

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

Adélia Carla Santos Ornelas

Crescimento inicial de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica em resposta ao controle de espécies indesejáveis e a fertilização mineral

ARARAS
Agosto / 2021

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

Crescimento inicial de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica em resposta ao controle de espécies indesejáveis e a fertilização mineral

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
Coorientador: Prof. Dr. Marcio Roberto Soares

ARARAS
2021

Ornelas, Adélia Carla Santos

Crescimento inicial de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica em resposta ao controle de espécies indesejáveis e a fertilização mineral / Adélia Carla Santos Ornelas -- 2021.

64f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Ricardo Augusto Gorne Viani

Banca Examinadora: Ricardo Augusto Gorne Viani, Alessandra dos Santos Penha, José Leonardo de Moraes Gonçalves

Bibliografia

1. Restauração florestal. 2. Mudanças. 3. Mata Atlântica. I. Ornelas, Adélia Carla Santos. II. 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 da candidata Adélia Carla Santos Ornelas, realizada em 31/08/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Ricardo Augusto Gorne Viani (UFSCar)

Profa. Dra. Alessandra dos Santos Penha (UFSCar)

Prof. Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves (ESALQ/USP)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.
O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente.

Ao meu pai e meu avô, que mesmo na distância, se fizeram presentes.
E a todos os cientistas, pesquisadores, defensores e admiradores da natureza.

Dedico.

Agradecimentos

Poder acompanhar o início e as mudanças em uma área de floresta é fascinante, saber que de alguma forma eu auxiliei essa etapa com o meu trabalho é recompensador. Porém sem ajuda nada disso seria possível, ao longo desse processo pude contar com o precioso apoio e incentivo de muitas pessoas.

Meu eterno agradecimento ao Prof. Dr. Ricardo Viani, pela confiança na minha capacidade ao receber-me como orientada. Obrigada pela orientação excepcional, pelo empenho, ensinamentos e, principalmente, sua paciência infinita comigo. Obrigada pelo exemplo de um excelente profissional, professor, pesquisador, restaurador e incentivador! Muito obrigada por ter me corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar.

Desejo igualmente agradecer ao Prof. Dr. Marcio Roberto Soares, por aceitar-me como co-orientada, por toda disposição em me orientar e auxiliar durante todo o meu trabalho, por todos os ensinamentos, sugestões, ideias, conselhos e paciência. Sou muito grata!

Ao programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de São Carlos, pelo suporte institucional e por contribuir tão significativamente em minha formação. Agradeço aos professores, à Coordenação, à Secretaria do PPGAA e à turma do ano de 2019 que me ajudaram e compartilharam a vida de pós-graduandos comigo. Em especial, Adriana, Alexandra, Daniel e Lika, por todas as conversas e distrações.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A Universidade Federal de São Carlos – Campus Araras por ceder o espaço para realização do experimento e pela iniciativa de restaurar áreas do campus! A toda equipe da Seção Agrícola e de Áreas Verdes da Universidade por todo auxílio que prestaram, com muita disposição e mão de obra.

Agradeço a todos os meus companheiros do Laboratório de Silvicultura e Florestas (LASPEF) pelo grande auxílio com as atividades de campo, sugestões e trocas de conhecimentos e experiências. Obrigada pela dedicação e companheirismo de vocês.

As Prof. Dra. Josiane Rodrigues e Prof. Dra. Priscilla Loiola, agradeço pelas incontáveis ajudas nas análises estatísticas dessa pesquisa. Agradeço a Prof. Dra. Adriana Sais

e ao aluno de graduação Mauricio Brites, pela disponibilidade para fazer o voo com o drone e gerar novos dados e imagens.

Agradeço a Prof. Dra. Alessandra dos Santos Penha, por me motivar e incentivar a cursar o mestrado. Agradeço também a todos os meus professores, por se dedicaram a passar conhecimentos tão valiosos ao meu desenvolvimento profissional e pessoal.

À banca examinadora da qualificação: Prof. Dr. José Carlos Casagrande, Prof. Dra. Alessandra dos Santos Penha e Prof. Dr. Otávio Camargo Campoe, por todas as contribuições. E também à banca examinadora da defesa Prof. Dra. Alessandra dos Santos Penha e Prof. Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves (titulares), Prof. Dr. Anna Hoffmann Oliveira e Dra. Thais Mazzafera Haddad (suplentes) pela disponibilidade.

À minha família, que são os principais responsáveis pela minha formação como pessoa, por todo amor gigantesco e apoio incondicional. Em especial a minha mãe, Maria Gorete (minha heroína), meu padrasto, Alves, meu irmão, Vitor, meus tios, Laura e Zeca, minha prima, Lila, meu primo, Gabriel, e minha vó, Duda, por terem me feito persistir sempre.

Agradecimento especial a minha companheira, Alexandra Providello, por dividir essa experiência comigo, por sempre estar disposta a me ajudar, me ouvir e me incentivar.

A todos os meus amigos, Ana Carolina Cardoso de Oliveira, Ana Souza, Bruna Nunes, Caio Noboa, Diego Gonzales, Diego Mello, Flávia Pigozzo, Juliana Galende, Larissa Xavier, Letícia Bonato, Lisiana Crivelenti Voltolini, Nathália Garcia, Nicolle Victoria, Paulinha Araújo, Serafim Gonzales e Thayana Lopes por sempre serem meu porto seguro e fonte inesgotável de amor, apoio, paciência e risadas.

Enfim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma ou outra contribuíram para mais essa importante conquista em minha vida.

Muito obrigado!



RESUMO

Intervenções na restauração ecológica são muito variadas e o sucesso dos esforços globais para implementá-la em larga escala depende da capacidade de desenvolver e aperfeiçoar técnicas e orientações eficientes. Estudar como práticas silviculturais impactam o crescimento de árvores em plantio de restauração florestal é relevante, uma vez que a adoção de tais práticas pode impactar aspectos ecológicos e econômicos da restauração florestal. O objetivo deste trabalho foi testar a hipótese de que mudas de árvores nativas respondem positivamente à intensificação da fertilização do solo e do controle de espécies indesejáveis, mesmo em locais de agricultura intensiva com fertilização recorrente e controle químico de espécies indesejáveis antes do plantio de restauração. Conduzimos o estudo em Araras-SP, com 22 espécies de árvores nativas, 11 de diversidade e 11 recobridoras, em área anteriormente destinada por décadas à agricultura intensiva e com níveis adequados de fertilidade do solo para plantio de árvores nativas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, com 24 parcelas e quatro tratamentos: 1- Controle intensivo de plantas indesejáveis com adubação; 2- Controle intensivo de plantas indesejáveis sem adubação; 3- Controle não intensivo de plantas indesejáveis com adubação; 4- Controle não intensivo de plantas indesejáveis sem adubação. Além do coroamento das mudas, no controle intensivo houve aplicação de herbicida a base de glifosato a cada três meses e no não intensivo roçada mecanizada a cada seis meses, ambos na entrelinha. A adubação com 53 kg ha⁻¹ de N, 35 kg ha⁻¹ de P e 51 kg ha⁻¹ de K foi realizada com o uso de formulações NPK no plantio e em duas coberturas (aos 10 e aos 12 meses pós-plantio). Avaliamos o diâmetro ao nível do solo, a altura total e a área da projeção da copa das árvores, aos quatro, 10 e 16 meses após o plantio. Submetemos os resultados à análise em modelo linear generalizado e teste *post-hoc* (Emmeans) para avaliar diferenças significativas ($p < 0,05$). Individualmente, o grupo de plantio e a espécie influenciaram todas as variáveis de crescimento investigadas, a adubação influenciou apenas o incremento em diâmetro do caule e o método de controle de plantas indesejáveis não influenciou nenhuma das variáveis mensuradas. A interação entre controle de plantas indesejáveis com espécie arbórea influenciou as três variáveis, a adubação com grupo de plantio influenciou o incremento em altura e a interação adubação com espécie influenciou os incrementos em diâmetro e em altura. De modo geral, árvores recobridoras apresentaram maiores crescimentos que as do grupo de diversidade. Entretanto, esse crescimento foi variável para as espécies arbóreas e

nem todas as espécies recobridoras apresentaram maiores incrementos do que as espécies de diversidade. Embora a intensificação da silvicultura seja geralmente uma prática vantajosa para plantios de restauração de floresta tropical, nossos resultados mostraram que seus benefícios, aos 16 meses, são pouco notáveis em uma área antes utilizada para agricultura intensiva. Assim, fatores locais e históricos devem ser incorporados na decisão sobre a intensificação silvicultural na restauração florestal.

Palavras-chave: adubação, gramíneas invasoras, herbicida, mudas, reflorestamento, restauração ecológica.

ABSTRACT

Interventions in ecological restoration are very varied and the success of global efforts to implement it on a large scale depends on the capacity to develop and improve effective techniques and guidelines. Studying how silvicultural practices impact the growth of trees in forest restoration plantations is relevant, since the adoption of such practices can impact the ecological and economic aspects of forest restoration. We tested the hypothesis that native tree seedlings respond positively to the intensification of fertilization and weed control, even in areas of intensive agriculture with recurrent fertilization and chemical weed control before restoration planting. We carried out the study in Araras-SP, with 22 species of native trees, of which 11 are classified as fast-growing and wide canopy species (hereafter referred to as shade species), and the other 11 were species not classified as fast-growing or wide canopy species (hereafter referred to as diversity species), in an area previously destined for decades to intensive agriculture and with good levels of soil fertility for planting native trees. The experimental was completely randomized in a split-plot design, with 24 plots and four treatments: 1 - intensive weed control with fertilization; 2 - intensive weed control without fertilization; 3 - non-intensive weed control with fertilization; and 4 - non-intensive weed control without fertilization. In addition to the mowing of the seedlings, in intensive control there was application of glyphosate-based herbicide every three months and in non-intensive mechanized mowing every six months, both between rows. Fertilization carried out was with NPK in three moments, we applied 53 kg ha⁻¹ of N, 35 kg ha⁻¹ of P and 51 kg ha⁻¹ of K. We evaluated the basal diameter at the ground level, the total tree height, and the crown projection area, in three distinct periods, four, 10 and 16 months after planting. We submitted the results to analysis using a generalized linear model and a *post hoc* test (Emmeans) to assess significant differences ($p < 0.05$). Individually, the planting group and the species influence of all growth variables investigated, fertilization only influenced the increase in basal diameter and the method of weed control did not influence any of the measured variables. The interaction between the weed control and tree species influenced the three variables, the fertilization with planting group influenced the height increase and the fertilization interaction with the species influenced the increases in basal diameter and height. In general, shade species showed greater growth than those in the diversity species group, but this growth was variable when we looked at the tree species and not all shade species showed greater increments than the diversity species. Although forest intensification is generally an

advantageous practice for tropical forest restoration plantations, our results show that in an area previously used for intensive agriculture, its benefits at 16 months are not remarkable. Thus, both local and historical factors must be incorporated in the decision to intensify forestry in forest restoration.

Keywords: fertilization, invasive grasses, herbicide, seedlings, reforestation, ecological restoration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área experimental no CCA-UFSCar, Araras-SP, Brasil. Destaque em vermelho do plantio de 1,84 ha objeto desse estudo.	24
Figura 2 – (A) Dados climatológicos e (B) balanço hídrico mensal do período em que o experimento foi realizado. Dados da estação meteorológica da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), localizada em Piracicaba, SP, distante 70 km da área de estudo. Fonte: Adaptado de ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998, Posto Meteorológico – Professor Jesus Marden dos Santos. ESALQ - USP, 2021.	25
Figura 3 – Ilustração do esquema do módulo de plantio com a sequência das espécies arbóreas plantadas. Os formatos e cores são meramente ilustrativos, não representado o comportamento das espécies no campo.....	30
Figura 4 – Instalação do experimento. A) Sulcagem das linhas de plantio com trator, com espaçamento de 3 m entre linhas. B) Recebimento das mudas, com idade variando de 120 a 150 dias. C) Plantio das mudas com espaçamento de 2 m entre indivíduos.	31
Figura 5 – Ilustração do esquema do delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) em esquema de parcelas subdivididas. CCA/UFSCar, Araras, SP. Fonte: Britez, 2019; Ornelas, 2020.....	32
Figura 6 – Tratamento primário, com controle de plantas indesejáveis no experimento. A) Aplicação do herbicida com trator nas parcelas de manejo intensivo. B) Aplicação do herbicida com o pulverizador costal nas parcelas de manejo intensivo. C) Coroamento manual das mudas com enxada. D) Mudanças coroadas. E) Roçada mecanizada com trator nas parcelas de manejo não intensivo. F) Roçada mecanizada com roçadeira costal nas parcelas de manejo não intensivo.	33
Figura 7 – Tratamento secundário - adubação. A) Adubação inicial em quatro covetas laterais. B) Adubação de cobertura em semicorona.	34
Figura 8 – Avaliações biométricas do experimento. A) Instrumentos de medida. B) Medição do diâmetro à altura do solo com paquímetro digital. C) Medição da altura total com auxílio da haste de bambu. D) Medição dos diâmetros da projeção da copa para determinação da área da copa com a trena.	36

- Figura 9** – Quadrado inventário (0,25 m x 0,25 m) usado para amostrar plantas indesejáveis. 37
- Figura 10** – Amostragem de biomassa de espécies indesejáveis. A) Amostragem na entrelinha com o quadrado inventário ainda com as plantas indesejáveis. B) Quadrado inventário no mesmo local que na figura A sem a parte aérea das plantas indesejáveis. C) Amostragem na coroa da muda, *C. langsdorffi*, com o quadrado inventário ainda com as plantas indesejáveis. D) Quadrado inventário no mesmo local que na figura C sem a parte aérea das plantas indesejáveis..... 38
- Figura 11** – Área experimental de restauração florestal submetida à fertilização do solo e à intensificação do controle de plantas indesejáveis, em Araras, SP, Brasil, A) em fevereiro de 2019, antes do plantio e B) em fevereiro de 2021, 24 meses após o plantio. Fonte: A: Britez, 2019; B: Sais, 2021..... 41
- Figura 12** – Área do experimento aos nove meses (dezembro/2019) com infestação de plantas indesejáveis. A) Coroamento em parcela de Controle Não Intensivo. B) Coroamento em parcela de Controle Não Intensivo. C) Coroamento em parcela de Controle Intensivo. D) Coroamento em parcela de Controle Intensivo. 42
- Figura 13** – Incremento em diâmetro à altura do solo (IDAS) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, no controle intensivo e não intensivo de plantas indesejáveis. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor > 0,05). Letras minúsculas comparam as espécies arbóreas num método de controle, letras maiúsculas comparam os métodos de controle de espécies indesejáveis em cada espécie. Círculos (●) representam valores extremos da variável medida. 43
- Figura 14** – Incremento em altura (IH) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, no controle intensivo e não intensivo de plantas indesejáveis. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor > 0,05). Letras minúsculas comparam as espécies arbóreas num método de controle, letras maiúsculas comparam os métodos de controle de espécies indesejáveis em cada espécie. Círculos (●) representam valores extremos da variável medida. 44
- Figura 15** – Área da copa (AC) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, no controle intensivo e não intensivo de plantas indesejáveis. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor >

- 0,05). Letras minúsculas comparam as espécies arbóreas num método de controle, letras maiúsculas comparam os métodos de controle de espécies indesejáveis em cada espécie. Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.....45
- Figura 16** – Influência da adubação no incremento em diâmetro à altura do solo (IDAS) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor > 0,05). Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.....46
- Figura 17** – Incremento em altura (IH) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, nos tratamentos com adubação e sem adubação. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor > 0,05). Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.....46
- Figura 18** – Incremento em diâmetro à altura do solo (IDAS) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, nos tratamentos com e sem adubação. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor > 0,05). Letras minúsculas comparam as espécies arbóreas num tratamento de adubação, letras maiúsculas comparam os tratamentos de adubação em cada espécie. Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.47
- Figura 19** – Incremento em altura (IH) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, nos tratamentos com e sem adubação. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor > 0,05). Letras minúsculas comparam as espécies arbóreas num tratamento de adubação, letras maiúsculas comparam os tratamentos de adubação em cada espécie. Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.48
- Figura 20** – Influência do grupo de plantio no crescimento de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, submetido a tratamentos de adubação e de controle de plantas indesejáveis, em Araras, SP, Brasil. (A) – Incremento em diâmetro à altura do solo equivalente, (B) – Incremento em altura e (C) – Área da copa – AC. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor > 0,05). Círculos (●) fora dos retângulos representam valores extremos da variável medida.....49
- Figura 21** – Influência da espécie arbórea no crescimento de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, submetido a tratamentos de adubação e de controle de plantas indesejáveis, em Araras, SP, Brasil. (A) – Incremento em diâmetro à altura do solo

equivalente – IDAS q, (B) – Incremento em altura – IH e (C) – Área da copa – AC. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra na ponta não diferem entre si (p-valor > 0,05). Círculos (●) fora dos retângulos representam valores extremos da variável medida.50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação, média (\pm erro padrão) e mediana dos atributos da análise química para fins de fertilidade e da análise física para granulometria do Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico da área de experimento.	27
Tabela 2 – Espécies arbóreas recobridoras (R) e de diversidade (D) selecionadas para o experimento.	28
Tabela 3 – Média (\pm erro padrão) da biomassa seca de espécies indesejáveis acima do solo (n = 24) em um plantio de restauração submetido a tratamentos de controle de plantas daninhas e fertilização de mudas, em Araras-SP, Brasil.	38
Tabela 4 – Valores de significância (p-valor, análise de modelo linear generalizado) dos fatores fixos e suas interações para cada variável de crescimento das mudas aos 16 meses, em plantio de restauração submetido a tratamentos de adubação e de controle de plantas indesejáveis, em Araras, SP, Brasil.	40

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	19
OBJETIVOS.....	22
Objetivo geral	22
Objetivos específicos	23
MATERIAL E MÉTODOS.....	23
Caracterização da área experimental	23
Instalação do experimento	27
Avaliações biométricas	34
Avaliação da biomassa seca de plantas indesejáveis	36
Forma de análise dos resultados	39
RESULTADOS	39
Controle de plantas indesejáveis e o crescimento.....	41
Adubação e o crescimento	45
Grupo de plantio e o crescimento	48
Espécies arbóreas e o crescimento.....	49
DISCUSSÃO.....	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS	56

INTRODUÇÃO

A restauração ecológica é o processo de assistir à recuperação de um ecossistema que foi degradado, perturbado ou destruído (SER, 2004). Sendo assim, a restauração ecológica tem a difícil tarefa de restabelecer os processos ecológicos em ecossistemas degradados para que estes sejam capazes de se autoperpetuar em longo prazo, sem depender de intervenções humanas constantes (BRANCALION et al., 2010).

