL, W.K., CRAINE, J.M., GURVICH, D.E., URCELAY, C., VENEKLAAS, E.J., REICH, P.B., WRIGHT, I.J., RAY, P., ENRICO, L., PAUSAS, J.G., DE VOS, A.C., BUCHMANN, N., FUNES, G., QUÉTIER, F., HODGSON, J.G., THOMPSON, K., MORGAN, H.D., TER STEEGE, H., VAN DER HEIJDEN, M.G.A., SACK, L., BLONDER, B., POSCHLOD, P., VAIERETTI, M.V., CONTI, G., STAYER, A.C., AQUINO, S., CORNELISSEN, H.C. 2013. **New handbook for standardized measurement of plant functional traits worldwide**. Aust. J. Bot. 61: 167-234.

RAUPP, P.P., FERREIRA, M.C., ALVES, M., CAMPOS-FILHO, E.M., SARTORELLI, P.A.R., CONSOLARO, H.N., VIEIRA, D.L.M., (2020). **Direct seeding reduces the costs of tree planting for forest and savanna restoration**. Ecol. Eng. 148, 105788.

REIS, L.K., GUERRA, A., COLADO, M.L.Z., BORGES, F.L.G., OLIVEIRA, M. DA R., GONDIM, E.X., SINANI, T.R.F., GUERIN, N., GARCIA, L.C., (2019). **Which spatial arrangement of green manure is able to reduce herbivory and invasion of exotic grasses in native species?** Ecol. Appl. 29.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. (2009). **On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest**. Biological Conservation, Essex, v. 142, n.6, p. 1242-1251.

RODRIGUES, R.R., GANDOLFI, S., NAVE, A.G., ARONSON, J., BARRETO, T.E., VIDAL, C.Y., BRANCALION, P.H.S., (2011). **Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil**. For. Ecol. Manag., The Ecology and Ecosystem Services of Native Trees: Implications for Reforestation and Land Restoration in Mesoamerica 261, 1605–1613.

SANTOS JÚNIOR, N.A., BOTELHO, S.A., DAVIDE, A.C., (2004). **Estudo da germinação e sobrevivência de espécies arbóreas em sistema de semeadura direta, visando à recomposição de mata ciliar.** Cerne, Lavras, v. 10, n. 1, p. 103-117, jan./jun. 2004.

SANTOS, P.L., FERREIRA, R.A., ARAGÃO, A.G. DE, AMARAL, L.A., OLIVEIRA, A.S., (2012). **Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de semeadura direta para recuperação de áreas degradadas.** Rev. Árvore 36, 237–245.

SOARES-FILHO, B., RAJAO, R., MACEDO, M., CARNEIRO, A., COSTA, W., COE, M., RODRIGUES, H., ALENCAR, A., (2014). **Cracking Brazil's Forest Code.** Science 344, 363–364.

SOUZA, D.C. DE, ENGEL, V.L., (2018). **Direct seeding reduces costs, but it is not promising for restoring tropical seasonal forests.** Ecol. Eng. 116, 35–44.

TUNJAI, P., ELLIOTT, S., (2012). **Effects of seed traits on the success of direct seeding for restoring southern Thailand's lowland evergreen forest ecosystem.** New For. 43, 319–333.

VAN RAJI, B.; DE ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais.** Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 285 p., 2001.

VIANI, R.A.G., HOLL, K.D., PADOVEZI, A., STRASSBURG, B.B.N., FARAH, F.T., GARCIA, L.C., CHAVES, R.B., RODRIGUES, R.R., BRANCALION, P.H.S., (2017). **Protocol for Monitoring Tropical Forest Restoration: Perspectives from the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil.** Trop. Conserv. Sci. 10.

YOSHIDA, F. A.; STOLF, R. (2016) **Maapeamento digital de atributos e classes de solos da UFSCar- Araras/SP.** Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente, v. 3, n. 1, p. 1–11.