

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "LUIZ DE QUEIROZ"

Otimizando plantios de restauração florestal com alta diversidade: estratégias para inserir espécies arbóreas de crescimento lento

Aline Beatriz Seriani Chiarotto

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração Recursos
Florestais

Piracicaba
2023

Aline Beatriz Seriani Chiarotto
Ciências Biológicas – Licenciatura

Otimizando plantios de restauração florestal com alta diversidade: estratégias para inserir espécies arbóreas de crescimento lento

Orientador: Pro. Dr. **RICARDO AUGUSTO GORNE VIANI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Recursos
Florestais

Piracicaba
(2023)

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

Chiarotto, Aline Beatriz Seriani

Otimizando plantios de restauração florestal com alta diversidade: estratégias para inserir espécies arbóreas de crescimento lento/ Aline Beatriz Seriani Chiarotto. - - Piracicaba, 2023.

44 p.

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

1. Restauração ecológica 2. Espécies não pioneiras 3. Ritmo de crescimento 4. Grupos sucessionais. I. Título: Otimizando plantios de restauração florestal com alta diversidade: estratégias para inserir espécies arbóreas de crescimento lento.

A minha mãe, Maria, por mais essa conquista.
A todas as meninas e mulheres na ciência.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todo conhecimento, possibilidades e caminhos que me trouxeram até aqui.

Agradeço a comunidade científica que contribui com a restauração de florestas, que cada vez mais tem crescido e impactado o planeta e os seres vivos que nela habitam. Fazer parte dessa mudança, é algo incrível e me sinto completamente lisonjeada de contribuir com as ações de recuperação de ecossistemas.

Agradeço minha ex – professora Érica Hasui, que foi muito importante para que eu despertasse meu interesse pela pesquisa científica, sempre me incentivou a trilhar os caminhos da restauração florestal.

Meu muito obrigado ao Prof. Dr. Ricardo Viani, pela paciência, empatia e ensinamentos. Obrigada pela excelente orientação e estar sempre a disposição em todas as minhas (muitas) dúvidas, acreditar em minha capacidade e ser sempre muito atencioso e generoso comigo.

Ao Programa de Pós Graduação em Recursos Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, por oferecerem um programa de alta qualidade com profissionais extremamente qualificados e por todo aperfeiçoamento ofertados durante todos esses anos. Agradeço aos meus colegas de pós-graduação da turma de 2021 que sempre me ajudaram a romper as barreiras que o mestrado apresenta.

Agradeço a CAPES, Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de nível superior, pelo apoio financeiro e incentivo a pesquisa.

Agradeço aos meus colegas do Laspef, Laboratório de Silvicultura e Florestas, a toda equipe da Seção Agrícola e de Área Verdes da UFSCar – Araras, SP e a Universidade Federal de São Carlos, onde o experimento foi implantado e ao CePE- Geo, Centro de Pesquisa e Extensão

em Geotecnologias da UFSCar Lagoa do Sino. Sou imensamente grata por toda ajuda, colaboração, risadas e cafezinhos ao final das coletas de dados, sem vocês esse projeto não seria possível.

À banca examinadora de qualificação Dra. Thais Haddad, Dra. Cristina Yuri Vidal e Dra. Marina Mello Duarte pela disposição em contribuir com meu trabalho. Também a banca examinadora de defesa Dra. Thais Mazzafera Haddad, Prof. Dra. Natália Guerin (titulares), Prof. Dr. Marcos Bergamann Carlucci, Prof. Dra. Débora Cristina Rother e Dra. Rafaela Pereira Naves (suplentes) pela disponibilidade.

Agradecimento especial ao meu companheiro Vinícius Paccini, por todo apoio, incentivo, paciência e cuidado.

Agradeço a minha família, em especial minha mãe Maria Seriani, que sempre acreditou em mim e nos meus sonhos, me incentivando a romper barreiras e conquistar sempre mais. Aos meus amigos, que sempre se fizeram presentes e me ajudaram em todos os momentos, dividiram risos e choros, em especial Theodoro Barbosa e Crislaine de Almeida, obrigada por todo carinho.

Deixo meu último agradecimento a todos que estiveram presentes, mesmo a distância, desse sonho que hoje se concretiza.

“Aqueles que passam por nós não vão sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós”
Antoine de Saint-Exupéry.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE TABELAS	13
1. INTRODUÇÃO	14
OBJETIVOS	17
1.1. OBJETIVO GERAL	17
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. MATERIAL E MÉTODOS	18
2.1. ÁREA DE ESTUDO	18
2.2. ESPÉCIES UTILIZADAS	18
2.3. IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	19
2.4. COLETA DE DADOS	22
2.5. ANÁLISE DOS DADOS	24
3. RESULTADOS	25
4. DISCUSSÃO	31
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	35

RESUMO

Otimizando plantios de restauração florestal com alta diversidade: estratégias para inserir espécies arbóreas de crescimento lento

A restauração de florestas tropicais visa reverter áreas degradadas em florestas biodiversas e funcionais. Porém, plantios de restauração frequentemente usam poucas espécies arbóreas, majoritariamente de rápido crescimento, subutilizando ou negligenciando as demais espécies. Existem argumentos favoráveis para se priorizar rápido crescimento e também para se agregar diversidade à restauração florestal, porém há supostamente uma demanda conflitante entre ambos, já que quanto mais diverso um plantio, mais indivíduos de crescimento lento são plantados e menor seria o crescimento inicial da comunidade implantada. O objetivo deste estudo foi de comparar indicadores iniciais de estrutura da vegetação arbórea em plantios de restauração com a mesma riqueza, mas que variaram a distribuição das abundâncias entre espécies de árvore de crescimento rápido e lento. Mensuramos aos três, 13 e 20 meses, a área basal, a altura das árvores, o recobrimento do solo por copas e o crescimento individual em altura e diâmetro ao nível do solo das árvores em seis tratamentos (logístico positivo e negativo, exponencial positivo e negativo, linear e igualitário), todos com 24 espécies, mas com variações na abundância de cada espécie, em função de um *ranking* de ritmo de crescimento, elaborado considerando dados secundários de incremento anual de DAS. Submetemos os resultados à análise em modelo linear generalizado e regressão linear para avaliar as diferenças significativas ($p < 0,05$). Os resultados mostraram que a sobrevivência geral aos 20 meses foi de 75% e não variou entre os tratamentos, assim como o DAS e H, mas teve influência sobre o percentual de área da copa. As espécies apresentaram taxas heterogêneas de sobrevivência, com as espécies do grupo de diversidade com as melhores taxas, observou-se também que as espécies com melhores taxas de sobrevivência não estão entre as primeiras no ranking de crescimento. As espécies, ao contrário dos tratamentos, influenciaram as variáveis de diâmetro ao nível do solo, altura e percentual de cobertura por copa. A interação das espécies com os tratamentos apenas teve efeito em relação a cobertura por copa, indicando que as diferentes composições e abundâncias dos indivíduos nos tratamentos pode surtir efeitos em relação ao crescimento da copa, mesmo em tratamentos com maiores concentrações de espécies de diversidade. No entanto, nossos resultados demonstram que as diferentes composições nos tratamentos influencia no crescimento das espécies e que em tratamentos com maiores concentrações de indivíduos de crescimento mais rápido, a sobrevivência e a cobertura por copas foi maior, porém não teve diferenças nas outras variáveis (DAS e H) em comparação com os outros tratamentos. Desta forma, é fundamental que haja combinação de espécies de crescimento mais lento com as de crescimento mais rápido em plantios de restauração florestal, de forma que haja uma distribuição mais heterogênea que não prejudique o desenvolvimento da comunidade.

Palavras-chave: 1. Restauração ecológica 2. Espécies não pioneiras 3. Ritmo de crescimento 4. Grupos sucessionais

ABSTRACT

Optimizing high-diversity forest restoration plantings: strategies for incorporating slow-growing tree species

Tropical forest restoration aims to convert degraded areas into biodiverse and functional forests. However, restoration plantings often use few tree species, mostly fast-growing ones, underutilizing or neglecting other species. There are arguments in favor of prioritizing fast growth and also for adding diversity to forest restoration, but there is supposedly a conflicting demand between the two, as the more diverse a planting, the more slow-growing individuals are planted and the lower the initial growth of the implanted community would be. The aim of this study was to compare initial indicators of tree vegetation structure in restoration plantings with the same richness but varying the distribution of abundances between fast and slow-growing tree species. We measured basal area, tree height, canopy cover, and individual growth in height and diameter at ground level of trees at 3, 13, and 20 months in six treatments (positive and negative logistic, positive and negative exponential, linear, and equal), all with 24 species but with variations in the abundance of each species based on a ranking of growth rate, developed considering secondary data of annual DAS increment. We submitted the results to analysis using generalized linear models and linear regression to assess significant differences ($p < 0.05$). The results showed that overall survival at 20 months was 75% and did not vary between treatments, as did DAS and H, but had an influence on the percentage of canopy area. Species presented heterogeneous survival rates, with species in the diversity group having the best rates. It was also observed that the species with the best survival rates were not among the top-ranking species in terms of growth. Species, unlike treatments, influenced the variables of diameter at soil level, height, and percentage of canopy coverage. The interaction of species with treatments only had an effect on canopy coverage, indicating that different compositions and abundances of individuals in treatments can have effects on canopy growth, even in treatments with higher concentrations of diversity species. However, our results demonstrate that different compositions in treatments influence species growth and that in treatments with higher concentrations of faster-growing individuals, survival and canopy coverage were higher, but there were no differences in the other variables (DAS and H) compared to other treatments. Thus, it is essential to combine slower-growing species with faster-growing ones in forest restoration plantings to achieve a more heterogeneous distribution that does not hinder community development.

Key words: 1. Ecological restoration 2. Non – pioneer species 3. Growth rate 4. Successional groups