Nos últimos anos, temos notado um aumento sem precedentes no esforço global para a restauração ecológica em larga escala. Alguns exemplos são os ambiciosos compromissos internacionais do Bonn Challenge, que pretende restaurar 350 milhões de hectares até 2030 (MCDONALD et al., 2016), e a declaração da Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU) sobre a Década de Restauração de Ecossistemas de 2021 a 2030, com o comprometimento de restaurar mais de 170 milhões de hectares (FAO, 2020).

Esses esforços visam reverter os danos causados aos ecossistemas e ao bem-estar humano pela degradação antrópica e, em particular, combater a crise climática global (CHAZDON et al., 2016; MCDONALD et al., 2016; MURCIA et al., 2016; HOLL, 2017). Apenas ecossistemas saudáveis e equilibrados podem prover adequadamente benefícios, como a resiliência das paisagens, a conservação da biodiversidade, o sequestro de carbono, a proteção de bacias hidrográficas e a manutenção da segurança alimentar (RIGUEIRA, 2015; MCDONALD et al., 2016).

O plantio de mudas de árvores nativas pode reconstruir rapidamente, em aproximadamente dois a cinco anos, a estrutura florestal (LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005; FERREZ et al., 2015; SUGANUMA; DURIGAN, 2015). Por estas e outras razões, o plantio de mudas de árvores nativas é a técnica mais empregada na restauração ativa de florestas tropicais. Isto é especialmente notado na Mata Atlântica brasileira, onde os remanescentes são altamente fragmentados e as áreas destinadas à restauração, além de comumente distantes de fontes de sementes, possuem baixa resiliência, solos esgotados e infestados por gramíneas invasoras (RIBEIRO et al., 2009; MANTOANI et al., 2012; MARTINS, 2017; GONÇALVES et al., 2018).

A restauração de florestas tropicais tem como meta chave inicial, formar rapidamente um dossel arbóreo (RODRIGUES et al., 2009; VIANI et al., 2017; ALMEIDA; VIANI, 2019a). O rápido recobrimento do solo pelas árvores é importante, pois controla a quantidade, qualidade e distribuição temporal e espacial da luz, as condições de umidade, a temperatura e,

principalmente, porque assim promove o controle de espécies indesejáveis (JENNINGS; BROWN; SHEIL, 1999; MARTINS et al., 2004).

Em plantios de restauração florestal com seleção inadequada de espécies, a retomada das funções do ecossistema pode ser comprometida (SOUZA; BATISTA, 2004; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005). Dentro do princípio de retomar a sucessão florestal nas áreas em processo de restauração, busca-se criar uma estrutura da floresta capaz de proporcionar sombra permanente, eliminando espécies exóticas invasoras, fornecendo abrigo e alimento para conservar permanentemente a fauna local e, assim, favorecendo a regeneração natural (RODRIGUES et al., 2009).

Na restauração da Mata Atlântica é comum separar as espécies em grupos de plantio, nomeando-as como recobridoras ou de diversidade (RODRIGUES et al., 2009; RODRIGUES et al., 2011). As árvores recobridoras possuem a função de sombrear rapidamente o solo, formando o dossel arbóreo. Portanto, são espécies de crescimento rápido, geralmente pioneiras e secundárias iniciais, com copa densa e ampla. As árvores denominadas de diversidade são as demais espécies arbóreas, as quais agregam diversidade ao plantio, possuem velocidade de crescimento comparativamente mais lento e/ou copas menos amplas, maior dependência da sombra pro crescimento (RODRIGUES et al., 2009; RODRIGUES et al., 2011; BRANCALION; RODRIGUES; GANDOLFI, 2015; ALMEIDA; VIANI, 2019a).

Há inúmeras circunstâncias que dificultam ou inviabilizam o sucesso inicial das ações de restauração florestal, o manejo da vegetação invasora, particularmente das gramíneas exóticas, é um dos fatores condicionantes do crescimento de espécies arbóreas e, portanto, um gargalo da restauração a ser superado (FAO, 2011; MELO et al., 2010; MARTINS, 2017; RESENDE; LELES, 2017). Espécies arbóreas nativas normalmente têm lenta taxa de crescimento e baixa absorção de nutrientes quando comparadas às gramíneas invasoras (RESENDE; LELES, 2017). Ademais, a obtenção de água e nutrientes pelas árvores plantadas é dificultada pela competição com espécies indesejáveis (EYLES et al., 2012).

Nas condições iniciais de degradação dos sítios em restauração, a alta capacidade de adaptação das plantas invasoras a diferentes ambientes e a sua maior habilidade em aproveitar os recursos, lhes favorecem na competição com as espécies nativas plantadas (ALVINO-RAYOL; ROSA; RAYOL, 2011; HOLL, 2002; PIVELLO, 2008). O fornecimento adequado de nutrientes favorece o crescimento das plantas, pois melhora o desempenho fotossintético, aumenta o sistema de raízes e aumenta a resistência a pragas e doenças, contribuindo

efetivamente para o estabelecimento mais rápido das plantas no campo (SILVA et al., 2006; FERREIRA; GONÇALVES; FERRAZ, 2009; ROZANE; NATALE, 2014).

As adubações constituem um fator importante para acelerar o desenvolvimento das mudas plantadas, podendo reduzir custos com controle de invasoras e acelerar a sucessão florestal (GONÇALVES; 1995; CARLOS et al., 2014). Espera-se que as espécies recobridoras respondam de modo mais acentuado à adubação (KAGEYAMA; CASTRO, 1989; KAGEYAMA; GANDARA, 2001), pois teriam uma estratégia competitiva e aquisitiva de recursos, uma vez que geralmente são espécies pioneiras, iniciais na sucessão florestal. Contudo, são necessários mais estudos sobre a adubação de espécies arbóreas nativas, em consequência da carência de informações sobre o comportamento nutricional e a resposta à fertilização dessas espécies (CECONI et al., 2006; GONÇALVES et al., 2012; SORREANO; RODRIGUES; BOARETTO, 2012; FERREZ et al., 2015).

A restauração florestal deve contemplar medidas que propiciem o retorno dos processos ecológicos originais e, para isso, devem ser empregados métodos de manejo capazes de controlar as espécies indesejáveis e que simultaneamente acelerem o desenvolvimento das mudas (MANTOVANI, 1998; RODRIGUES; GANDOLFI, 2000; CONSTANTIN, 2011; MARTINS, 2011). O estabelecimento e o crescimento em altura, diâmetro do caule e área da copa das árvores plantadas respondem positivamente à intensificação da silvicultura pelo aumento da intensidade e frequência de adubação e de controle químico de espécies indesejáveis, especialmente durante os estágios iniciais de uma plantação florestal (PARROTTA; TURNBULL; JONES, 1997; FURTINI NETO et al., 2004; SANTOS; GONÇALVES; FELDPAUSCH, 2006; CAMPOE et al., 2014; FERREZ et al., 2015; BRANCALION et al., 2019).

Os resultados até o momento sugerem que plantios de restauração florestal normalmente se beneficiam da silvicultura de alto insumo (também chamada de intensificação silvicultural), com adubação e controle intensivo de espécies indesejáveis de modo similar a plantações florestais comerciais (PARROTTA; TURNBULL; JONES, 1997; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005; FERREZ et al., 2015). Entretanto, a quantidade de informações científicas relevantes sobre a intensificação da silvicultura ainda não é conclusiva e dificulta a elaboração e a eficiência de projetos de restauração florestal em larga escala, pois algumas questões básicas ainda permanecem sem esclarecimento: como, quando e quanto cada fator considerado na intensificação da silvicultura, ou seja, adubação e controle de espécies indesejáveis, afeta isoladamente o sucesso inicial da restauração florestal? Em condições de

restauração em que o controle das espécies indesejáveis não é feito quimicamente e/ou de modo intensivo, as árvores nativas ainda se mantêm responsivas à adubação? Além disso, vale ressaltar que, em muitas condições de restauração florestal, o controle químico de espécies indesejáveis é restrito ou não permitido pelos financiadores e/ou proponentes da restauração florestal (ICMBIO, 2014). Nessas condições, saber quais as espécies que são menos sensíveis à competição com plantas invasoras é uma informação relevante.

Vale ressaltar que os estudos de intensificação silvicultural na restauração florestal foram realizados em áreas recobertas por gramíneas ou em pastagens abandonadas (CAMPOE; STAPE; MENDES, 2010; CAMPOE et al., 2014; FERREZ et al., 2015; BRANCALION et al., 2019; VALENZUELA et al., 2018; TURCHETTO et al., 2020) e não se sabe quais seriam os resultados em áreas submetidas a décadas de agricultura intensiva, com controle químico rotineiro e com adubação periódica, capaz de construir uma fertilidade do solo. O Brasil, por exemplo, tem milhares, talvez milhões de hectares de áreas de agricultura intensiva que devem ser reconvertidos em florestas nativas. Saber se e como a intensificação silvicultural é necessária nestes locais é importante para aperfeiçoar a restauração florestal.

As intervenções empregadas na restauração ecológica variam muito, dependendo das perturbações e das limitações atuais do sítio a ser restaurado (SER, 2004) e o sucesso do cumprimento das metas globais de restauração de ecossistemas dependerá da capacidade de implementá-las de forma eficiente. Florestas tropicais têm elevada riqueza de espécies vegetais e crescimento relativamente lento das árvores nativas quando comparada as espécies indesejáveis, aspectos que estimulam grande demanda de estudos sobre manejo das árvores plantadas e controle de espécies indesejáveis na restauração florestal (HOLL, 2017). Estudos nesse sentido são essenciais para o desenvolvimento de técnicas e orientações eficientes, que reduzam os custos e otimizem o potencial da restauração ecológica.

OBJETIVOS

Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é testar a hipótese de que mudas de árvores nativas respondem positivamente à intensificação da fertilização do solo e do controle de espécies indesejáveis, mesmo em locais de agricultura intensiva com fertilização recorrente e controle químico de espécies indesejáveis antes do plantio de restauração.

Objetivos específicos

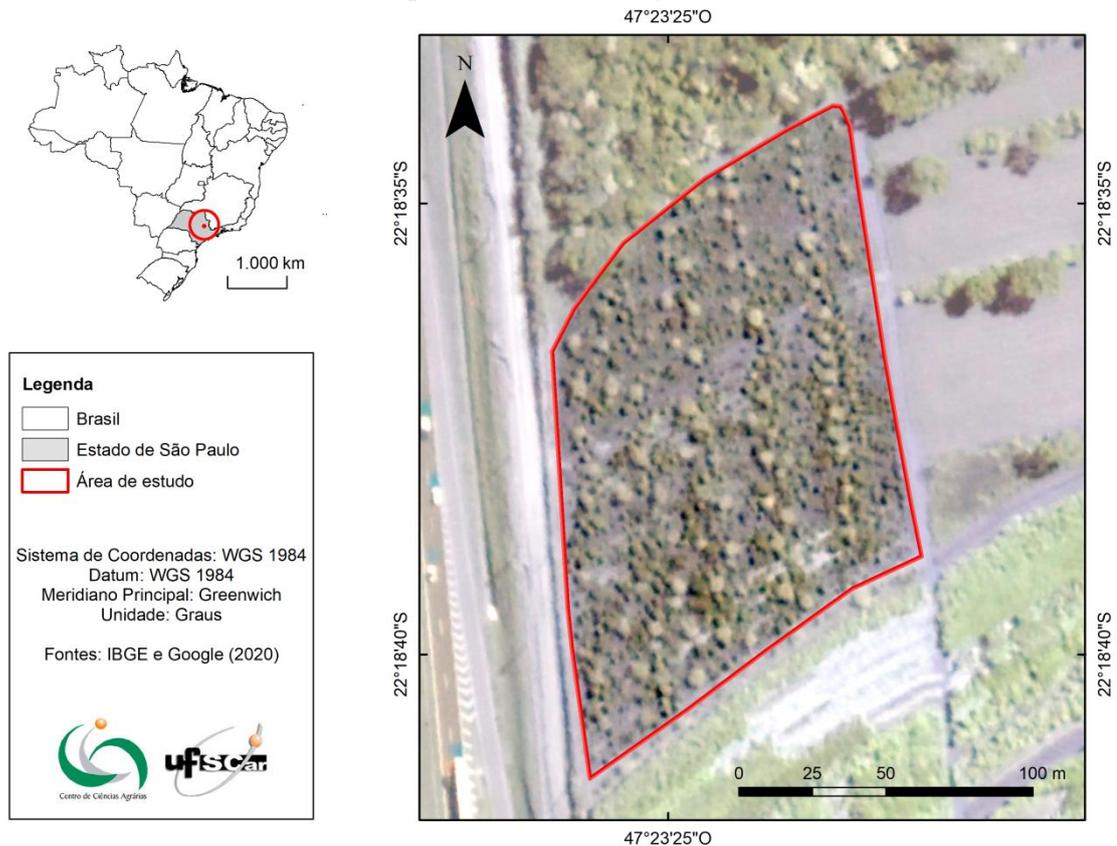
1. Avaliar se a intensificação do controle de espécies indesejáveis e a fertilização do solo resultarão em mudas de árvores nativas com maiores crescimentos em altura, diâmetro do caule e área da copa.
2. Verificar se o crescimento do diâmetro do caule e da altura e área da copa respondem positivamente à fertilização do solo realizada na ausência de controle intensivo de espécies indesejáveis.
3. Verificar como as espécies arbóreas de recobrimento e as de diversidade respondem à intensificação do controle de espécies indesejáveis e à fertilização do solo, isoladamente e em interação.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

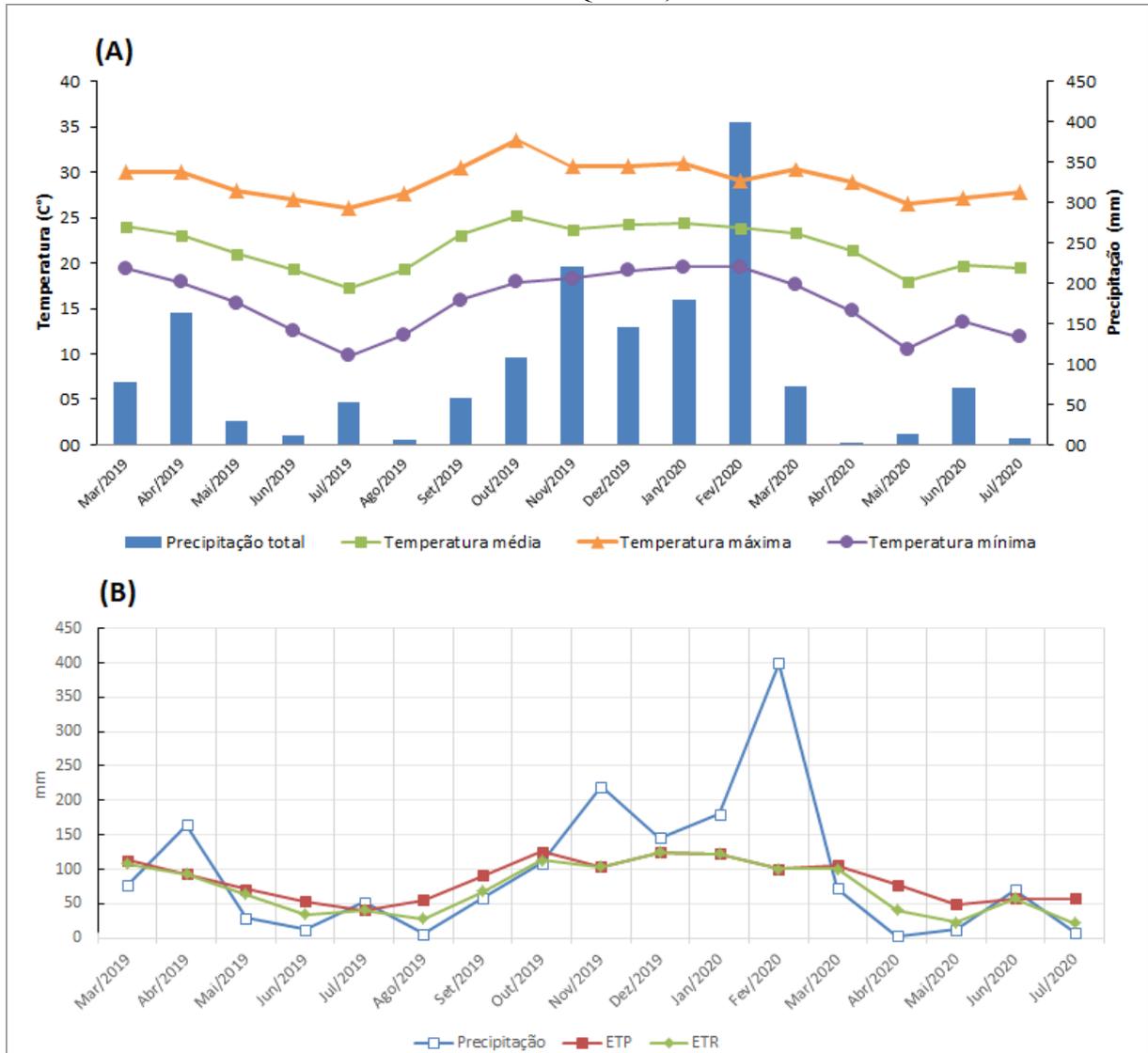
Conduzimos o estudo em uma área (Figura 1) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (CCA-UFSCar), *campus* Araras-SP (22°18'38" S e 47°23'25" O; 674 m de altitude).

Figura 1 – Localização da área experimental no CCA-UFSCar, Araras-SP, Brasil. Destaque em vermelho do plantio de 1,84 ha objeto desse estudo.



De acordo com a classificação climatológica de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa mesotérmico e possui duas estações bem definidas, sendo o inverno seco e o verão quente e chuvoso (ÁLVARES et al., 2013). A estação seca ocorre nos meses de maio a setembro, enquanto os meses mais chuvosos vão de outubro a abril. De março de 2019 a julho de 2020, a temperatura média foi de 21,7°C, variando de 17,3°C nos meses mais frios a 25,2°C nos meses mais quentes, e a precipitação foi de 1.619 mm (Figura 2).

Figura 2 – (A) Dados climatológicos e (B) balanço hídrico mensal do período em que o experimento foi realizado. Dados da estação meteorológica da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), localizada em Piracicaba, SP, distante 70 km da área de estudo. Fonte: Adaptado de ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998, Posto Meteorológico – Professor Jesus Marden dos Santos. ESALQ - USP, 2021.



O *campus* Araras localiza-se em área onde originalmente predominava a Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012), que é uma formação vegetacional que tem sido bastante degradada pela expansão histórica da agricultura no sul e sudeste do Brasil e onde se concentram as iniciativas de restauração florestal (RIBEIRO et al., 2009). A área experimental ocupa aproximadamente 1,84 ha (160 m x 115 m), sendo delimitada por áreas de rotação de cultura com soja e milho a leste; cana-de-açúcar a sul; área de restauração florestal a norte; e a rodovia Anhanguera a oeste.

Durante décadas, aproximadamente desde a década de 1970 até 2017, o local do plantio foi utilizado para o cultivo de cana-de-açúcar, com rotação com soja. Em 2018, a cana-de-açúcar foi substituída pelo cultivo rotativo de soja e milho. Durante todo esse período de cultivo, ocorreram correções periódicas do pH do solo com calcário, adubações rotineiras de base e de cobertura, com macro e micronutrientes, e controle frequente de plantas indesejáveis com herbicidas. O último cultivo se deu em 2018 e, antes da implantação do experimento, a área estava ocupada por plantas que nasceram espontaneamente.

O solo predominante no local é o Nitossolo Vermelho Distroférrico latossólico, ácido (pH 5,1), com textura argilosa e no geral com média a alta disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca catiônica e saturação catiônica (LIMA FILHO, 2000; YOSHIDA; STOLF, 2016). Coletamos amostras da camada arável (0-0,2 m) para a caracterização química para fins de fertilidade (Tabela 1). As análises químicas de solo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, e a análise granulométrica (Tabela 1), no Laboratório de Física do Solo, ambos do CCA-UFSCar *campus* Araras, SP.

A caracterização química do solo foi feita de acordo com métodos descritos em VAN RAIJ et al. (2001). Coletamos 24 amostras compostas, com cinco subamostras cada, para análise dos seguintes parâmetros: pH_{CaCl_2} , matéria orgânica, P_{resina} , K, Ca, Mg, acidez potencial (H+Al), soma de bases, capacidade de troca catiônica total (CTCt) e saturação por bases (V%). Para complementar a caracterização química do solo coletamos seis amostras compostas, com 20 subamostras cada, para a análise dos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). Coletamos oito amostras compostas, com cinco subamostras cada, para a análise granulométrica a partir da determinação dos teores de areia, silte e argila (TEIXEIRA et al., 2017).

Tabela 1 – Variação, média (\pm erro padrão) e mediana dos atributos da análise química para fins de fertilidade e da análise física para granulometria do Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico da área de experimento.

Atributo	Variação	Média	Mediana
P _{Resina} (mg dm ⁻³)	8-35	15,96 \pm 1,44	15,00
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	22-33	27,13 \pm 0,54	27,00
pH CaCl ₂	4,8-5,3	5,04 \pm 0,03	5,10
K (mmol _c dm ⁻³)	0,8-3,1	1,95 \pm 0,13	1,95
Ca (mmol _c dm ⁻³)	25-49	36,46 \pm 1,29	36,00
Mg (mmol _c dm ⁻³)	14-24	18,46 \pm 0,55	19,00
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	31-45	35,71 \pm 0,77	34,00
Soma de bases (mmol _c dm ⁻³)	40,2-74,9	56,86 \pm 1,85	57,05
Capacidade de troca catiônica (mmol _c dm ⁻³)	74,2-105,9	92,57 \pm 1,39	92,85
Saturação por bases (V%)	51-71	61 \pm 1,22	62,50
B (mg dm ⁻³)	0,23-0,29	0,27 \pm 0,01	0,28
Cu (mg dm ⁻³)	0,4-2,2	0,90 \pm 0,29	0,60
Fe (mg dm ⁻³)	24-29	27,33 \pm 0,84	28,00
Mn (mg dm ⁻³)	2,8-8,4	5,35 \pm 0,82	5,70
Zn (mg dm ⁻³)	0,1-0,6	0,38 \pm 0,08	0,50
Argila (g dm ⁻³)	473-513	496,75 \pm 4,98	498
Silte (g dm ⁻³)	155-207	186,13 \pm 5,41	190
Areia (g dm ⁻³)	302-339	317,13 \pm 5,21	313

Instalação do experimento

Selecionamos 22 espécies de árvores nativas para a investigação, sendo 11 de diversidade e 11 recobridoras, e duas espécies para plantio nas bordaduras (Tabela 2). Essa classificação em grupos de plantio tem sido frequentemente empregada em plantios de restauração da Mata Atlântica (RODRIGUES et al., 2009; RODRIGUES et al., 2011). As espécies foram escolhidas de acordo com a disponibilidade de mudas do viveiro fornecedor (Viveiro Camará, Ibaté-SP), priorizando as mais plantadas na restauração da Floresta Estacional Semidecidual (ALMEIDA; VIANI, 2019b).

Tabela 2 – Espécies arbóreas recobridoras (R) e de diversidade (D) selecionadas para o experimento.

Siglas	Nº	Nome Científico	Família	Grupo de plantio
AN	1	<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul	Fabaceae	R
EU	2	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Myrtaceae	D
AE	3	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	Lamiaceae	R
GA	4	<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	Phytolaccaceae	D
CI	5	<i>Cytharexylum myrianthum</i> Cham.	Verbenaceae	R
LA	6	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	Lythraceae	D
HE	7	<i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth	Malvaceae	R
CT	8	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	Boraginaceae	D
CR	9	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	Euphorbiaceae	R
CE	10	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	Lecythidaceae	D
SM	11	<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H. S.Irwin & Barneby	Fabaceae	R
HA	12	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Bignoniaceae	D
SE	13	<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	Fabaceae	R
AS	14	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll. Arg.	Apocynaceae	D
IN	15	<i>Inga vera</i> subsp. <i>affinis</i> (DC.) T.D.Penn.	Fabaceae	R
CO	16	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Fabaceae	D
AL	17	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	Euphorbiaceae	R
PH	18	<i>Phytolacca dioica</i> L.	Phytolaccaceae	D
AC	19	<i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schldt1.	Solanaceae	R
LI	20	<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	Anacardiaceae	D
SO	21	<i>Solanum granulosoleprosum</i> Dunal	Solanaceae	R
CA	22	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Salicaceae	D
IM	X	<i>Inga marginata</i> Willd.	Fabaceae	R
TA	X	<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	Apocynaceae	R

Os números (Nº) representam a ordem de disposição da espécie na parcela; as espécies com X foram plantadas nas bordaduras e não foram avaliadas.

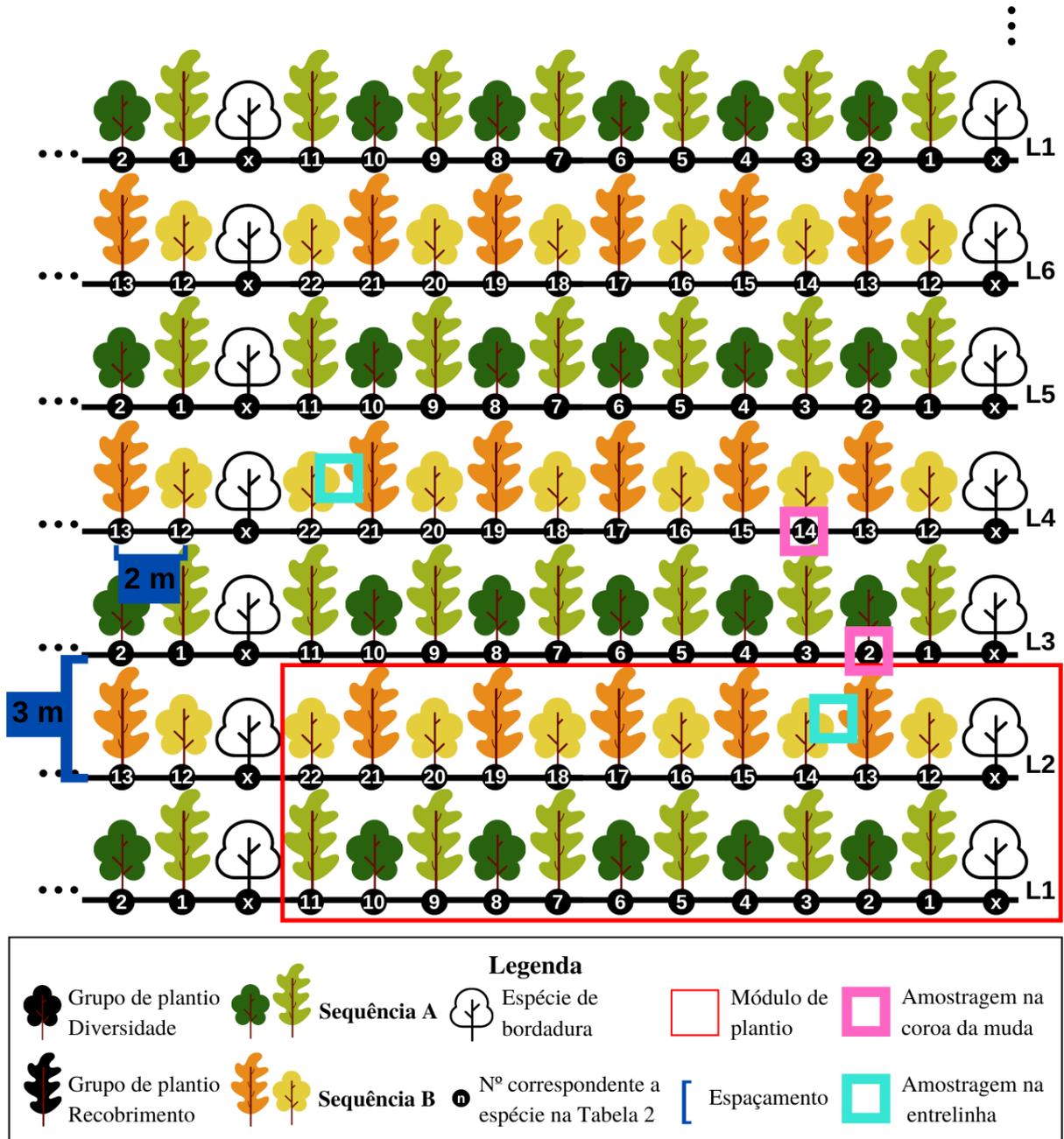
As mudas foram produzidas em recipiente de papel degradável (Ellepot) com 160 cm³, em substrato turfa canadense, casca de arroz carbonizada e vermiculita. Na data de plantio, as mudas tinham entre 120 e 150 dias de idade.

Iniciamos a instalação do experimento em março de 2019. O preparo da área foi o convencionalmente usado nos plantios de restauração florestal, ou seja, eliminação das plantas que nasceram espontaneamente e inicialmente existentes no local com aplicação de 4 L ha⁻¹

de glifosato, preparo do solo com subsolador e grade, e sulcagem das linhas de plantio com sulcador acoplado a um trator. Após o preparo da área, realizamos um sobrevoo com drone, com posterior processamento no software QGIS Development Team (2017) para quantificação do número e comprimento das linhas de plantio. Foram traçadas 47 linhas com 6 m a 111 m de comprimento. Dessas, selecionamos 36 para o delineamento do experimento, que tinham comprimento para terem ao menos 49 mudas plantadas por linha (quatro sequências de espécies).

Para o plantio, separamos as espécies em duas sequências, ambas intercalando uma espécie recobridora com uma espécie de diversidade (Figura 3). Em uma linha (sequência A), plantamos as espécies de número 1 a 11 (Tabela 2) e, na linha seguinte (sequência B), plantamos as espécies de número 12 a 22 (Tabela 2), até completar todas as linhas. No início de cada sequência, plantamos uma muda das espécies de bordadura (espécies X da Tabela 4). O módulo de plantio do projeto foi formado por duas linhas, a primeira com a sequência A e a segunda com a sequência B (Figura 3).

Figura 3 – Ilustração do esquema do módulo de plantio com a sequência das espécies arbóreas plantadas. Os formatos e cores são meramente ilustrativos, não representado o comportamento das espécies no campo.



Ao todo, plantamos 2.645 mudas em março de 2020. Para o controle de formigas cortadeiras, usamos formicida granulado à base de fipronil durante o plantio e aos 18 meses. Plantamos as mudas com espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre as plantas (Figura 4), que é o usualmente empregado em plantios de restauração. Durante 17 dias após o plantio, choveu um total de 4,6 mm (UFSCar, 2019). Para minimizar o estresse hídrico, irrigamos as mudas diariamente (aproximadamente 5-6 L por muda) com auxílio de caminhão pipa. A

irrigação ocorreu por duas semanas, pois após o décimo oitavo dia após o plantio a frequência de chuva aumentou (UFSCar, 2019). Em abril/2019, realizamos o replantio das mudas mortas, respeitando a identidade da espécie.