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. ÁREA DO EXPERIMENTO NO CCA- UFSCAR, ARARAS – SP, BRASIL, DESTACADA EM AMARELO. 18**
- FIGURA 2. DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ARARAS- SP, COM A DIVISÃO EM QUATRO BLOCOS (CORES DISTINTAS) E 24 PARCELAS, CADA UMA COM UM DOS SEIS TRATAMENTOS: LOGÍSTICO E EXPONENCIAL POSITIVO E NEGATIVO, LINEAR E IGUALITÁRIO, QUE APRESENTAM VARIAÇÕES NAS ABUNDÂNCIAS DAS ESPÉCIES EM FUNÇÃO DE UM RANKING DE RITMO DE CRESCIMENTO. EM CADA PARCELA FORAM PLANTADAS 216 MUDAS. AS LINHAS EM AMARELO REPRESENTAM AS LINHAS DE PLANTIO, ESPAÇADAS 3 M ENTRE SI. 20**
- FIGURA 3. REPRESENTAÇÃO DOS TRATAMENTOS IMPLANTADOS NO EXPERIMENTO, COM A ABUNDÂNCIA DE CADA ESPÉCIE ARBÓREA DEFINIDA EM FUNÇÃO DO RANKING DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO AO NÍVEL DO SOLO (DAS, ANEXO C) NOS TRATAMENTOS LOGÍSTICO (LOG., POSITIVO = +, NEGATIVO = -), EXPONENCIAL (EXP., POSITIVO = +, NEGATIVO = -), IGUALITÁRIO E LINEAR. 21**
- FIGURA 4. IMAGENS DA ÁREA DO PLANTIO: PREPARO DAS LINHAS (A), ESPAÇAMENTO DE 2 M ENTRE MUDAS (B), IRRIGAÇÃO DAS MUDAS (C) E ROÇAGEM DAS ENTRELINHAS DO PLANTIO (D). FOTOS: DA AUTORA..... 22**
- FIGURA 5. AVALIAÇÕES REALIZADAS NO EXPERIMENTO. (A) MEDIÇÃO DA ALTURA TOTAL COM AUXÍLIO DE HASTE DE BAMBU ACOPLADA COM FITA MÉTRICA DE 1,50 M. (B) MEDIÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO SOLO COM PAQUÍMETRO DIGITAL. (C) DRONE UTILIZADO PARA CAPTURAR AS IMAGENS DE VOO PARA COBERTURA DE COPA. FOTOS: DA AUTORA..... 23**
- FIGURA 6. IMAGEM DA ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM OUTUBRO DE 2022, 20 MESES APÓS O PLANTIO. AS PARCELAS APARECEM DELIMITADAS (AMARELO), E AS COPAS DELIMITADAS INDIVIDUALMENTE (AZUL), TODOS OS VETORES FORAM REALIZADOS NO SOFTWARE QGIS. 24**
- FIGURA 7. BOXPLOT DE SOBREVIVÊNCIA (%) AOS TRÊS (A), 13 (B) E 20 (C) MESES APÓS O PLANTIO EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ARARAS-SP. TRATAMENTOS: IGUALITÁRIO: A ABUNDÂNCIA É IGUAL PARA CADA ESPÉCIE; EXPONENCIAL: ABUNDÂNCIA É BAIXA E IGUAL E ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUPER-REPRESENTADAS; LINEAR: ABUNDÂNCIA AUMENTA LINEARMENTE CONFORME A TAXA DE CRESCIMENTO; LOGÍSTICO: ABUNDÂNCIA É ALTA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUPER-REPRESENTADAS; EXPONENCIAL NEGATIVO: ABUNDÂNCIA É BAIXA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS LENTO SUPER-REPRESENTADAS E LOGÍSTICO NEGATIVO: ABUNDÂNCIA É ALTA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUB-REPRESENTADAS. 25**
- FIGURA 8. BOXPLOT DE INCREMENTO MÉDIO EM ALTURA (IH) EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL COM 13 E 20 MESES APÓS O PLANTIO EM ARARAS, SP. TRATAMENTOS: IGUALITÁRIO: A ABUNDÂNCIA É IGUAL PARA CADA ESPÉCIE; EXPONENCIAL: ABUNDÂNCIA É BAIXA E IGUAL E ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUPER-REPRESENTADAS; LINEAR: ABUNDÂNCIA AUMENTA LINEARMENTE CONFORME A TAXA DE CRESCIMENTO; LOGÍSTICO: ABUNDÂNCIA É ALTA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUPER-REPRESENTADAS; EXPONENCIAL NEGATIVO: ABUNDÂNCIA É BAIXA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS LENTO SUPER-REPRESENTADAS E LOGÍSTICO NEGATIVO: ABUNDÂNCIA É ALTA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUB-REPRESENTADAS. CÍRCULOS REPRESENTAM VALORES EXTREMOS DA VARIÁVEL ANALISADA. DADOS NÃO DIFEREM ENTRE SI DE ACORDO COM GLM (P > 0,05). 28**
- FIGURA 9. BOXPLOT DE INCREMENTO MÉDIO EM DIÂMETRO À ALTURA DO SOLO EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL COM 13 E 20 MESES APÓS O PLANTIO EM ARARAS,**

SP. TRATAMENTOS: IGUALITÁRIO: A ABUNDÂNCIA É IGUAL PARA CADA ESPÉCIE; EXPONENCIAL: ABUNDÂNCIA É BAIXA E IGUAL E ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUPER-REPRESENTADAS; LINEAR: ABUNDÂNCIA AUMENTA LINEARMENTE CONFORME A TAXA DE CRESCIMENTO; LOGÍSTICO: ABUNDÂNCIA É ALTA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUPER-REPRESENTADAS; EXPONENCIAL NEGATIVO: ABUNDÂNCIA É BAIXA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS LENTO SUPER-REPRESENTADAS E LOGÍSTICO NEGATIVO: ABUNDÂNCIA É ALTA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUB-REPRESENTADAS. CÍRCULOS REPRESENTAM VALORES EXTREMOS DA VARIÁVEL ANALISADA. DADOS NÃO DIFEREM ENTRE SI DE ACORDO COM GLM ($P > 0,05$). 29

FIGURA 10. BOXPLOT DA ÁREA DE COPA (AC) POR TRATAMENTO DA COMUNIDADE ARBÓREA EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL COM 20 MESES EM ARARAS, SP. TRATAMENTOS: IGUALITÁRIO: A ABUNDÂNCIA É IGUAL PARA CADA ESPÉCIE; EXPONENCIAL: ABUNDÂNCIA É BAIXA E IGUAL E ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUPER-REPRESENTADAS; LINEAR: ABUNDÂNCIA AUMENTA LINEARMENTE CONFORME A TAXA DE CRESCIMENTO; LOGÍSTICO: ABUNDÂNCIA É ALTA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUPER-REPRESENTADAS; EXPONENCIAL NEGATIVO: ABUNDÂNCIA É BAIXA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS LENTO SUPER-REPRESENTADAS E LOGÍSTICO NEGATIVO: ABUNDÂNCIA É ALTA E IGUAL, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MAIS RÁPIDO SUB-REPRESENTADAS. CÍRCULOS REPRESENTAM VALORES EXTREMOS DA VARIÁVEL ANALISADA. 30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. VALORES (%) DE SOBREVIVÊNCIA POR ESPÉCIE, 20 MESES APÓS O PLANTIO, EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ARARAS-SP. GRUPO DE PLANTIO: RECOBRIDORA = R E DIVERSIDADE = D.....26

TABELA 2. VALORES DE SIGNIFICÂNCIA (P-VALOR < 0,05) ANÁLISE DO MODELO LINEAR GENERALIZADO), DOS FATORES FIXOS E A INTERAÇÃO COM AS VARIÁVEIS COM 13 E 20 MESES DO PLANTIO DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL SUBMETIDO A 6 TRATAMENTOS EM ARARAS, SP, BRASIL.27

1. INTRODUÇÃO

Grande parte da biodiversidade da Terra encontra-se nas florestas tropicais (Beech et al., 2017). No entanto, as florestas tropicais vêm sofrendo com diversas perturbações antrópicas como o desmatamento, a extração seletiva de madeira, a conversão em monocultivos e, conseqüentemente, a fragmentação (Malhi et al., 2014; Safar et al., 2020), resultando em perdas de habitat, biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos (Barlow et al., 2016). A Mata Atlântica é um exemplo desse contexto atual. Já foi uma das maiores florestas tropicais do continente, cobrindo originalmente 150 milhões de ha (Ribeiro et al., 2009) e ainda abriga alta riqueza de espécies e endemismos. Porém, o longo histórico de ocupação humana desordenada, a extensa conversão de florestas em áreas agrícolas e o avanço da urbanização e das indústrias (Moraes et al., 2006), reduziu o bioma a apenas 12,4% de sua cobertura original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2021).

Assim como a Mata Atlântica, outras florestas tropicais da Terra estão em situação similar, com altos níveis de degradação de suas florestas (Holl et al., 2000; Meli et al., 2017; Geng et al., 2020). Este cenário ameaça a conservação da biodiversidade e a provisão de serviços ecossistêmicos, além de trazer impactos social e econômico, fatos que têm motivado o surgimento de iniciativas globais de restauração, como o *Bonn Challenge*, que pretende restaurar 350 milhões de hectares até 2030 (Holl, 2017). Outro exemplo é a declaração da Década de Restauração de Ecossistemas de 2021 a 2030 pela Assembleia Geral das Nações Unidas, que tem como objetivo apoiar, conscientizar sobre a importância e intensificar os esforços para a reversão da degradação e para a restauração ecológica nesta década (ONU 2019).

Além de recuperar funções ecológicas, a restauração florestal atua como uma das principais formas de mitigação das mudanças climáticas globais. O último relatório do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), revela que haverá um aquecimento global de pelo menos 1,5 C° até 2030, indicando que em todos os cenários, o controle do aquecimento envolve a redução e remoção excessiva de carbono atmosférico, fortalecendo a necessidade de iniciativas restauradoras (Holl, 2017; Simonson et al., 2021; IPCC, 2021). Desta forma, paisagens degradadas constituem sítios prioritários a serem restaurados, e a interferência humana pró-restauração é necessária e, com frequência, isso se dá pela introdução de indivíduos e/ou comunidades de espécies nativas (Knowles & Parrotta, 1995; Holl et al., 2000; Moraes et al., 2006; Holl & Aide, 2011).

Influenciados pelo clima, histórico de uso da terra e nível de fragmentação da paisagem e de degradação do solo, ecossistemas florestais nem sempre se recuperam naturalmente após perturbações (Safar et al., 2020). Em paisagens altamente fragmentadas e degradadas, a restauração florestal ativa é indispensável como estratégia, visto que estas regiões têm altos níveis de degradação e baixa resiliência local, tornando sua aplicação mais viável do ponto de vista ecológico (Rodrigues, R. R., Gandolfi, S. & Brancalion, P. H. S., 2015). Nestas condições, o plantio de mudas nativas favorece e acelera a trajetória de sucessão, convertendo áreas degradadas em florestas biodiversas e funcionais, restabelecendo serviços e funções dos ecossistemas, e recuperando parte da biodiversidade perdida (Haddad et al., 2015; Ghazoul & Chazdon,

2017; Neto et al., 2018). Por isto, em muitas regiões tropicais florestais, como em boa parte da Mata Atlântica, o plantio de mudas de árvores nativas é a principal técnica de restauração florestal empregada (Rodrigues et al., 2011; Palma & Laurance, 2015).

No entanto, os plantios de restauração florestal comumente objetivam primeiramente recobrir o solo com a copa das árvores e, posteriormente, criar condições para que a regeneração natural surja e se desenvolva no sub-bosque (Viani et al., 2015; Viani et al., 2017). Na Mata Atlântica, o conhecimento acumulado sobre as espécies e suas interações ecológicas permitiu a identificação de grupos de plantio classificados como de recobrimento (ou de espécies sombreadoras) e de diversidade (Rodrigues et al., 2009; Rodrigues et al., 2011), que quando dispostos no campo com distribuição e abundância adequados, podem transformar uma área degradada em um ambiente florestal em pouco tempo.

No grupo das recobridoras ou sombreadoras se inserem espécies que crescem rapidamente quando plantadas e sombreiam o solo, formando um dossel arbóreo inicial e cumprindo bem essa primeira meta da restauração florestal (Almeida & Viani, 2019). Algumas destas espécies são também zoocóricas e contribuem adicionalmente para atrair a fauna silvestre e, conseqüentemente, incrementar a regeneração natural (Viani et al., 2015; Almeida & Viani, 2020). Embora esse conceito de recobridora seja mais comumente usados na prática de restauração florestal da Mata Atlântica, estratégias similares, como a identificação e uso de espécies estruturantes (tradução de *framework species* em inglês), ou seja, de espécies de árvores amplamente disponíveis em viveiros, zoocóricas e que tem rápido crescimento, têm sido propostas para a restauração de florestas em outras regiões tropicais da Terra (Holl et al., 2000; Hooper et al., 2002; Elliot et al., 2003; Lamb et al., 2005). Assim, selecionar e usar espécies arbóreas nativas que rapidamente recobrem as áreas em restauração tem sido uma das estratégias globais para aumentar as chances de sucesso de plantios de restauração florestal.

Com base nessa estratégia, boa parte dos plantios de restauração florestal nos trópicos têm sido realizados com poucas espécies arbóreas, geralmente espécies recobridoras e boas sombreadoras. Por um lado, isto promove rápida estruturação florestal, uma vez que estas espécies têm as maiores taxas de sobrevivência e crescimento (Torquebiau, 2000; Souza & Batista, 2004; Almeida & Viani, 2019), e, conseqüentemente, redução de custos ao longo do processo, visto que, com a predominância de espécies que crescem rápido, há menor mortalidade de mudas e, com o sombreamento mais rápido, menor gasto com práticas de controle de plantas invasoras nos primeiros anos do plantio, especialmente de gramíneas, intolerantes ao sombreamento. Por outro lado, as espécies arbóreas que não crescem rapidamente e que compõem a maioria das espécies arbóreas nativas, incluindo espécies longevas de dossel e espécies de menor porte do sub-bosque ou subdossel florestal, são menos usadas na restauração (Vidal et al., 2020, Almeida & Viani, 2020) e a presença destas nestas áreas dependeria fundamentalmente da colonização via regeneração natural.