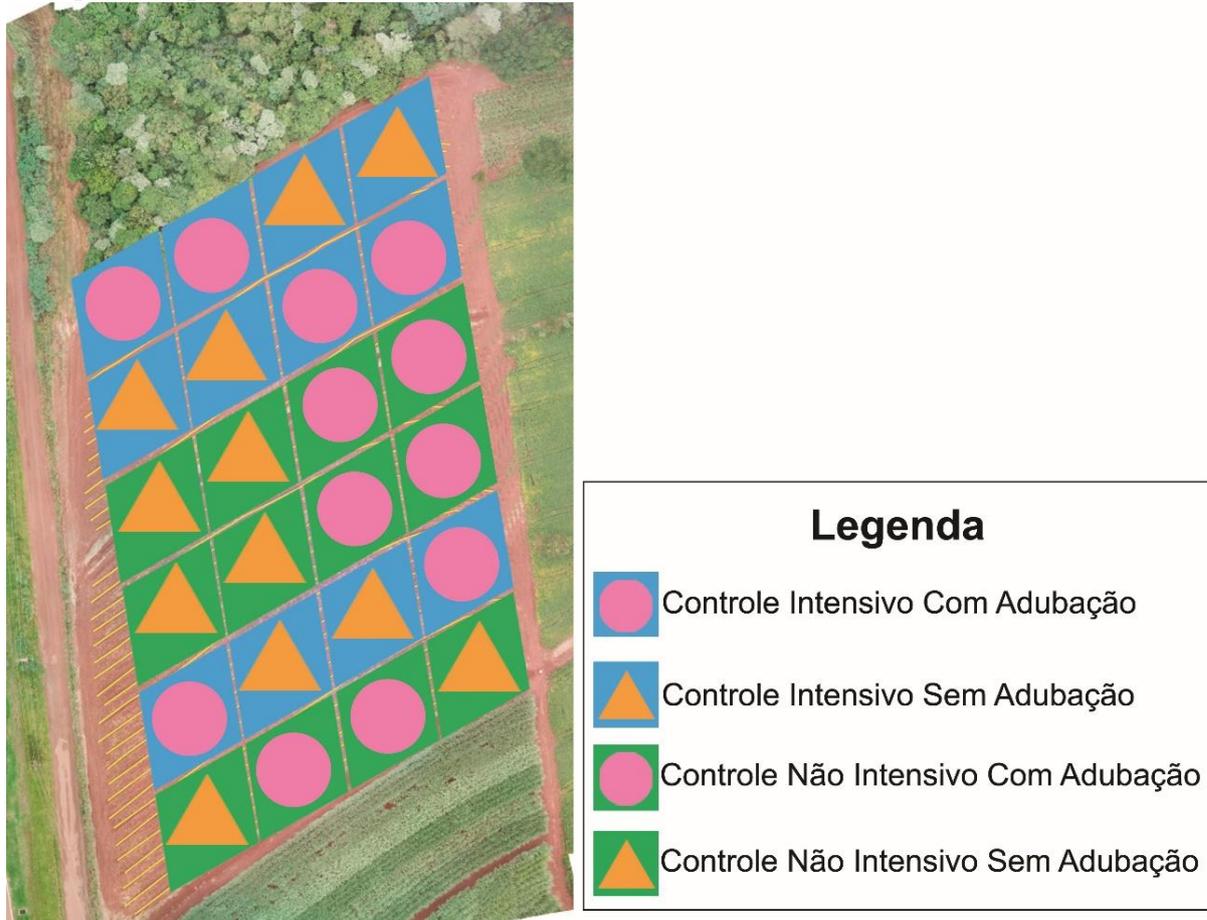
Figura 4 – Instalação do experimento. A) Sulcagem das linhas de plantio com trator, com espaçamento de 3 m entre linhas. B) Recebimento das mudas, com idade variando de 120 a 150 dias. C) Plantio das mudas com espaçamento de 2 m entre indivíduos.



O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema de parcelas subdivididas (Figura 5), com quatro tratamentos e seis repetições por tratamento. Definimos o fator controle de plantas indesejáveis como tratamento primário e distribuímos aleatoriamente os níveis desse tratamento em seis parcelas principais. O fator adubação (com ou sem adubação) ficou definido como tratamento secundário e distribuído aleatoriamente em 24 subparcelas dentro das parcelas principais. Cada subparcela contou com seis linhas (três sequências do módulo de plantio – Figura 3), com 12 indivíduos por linha, três por espécie e uma área de 432 m² (24 m x 18 m). Em cada suparcela, foi determinado, por sorteio, um dos tratamentos listados a seguir:

- 1- Controle intensivo de plantas indesejáveis com adubação;
- 2- Controle intensivo de plantas indesejáveis sem adubação;
- 3- Controle não intensivo de plantas indesejáveis com adubação;
- 4- Controle não intensivo de plantas indesejáveis sem adubação.

Figura 5 – Ilustração do esquema do delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) em esquema de parcelas subdivididas. CCA/UFSCar, Araras, SP. Fonte: Brites, 2019; Ornelas, 2020.



Definimos a constituição do tratamento primário de maneira a expressar duas condições usuais de controle de plantas indesejáveis na restauração florestal. Para o controle intensivo, aplicamos 1 L ha^{-1} de glifosato, um herbicida pós-emergente não seletivo, na entrelinha de plantio, além de realizarmos o coroamento manual das mudas, num raio de 50 cm, com enxada (Figura 6). Fizemos esse tratamento a cada três meses: julho e outubro de 2019, janeiro, abril, julho e outubro de 2020. As três primeiras aplicações do herbicida foram feitas com trator e as duas últimas com pulverizador costal manual devido à altura das árvores e para evitar danos às copas pela circulação do trator. A calda era composta de 1 L de água para 0,01 L de produto comercial, com composição do ingrediente ativo de 480 g de glifosato e 360 g de equivalente ácido de glifosato por litro do produto.

O controle não intensivo representou o manejo convencional, sem uso de herbicida e menos frequente. Neste, roçamos mecanicamente as entrelinhas e fizemos o coroamento manual das mudas, num raio de 50 cm, com enxada (Figura 6). Fizemos esse tratamento a cada seis meses: julho de 2019, janeiro e julho de 2020. As duas primeiras roçadas foram

feitas com trator e roçadeira costal motorizada e a última, apenas com roçadeira costal motorizada, em função do crescimento das árvores limitar a circulação na área com trator.

Figura 6 – Tratamento primário, com controle de plantas indesejáveis no experimento. A) Aplicação do herbicida com trator nas parcelas de manejo intensivo. B) Aplicação do herbicida com o pulverizador costal nas parcelas de manejo intensivo. C) Coroamento manual das mudas com enxada. D) Mudas coroadas. E) Roçada mecanizada com trator nas parcelas de manejo não intensivo. F) Roçada mecanizada com roçadeira costal nas parcelas de manejo não intensivo.



Realizamos a adubação das parcelas em três momentos: uma adubação aos sete meses pós-plantio (outubro de 2019), e duas adubações de cobertura na estação chuvosa, sendo a primeira aos dez meses (janeiro de 2020) e a segunda, aos 12 meses pós-plantio (março de 2020). Calculamos a adubação com macronutrientes primários com base na recomendação de fertilização de plantios de árvores nativas para fins de restauração da Mata Atlântica (GONÇALVES, 1995) e nas análises químicas para fins de fertilidade do solo (Tabela 1). Usamos uma abordagem conservadora para calcular, consideramos os menores níveis de P e K observados na área experimental. Isto resultou na recomendação de aplicação de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 80 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅) e 60 kg ha⁻¹ de potássio (K₂O). A correção do solo com calcário não foi necessária, pois o solo apresentou saturação por bases (V% = 61) mais alta do que a usualmente desejada (V% = 50) para o plantio de

mudas de árvores nativas (GONÇALVES, 1995). Os valores de micronutrientes estavam adequados de acordo com a análise do solo (Tabela 1), e não adicionamos ao tratamento de fertilização. A dose recomendada por hectare foi dividida pela densidade de plantio ($\cong 1.667$ plantas ha^{-1}), obtendo-se a quantidade da formulação NPK a ser fornecida a cada muda.

A adubação inicial (Figura 7) foi feita em quatro covetas laterais ao redor de cada muda, visando à aplicação próxima às raízes. Aplicamos 85 g do fertilizante mineral composto por NPK na proporção 04-14-08, por coveta, com a intenção de atender à toda necessidade de P nessa aplicação, totalizando aproximadamente 0,0136 kg de N, 0,0208 kg de P e 0,0226 kg de K por muda. Para adubação de cobertura, aplicamos 45 g do fertilizante mineral, composto por NPK 20-0-10 em semicoroa na parte superior da área de cada muda, em cada uma das duas adubações de cobertura, totalizando aproximadamente 0,0180 kg de N e 0,0075 kg de K por muda. Com base nessas fertilizações, aplicamos 53 kg ha^{-1} de N, 35 kg ha^{-1} de P e 51 kg ha^{-1} de K.

Figura 7 – Tratamento secundário - adubação. A) Adubação inicial em quatro covetas laterais. B) Adubação de cobertura em semicoroa.



Avaliações biométricas

Realizamos a avaliação dos estimadores biométricos em três diferentes períodos: quatro, dez e 16 meses após o plantio (julho/2019, janeiro/2020 e julho/2020). Nas duas primeiras avaliações, mensuramos o diâmetro do caule ao nível do solo (DAS) e a altura total. Na última avaliação, medimos também a área da projeção da copa sobre o solo. Fizemos essas medições para cada indivíduo de todas as 24 parcelas.

Para medição do DAS utilizamos paquímetro digital (Figura 8). Os valores foram coletados sempre com instrumento posicionado perpendicularmente à linha de plantio. Quando o caule tinha diâmetro maior que o paquímetro digital, medimos a circunferência com fita métrica, com posterior conversão para diâmetro. Posteriormente à coleta de campo, calculamos o diâmetro equivalente para as árvores com mais de um fuste, usando a fórmula $DAS_q = \sqrt{\sum (DAS)^2}$.

Para medição da altura, usamos uma haste de bambu com altura igual a 2 m, com uma fita métrica aderida e, para árvores maiores que a haste, um clinômetro digital (Haglöf) (Figura 8). Convencionamos como altura total, a altura do colo da muda até a inserção da última folha. No caso de árvores com mais de um fuste, medimos a altura do mais alto.

Para minimizar as possíveis diferenças do tamanho inicial das mudas nas variáveis medidas, calculamos o incremento mensal em DAS e altura. Usamos a primeira medição, aos quatro meses após o plantio (julho/2019), e a última medição, aos 16 meses após o plantio (julho/2019) e transformamos em incremento usando as fórmulas: $IDAS = ((DAS_{q_{final}} - DAS_{q_{inicial}})/DAS_{q_{inicial}})/12$, em $cm\ cm^{-1}\ mês^{-1}$; incremento em altura (IH) = $((H_{final} - H_{inicial})/H_{inicial})/12$, em $cm\ cm^{-1}\ mês^{-1}$.

Para a medição da área da copa das árvores, as consideramos como elipsoides. Com uma trena, medimos o maior diâmetro de projeção da copa no solo e o diâmetro perpendicular a ele. A área da copa (AC) foi então calculada pela fórmula: $AC = (\pi * r1 * r2)$, sendo $r1 =$ maior diâmetro/2 e $r2 =$ menor diâmetro/2 (ALMEIDA; VIANI, 2019a) (Figura 8).

Figura 8 – Avaliações biométricas do experimento. A) Instrumentos de medida. B) Medição do diâmetro à altura do solo com paquímetro digital. C) Medição da altura total com auxílio da haste de bambu. D) Medição dos diâmetros da projeção da copa para determinação da área da copa com a trena.



Avaliação da biomassa seca de plantas indesejáveis

Para incorporar possíveis variáveis influenciadoras do crescimento inicial das espécies arbóreas plantadas nas análises realizadas, avaliamos a biomassa acima do solo da comunidade de espécies indesejáveis. Amostramos a biomassa das plantas indesejáveis com o método do quadrado inventário com lados de 0,25 m x 0,25 m (Figura 9), em abril de 2020, 13 meses após o plantio e três meses após do controle de espécies indesejáveis em todas as subparcelas.

Figura 9 – Quadrado inventário (0,25 m x 0,25 m) usado para amostrar plantas indesejáveis.



Estabelecemos uma amostragem sistemática com quatro pontos de amostragem (Figura 3) para cada subparcela do delineamento do experimento, duas na entrelinha do plantio e duas na coroa da muda, onde realizamos as adubações. Selecionamos as mudas com copas pequenas de duas espécies de diversidade (*Eugenia uniflora* L. e *Copaifera langsdorffii* Desf.) para amostrarmos as coroas, pois, dessa forma, foi possível instalar o quadrado do inventário sob a copa. Para as amostragens nas entrelinhas, selecionamos locais distantes um do outro para incluir locais com projeções de copas diferentes.

Dentro do quadrado amostrado retiramos toda a parte aérea das plantas (Figura 10) com auxílio de uma tesoura e acondicionamos em sacos plásticos para serem levadas ao laboratório. No laboratório, acondicionamos em sacos de papel e em seguida secamos em estufa com circulação forçada de ar, mantida a 65 °C por 72 h. Após a secagem, pesamos o material em balança de precisão e determinamos a biomassa seca por subparcela (Tabela 3).

Figura 10 – Amostragem de biomassa de espécies indesejáveis. A) Amostragem na entrelinha com o quadrado inventário ainda com as plantas indesejáveis. B) Quadrado inventário no mesmo local que na figura A sem a parte aérea das plantas indesejáveis. C) Amostragem na coroa da muda, *C. langsdorffii*, com o quadrado inventário ainda com as plantas indesejáveis. D) Quadrado inventário no mesmo local que na figura C sem a parte aérea das plantas indesejáveis.



Tabela 3 – Média (\pm erro padrão) da biomassa seca de espécies indesejáveis acima do solo ($n = 24$) em um plantio de restauração submetido a tratamentos de controle de plantas daninhas e fertilização de mudas, em Araras-SP, Brasil.

Tratamentos	Gramíneas (kg ha ⁻¹)	Não-gramíneas (kg ha ⁻¹)	Total (kg ha ⁻¹)
Controle intensivo com adubação	1330,58 \pm 523,38	1368,28 \pm 135,53	2145,90 \pm 535,32
Controle intensivo sem adubação	1061,18 \pm 341,10	332,55 \pm 87,74	1393,73 \pm 373,98
Controle não intensivo com adubação	777,62 \pm 160,84	1368,28 \pm 254,95	2145,90 \pm 278,68
Controle não intensivo sem adubação	1205,02 \pm 269,98	1265,22 \pm 185,25	2470,23 \pm 170,36
Média	1093,60	893,46	1987,06

Forma de análise dos resultados

Para as análises estatísticas, usamos as variáveis IDAS, IH e área da copa (m^2 indivíduo⁻¹). Não incluímos *A. integrifolia* e *C. sylvestris* (numeradas com 3 e 22 na Tabela 2, respectivamente), devido ao número insuficiente de indivíduos, decorrente da alta mortalidade observada para essas duas espécies. Também não analisamos as espécies de bordadura (numeradas com X na Tabela 2), *I. marginata* e *T. hystrix*.

Submetemos as variáveis à análise em modelo linear generalizado (GLM), considerando controle de plantas indesejáveis, adubação, grupo de plantio e espécie como fatores fixos, para testar a influência dos fatores independentes e o efeito das interações como fonte de variação, e biomassa seca de espécies indesejáveis como fator aleatório. Comparamos os modelos gerados com o modelo completo (todos os fatores) e com as interações deles.

Para as análises, consideramos os resultados médios de cada espécie em separado para cada uma das seis repetições dos tratamentos. Posteriormente, realizamos teste *post-hoc* (Emmeans) para avaliar diferenças significativas ($p < 0,05$), comparando as médias das variáveis em pares (*pairs*). Fizemos as análises estatísticas e geramos os gráficos no programa estatístico RStudio versão 4.0.2 (R STUDIO TEAM, 2019).

RESULTADOS

Observamos boa heterogeneidade dos atributos químicos de fertilidade do solo entre as 24 subparcelas experimentais (Tabela 1). Os menores teores de P (8 mg dm^{-3}) e K ($0,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do solo, os quais usamos nos cálculos de adubação, consideramos baixo - médio e baixo - muito baixo, respectivamente (Raij et al. 1997). Considerando a média aritmética, a mediana, e mesmo os menores valores (Tabela 1), os demais parâmetros de fertilidade do solo (matéria orgânica (22 g dm^{-3}), Ca ($25 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Mg ($14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e capacidade de troca catiônica ($74,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)) foram compatíveis com Nitossolo, um dos solos tropicais mais inerentemente férteis (IUSS WRB, 2015).

Individualmente, o grupo de plantio e a espécie influenciaram todas as variáveis de crescimento investigadas, a adubação influenciou apenas o incremento em diâmetro do caule e o método de controle de plantas indesejáveis não influenciou nenhuma das variáveis de crescimento mensuradas (Tabela 4). A interação do controle de plantas indesejáveis com a espécie arbórea influenciou as três variáveis; a adubação com o grupo de plantio influenciou

apenas o incremento em altura e, por fim, a interação da adubação com a espécie influenciou o incremento em diâmetro e em altura (Tabela 4).

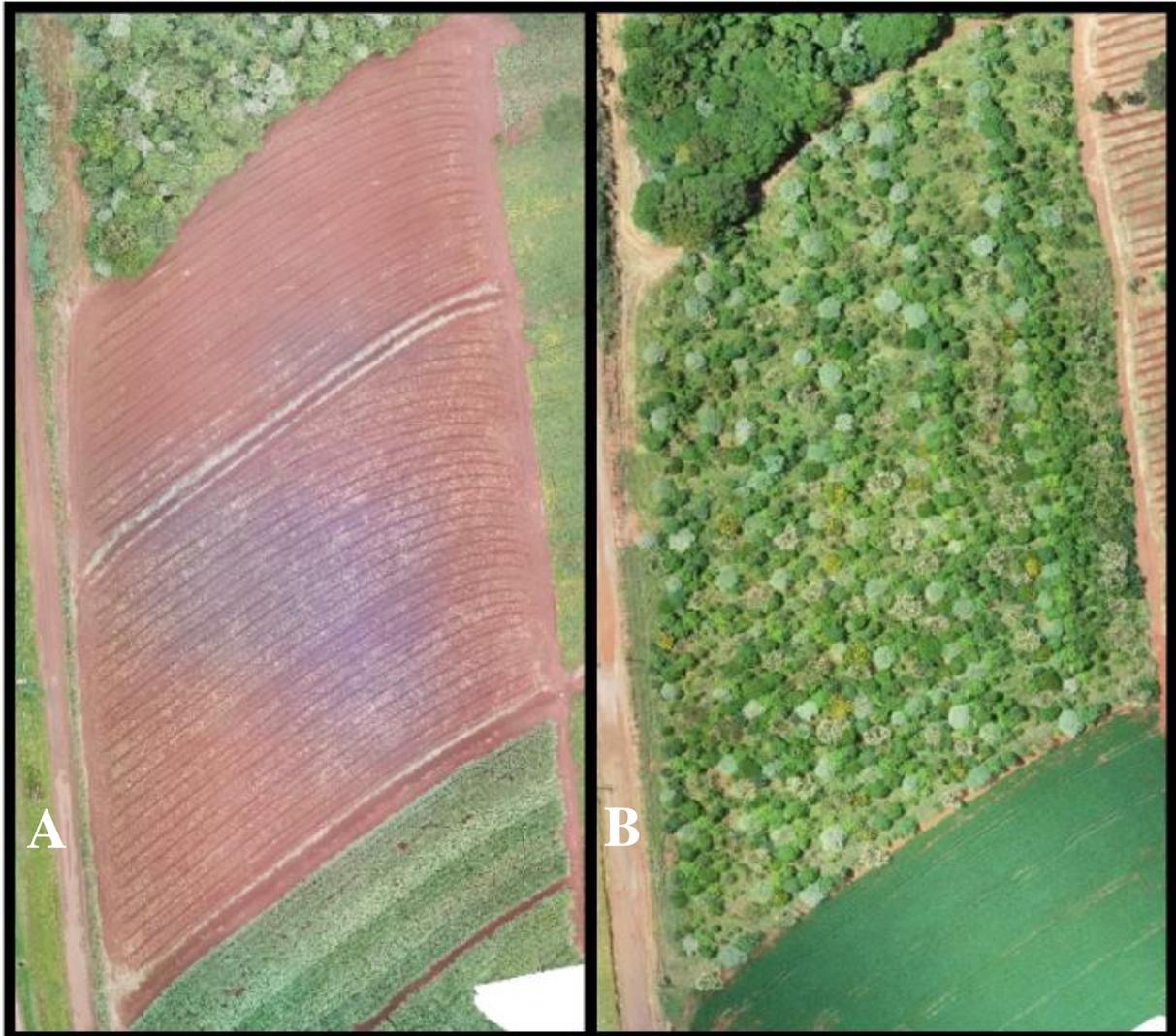
De modo geral, as plantas recobridoras apresentaram maiores incrementos em altura (32%) e diâmetro (47%) e área da copa (296%) do que as do grupo de diversidade. As espécies variam bastante entre si nos parâmetros de crescimento avaliados e nem todas as recobridoras apresentaram maiores incrementos que espécies de diversidade, assim como as espécies que apresentaram maiores valores para uma dada variável de crescimento, não foram as que também apresentaram maiores valores para as demais variáveis. No entanto, todos os tratamentos proporcionaram boa cobertura do dossel, homogênea, dois anos após o plantio (Figura 11).

Tabela 4 – Valores de significância (p-valor, análise de modelo linear generalizado) dos fatores fixos e suas interações para cada variável de crescimento das mudas aos 16 meses, em plantio de restauração submetido a tratamentos de adubação e de controle de plantas indesejáveis, em Araras, SP, Brasil.

Fatores	Variáveis		
	IDAS	IH	AC
Controle de plantas indesejáveis	0,236	0,409	0,405
Adubação	<0,01 *	0,120	0,106
Grupo de plantio	<0,01 *	<0,01 *	<0,01 *
Espécie arbórea	<0,01 *	<0,01 *	<0,01 *
Controle de plantas indesejáveis x Adubação	0,970	0,452	0,797
Controle de plantas indesejáveis x Grupo de plantio	0,374	0,677	0,466
Controle de plantas indesejáveis x Espécie arbórea	<0,01 *	<0,01 *	<0,01 *
Adubação x Grupo de plantio	0,360	<0,01 *	0,899
Adubação x Espécie arbórea	0,014 *	<0,01 *	0,751
Controle de plantas indesejáveis x Adubação x Grupo de plantio	0,978	0,951	0,838

IDAS = incremento médio em diâmetro ao nível do solo ($\text{cm cm}^{-1} \text{mês}^{-1}$), IH = incremento médio em altura ($\text{cm cm}^{-1} \text{mês}^{-1}$) e AC = área da copa ($\text{m}^2 \text{indivíduo}^{-1}$). * Apresentam influência significativa na variável (p-valor < 0,05).

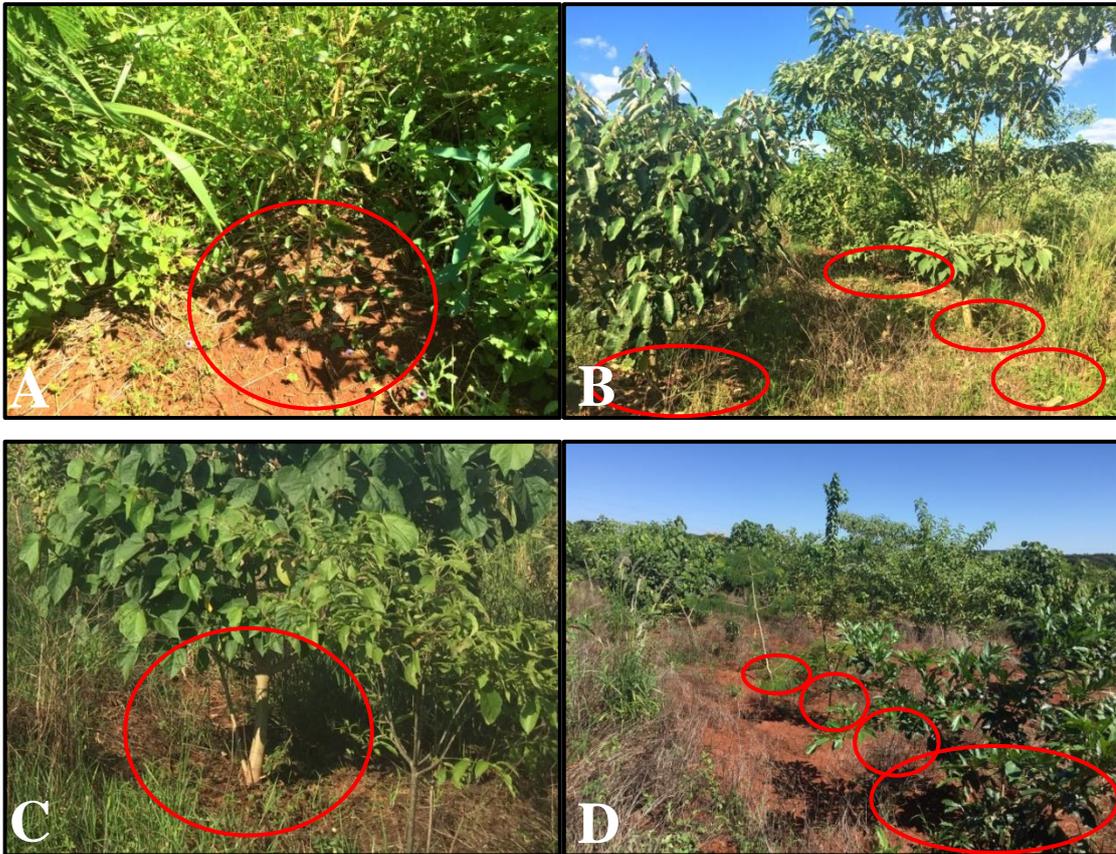
Figura 11 – Área experimental de restauração florestal submetida à fertilização do solo e à intensificação do controle de plantas indesejáveis, em Araras, SP, Brasil, A) em fevereiro de 2019, antes do plantio e B) em fevereiro de 2021, 24 meses após o plantio. Fonte: A: Brites, 2019; B: Sais, 2021.



Controle de plantas indesejáveis e o crescimento

A técnica de controle de plantas indesejáveis não influenciou o crescimento das árvores plantadas (Tabela 4, Figura 12). Observamos que o coroamento foi suficiente para desenvolvimento das mudas. A interação da técnica de controle de plantas indesejáveis com adubação ou com o grupo de plantio também não influenciou. Houve interação do controle de plantas indesejáveis com espécie arbórea para todas as três variáveis de crescimento investigadas (Figuras 13-15).

Figura 12 – Área do experimento aos nove meses (dezembro/2019) com infestação de plantas indesejáveis. A) Coroamento em parcela de Controle Não Intensivo. B) Coroamento em parcela de Controle Não Intensivo. C) Coroamento em parcela de Controle Intensivo. D) Coroamento em parcela de Controle Intensivo.



De modo geral, o crescimento variou mais entre espécies do que entre métodos de controle. Porém, apenas quatro espécies variaram o incremento em diâmetro de acordo com o método de controle de plantas indesejáveis: *C. trichotoma* teve maior incremento no controle intensivo, enquanto *A. colubrina*, *A. glandulosa* e *S. multijuga* apresentaram maior incremento no controle não intensivo (Figura 13). Apenas três espécies variaram o incremento em altura em função do método de controle: *C. trichotoma* teve maior incremento em altura no controle intensivo, enquanto *A. glandulosa* e *L. pacari* cresceram mais em altura no controle não intensivo de espécies indesejáveis (Figura 14). Por fim, oito espécies variaram o tamanho da copa de acordo com o método de controle de plantas indesejáveis, tendo *I. vera* maior copa no controle intensivo, e as demais, maior copa no controle não intensivo (Figura 15).

Figura 13 – Incremento em diâmetro à altura do solo (IDAS) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, no controle intensivo e não intensivo de plantas indesejáveis. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p -valor $> 0,05$). Letras minúsculas comparam as espécies arbóreas num método de controle, letras maiúsculas comparam os métodos de controle de espécies indesejáveis em cada espécie. Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.

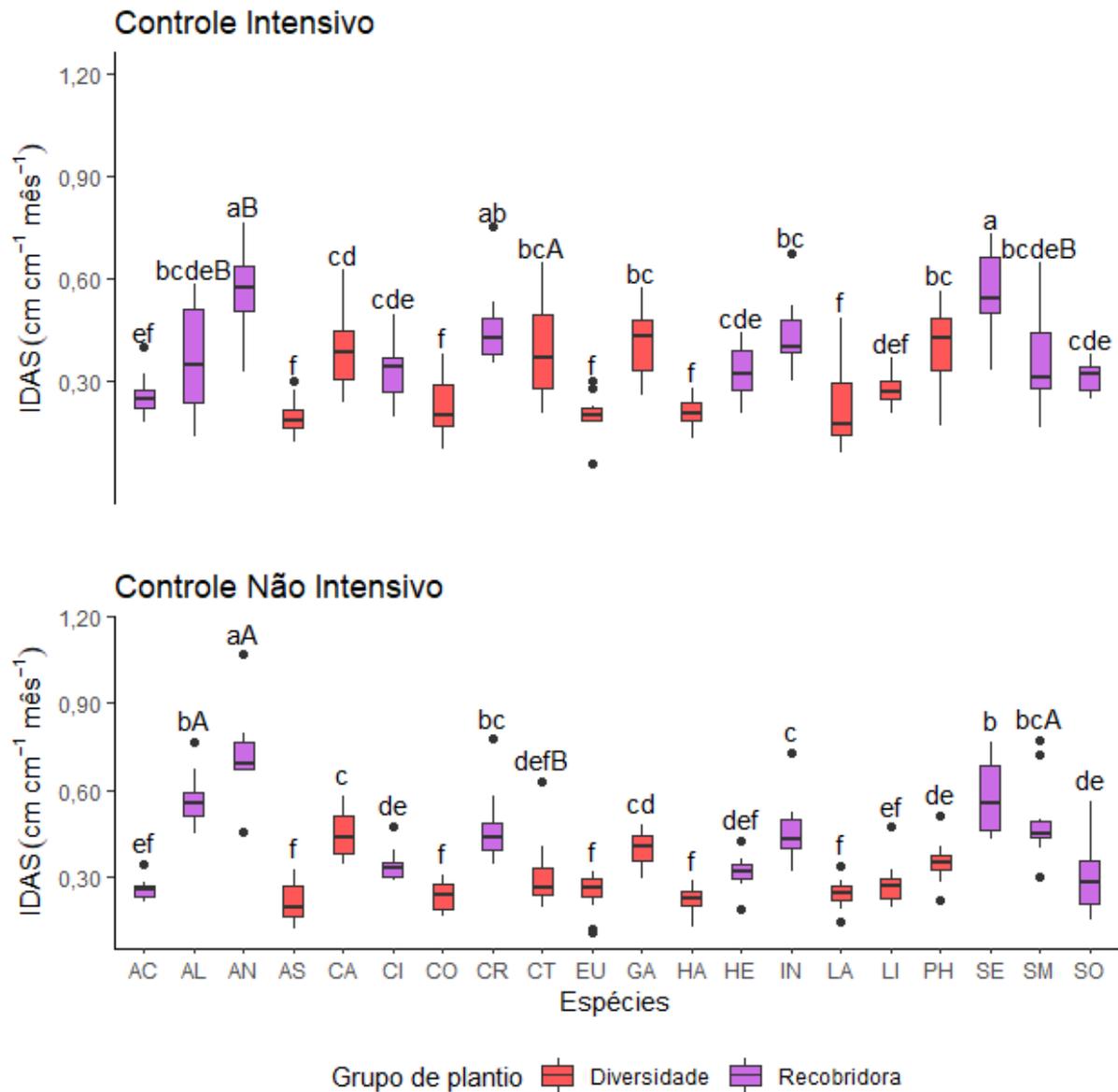


Figura 14 – Incremento em altura (IH) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, no controle intensivo e não intensivo de plantas indesejáveis. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor > 0,05). Letras minúsculas comparam as espécies arbóreas num método de controle, letras maiúsculas comparam os métodos de controle de espécies indesejáveis em cada espécie. Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.