A diversidade tem relação direta e positiva com o funcionamento das comunidades ecológicas (Sgarbi, 2013; Reid, 2015; Shaw, 2019), embora isso nem sempre indique que uma maior diversidade em plantios de restauração florestal gere áreas funcionalmente e estruturalmente melhores, isso porque interações complexas entre as espécies e o ambiente podem levar a efeitos não lineares na função do

ecossistema (Guerin et al., 2021). Para que a restauração seja efetiva, é necessário considerar além da diversidade as variáveis das funções do ecossistema e da biodiversidade que são componentes chaves das florestas (Aerts & Honnay, 2011; Ren et al., 2017). Desta forma, restaurar as várias funções de uma floresta pode exigir várias espécies, bem como a recuperação das principais funções de um ecossistema está relacionada ao efeito positivo da diversidade de árvores inseridas (Thompson et al., 2009).

Além disso, a introdução ou o aumento da população de espécies arbóreas tardias e de crescimento lento em plantios de restauração florestal pode aumentar a complexidade e a presença de nichos de regeneração, reconectar populações locais isoladas, introduzir espécies ameaçadas de extinção, aumentar a variabilidade e a oferta de recursos para a fauna nativa ao longo do ano e aumentar o estoque de carbono, já que muitas são espécies de dossel com grande biomassa final, assim beneficiando também a recuperação de serviços ecossistêmicos, que favorecem as relações sociais e ambientais (Brancaion et al., 2013; Vidal et al., 2016; Manguiera et al., 2019; Almeida & Viani, 2020, Duarte et al. 2021).

Embora existam argumentos favoráveis para se usar poucas espécies e priorizar espécies de rápido crescimento e também para se agregar diversidade à restauração florestal, há supostamente uma demanda conflitante entre esses dois aspectos, já que quanto mais espécies há em um plantio, mais indivíduos de crescimento mais lento são plantados e menor é a proporção de indivíduos das espécies de crescimento mais rápido, no entanto, não há um consenso sobre se a inserção de espécies arbóreas de diversidade poderia melhorar a restauração a médio e longo prazo (Durigan et al., 2010, Suganuma et al., 2018). É importante salientar que algumas árvores de crescimento lento têm pouco potencial de colonização de plantios florestais (Suganuma & Durigan, 2021), assim, se não forem incluídas em plantios, não se regenerarão nestes locais. Por estes aspectos, este tópico não deve ser negligenciado, porém, pouco foi diretamente investigado sobre esse tema. Sendo assim, são necessários estudos que avaliem a relação entre desenvolvimento estrutural da restauração e variações na abundância de indivíduos com crescimento rápido e lento nos plantios de restauração, contribuindo para redução de custos e/ou aumento da eficiência destas ações, algo bastante relevante atualmente, tendo em vista a crescente demanda pela restauração de ecossistemas, no Brasil e no mundo.

OBJETIVOS

1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é avaliar se indicadores de estrutura comumente usados para monitorar a floresta tropical em restauração, ou seja, o recobrimento do solo por copas, a área basal e a altura e diâmetro dos indivíduos da comunidade arbórea implantada (Wortley et al., 2013; Sughanuma & Durigan, 2015, Viani et al., 2017), variam em plantios de restauração com mesma riqueza de árvores, mas com diferentes diversidades e composições, em função de variações na distribuição das abundâncias das espécies, de acordo com os ritmos distintos de crescimento que apresentam.

1.2. Objetivos específicos

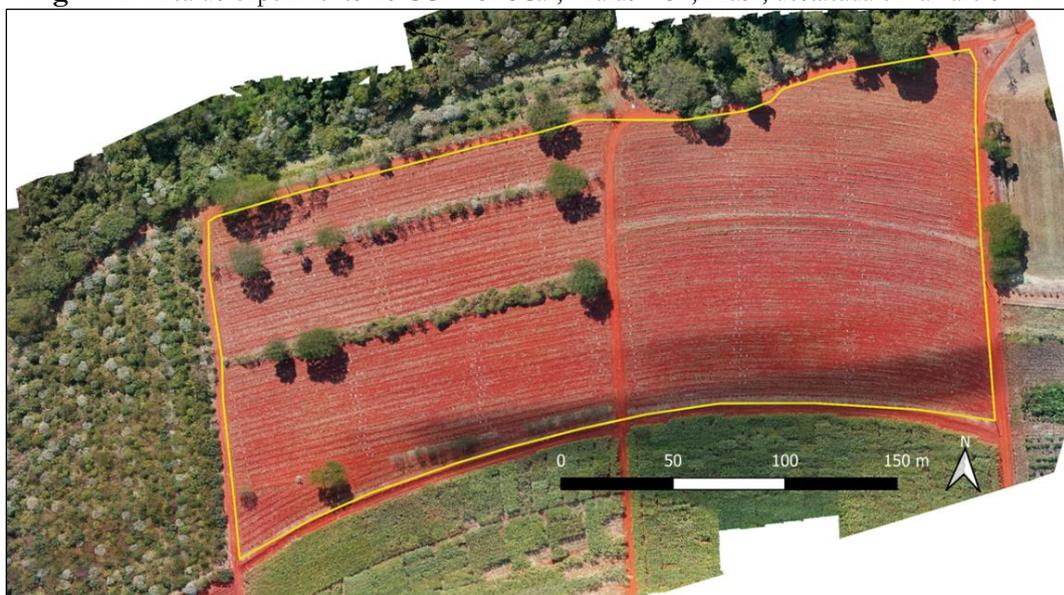
- Avaliar se variações na abundância das espécies plantadas em função do ritmo de crescimento afetam indicadores de estrutura inicial da vegetação arbórea em restauração.
- Verificar se o crescimento individual das espécies com os maiores ritmos de crescimento é menor quanto maior a abundância de indivíduos de rápido crescimento nos plantios e se esta relação se verifica também para as espécies com os menores ritmos de crescimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O projeto foi implantado no município de Araras-SP, mais especificamente em uma área experimental do Campus de Araras-SP da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, 22°18'35" S e 47°23'17" O, Figura 1). O local possui altitude média de 674 m e sua vegetação original é a Floresta Estacional Semidecidual. Entretanto, já há muito tempo desmatada, nas últimas décadas vinha sendo cultivada com cana-de-açúcar e, desde 2018, com soja.

Figura 1. Área do experimento no CCA- UFSCar, Araras – SP, Brasil, destacada em amarelo.



Na área de estudo, o solo é classificado como Nitossolo Vermelho distroférico latossólico (NVdf), de textura argilosa (Lima Filho, 2000; Yoshida & Stolf, 2016). Pelo histórico de uso agrícola, o solo foi submetido a constantes fertilizações e correções e tem, no geral, alta fertilidade e disponibilidade de nutrientes (Anexo A). A área de estudo se situa em local de clima do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, sendo um clima subtropical de inverno seco e verão quente e úmido, mesotérmico, com precipitações médias de 227 mm no verão e 28 mm no inverno, com temperatura média menor que 17°C para o mês mais frio e temperatura média maior que 22°C no mês mais quente (Alvares et al., 2013).

2.2. Espécies utilizadas

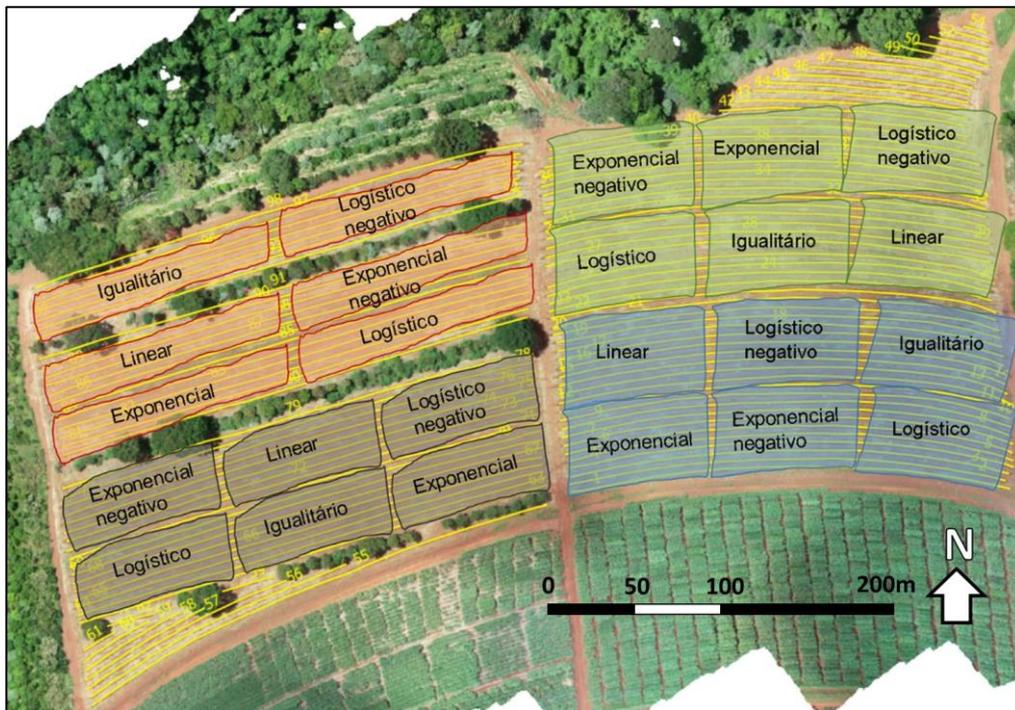
Para a implantação do experimento foram utilizadas 24 espécies de árvores nativas da Mata Atlântica, pertencentes a 17 famílias botânicas, sendo 11 espécies pioneiras e 13 não pioneiras (Anexo B). Quanto à síndrome de dispersão, 12 são zoocóricas, nove anemocóricas e três autocóricas. Essas espécies foram selecionadas por serem frequentes em plantios de restauração na Mata Atlântica (Almeida & Viani, 2020) e estarem previamente disponíveis no Viveiro Camará, Ibaté- SP, onde as mudas foram adquiridas.

Para todas as espécies foram compiladas informações de diâmetro ao nível do solo (DAS) em plantios de restauração florestal, a partir de dados coletados em outras áreas no CCA/UFSCar, na Fazenda Guariroba em Campinas-SP, na Estação Experimental de Anhembi-SP e de dados secundários disponíveis em artigos, teses e dissertações (Faria et al., 2018; Alvarenga et al., 2016; Marcuzzo et al., 2014; Nascimento et al., 2012; Sgarbi, 2013; Sampaio et al., 2011; Lima et al., 2009; Moraes et al., 2006). Com os dados de DAS e de idade dos plantios, foi gerado o incremento médio anual de DAS para cada espécie. Assim, as 24 espécies foram classificadas em um *ranking* de crescimento com base no incremento anual em DAS (Anexo C). Nesta compilação, foram usadas apenas mensurações feitas em plantios realizados na Mata Atlântica e com 1-10 anos de idade, assim reduzindo potenciais erros decorrentes da variação do incremento em DAS ao longo da idade. Para espécies com dados disponíveis em mais de uma referência consultada, foi usada a média aritmética de incremento anual em DAS.

2.3. Implantação do experimento

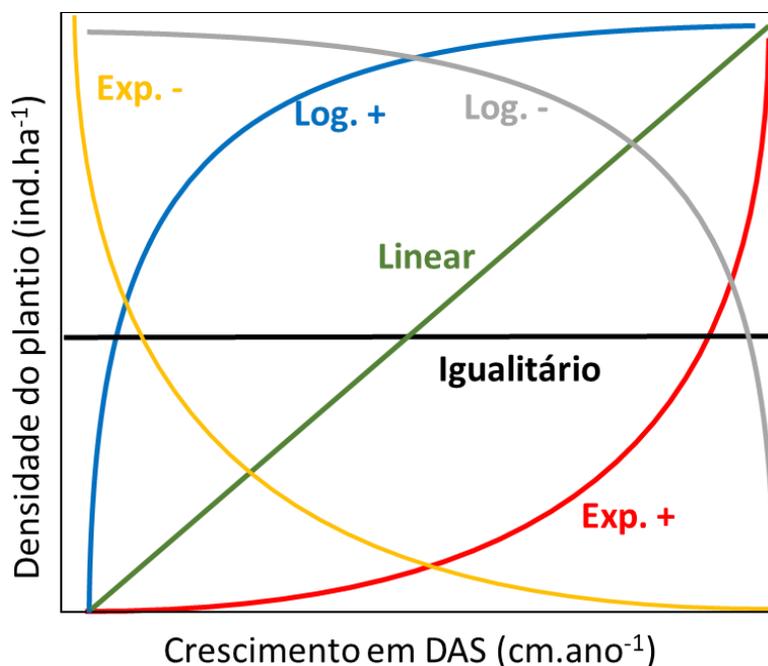
O plantio das espécies selecionadas foi realizado em fevereiro de 2021. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados e o espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas, que é o usual nos plantios de restauração florestal na Mata Atlântica (Rodrigues et al., 2009). As mudas usadas foram adquiridas de viveiro comercial e produzidas em recipientes degradáveis a base de celulose, de aproximadamente 100 cm³. Após a sulcagem das linhas de plantio, foi realizado um voo com drone sobre a área de plantio a fim de otimizar a implantação do experimento. As imagens geradas pelo drone foram processadas no software QGIS Development Team. A área foi dividida em 24 parcelas, distribuídas em quatro blocos e seis tratamentos. Para melhor distribuição do experimento na área, em cada bloco foi adotado um formato de parcela, mas a área individual da parcela é sempre a mesma, de tal modo que todas contêm 216 mudas (Figura 2), as 24 espécies selecionadas e uma área de 1.296 m². Assim, ao todo, o experimento ocupa uma área de 3,11 ha.