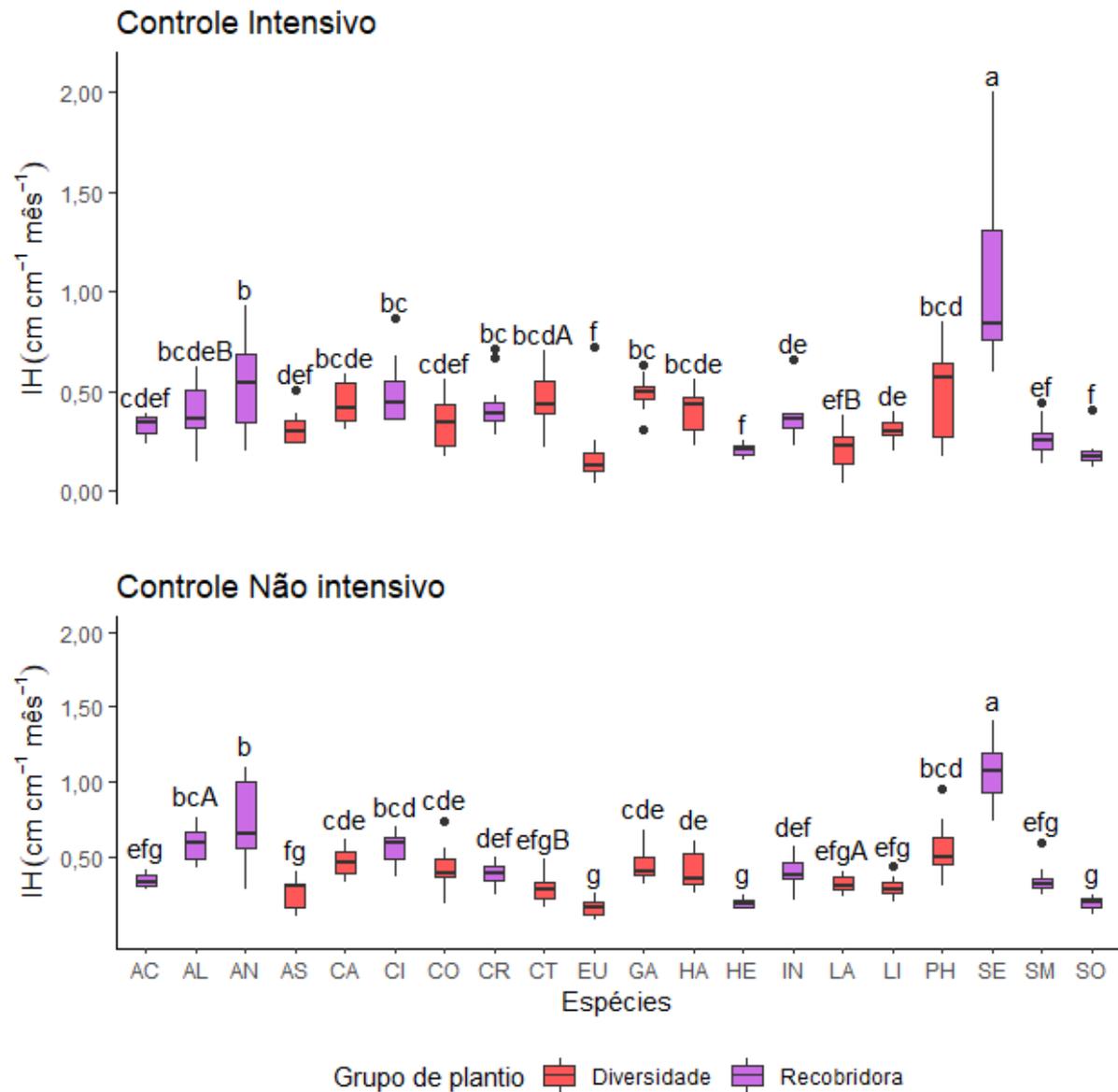
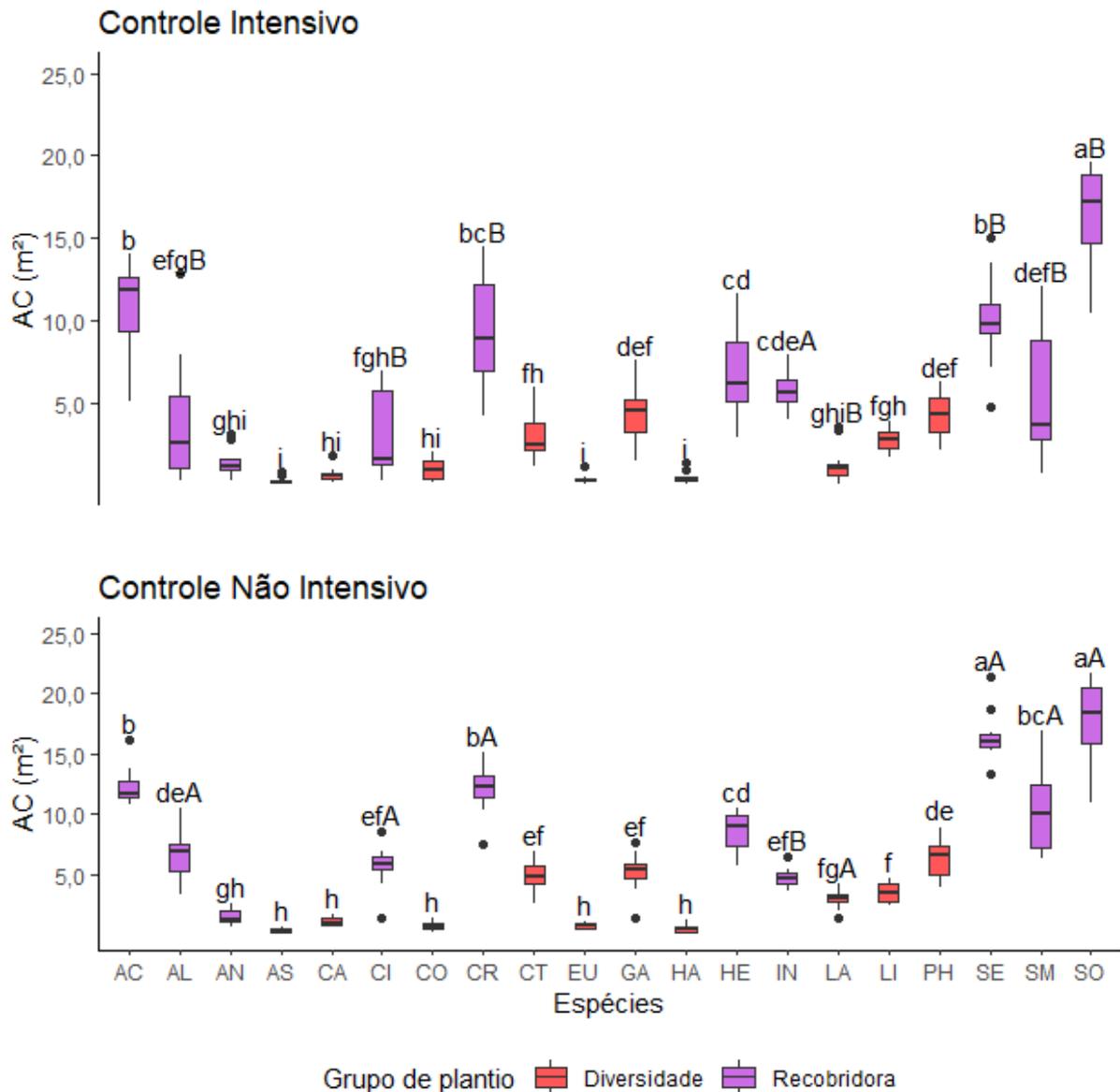


Figura 15 – Área da copa (AC) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, no controle intensivo e não intensivo de plantas indesejáveis. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor > 0,05). Letras minúsculas comparam as espécies arbóreas num método de controle, letras maiúsculas comparam os métodos de controle de espécies indesejáveis em cada espécie. Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.



Adubação e o crescimento

As árvores adubadas de ambos os grupos de plantio tiveram maior incremento em diâmetro do caule, porém não diferiram das não adubadas para outras variáveis de crescimento (Tabela 4, Figuras 16). Houve interação da adubação com grupo de plantio para o incremento altura (Figura 17), sendo o incremento em altura maior para as plantas recobridoras, como esperado.

Figura 16 – Influência da adubação no incremento em diâmetro à altura do solo (IDAS) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p -valor $> 0,05$). Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.

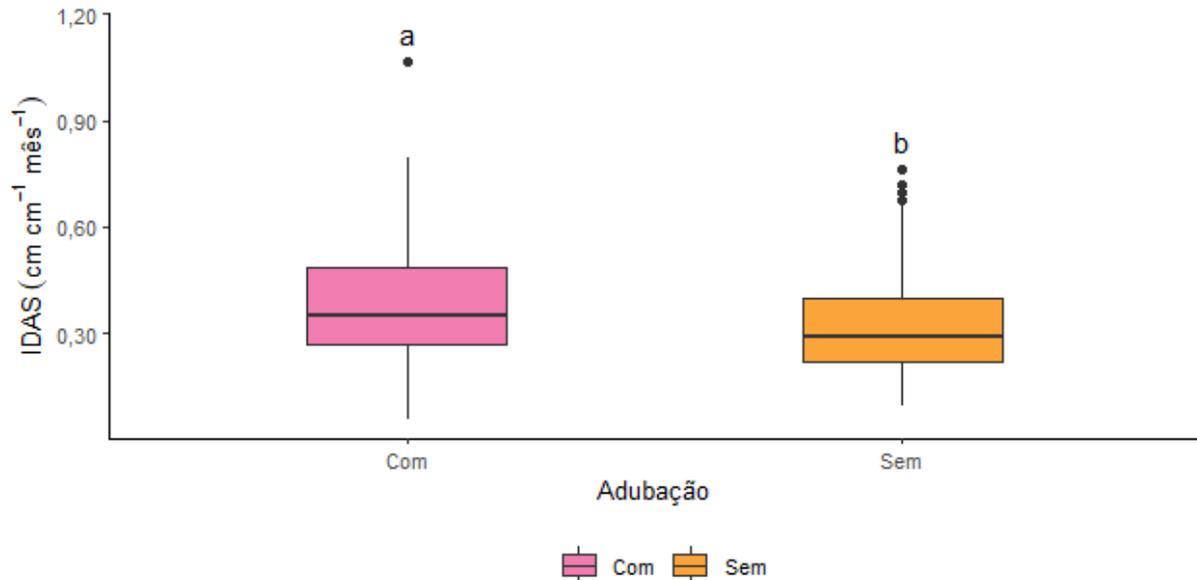
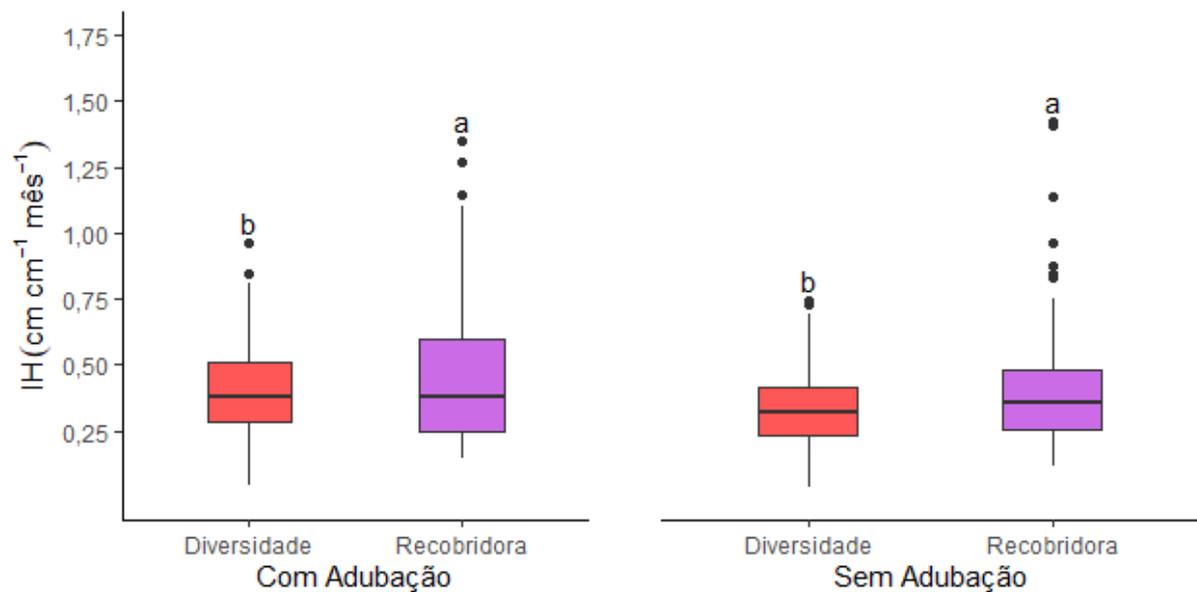


Figura 17 – Incremento em altura (IH) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, nos tratamentos com adubação e sem adubação. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p -valor $> 0,05$). Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.



A interação da adubação com espécie arbórea influenciou duas das variáveis de crescimento investigadas, incremento em diâmetro e em altura (Tabela 4). Embora nenhuma

espécie tenha tido maior incremento em diâmetro na ausência de adubação, apenas cinco tiveram maior incremento com adubação: *A. colubrina*, *C. floribundus*, *C. trichotoma*, *G. integrifolia* e *S. multijuga* (Figura 18). De maneira similar, quatro espécies cresceram mais em altura quando adubadas (*A. colubrina*, *C. sylvestris*, *C. myrianthum* e *P. dioica*), porém nenhuma espécie cresceu mais sem a adubação (Figura 19).

Figura 18 – Incremento em diâmetro à altura do solo (IDAS) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, nos tratamentos com e sem adubação. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p -valor $> 0,05$). Letras minúsculas comparam as espécies arbóreas num tratamento de adubação, letras maiúsculas comparam os tratamentos de adubação em cada espécie. Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.

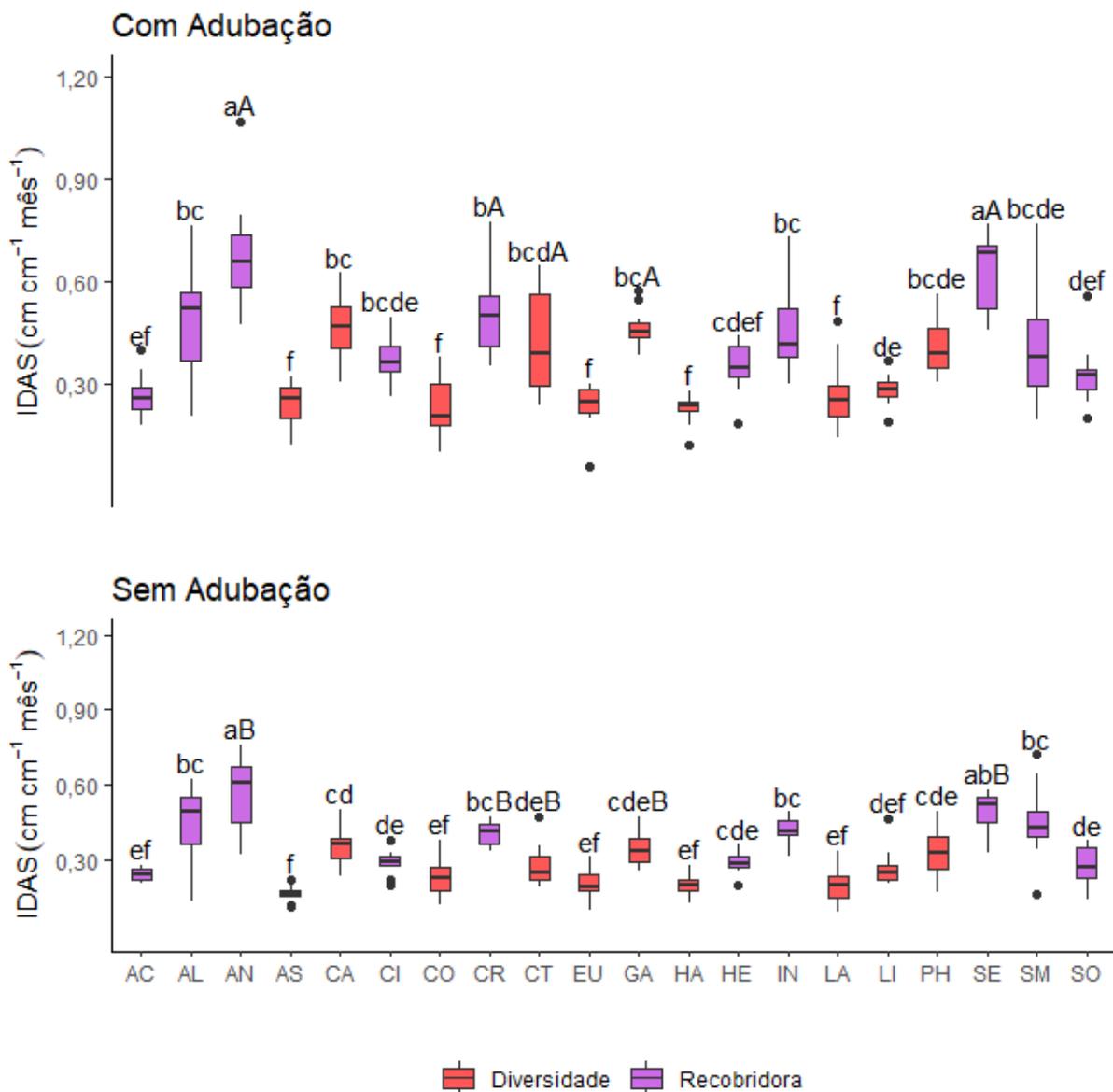
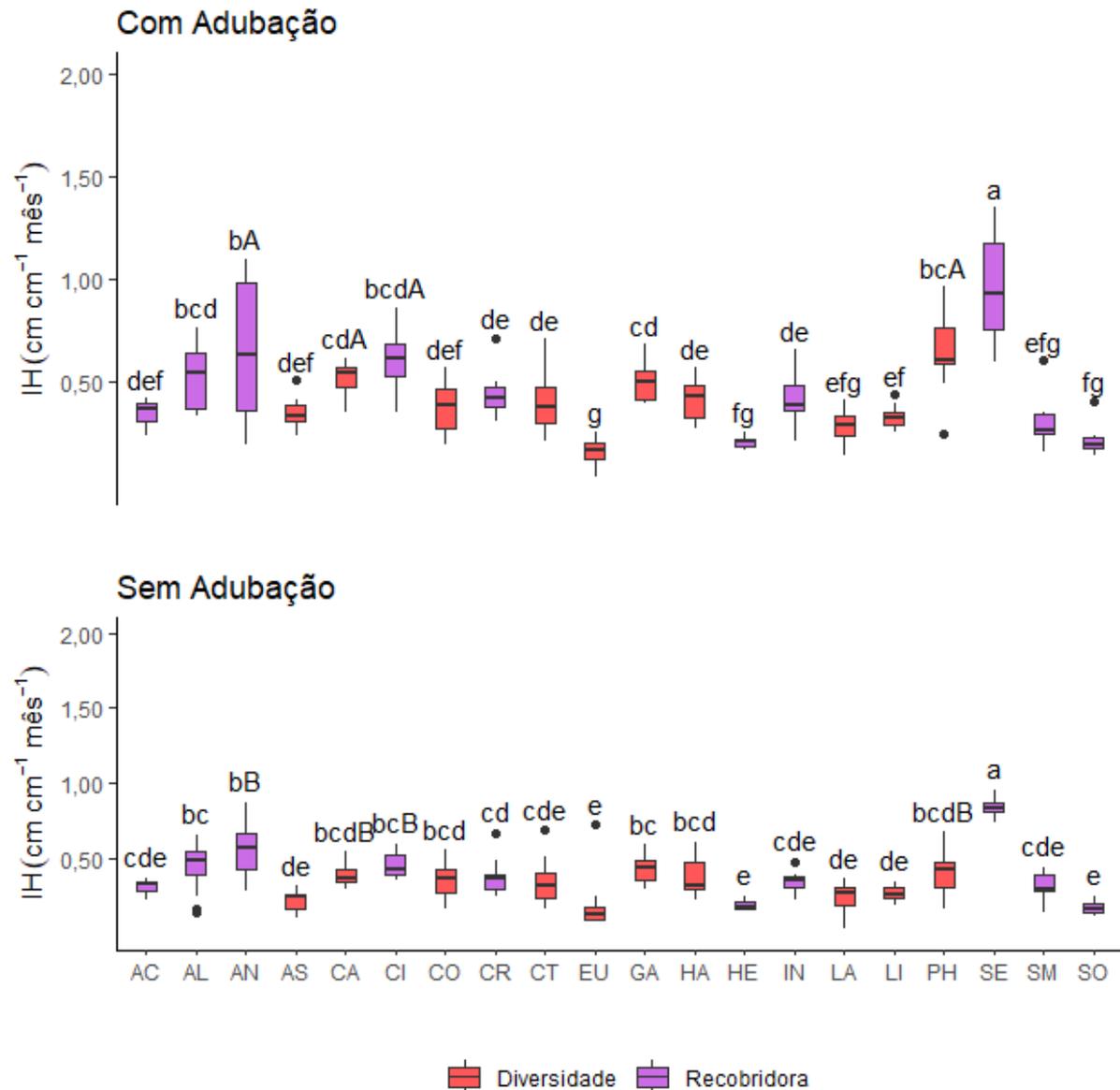