Figura 2. Delineamento do experimento de restauração florestal em Araras- SP, com a divisão em quatro blocos (cores distintas) e 24 parcelas, cada uma com um dos seis tratamentos: logístico e exponencial positivo e negativo, linear e igualitário, que apresentam variações nas abundâncias das espécies em função de um ranking de ritmo de crescimento. Em cada parcela foram plantadas 216 mudas. As linhas em amarelo representam as linhas de plantio, espaçadas 3 m entre si.



As parcelas foram distribuídas de modo aleatorizado em seis tratamentos, variáveis entre si quanto ao número de indivíduos de cada espécie, sendo: (1) logístico positivo: a maioria das espécies tem abundância alta e igual, mas as espécies de crescimento mais lento estarão sub-representadas; (2) logístico negativo: a maioria das espécies tem uma abundância alta e igual, mas as espécies de crescimento mais rápido estarão sub-representadas; (3) exponencial positivo: a maioria das espécies tem uma abundância baixa e igual e as espécies de crescimento mais rápido estão super-representadas; (4) exponencial negativo: a maioria das espécies tem uma abundância baixa e igual e as espécies de crescimento mais lento estão super-representadas; (5) linear: a abundância aumenta linearmente com a taxa de crescimento, sendo as espécies de crescimento mais rápido mais plantadas e (6) igualitário: a abundância é a mesma para cada espécie (Figura 3). Portanto, embora todos os tratamentos tenham a mesma riqueza, eles têm composições diferentes e variações na diversidade (Anexos C e D).

Figura 3. Representação dos tratamentos implantados no experimento, com a abundância de cada espécie arbórea definida em função do ranking de crescimento em diâmetro ao nível do solo (DAS, Anexo C) nos tratamentos logístico (Log., positivo = +, negativo = -), exponencial (Exp., positivo = +, negativo = -), igualitário e linear.



O número de indivíduos de cada espécie em cada tratamento foi calculado em uma planilha do Excel usando as equações matemáticas que descrevem cada modelo de distribuição testado. Os números foram arredondados e, quando inferior a 1, sempre convertidos para 1, para que todos os tratamentos tivessem ao menos um indivíduo por espécie e, portanto, a mesma riqueza inicial de 24 espécies (Anexo C). Dentro de cada parcela, os indivíduos foram distribuídos entre as linhas de plantio considerando suas taxas de crescimento. Para isso, os 216 indivíduos de uma dada parcela de um tratamento foram classificados em dois grupos, um abrangendo os 108 indivíduos com as maiores taxas de crescimento e o outro com os demais 108 indivíduos. Indivíduos desses dois grupos foram intercalados, de forma aleatorizada (por sorteio), na linha de plantio.

Após a implantação, todos os tratamentos foram conduzidos com igualdade. Os tratos culturais têm sido os usuais nos plantios de restauração florestal na Mata Atlântica (Rodrigues et al., 2011). Para o preparo do solo houve uma roçagem mecânica da área para eliminar gramíneas e plantas infestantes, seguida de gradagem e sulcagem das linhas de plantio, respectivamente com grade e sulcador acoplado a um trator. Após uma semana do plantio, foram feitas irrigações periódicas no plantio com cerca de 5 L de água por muda, encerrando-se em novembro de 2021 (Figura 4).

O controle de gramíneas foi realizado periodicamente com roçagem mecanizada e uso do herbicida glifosato, aplicado de forma direcionada às plantas infestantes, com pulverizador costal com chapéu de napoleão para minimizar danos decorrentes da deriva às mudas. O controle de formigas-cortadeiras com isca à base de sulfluramida também foram feitos periodicamente.

Figura 4. Imagens da área do plantio: preparo das linhas (a), espaçamento de 2 m entre mudas (b), irrigação das mudas (c) e roçagem das entrelinhas do plantio (d). Fotos: da autora.



2.4. Coleta de dados

Realizamos a coleta dos dados aos três, 13 e 20 meses após o plantio (maio/2021, março/2022 e outubro/2022). Em todas as avaliações coletamos dados da sobrevivência inicial por espécie, sendo considerados mortos indivíduos sem folhas e com caule seco, após aferição manual abaixo da casca. Não houve replantio dos indivíduos mortos, uma vez que se considerou que a mortalidade seria inerente às características das espécies plantadas. Nas duas últimas avaliações mensuramos o diâmetro do caule ao nível do solo (DAS) e a altura das mudas e na última avaliação medimos a área da copa de cada muda. Todas as avaliações foram realizadas por indivíduo, em todas as 24 parcelas.

A altura das árvores foi mensurada com auxílio de vara graduada com uma fita métrica aderida (Figura 5). A altura foi medida do nível do solo até a inserção da última folha no caule. Para árvores com mais de um fuste, consideramos o maior.

Para medir o DAS utilizamos um paquímetro digital (Figura 5). As medições foram feitas de modo perpendicular ao nível do solo. Em árvores com mais de um fuste, todos foram medidos e a partir deste foi gerado o diâmetro equivalente. Para os indivíduos com circunferência ao nível do solo maior que 15 cm, foi feita a medição da circunferência do caule ao nível do solo com uma fita métrica e a posterior conversão

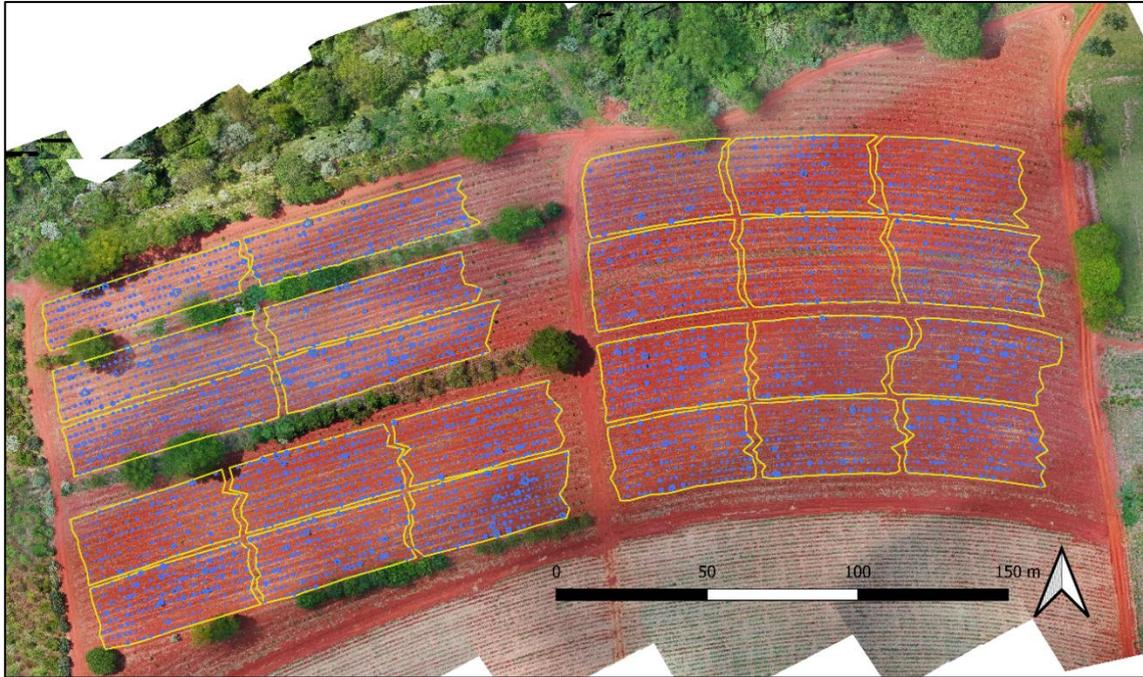
para DAS. A partir dos dados de DAS foram calculados a área basal da comunidade em cada parcela usando a fórmula $= \pi \cdot (\text{DAS}^2)$, e um DAS médio individual.

Figura 5. Avaliações realizadas no experimento. (A) Medição da altura total com auxílio de haste de bambu acoplada com fita métrica de 1,50 m. (B) Medição do diâmetro à altura do solo com paquímetro digital. (C) Drone utilizado para capturar as imagens de voo para cobertura de copa. Fotos: da autora.



Para a captura e posterior avaliar a cobertura do solo pelas copas das árvores plantadas em percentual, utilizamos imagens obtidas com câmera RGB acoplada a um drone modelo DJI Mavic 2 Pro. As imagens foram processadas em software específicos para gerar uma imagem ortorretificada e a cobertura do solo por copas, em percentual da área de cada parcela, foi mensurada no software QGIS Development Team (2022). Nas imagens geradas nos voos de maio/2021 e outubro/2022, primeiro e último voo respectivamente, as copas das árvores foram delimitadas manualmente, de forma não assistida, com a ferramenta de desenho de polígonos. Quando copas se sobrepuseram uma à outra, foi traçado um único polígono, de modo a não duplicar a contagem em trechos com copas sobrepostas. Uma vez traçadas todas as copas, foi calculada a área total de copas em cada parcela, que então foi dividida pela área total da parcela, gerando um percentual de cobertura pelas copas nessa parcela.

Figura 6. Imagem da área de restauração florestal em outubro de 2022, 20 meses após o plantio. As parcelas aparecem delimitadas (amarelo), e as copas delimitadas individualmente (azul), todos os vetores foram realizados no software QGIS.