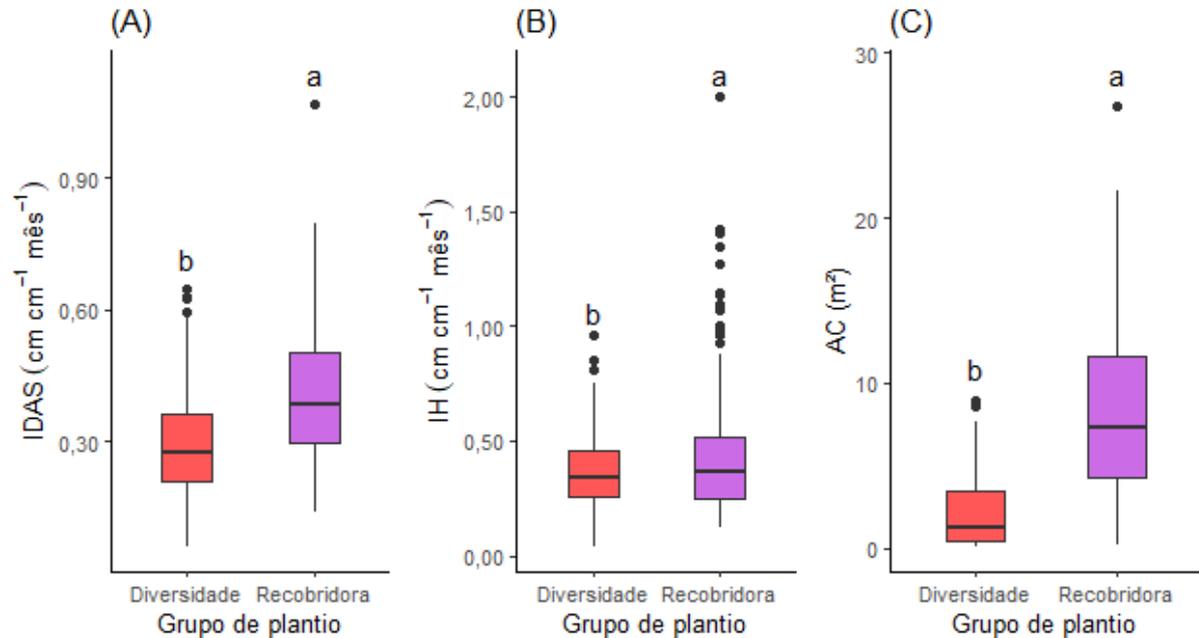
Figura 19 – Incremento em altura (IH) de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, em Araras, SP, Brasil, nos tratamentos com e sem adubação. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p -valor $> 0,05$). Letras minúsculas comparam as espécies arbóreas num tratamento de adubação, letras maiúsculas comparam os tratamentos de adubação em cada espécie. Círculos (●) representam valores extremos da variável medida.



Grupo de plantio e o crescimento

O grupo de plantio influenciou todas as variáveis e o crescimento foi sempre maior para as espécies recobridoras (Figura 20).

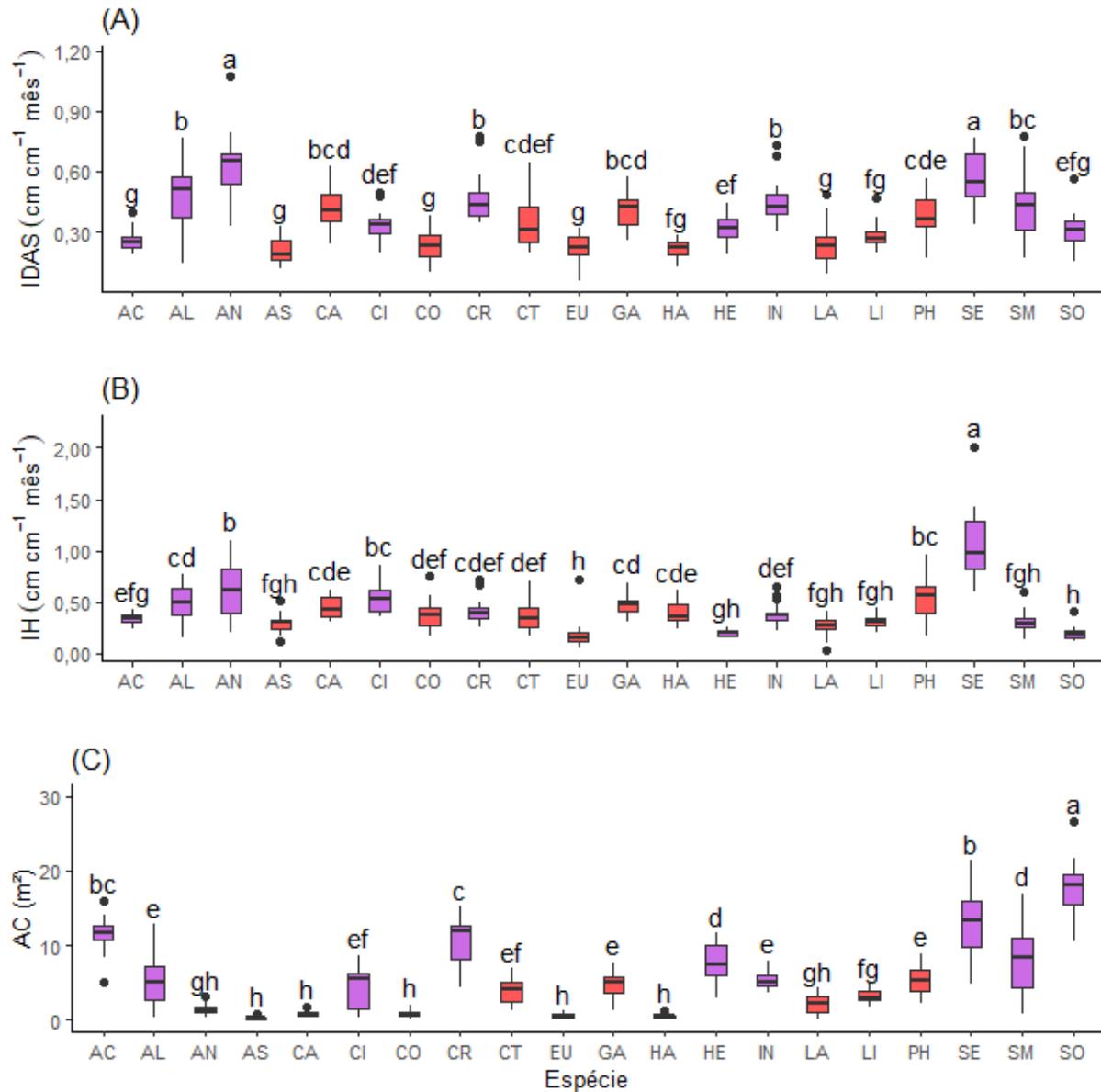
Figura 20 – Influência do grupo de plantio no crescimento de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, submetido a tratamentos de adubação e de controle de plantas indesejáveis, em Araras, SP, Brasil. (A) – Incremento em diâmetro à altura do solo equivalente, (B) – Incremento em altura e (C) – Área da copa – AC. Boxplot com a mesma letra não diferem entre si (p-valor > 0,05). Círculos (●) fora dos retângulos representam valores extremos da variável medida.



Espécies arbóreas e o crescimento

O crescimento variou para todos os parâmetros biométricos entre as espécies analisadas (Figuras 21). Os maiores incrementos em diâmetro foram observados para *A. colubrina* e *S. polyphylla* (Figura 21A), ambas as espécies recobridoras. O maior incremento em altura foi o de *S. polyphylla*, recobridora (Figura 21B). As espécies com as maiores áreas da copa foram *S. granulosoleprosum*, seguida por *A. arborescens* e *S. polyphylla*, espécies recobridoras (Figura 21C).

Figura 21 – Influência da espécie arbórea no crescimento de árvores nativas em plantio de restauração florestal com 16 meses, submetido a tratamentos de adubação e de controle de plantas indesejáveis, em Araras, SP, Brasil. (A) – Incremento em diâmetro à altura do solo equivalente – IDAS q, (B) – Incremento em altura – IH e (C) – Área da copa – AC. Siglas das espécies na Tabela 2. Boxplot com a mesma letra na ponta não diferem entre si (p -valor $> 0,05$). Círculos (●) fora dos retângulos representam valores extremos da variável medida.



DISCUSSÃO

De maneira geral, o crescimento de espécies arbóreas nativas no plantio de restauração florestal investigado não respondeu expressivamente à intensificação da adubação e do controle de espécies indesejáveis. O controle intensivo de espécies indesejáveis não resultou em árvores com maiores altura, diâmetro do caule e área da copa. A adubação resultou apenas

em árvores nativas com maiores diâmetro do caule, independentemente do método de controle de espécies indesejáveis. Ambos os resultados contrariam nossa hipótese e os resultados anteriores, que demonstram a silvicultura de alto insumo favorecendo o crescimento de árvores em plantios de restauração da Mata Atlântica (CAMPOE; STAPE; MENDES, 2010; CAMPOE et al., 2014; FERREZ et al., 2015; BRANCALION et al., 2019).

Contrariando as expectativas, constatamos que a intensificação do controle de espécies indesejáveis com o uso de glifosato e a duplicação da frequência de controle não influenciou nenhuma variável de crescimento das árvores. Vários estudos afirmam o contrário, ou seja, o controle intensivo dessas plantas beneficia o crescimento de espécies arbóreas em plantios de restauração florestal (NAVARRO-CERRILLO et al., 2005; CAMPOE; STAPE; MENDES, 2010; EYLES et al., 2012; ALWI et al., 2020; SANTANA et al., 2020). O manejo mais frequente e o uso de herbicida reduzem a competição das árvores com as plantas indesejáveis e proporcionam maior crescimento das árvores nativas em altura, diâmetro do caule e área da copa (CAMPOE et al., 2014), sendo proposto como a chave para o sucesso do estabelecimento inicial de plantações de restauração de floresta tropical (VALENZUELA et al., 2018; TURCHETTO et al., 2020; WEIDLICH et al., 2020). No entanto, esses estudos foram realizados em locais abandonados, geralmente pastagens dominadas por gramíneas C4 invasoras, e em solos degradados com baixo teor de matéria orgânica e nutrientes (CANDEIAS et al., 2014). Assim, uma possível explicação é que a abundância e a biomassa de plantas indesejáveis foram menores em nosso cenário devido ao uso anterior da terra, por décadas, como área de cultivo agrícola intensivo. Nesse cenário, mesmo o manejo mecânico convencional e menos frequente das plantas indesejáveis, realizado semestralmente, foi suficiente para diminuir a competição dessas plantas com as árvores plantadas, principalmente por incluir o coroamento de mudas realizado de forma adequada, que, portanto, suprimiu as plantas indesejáveis onde são mais prejudiciais na competição com as mudas (MACIEL et al., 2011). De fato, observamos que o coroamento das mudas, mesmo quando realizado apenas a cada seis meses, no tratamento não intensivo, foi suficiente para manter a coroa livre de plantas indesejáveis.

O uso de herbicidas, principalmente o glifosato, que é não seletivo, vem sendo sugerido e adotado no controle de plantas indesejáveis na restauração florestal (WEIDLICH et al., 2020; OBIRI et al., 2021). Porém, como a intensificação no controle de plantas indesejáveis com o uso do glifosato não influenciou o crescimento das árvores em nosso cenário, defendemos que a decisão sobre a intensificação e o uso de herbicidas neste cenário

leve em consideração outros pontos, como custos e riscos potenciais. Espécies nativas podem ser afetadas negativamente por herbicidas não seletivos, incluindo glifosato (STRINGER, 1997; WILLOUGHBY et al., 2004; SILVEIRA et al., 2013; WAGNER; NELSON, 2014). Além disso, a aplicação incorreta do herbicida traz riscos potenciais não apenas às mudas plantadas, mas também aos operadores e ao ambiente (OBIRI et al., 2021). Assim, em casos semelhantes ao nosso, o controle mecânico e menos frequente na entrelinha e no entorno das mudas parece uma alternativa eficiente e com menos riscos

Vários estudos observaram que a restrição de disponibilidade de nutrientes é um dos fatores abióticos que limita criticamente o crescimento de árvores jovens (LAWRENCE, 2003; DAVIDSON et al., 2004; PAUL et al., 2010; VILALOBOS et al., 2014; MAYORAL et al., 2019), algo também observado em árvores tropicais em plantios de restauração florestal (CAMPOE; STAPE; MENDES, 2010; CARDOSO et al., 2012; SOBANSKI; MARQUES, 2014; FERREZ et al., 2015; BRANCALION et al., 2019). Porém, nossos resultados parecem indicar que em solos com fertilidade construída com décadas de agricultura, nos quais a fertilização é realizada periodicamente, as árvores nativas plantadas podem responder timidamente ao aumento da disponibilidade de nutrientes. Os resultados sobre a fertilização em nosso experimento enfatizam que a fertilização pode não ser vantajosa e recomendada para todos os plantios de restauração de florestas tropicais, mesmo quando os níveis de P e K no solo podem sugerir, com base em recomendações de adubação existentes, necessidade de suprimento de nutrientes (GONÇALVES, 1995).

No geral, uma resposta positiva à fertilização foi observada principalmente para as espécies recobridoras, que frequentemente são espécies pioneiras, ou seja, iniciais no processo de sucessão florestal. Árvores dos estádios iniciais da sucessão secundária são geralmente mais sensíveis à falta de nutrientes do que as espécies de crescimento mais lento (FURTINI NETO et al., 2004; SORREANO, 2006; BIZUTTI et al., 2018), e mais responsivas à fertilização, com crescimentos de altura médios de até 149% em algumas condições (LIMA et al., 1997; SILVA et al., 1997). Observamos também que algumas espécies de diversidade, que geralmente são árvores tardias na sucessão e de crescimento lento, também responderam positivamente à fertilização. Isso enfatiza que respostas à fertilização do solo são específicas para cada espécie arbórea, o que é uma limitação para uma restauração florestal mais precisa em termos de fertilização de mudas (CASTRO et al., 2021), uma vez que aplicar fertilizantes apenas em plantas selecionadas pode exigir conhecimento prévio sobre o comportamento das espécies de acordo com os níveis de fertilidade do solo, impondo dificuldades logísticas.