2.5. Análise dos dados

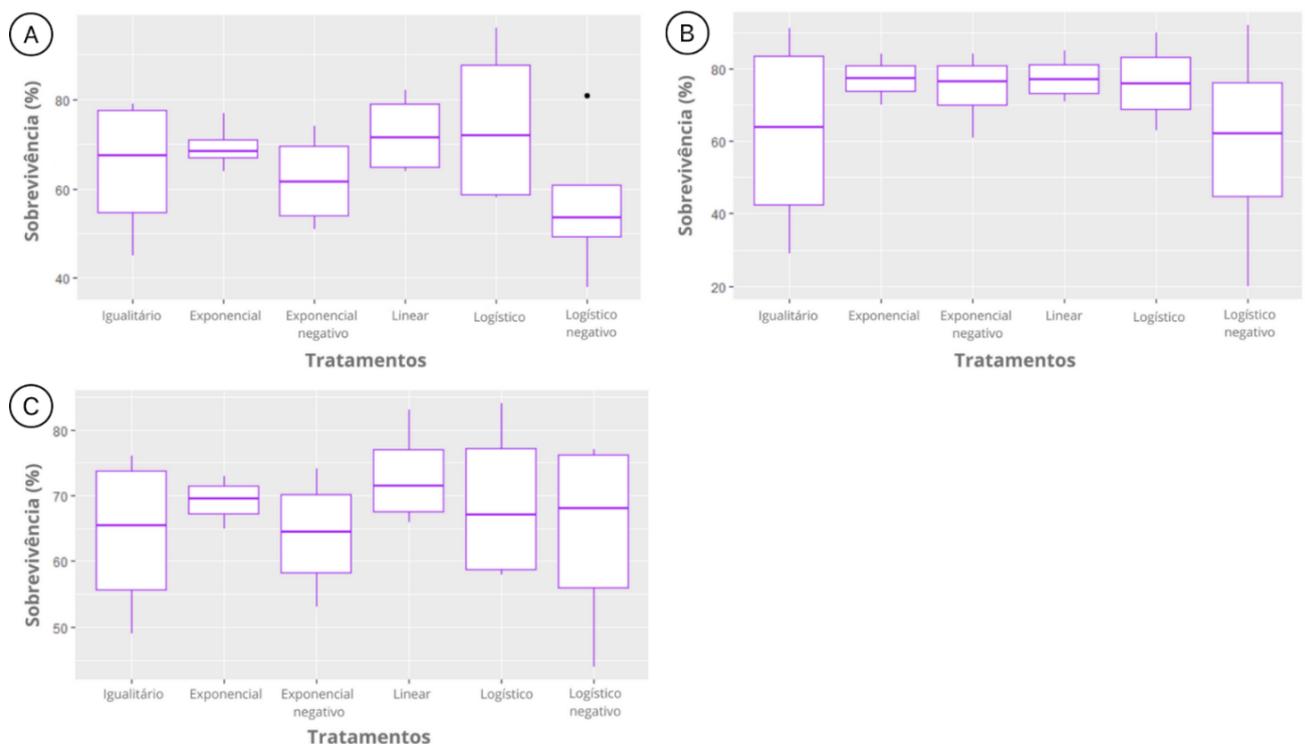
Para avaliar o desempenho das espécies e da comunidade em restauração nos diferentes tratamentos foram aplicados modelos lineares generalizados (GLM). Para as variáveis altura e DAS médios das árvores aos 13 e 20 meses foram aplicados GLM com tratamentos, espécies e a interação de ambos como fatores fixos e tendo os valores médios de cada espécie por parcela como valor de entrada. Para a cobertura do solo por copas aos 20 meses e a área basal aos 13 e 20 meses e a sobrevivência aos três, 13 e 20 meses, o GLM teve como valor de entrada o valor médio na parcela e, portanto, nestes casos o GLM avaliou apenas o efeito do tratamento, já que estas variáveis são medidas não individualizadas, obtidas para a parcela (comunidade em restauração). Para as análises com diferenças significativas ($p < 0,05$), realizou-se o teste post-hoc (Emmeans) a fim de comparar as médias das variáveis em pares. Com essa análise, foi possível saber não só os efeitos dos tratamentos sobre a comunidade em restauração, mas também se o crescimento das espécies varia em função do tratamento, por meio do desdobramento da análise.

Para a avaliação da relação entre a sobrevivência aos três, 13 e 20 meses e o ritmo de crescimento das espécies foi realizada uma análise de regressão linear da sobrevivência. Todas as análises consideraram o nível de significância ($p < 0,05$) e foram realizadas, assim como os gráficos gerados, no Software R versão 4.1.2 (R Core Team, 2021).

3. RESULTADOS

De modo geral, a sobrevivência três meses após o plantio foi de 75,8%, seguida de 68% aos 13 meses e 67,5% aos 20 meses. Não foi encontrada relação do ritmo de crescimento das espécies com a sobrevivência ao três (p-valor = 0,262), 13 (p-valor = 0,458) e 20 meses (p-valor= 0,528). No entanto, foram encontradas diferenças dentre as taxas de sobrevivência entre os tratamentos, revelando que de modo geral, os tratamentos linear, logístico e exponencial apresentaram as maiores taxas de sobrevivência 74,4%, 71,9% e 72% respectivamente, e os tratamentos exponencial e logístico negativo e igualitário apresentaram as menores taxas 67%, 66,7% e 67,9% respectivamente (Figura 7).

Figura 7. Boxplot de sobrevivência (%) aos três (a), 13 (b) e 20 (c) meses após o plantio em área de restauração florestal em Araras-SP. Tratamentos: Igualitário: a abundância é igual para cada espécie; Exponencial: abundância é baixa e espécies de crescimento mais rápido super-representadas; Linear: abundância aumenta linearmente conforme a taxa de crescimento; Logístico: abundância é alta e igual, espécies de crescimento mais rápido super-representadas; Exponencial negativo: abundância é baixa e igual, espécies de crescimento mais lento super-representadas e Logístico negativo: abundância é alta e igual, espécies de crescimento mais rápido sub-representadas.



As espécies exibiram sobrevivência heterogênea 20 meses após o plantio, variando de 10% a 98,2% (Tabela 1). As espécies *Guaazuma ulmifolia*, *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens* apresentaram as maiores sobrevivências, com 98%, 97% e 94% respectivamente. Das 24 espécies avaliadas, apenas três apresentaram sobrevivência inicial menor que 30%: *Myrsine coriacea* (R), *Aegiphila integrifolia* (R) e *Esenbeckia leiocarpa* (D),

com 17%, 21% e 10% de sobrevivência, respectivamente. Quando consideramos o número de indivíduos plantados e avaliados por espécie, os percentuais sobrevivência mudam, em decorrência da quantidade de indivíduos usados no plantio, de acordo com o ranking de crescimento (Tabela 1). Observa-se que a espécie *G. ulmifolia* tem a maior taxa média de sobrevivência e a espécie *E. leiocarpa*, a mais baixa.

Tabela 1. Valores (%) de sobrevivência por espécie, 20 meses após o plantio, em área de restauração florestal em Araras-SP. Grupo de plantio: Recobridora = R e diversidade = D.

Siglas	Espécie	Grupo de plantio	Nº de indivíduos mensurados (plantados)	Sobrevivência (%)
AS	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	R	212	21,6
AG	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	D	196	94,8
CE	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	D	200	38,1
CL	<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze	D	188	36,7
CF	<i>Cedrella fissilis</i> Vell.	D	196	52
CS	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	D	256	76,9
CM	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	R	236	91,9
CT	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	D	212	97,1
EC	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	R	196	62,2
EL	<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	D	208	10
EU	<i>Eugenia uniflora</i> L.	D	196	70,4
GA	<i>Genipa americana</i> L.	D	192	52
GU	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	R	224	98,2
HA	<i>Heliocarpus americanus</i> L.	R	308	72,4
IA	<i>Inga vera subsp. affinis</i> (DC.) T.D.Penn.	R	228	66,2
IM	<i>Inga marginata</i> Willd.	R	204	69,6
	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.		188	17
MC		R		
PR	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	D	196	92,3
PC	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	D	244	66,3
SM	<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H. S.Irwin & Barneby	R	244	70,4
SG	<i>Solanum granulosoleprosum</i> Dunal	P	272	93
	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.)	D	188	86,7
TC	Mattos			
TT	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	D	192	94,7
TH	<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	R	208	68,2

Individualmente, as espécies influenciaram todas as variáveis analisadas aos 13 e 20 meses após o plantio. Os tratamentos, por outro lado, não influenciaram nenhuma das variáveis em ambas as análises, apenas a cobertura por copa na última análise. A interação entre tratamento e grupo de plantio não

apresentou influência significativa nas variáveis aos 13 meses, mas tiveram influência no incremento médio em altura e cobertura por copas aos 20 meses (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de significância (modelo linear generalizado, p-valor < 0,05) dos fatores fixos e a interação com as variáveis com 13 e 20 meses do plantio de restauração florestal submetido a 6 tratamentos em Araras, SP, Brasil.

Fatores	Variáveis				
	IH		IDAS		AC
	13 meses	20 meses	13 meses	20 meses	
Tratamento	0,459	0,483	0,894	0,448	<0,01*
Espécie	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*
Tratamento x espécie	0,448	<0,01*	0,281	0,467	0,023*

IH= incremento médio em altura (cm), IDAS = incremento médio em diâmetro ao nível do solo (cm), AC= área da copa (m² por parcela). *Apresentam influência significativa para as variáveis (p-valor < 0,05).

Os tratamentos influenciaram apenas a cobertura por copas, porém, os tratamentos logístico, linear e exponencial que concentram mais espécies de crescimento rápido plantadas, tiveram taxas de incremento médio em altura em ambas as análises iguais, e os tratamentos igualitário, exponencial negativo e logístico negativo em que nos dois últimos concentram-se mais indivíduos de crescimento mais lento, apresentaram taxas semelhantes em ambas as análises aos 13 e 20 meses (Figura 8). Os tratamentos também não responderam de forma significativa em relação ao incremento médio em diâmetro ao nível do solo, no entanto, apesar das médias similares, destaque para os tratamentos logístico e logístico negativo que apresentaram valores médios de IDAS relativamente maiores em relação aos demais tratamentos, em ambos tratamentos, a abundância é alta e igual, porém no primeiro espécies recobridoras estão super representadas e no segundo são as espécies de diversidade que estão em abundância (Figura 8).

Figura 8. Boxplot de incremento médio em altura (IH) em área de restauração florestal com 13 e 20 meses após o plantio em Araras, SP. Tratamentos: Igualitário: a abundância é igual para cada espécie; Exponencial: abundância é baixa e igual e espécies de crescimento mais rápido super-representadas; Linear: abundância aumenta linearmente conforme a taxa de crescimento; Logístico: abundância é alta e igual, espécies de crescimento mais rápido super-representadas; Exponencial negativo: abundância é baixa e igual, espécies de crescimento mais lento super-representadas e Logístico negativo: abundância é alta e igual, espécies de crescimento mais rápido sub-representadas. Círculos representam valores extremos da variável analisada. Dados não diferem entre si de acordo com GLM ($p > 0,05$).

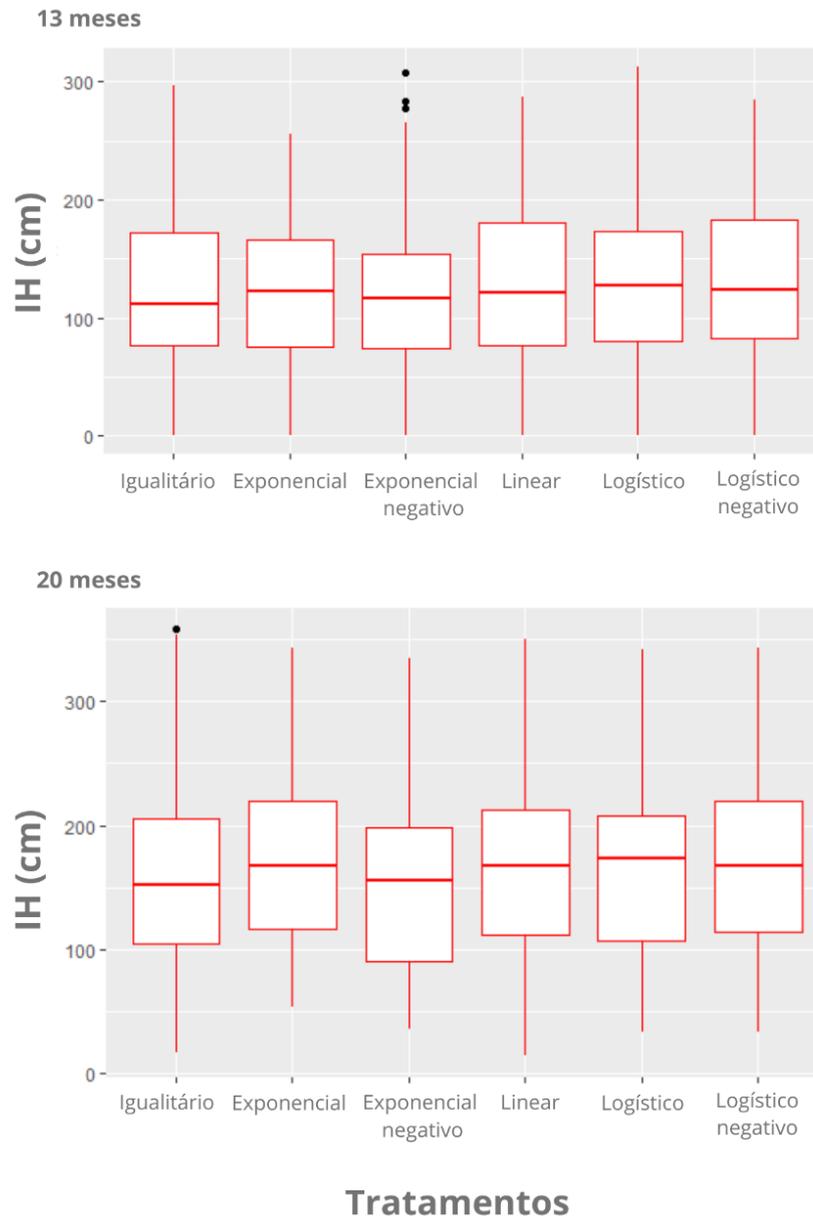
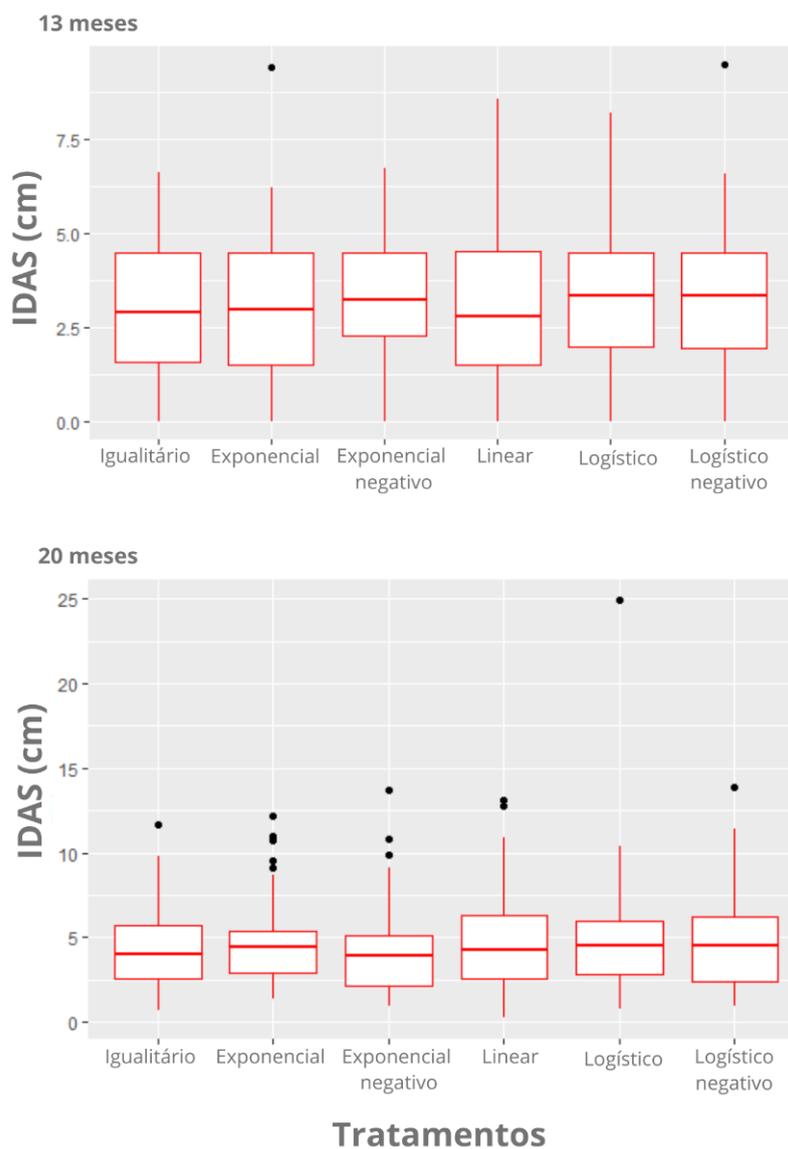


Figura 9. Boxplot de incremento médio em diâmetro à altura do solo em área de restauração florestal com 13 e 20 meses após o plantio em Araras, SP. Tratamentos: Igualitário: a abundância é igual para cada espécie; Exponencial: abundância é baixa e igual e espécies de crescimento mais rápido super-representadas; Linear: abundância aumenta linearmente conforme a taxa de crescimento; Logístico: abundância é alta e igual, espécies de crescimento mais rápido super-representadas; Exponencial negativo: abundância é baixa e igual, espécies de crescimento mais lento super-representadas e Logístico negativo: abundância é alta e igual, espécies de crescimento mais rápido sub-representadas. Círculos representam valores extremos da variável analisada. Dados não diferem entre si de acordo com GLM ($p > 0,05$).



O crescimento por espécie variou significativamente em ambas as análises de incremento médio em diâmetro do caule e incremento médio em altura. Os maiores incrementos em altura foram observados para *S. granulosoaleprosum*, *P. rígida*, *G. ulmifolia*, *A. integrifolia* em ambas as análises (Anexo E). As espécies que apresentaram o maior incremento em DAS foram *S. granulosoaleprosum*, *H. americanus* e *G. ulmifolia* (Anexo F). As espécies com maiores áreas da copa foram *S. granulosoaleprosum* e *H. americanus* e os tratamentos que

apresentaram as maiores áreas por copa foram linear e logístico, ambos abrigam maior concentração de espécies de crescimento mais rápido segundo a taxa de crescimento das espécies, e os tratamentos logístico negativo e exponencial com as menores área de copa, no primeiro as espécies de crescimento mais lento estão em maior abundância e no segundo as espécies de crescimento mais rápido estão mais representadas (Figura 10).

Figura 10. Boxplot da área de copa (AC) por tratamento da comunidade arbórea em área de restauração florestal com 20 meses em Araras, SP. Tratamentos: Igualitário: a abundância é igual para cada espécie; Exponencial: abundância é baixa e igual e espécies de crescimento mais rápido super-representadas; Linear: abundância aumenta linearmente conforme a taxa de crescimento; Logístico: abundância é alta e igual, espécies de crescimento mais rápido super-representadas; Exponencial negativo: abundância é baixa e igual, espécies de crescimento mais lento super-representadas e Logístico negativo: abundância é alta e igual, espécies de crescimento mais rápido sub-representadas. Círculos representam valores extremos da variável analisada.



4. DISCUSSÃO

As espécies *Guazuma ulmifolia*, *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens*, apresentaram as maiores taxas de sobrevivência aos 20 meses após o plantio, apenas a primeira pertence à classe de espécies recobridoras e as outras duas a de diversidade. Além disso, várias espécies que obtiveram os maiores percentuais de sobrevivência são do grupo de não pioneiras e não estão entre as com maiores ritmos de crescimento, o que pode indicar que a sobrevivência não se relaciona diretamente com o grupo ecológico (Moraes et al., 2005; Lima et al., 2009). Ao observar os resultados, vê-se que o plantio de espécies recobridoras concomitante com espécies de diversidade não interfere na mortalidade inicial dos plantios realizados em áreas abertas, a pleno sol. De mesmo modo, Piotto et al. (2020) verificaram em seu estudo que as espécies não pioneiras apresentaram sobrevivência, altura e diâmetro maior em áreas a pleno sol do que em plantios de sombra.

Ao observar a sobrevivência das espécies, vimos que foi heterogênea aos 20 meses do plantio. Alvarenga et al. (2016) avaliaram a sobrevivência de sete espécies arbóreas em plantios mistos em diferentes sítios de nascentes e constataram que a sobrevivência das espécies seguiu um padrão próximo para recobridoras e de diversidade. Assim, os resultados de sobrevivência revelam que as espécies de crescimento mais lento possivelmente possuem capacidades próximas e em alguns casos até senão melhores que a de recobridoras em se estabelecer sob condições de pleno sol.

As espécies recobridoras, que são conhecidas por seu rápido crescimento e cobertura de copa e muito usadas em métodos ativos de restauração florestal (Rodrigues et al., 2011), apresentaram taxas de sobrevivência semelhantes à de espécies de diversidade. As espécies *Esenbeckia leiocarpa* e *Myrsine coriacea*, diversidade e recobridora respectivamente, as duas com as menores sobrevivências no experimento, tiveram sobrevivência média abaixo de 20%. Houve um pequeno veranico após o plantio e mesmo havendo irrigação suplementar, algumas mudas podem ter sentido o estresse por falta d'água. Possivelmente, algumas espécies podem ter sido mais sensíveis a essa falta d'água provocada pela adversidade climática após o plantio, em fevereiro e março de 2021. Além disso, essas maiores mortalidades podem refletir, isolada ou conjuntamente com atributos morfofisiológicos das espécies, a qualidade das mudas no momento do plantio, já que aspectos do ambiente e processo em que as mudas são produzidas afetam o desenvolvimento e a sobrevivência pós-plantio (Hanba et al., 2002; Sgarbi, 2013). Assim, apesar de algumas apresentarem taxas menores à sobrevivência, as características das espécies não devem se limitar às suas condições atreladas ao seu grupo ecológico, podendo estar atreladas a outros aspectos como aclimação e a variação ambiental, que pode interferir no estabelecimento destas espécies (Lima et al., 2009).

Contudo, as diferentes respostas à sobrevivência inicial das espécies e o fato dessa sobrevivência aparentemente não estar relacionada ao ritmo de crescimento, sugerem que uma maior diversidade de espécies em plantios de restauração florestal, com a inclusão de espécies de crescimento lento, ao contrário do esperado, não ocasionaria maiores mortalidades, que por sua vez poderiam comprometer a estruturação

inicial. Além disso, a presença de espécies tardias e de crescimento lento, por sua vez, poderão beneficiar e facilitar a condução da restauração, além de contribuir com a longevidade da floresta (Mendes et al., 2021).

Os indicadores avaliados neste estudo não diferiram significativamente nos tratamentos, ao contrário do que esperávamos, porém, diferenças nas taxas destes indicadores existiram, demonstrando que podem existir formas de distribuição e abundâncias dos indivíduos de diversidade que resultem em melhores plantios que outros. Alguns estudos já constataram que o plantio de espécies de diversidade concomitante com espécies recobridoras, não afeta o desenvolvimento do segundo grupo ecológico e pode até favorecer o desenvolvimento das espécies de crescimento mais lento em alguns casos (Atondo-Bueno et al., 2018, Piotto, 2007, Montagnini et al., 2006). Os tratamentos com abundância de indivíduos com as maiores taxas de ritmo de crescimento, exponencial e linear, apresentaram as maiores taxas de sobrevivência, mas quando se trata das taxas de DAS e H, apresentaram taxas médias semelhantes as dos outros tratamentos, indicando que o desenvolvimento das espécies não variou em função das distribuições dos tratamentos.

De mesma forma, nos tratamentos em que os indivíduos com maiores ritmos de crescimento estão menos representados, as diferenças de sobrevivência são pequenas, demonstrando que, uma maior abundância de indivíduos com menores ritmos de crescimento não afetou significativamente as taxas dos indicadores aqui analisados.

As espécies recobridoras têm alta capacidade de estabelecimento e cobertura de copa, o que é importante para a rápida cobertura do solo em plantios de restauração (Rodrigues et al., 2009). No entanto, as espécies de crescimento mais rápido nem sempre apresentam as maiores taxas de sobrevivência iniciais, nesse estudo as espécies *H. americanus* e *S. granulosooleprosum* identificadas como espécies de crescimento rápido e líderes no ranking de crescimento, tiveram o maior incremento médio em diâmetro à altura do solo (DAS) e a altura (H), respectivamente, mas, essas espécies não apresentaram as maiores taxas de sobrevivência. Esses resultados destacam a importância de considerar não apenas o crescimento das espécies, mas também sua capacidade de sobrevivência em plantios de restauração, parte importante das readequações de métodos de plantios que visem promover o restabelecimento do ecossistema (Barbosa et al., 2003).

Destaque também para algumas espécies do grupo de diversidade que se mostraram promissoras para os incrementos de estrutura da vegetação, as espécies *C. trichotoma*, *A. graveolens*, *H. heptaphyllus* e *P. rigidarígida*, apresentaram altas taxas de sobrevivência (acima de 90%), e nenhuma delas está entre as seis primeiras no ranking de crescimento, a última ainda teve a maior taxa de incremento em altura (H), e sexta melhor taxa de sobrevivência. De mesma forma, Piotto et al., (2020) tiveram respostas mais positivas de crescimento em espécies não pioneiras em ambientes a pleno sol do que em outros ambientes testados, reforçando a ideia de que mesmo com pouco tempo de restauração, já é possível ver que as espécies de ambos os grupos de plantio respondem bem aos indicadores aqui analisados, não devendo ser negligenciado.

A abundância das espécies nos tratamentos também respondeu bem aos indicadores de estrutura da vegetação, nos tratamentos em que há maior abundância de espécies de crescimento mais rápido os índices de cobertura de copa foram maiores, respondendo significativamente em todos os fatores fixos, indicando que o tratamento, espécie e a interação entre ambos influenciaram na área da copa. Apesar disso,

não houve grandes discrepâncias em incremento médio do diâmetro do caule (DAS) e altura (H) em comparação com os tratamentos com maior abundância de espécies de crescimento mais lento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A restauração de florestas tropicais é uma tarefa complexa e desafiadora, mas é fundamental para mitigar os impactos das perturbações antrópicas e garantir a continuidade da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. A seleção das espécies arbóreas nativas que iram compor os plantios de restauração é fundamental para a continuidade do ecossistema, visto a complexidade e demanda que vem crescendo no mundo. Em nosso estudo vimos como a distribuição das espécies em tratamentos podem favorecer um melhor desempenho em plantios de restauração florestal, visto a crescente demanda em se otimizar processos e plantios com espécies de crescimento mais lento, para compor a diversidade e aumentar a sucessão ecológica. O efeito das espécies nas variáveis aqui analisadas demonstrou que nos principais parâmetros de crescimento da comunidade arbórea, os grupos de plantio influenciam de forma a indicar que independente dos tratamentos, as espécies arbóreas e sua abundância podem contribuir com o estabelecimento da comunidade florestal.

Nossos resultados sugerem também que, em tratamentos com mais espécies de crescimento lento, apresentaram taxas de incrementos semelhantes aos tratamentos com mais espécies de crescimento rápido, sugerindo que ambos os grupos arbóreos não atrapalham o crescimento um do outro e que possivelmente, uma maior abundância de indivíduos de crescimento mais lento em plantios não afetaria a sobrevivência e crescimento inicial da comunidade arbórea. Embora os tratamentos tenham apresentado taxas semelhantes dos indicadores aqui analisados, a cobertura por copa variou entre os tratamentos e a sua relação com as espécies, demonstrando que as distribuições dos indivíduos nos tratamentos podem influenciar numa melhor cobertura inicial por copas.

Portanto, a combinação de espécies de crescimento mais rápido com espécies de crescimento mais lento em plantios de restauração florestal, provavelmente não afetaria o crescimento inicial da comunidade arbórea, visto que a escolha cuidadosa das espécies e sua distribuição no plantio, influenciam diretamente no crescimento e muito provavelmente no sucesso do plantio, garantindo a formação florestal e sucessão ecológica de florestas tropicais.

REFERÊNCIAS

- Aerts, R., & Honnay, O. (2011). Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. *BMC ecology*, 11(1), 29.
- Aide, T. M., Zimmerman, J. K., Rosario, M., & Marcano, H. (1996). Forest recovery in abandoned cattle pastures along an elevational gradient in northeastern Puerto Rico. *Biotropica*, 537-548.
- Alvarenga, A., Botelho, S., Pinheiro, A. C., & Pereira, I. (2016). Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas na restauração de nascentes no Sul de Minas Gerais. *Enciclopédia Biosfera*, 13(23).
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- Atondo-Bueno, E. J., Bonilla-Moheno, M., & López-Barrera, F. (2018). Cost-efficiency analysis of seedling introduction vs. direct seeding of *Oreomunnea mexicana* for secondary forest enrichment. *Forest Ecology and Management*, 409, 399-406.
- Barbosa, L. M., Barbosa, J. M., Barbosa, K. C., Potomati, A., Martins, S. E., Asperti, L. M., ... & Plaza, A. P. (2003). Recuperação florestal com espécies nativas no Estado de São Paulo: pesquisas apontam mudanças necessárias. *Florestar estatístico*, 6(14), 28-34.
- Barlow, J., Lennox, G.D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A.C., Mac Nally, R., et al. (2016). Gardner Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss through deforestation. *Nature*, 535, 144-147.
- Beech, E., Rivers, M., Oldfield, S., Smith, P., (2017). Global tree search- The first comprehensive global database of tree species and contry distributions. *Journal of sustainability*, 36 (5), 454 – 489.
- Brancalion, P.H.S., Melo, F.P.L., Tabarelli, M., Rodrigues, R.R. (2013). The persistence of biodiversity in tropical landscapes highly modified by man depends on ecological restoration. *Tropical Conservation Science*, 6, 705 – 710.
- de Almeida, C., & Viani, R. A. (2019). Selection of shade trees in forest restoration plantings should not be based on crown tree architecture alone. *Restoration Ecology*, 27(4), 832-839.
- de Almeida, C., & Viani, R. A. G. (2020). Non-continuous reproductive phenology of animal- dispersed species in young forest restoration plantings. *Biotropica*.
- de Souza, F. M., & Batista, J. L. F. (2004). Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. *Forest ecology and Management*, 191(1- 3), 185-200.
- Durigan, G., Engel, V. L., Torezan, J. M., Melo, A. C. G. D., Marques, M. C. M., Martins, S. V., ... & Scarano, F. R. (2010). Normas jurídicas para a restauração ecológica: uma barreira a mais a dificultar o êxito das iniciativas?. *Revista Árvore*, 34, 471-485.
- Duarte, M. M., Moral, R. D. A., Guillemot, J., Zuim, C. I. F., Potvin, C., Bonat, W. H., ... & Brancalion, P. H. (2021). High tree diversity enhances light interception in tropical forests. *Journal of Ecology*.
- Faria, J. T., Gonçalves, E. O., Delarmelina, W. M., de Assumpção, C. M., & Caldeira, M. W. (2018). Influência da mato-competição de capim-braquiária no crescimento inicial de espécies florestais em plantio misto. *Revista de Ciências Agroambientais*, 16(1), 62-71.
- Fundação SOS Mata Atlântica; INPE. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020, relatório técnico. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2021. 73p.
- Geng, Q., Ren, Q., Yan, H., Li, L., Zhao, X., Mu, X., & Yu, Q. (2020). Target areas for harmonizing the grain for green programme in China's Loess Plateau. *Land Degradation & Development*, 31(3), 325-333.

- Ghazoul, J., & Chazdon, R. (2017). Degradation and recovery in changing forest landscapes: a multiscale conceptual framework. *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 161-188.
- 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. *Forest Ecology and Management*, 484, 118932.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Cook, W. M. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science advances*, 1 (2), e1500052.
- Hanba, Y. T., Kogami, H., & Terashima, I. (2002). The effect of growth irradiance on leaf anatomy and photosynthesis in Acer species differing in light demand. *Plant, Cell & Environment*, 25(8), 1021-1030.
- Holl, K. D. (2017). Restoring tropical forests from the bottom up. *Science*, 355 (6324), 455-456.
- Holl, K. D., & Aide, T. M. (2011). When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1558-1563.
- Holl, K. D., Loik, M. E., Lin, E. H., & Samuels, I. A. (2000). Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restoration ecology*, 8 (4), 339- 349.
- Hooper, E., Condit, R., & Legendre, P. (2002). Respostas de 20 espécies de árvores nativas a estratégias de reflorestamento de terras agrícolas abandonadas no Panamá. *Aplicações ecológicas*, 12 (6), 1626-1641.
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- IUCN, Bonn Challenge; www.bonnchallenge.org (2016).
- Knowles, O. H., Knowles, D., Parrotta, J. A., & Parrotta, J. (1995). Amazonian forest restoration: an innovative system for native species selection based on phenological data and field performance indices. *The Commonwealth Forestry Review*, 230-243.
- Lamb, D., Erskine, P. D., & Parrotta, J. A. (2005). Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310(5754), 1628-1632.
- Lima Filho, S.A., 2000. Levantamento pedológico detalhado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos. Araras: Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, UFSCAR. 17 p. (Boletim Técnico).
- Lima, J. A. D., Santana, D. G. D., & Nappo, M. E. (2009). Comportamento inicial de espécies na revegetação da mata de galeria na Fazenda Mandaguari, em Indianópolis, MG. *Revista Árvore*, 33(4), 685-694.
- Malhi, Y., Gardner, T.A., Goldsmith, G.R., Silman, M.R., Zelazowski, P. (2014). Tropical forests in the Annu Anthropocene. *Environmental Resoucers*, 39, 125 – 159.
- Mangueira, J. R. S., D. Holl, K., & Rodrigues, R. R. (2019). Enrichment planting to restore degraded tropical forest fragments in Brazil. *Ecosystems and People*, 15(1), 3-10.
- Marcuzzo, S. B., Araújo, M. M., & Gasparin, E. (2014). Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em unidades de conservação: um estudo de caso no sul do Brasil. *Floresta*, 45(1), 129- 140.
- Meli, P., Herrera, F. F., Melo, F., Pinto, S., Aguirre, N., Musálem, K., ... & Brancalion, P. H. (2017). Four approaches to guide ecological restoration in Latin America. *Restoration Ecology*, 25(2), 156- 163.

- 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. *Restoration Ecology*, e13406.
- Montagnini, F. (2006). Homegardens of Mesoamerica: biodiversity, food security, and nutrient management. *Tropical homegardens: A time-tested example of sustainable agroforestry*, 61-84.
- Moraes, L. F. D. D., Assumpção, J. M., Luchiari, C., & Pereira, T. S. (2006). Plantio de espécies arbóreas nativas para a restauração ecológica na Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia*, 57(3), 477-489.
- Nascimento, D. F. D., Leles, P. S. D. S., Oliveira Neto, S. N. D., Moreira, R. T. S., & Alonso, J. M. (2012). Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. *Cerne*, 18(1), 159-165.
- ONU – Organizações das Nações Unidas (2019). Resolução 73/284. Década das Nações Unidas da Restauração de Ecossistemas (2021–2030). Resolução adotada pela Assembleia Geral em 1 de março de 2019.
- Palma, A. C., & Laurance, S. G. (2015). A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go? *Applied Vegetation Science*, 18(4), 561- 568.
- Piotto, D. (2007). Growth of native tree species planted in open pasture, young secondary forest and mature forest in humid tropical Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, 92-102.
- Piotto, D., Flesher, K., Nunes, A. C. P., Rolim, S., Ashton, M., & Montagnini, F. (2020). Restoration plantings of non-pioneer tree species in open fields, young secondary forests, and rubber plantations in Bahia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 474, 118389.
- R CORE TEAM. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, version 3.6.0 Inc., Boston: The R Foundation for Statistical Computing Platform, 2019 Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 30 nov. 2021.
- Reid, J. L., Holl, K. D., & Zahawi, R. A. (2015). Seed dispersal limitations shift over time in tropical forest restoration. *Ecological Applications*, 25(4), 1072-1082.
- Ren, Y., Lü, Y., Fu, B., & Zhang, K. (2017). Biodiversity and ecosystem functional enhancement by forest restoration: A meta-analysis in China. *Land Degradation & Development*, 28(7), 2062-2073.
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., & Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological conservation*, 142(6), 1141-1153.
- Rodrigues, R. R., Gandolfi, S., & Brancalion, P. H. S. (2015). *Restauração florestal*. Oficina de Textos.
- Rodrigues, R. R., Lima, R. A., Gandolfi, S., & Nave, A. G. (2009). On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological conservation*, 142(6), 1242- 1251.
- Rodrigues, R. R., Gandolfi, S., Nave, A. G., Aronson, J., Barreto, T. E., Vidal, C. Y., & Brancalion, P. H. (2011). Large scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1605-1613.
- Safar, N. V. H., Magnago, L. F. S., & Schaefer, C. E. G. R. (2020). Resilience of lowland Atlantic forests in a highly fragmented landscape: Insights on the temporal scale of landscape restoration. *Forest Ecology and Management*, 470, 118183.
- Sampaio, M.T.F., Polo, M., Barbosa, W. Estudo do crescimento de árvores semidecíduas em uma área ciliar revegetada. (2011). *Revista Árvore*, 36(5), 879 – 885.
- Simonson, W. D., Miller, E., Jones, A., García-Rangel, S., Thornton, H., & McOwen, C. (2021). Enhancing climate change resilience of ecological restoration—A framework for action. *Perspectives in Ecology and Conservation*.

- Sgarbi, A. S. (2013). *Avaliação de crescimento inicial de espécies nativas em plantio misto de restauração florestal em Dois Vizinhos, PR* (Tese de bacharelado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Shaw, T. E. (2019). Species diversity in restoration plantings: Important factors for increasing the diversity of threatened tree species in the restoration of the Araucaria forest ecosystem. *Plant diversity*, 41(2), 84-93.
- Suganuma, M. S., & Durigan, G. (2021). Build it and they will come, but not all of them in fragmented Atlantic Forest landscapes. *Restoration Ecology*, e13537.
- Suganuma, M. S., Torezan, J. M. D., & Durigan, G. (2018). Environment and landscape rather than planting design are the drivers of success in long-term restoration of riparian Atlantic forest. *Applied Vegetation Science*, 21(1), 76-84.
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., & Mosseler, A. (2009). Forest resilience, biodiversity, and climate change. In *Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43. 1-67*. (Vol. 43, pp. 1-67).
- Torquebiau, E. F. (2000). A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie*, 323(11), 1009-1017.
- Viani, R. A., Holl, K. D., Padovezi, A., Strassburg, B. B., Farah, F. T., Garcia, L. C., ... & Brancalion, P. H. (2017). Protocol for monitoring tropical forest restoration: perspectives from the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Tropical Conservation Science*, 10, 1940082917697265.
- Viani, R. A. G., Vidas, N. B., Pardi, M. M., Castro, D. C. V., Gusson, E., & Brancalion, P. H. (2015). Animal-dispersed pioneer trees enhance the early regeneration in Atlantic Forest restoration plantations. *Natureza & Conservação*, 13(1), 41-46.
- Vidal, C. Y., Naves, R. P., Viani, R. A., & Rodrigues, R. R. (2020). Assessment of the nursery species pool for restoring landscapes in southeastern Brazil. *Restoration Ecology*, 28(2), 427-434.
- Wortley, L., Hero, J. M., & Howes, M. (2013). Evaluating ecological restoration success: a review of the literature. *Restoration Ecology*, 21(5), 537-543.
- Yoshida, F. A., & Stolf, R. (2016). Mapeamento digital de atributos e classes de solos da UFSCar- Araras/SP. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, 3(1), 1-11.

ANEXO A. Análise granulométrica e química do solo na camada de 0-20 cm, onde foi realizado o plantio. Os parâmetros químicos analisados são fósforo extraído no método de Resina (P), Matéria Orgânica (MO), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de cátions (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação catiônica (V%).

Parâmetro	Valor
Argila (g.kg ⁻¹)	507
Areia (g.kg ⁻¹)	173
Silte (g.kg ⁻¹)	320
pH (KCl)	5,3
P (mg.dm ⁻³)	27
MO (g.dm ⁻³)	43
K (mmolc.dm ⁻³)	1,8
Ca (mmolc.dm ⁻³)	15
Mg (mmolc.dm ⁻³)	9
H+Al (mmolc.dm ⁻³)	28
Al(mmolc.dm ⁻³)	1,2
SB (mmolc.dm ⁻³)	25,8
CTC (mmolc.dm ⁻³)	53,8
V (%)	48

ANEXO B. Espécies arbóreas utilizadas no plantio, listadas em ordem alfabética. GE: grupo ecológico, R: recobridora; D: diversidade.

Nome científico	Nome popular	Família	GE	Síndrome de dispersão	Fixação de nitrogênio
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke. <i>Aegiphila sellowiana</i>	tamanqueiro	Laminaceae	R	Zoocórica	Não
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	guaritá	Anacardiaceae	D	Anemocórica	Não
<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	jequitibá-branco	Lecythidaceae	D	Anemocórica	Não
<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze	jequitibá-rosa	Lecythidaceae	D	Anemocórica	Não
<i>Cedrella fissilis</i> Vell.	cedro	Meliaceae	D	Anemocórica	Não
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	paineira-rosa	Malvaceae	D	Zoocórica	Não
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	pau-viola	Verbenaceae	R	Zoocórica	Não
<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	louro-pardo	Boraginaceae	D	Anemocórica	Não
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	timburi	Fabaceae	R	Zoocórica	Sim
<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	guarantã	Rutaceae	D	Autocórica	Não
<i>Eugenia uniflora</i> L.	pitanga	Myrtaceae	D	Zoocórica	Não
<i>Genipa americana</i> L.	jenipapo	Rubiaceae	D	Zoocórica	Não
<i>Guauma ulmifolia</i> Lam.	mutambo	Malvaceae	R	Autocórica	Não
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos. <i>Tabebuia chrysotricha</i>	ipê-amarelo-cascudo	Bignoniaceae	D	Anemocórica	Não
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos. <i>Tabebuia heptaphylla</i>	ipê-roxo-sete-folha	Bignoniaceae	D	Anemocórica	Não
<i>Heliocarpus americanus</i> L.	algodoeiro	Malvaceae	R	Anemocórica	Não
<i>Inga marginata</i> Willd.	ingá-feijão	Fabaceae	R	Zoocórica	Sim
<i>Inga vera</i> subsp. <i>affinis</i> (DC.) T.D.Penn. <i>Inga affinis</i>	ingá-do-brejo	Fabaceae	R	Zoocórica	Sim
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	capororoca	Primulaceae	R	Zoocórica	Não
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	guaruaia	Fabaceae	D	Anemocórica	Sim
<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	araçá-amarelo	Myrtaceae	D	Zoocórica	Não
<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	pau-cigarra	Fabaceae	R	Autocórica	Não
<i>Solanum granuloseprosum</i> Dunal	fumo-bravo	Solanaceae	R	Zoocórica	Não
<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	leiteiro	Apocynaceae	R	Zoocórica	Não

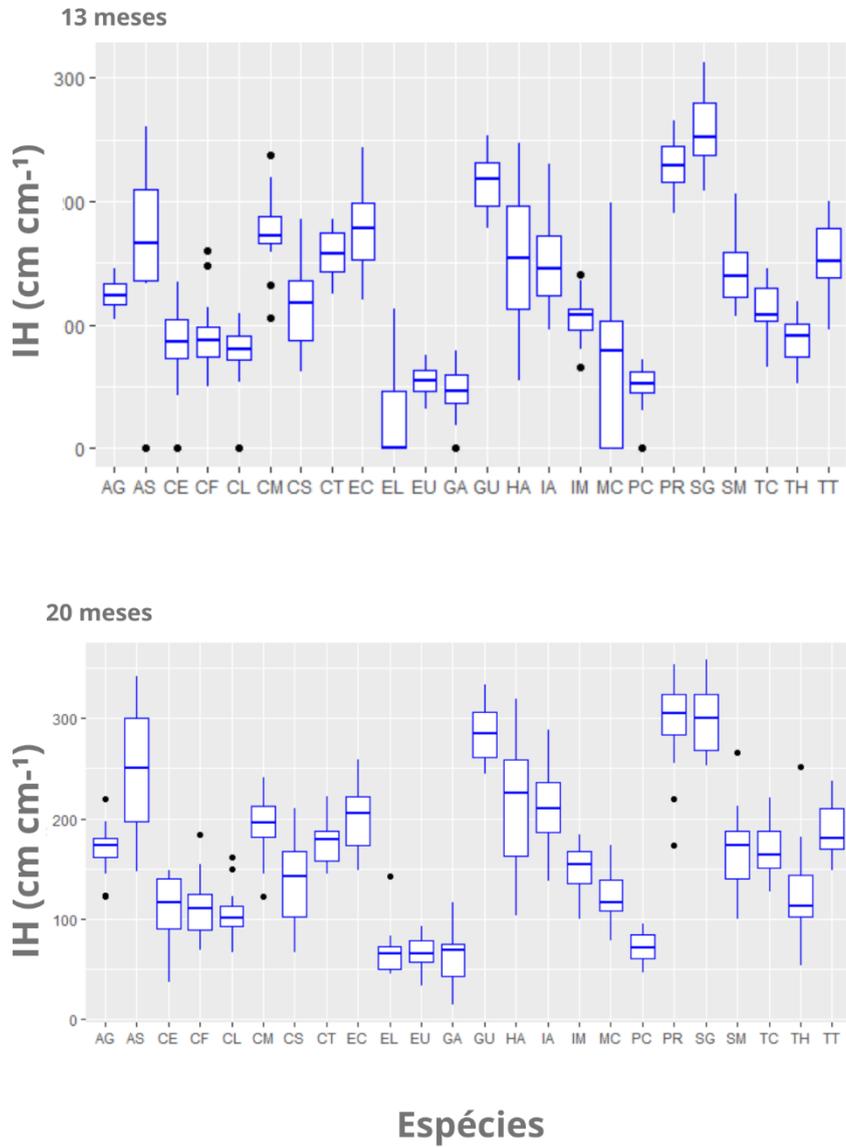
ANEXO C. Número de indivíduos por espécie em cada parcela, para cada tratamento. Ao todo, cada parcela tem 216 árvores. * dados compilados de 15 diferentes plantios de restauração na Mata Atlântica (n por espécies = 2 a 7). (1) logístico positivo: a maioria das espécies tem abundância alta e igual, mas as espécies de crescimento mais lento estarão sub-representadas; (2) logístico negativo: a maioria das espécies tem uma abundância alta e igual, mas as espécies de crescimento mais rápido estarão sub-representadas; (3) exponencial positivo: a maioria das espécies tem uma abundância baixa e igual e as espécies de crescimento mais rápido estão super-representadas; (4) exponencial negativo: a maioria das espécies tem uma abundância baixa e igual e as espécies de crescimento mais lento estão super-representadas; (5) linear: a abundância aumenta linearmente com a taxa de crescimento, sendo as espécies de crescimento mais rápido mais plantadas e (6) igualitário: a abundância é a mesma para cada espécie (Figura 2).

Ranking de crescimento (do maior para o menor)	Espécie	Incremento médio em DAS (cm.mês ⁻¹)*	Tratamento Igualitário	Tratamento Linear	Tratamento Exponencial	Tratamento Exponencial Negativo	Tratamento Logístico	Tratamento Logístico Negativo
1	<i>Heliocarpus americanus</i> L.	0,49	9	17	26	5	15	5
2	<i>Solanum granuloseprosum</i> Dunal	0,40	9	17	18	5	14	5
3	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	0,31	9	16	15	5	14	5
4	<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	0,30	9	15	13	6	13	5
5	<i>Citbarexylum myrianthum</i> Cham.	0,27	9	14	11	6	13	6
6	<i>Inga vera</i> subsp. <i>affinis</i> (DC.) T.D.Penn.	0,24	9	10	8	7	9	8
7	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	0,23	9	13	10	6	12	6
8	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	0,22	9	12	9	6	11	6
9	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	0,21	9	12	9	6	10	7
10	<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	0,18	9	11	8	7	10	7
11	<i>Inga marginata</i> Willd.	0,17	9	14	10	6	12	6
12	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	0,15	9	9	7	7	9	8
13	<i>Cedrella fissilis</i> Vell.	0,13	9	9	7	7	8	9
14	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	0,12	9	8	7	8	8	9
15	<i>Genipa americana</i> L.	0,11	9	7	7	8	7	10
16	<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze	0,11	9	6	6	9	7	10
17	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	0,11	9	6	6	9	6	11
18	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	0,10	9	5	6	10	6	12
19	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	0,09	9	4	6	10	6	12
20	<i>Parapiptadenia rígida</i> (Benth.) Brenan	0,09	9	4	6	11	6	13
21	<i>Eugenia uniflora</i> L.	0,08	9	3	6	13	5	13
22	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	0,08	9	2	5	15	5	14
23	<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	0,07	9	1	5	18	5	14
24	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	0,04	9	1	5	26	5	15

ANEXO D. Riqueza, índice de diversidade de Shannon (H') e equabilidade de árvores nativas dos diferentes tratamentos de restauração florestal no momento da implantação no campo.

Tratamento	Riqueza	H'	Equabilidade ($H'/H_{\text{máximo}}$)
Igualitário	24	3,18	1
Linear	24	3,00	0,94
Exponencial positivo	24	3,06	0,98
Exponencial positivo	24	3,06	0,98
Logístico positivo	24	3,11	0,96
Logístico negativo	24	3,11	0,96

ANEXO E. Boxplot de incremento médio em altura (IH) das espécies utilizadas no plantio em área de restauração florestal com 13 e 20 meses em Araras, SP. Siglas das espécies na Tabela 1. Círculos representam valores extremos da variável analisada.



ANEXO F. Boxplot de incremento médio em diâmetro a altura do solo (IDAS) das espécies utilizadas no plantio em área de restauração florestal com 13 e 20 meses em Araras, SP. Siglas das espécies na Tabela 1. Círculos representam valores extremos da variável analisada.