Assim, embora a fertilização seja geralmente uma prática valiosa para plantios de restauração de florestas tropicais (FLORENTINE; WESTBROOKE, 2004; BIZUTTI et al., 2018; BRANCALION et al., 2019), nossos resultados mostram que isso pode não ser vantajoso e econômico em alguns casos. Adicionalmente, destacam a importância de incorporar indicadores de solo no diagnóstico de áreas de restauração, como uma ferramenta essencial a ser utilizada na definição das práticas de manejo recomendadas para a restauração florestal em uma determinada área (MENDES et al., 2018).

Os recursos financeiros limitados são uma grande barreira para a implementação da restauração global em larga escala (BRANCALION et al., 2019) e o uso de práticas silviculturais intensivas indica maiores investimentos iniciais (TURCHETTO et al., 2020). Existem inúmeras possibilidades e alternativas para a restauração de florestas tropicais, dada a notável diversidade climática, edáfica, cultural e socioeconômica de áreas e regiões destinadas à restauração de ecossistemas (MARTINS, 2018; SCHEPER; VERWEIJ; KUIJK, 2021; VILLA et al., 2021). Essas observações, à luz de nossos resultados, demonstram que a intensificação do manejo nem sempre é necessária e vantajosa para a restauração florestal. Em nosso estudo específico, verificou-se uma fertilidade do solo compatível com o uso prévio do solo para a produção agrícola tecnificada, o que já havia intensificado o manejo do local ao longo de décadas, com controle químico periódico de plantas indesejáveis e fertilização do solo. Estes tratamentos culturais construíram a fertilidade do solo e provavelmente diminuíram a população de plantas indesejáveis e suas sementes no solo, especialmente a de gramíneas invasoras. Assim, embora saibamos que a intensificação da agricultura reduza notavelmente a resiliência das áreas, o que afeta o potencial de regeneração natural (HOLL; AIDE, 2011; VILLA et al., 2021), o uso anterior como área de cultivo provavelmente criou um "efeito de legado" (MESQUITA et al., 2015; CROTTY et al., 2016; HOLL et al., 2017), mas de forma inversa, que favoreceria o crescimento de árvores plantadas para fins de restauração, aumentando a fertilidade do solo e reduzindo a abundância de plantas indesejáveis antes da implantação. Finalmente, sabemos que a resiliência de áreas e o crescimento das árvores em sítios destinados à restauração depende do histórico de uso da terra e dos níveis de degradação (HOLL; AIDE, 2011). Adicionalmente, devemos considerar que fatores locais e históricos (HOLL et al., 2017; SANTANA et al., 2020) também precisam ser conhecidos para a decisão de uso da silvicultura de alto insumo na execução de plantios de restauração florestal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em nosso estudo, o crescimento de mudas arbóreas nativas plantadas em área de restauração florestal, pouco respondeu à intensificação da adubação e do controle de espécies indesejáveis, ao contrário do que esperávamos. O controle intensivo de espécies indesejáveis não influenciou o desenvolvimento das variáveis biométricas analisadas e não resultou em árvores nativas com maior crescimento. Apenas o crescimento do diâmetro das mudas respondeu positivamente à fertilização, independentemente do tipo de controle de espécies indesejáveis. De modo geral, as plantas recobridoras apresentaram maior crescimento que as do grupo de diversidade. Entretanto, o crescimento foi variável para as espécies arbóreas e nem todas as espécies de recobridoras apresentaram maiores incrementos do que espécies de diversidade. O grupo de plantio e a espécie arbórea foram os fatores que influenciaram todas as variáveis biométricas de crescimento.

A restauração ecológica é uma prioridade global e as florestas tropicais são cada vez mais o foco de ações urgentes e de larga escala. Porém, o custo elevado de implantação da restauração ainda é um gargalo para que essa prática alcance a escala necessária. Esse estudo poderá auxiliar nas tomadas de decisão de manejo, demonstrando a necessidade de refinar o planejamento de projetos de restauração, levando em consideração o histórico do local. Cada situação é única e é necessário considerar um contexto mais amplo que considere, além da paisagem regional no qual a área a ser restaurada está inserida, características históricas da área-alvo, do tipo e intensidade de uso do solo.

A intensificação da silvicultura representa maiores custos e, em alguns casos, aumento no sucesso da restauração. Porém, esse estudo demonstrou que nem sempre essa intensificação traz os benefícios esperados. É possível adequar as estratégias de acordo com as necessidades da área, otimizando os recursos disponíveis, exercendo menos impactos negativos ao ambiente e favorecendo o desenvolvimento dos indivíduos florestais. Adotar a integração de diferentes estratégias de restauração para uma mesma área pode ser uma possibilidade de maximizar o crescimento da floresta e de redução dos custos.

Demonstramos também que as espécies plantadas e o grupo de plantio ao qual estão classificadas são os fatores que mais influenciam no crescimento dos indivíduos plantados. Algumas iniciativas de restauração têm falhado no objetivo de se tornarem florestas com capacidade de se autoperpetuar pela seleção inadequada das espécies. A mesma espécie plantada em diferentes tipos de manejo varia significativamente o seu crescimento e a sua

área da copa. A recomendação das espécies é parte fundamental do planejamento da restauração ecológica. Não há um consenso sobre a seleção de espécies, sendo essencial realizar mais estudos focados em como as espécies se comportam em diferentes metodologias de restauração, para que a escolha de quais espécies utilizar seja mais assertiva. Nosso estudo contribui nesse sentido, por mostrar em uma condição específica de tipo e uso do solo prévio, como algumas espécies frequentemente usadas na restauração florestal respondem ao controle de plantas indesejáveis e à adubação.

O uso inadequado de técnicas também é uma das explicações para o insucesso de projetos de restauração. Nesse estudo observamos que em áreas menos degradadas e destinadas por décadas à agricultura intensiva, apenas o coroamento, se realizado corretamente e numa periodicidade semestral, seria o suficiente para diminuir a competição ao redor dos indivíduos plantados. Aprimorar diferentes alternativas técnicas de coroamento, buscando entender os efeitos no desenvolvimento inicial das espécies florestais é fundamental ao planejamento adequado da restauração. Por todos estes aspectos e resultados, este estudo certamente contribui à tomada de decisão na preparação de projetos de restauração florestal, especialmente na Mata Atlântica.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C.; VIANI, R. A. G. Selection of shade trees in forest restoration plantings should not be based on crown tree architecture alone. **Restoration Ecology: The Journal of the Society for Ecological Restoration**, Malden, v. 27, n.4, p. 832–839, 2019a.
- ALMEIDA, C.; VIANI, R. A. G. **Espécies arbóreas plantadas na restauração da Mata Atlântica: análise florística e funcional**. Araras: LASPEF UFSCar, 2020. Disponível em: https://laspef.com.br/wp-content/uploads/2020/08/Almeida-Viani-esp%C3%A9cies-plantadas-na-restaura%C3%A7%C3%A3o-da-Mata-Atl%C3%A2ntica_v2ago2020.pdf. Acesso em: 11 fev. 2019b.
- ÁLVARES, C. A.; STAPE, L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇAVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711–728. 2013.
- ALVINO-RAYOL, F. O.; ROSA, L. S.; RAYOL, B. P. Efeito do espaçamento e do uso de leguminosas de cobertura no manejo de plantas invasoras em reflorestamento de *Schizolobium amazonicum* Huber Ex. Ducke (Paricá). **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.3, p.391-399, 2011.
- ALWI, A.; LAPAMMU, M.; JARAPUDIN, Y.; MOLONY, K.; BODEN, D.; MACDONELL, P.; WARBURTON, P.; BRAWNER, J.; MEDER, R. Importance of weed control prior to planting for the establishment of planted forests in Sabah, Malaysia. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 32, n. 4, p. 349-354, 2020.
- BIZUTI, D. T. G.; CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R.; SARTORIO, D.; BRUGNARO, C.; CÉSAR, R. G. The effect of calcium on the growth of native species in a tropical forest hotspot. **IForest - Biogeosciences and Forestry**, Viterbo, v. 11, p. 221-226, 2018.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 432p., 2015.
- BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; KAGEYAMA, P. Y.; NAVE, A. G.; GANDARA, F. B.; BARBOSA, L. M.; TABARELLI, M. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n.3, p.455-470, 2010.
- BRANCALION, P. H. S.; CAMPOE, O.; MENDES, J. C. T.; NOEL, C.; MOREIRA, G. G.; VAN MELIS, J.; STAPE, J. L.; GUILLEMOT, J. Intensive silviculture enhances biomass accumulation and tree diversity recovery in tropical forest restoration. **Ecological Applications**, Washington, v. 0, n. 0, p. 0-12, 2019.
- CAMPOE, O. C; STAPE, J. L.; MENDES, J.C.T. Can intensive management accelerate the restoration of Brazil's Atlantic forests? **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 259, n. 9, p. 1808–1814. 2010.
- CAMPOE, O. C.; IANNELLI, C.; STAPE, J. L.; COOK, R. L.; MENDES, J. C. T.; VIVIAN, R. Atlantic forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture

restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 313, p. 233-242, 2014.

CANDEIAS, C.; MELO, R.; AVILA, P. F.; FERREIRA, E. S.; SALGUEIRO, A. R.; TEIXEIRA, J. P. Heavy metal pollution in mine-soil-plant system in S. Francisco de Assis – Panasqueira mine (Portugal). **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 44, p. 12–26, 2014.

CARDOSO, F. C. G.; MARQUES, R.; BOTOSSO, P. C.; MARQUES, M. C. M. Stem growth and phenology of two tropical trees in contrasting soil conditions. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 354, p. 269–281, 2012.

CARLOS, L.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; HIGASHIKAWA, E. M.; GARCIA, M. B.; FARIAS, E. de S. Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 13-21, 2014.

CASTRO, J.; MORALES-RUEDA, F.; NAVARRO, F. B.; LÖF, M.; VACCHIANO, G.; ALCARAZ-SEGURA, D. Precision restoration: a necessary approach to foster forest recovery in the 21st century. **Restoration Ecology: The Journal of the Society for Ecological Restoration**, Malden, p. 1-13, 2021.

CECONI, D. E.; POLETTO, I.; BRUN, E. J.; LOVATO, T. Crescimento de mudas de açoítacavalo (*Luehea divaricata* mart.) sob influência da adubação fosfatada. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 292-299, 2006.

CHAZDON, R. L.; BROADBENT, E. N.; ROZENDAAL, D. M. A.; BONGERS, F.; ZAMBRANO, A. M. A.; AIDE, T. M.; BALVANERA, P.; BECKNELL, J. M.; BOUKILI, V.; BRANCALION, P. H. S. et al. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. **Science advances**, v. 2, n. 5, 2016.

CONSTANTIN, J. Métodos de Manejo. In OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOURE, M. H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Umnipax Editora, p. 67-77, 2011.

CROTTY, F. V.; FYCHAN, R.; SANDERSON, R.; RHYMES, J. R.; BOURDIN, F.; SCULLION, J.; MARLEY, C. L. Understanding the legacy effect of previous forage crop and tillage management on soil biology, after conversion to an arable crop rotation. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 103, p. 241–252, 2016.

DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R.; VIEIRA, I. C. G.; FIGUEIREDO, R. O.; MOUTINHO, P.; ISHIDA, F. Y.; SANTOS, M. T. P.; GUERRERO, J. B.; KALIF, K.; SABA, R. T. Nitrogen and phosphorus limitation of biomass growth in a tropical secondary forest. **Ecological Applications**, Washington, n. 14, p. 150–163, 2004.

ESALQ, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo. **Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP, Departamento de Engenharia de Biosistemas**. Piracicaba, 2021. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/postoaut.html>. Acesso em: 30 abril de 2021.

- EYLES, A.; WORLEDGE, D.; SANDS, P.; OTTENSCHLAEGER, M. L.; PATERSON, S. C.; MENDHAM, D.; O'GRADY, A. P. Ecophysiological responses of a young blue gum (*Eucalyptus globulus*) plantation to weed control. **Tree Physiology**, Oxford, v. 32, p. 1008–1020, 2012.
- FEREZ, A. P. C.; CAMPOE, O. C.; MENDES, J. C. T.; STAPE, J. L. Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 350, p. 40–45, 2015.
- FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. I. Photosynthetic parameters of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. B.) plants subjected to fertilization in a degraded area in Central Amazonia. **Photosynthetica**, Prague, v. 47, n. 4, p. 616-620, 2009.
- FLORENTINE, S. K., WESTBROOKE, M. E. Evaluation of alternative approaches to rainforest restoration on abandoned pasturelands in tropical north Queensland Australia. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 15, p. 1–13, 2004.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **State of the World's Forests**. Washington: FAO, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i2050e.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **The road to restoration: a guide to identifying priorities and indicators for monitoring forest and landscape restoration**. Washington: FAO, 2019. Disponível em: <https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/road-to-restoration.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.
- FURTINI NETO, A. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. **Fertilization in native species reforestation**. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V.; MCNABB, K. (Ed.). *Forest Nutrition and Fertilization*. Piracicaba: IPEF, p. 347-378, 2004.
- GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.2, p. 219-228, 2012
- GONÇALVES, F. L. A.; RESENDE, A. S.; LIMA, I. S. S.; CHAER, G. M. Manual Crowning Versus Cardboard in Forest Restoration: Costs and Effect on Seedling Development. **Planta daninha**, Viçosa, v. 36, 2018.
- GONÇALVES, J. L. M. **Recomendações de Adubação para Eucalyptus, Pinus e espécies típicas da Mata Atlântica**. Documentos Florestais. Piracicaba, 15, 23 p., 1995.
- HOLL, K. D. **Tropical moist forest**. In: M. PERROW, M.; DAVY, A. J. (Ed.). *Handbook of ecological restoration*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 539–558, 2002.
- HOLL, K. D. Restoring tropical forests from the bottom up. **Science**, Washington, v. 355, p. 455-456, 2017.

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

HOLL, K. D.; REID, J. L.; CHAVES-FALLAS, J. M.; OVIEDO-BRENES, F.; ZAHAWI, R. A. Local tropical forest restoration strategies affect tree recruitment more strongly than does landscape forest cover. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 54, p. 1091–1099, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências, Manuais Técnicos de Geociências, v. 1, p. 1-271, 2012.

ICMBIO. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Instrução Normativa nº 11 de 11 de dezembro de 2014**. Estabelecer procedimentos para elaboração, análise, aprovação e acompanhamento da execução de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Perturbada - PRAD, para fins de cumprimento da legislação ambiental. Brasília, 2014.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 **International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. World Soil Resources Reports Nº 106. Rome: FAO, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>. Acesso em: 4 out. 2021.

JENNINGS, S.B.; BROWN, N.D.; SHEIL, D. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. **Forestry**, v. 72, n. 1, p. 59-73, 1999.

KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, C.F.A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. **IPEF**, Piracicaba, n.41, p.83-93, 1989.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. B. **Recuperação de áreas ciliares**. In: Matas Ciliares: conservação e recuperação. Eds. RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. Edusp, São Paulo, p. 249-269, 2001.

LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; PARROTTA, J. A.; Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, Washington, v. 310, p. 1628-1632, 2005.

LAWRENCE, D. The response of tropical tree seedlings to nutrient supply: meta-analysis for understanding a changing tropical landscape. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 19, p. 239–250, 2003.

LIMA, H. N.; VALE, F. R.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N. Crescimento inicial a campo de sete espécies arbóreas nativas em resposta à adubação mineral com NPK. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 21, p. 189-195, 1997.

LIMA FILHO, S. A. Levantamento pedológico detalhado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos. **Boletim Técnico do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental**, UFSCAR, Araras, São Paulo, Brasil, 2000.

- MACIEL, C. D. G.; POLETINE, J. P.; ALVES, I. M.; RAIMONDI, M. A.; RODRIGUES, M.; BUENO, R. R.; COSTA, R. S. Coroamento no controle de plantas daninhas e desenvolvimento inicial de espécies florestais nativas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 119-128, 2011.
- MANTOANI, M. C.; ANDRADE, G. R.; CAVALHEIRO, A. L.; TOREZAN, J. M. D. Efeitos da invasão por *Panicum maximum* Jacq. e do seu controle manual sobre a regeneração de plantas lenhosas no sub-bosque de um reflorestamento. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 97-110, 2012.
- MANTOVANI, W. **Recuperação e monitoramento de ecossistemas: escalas de abordagem**. In: SIMPOSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4. Anais... Águas de Lindóia, v. 5, p. 228-294, 1998.
- MARTINS, A. F. **Controle de gramíneas exóticas invasoras em área de restauração ecológica com plantio total, Floresta Estacional Semidecidual, Itu-SP**. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2011.
- MARTINS, S. V. Prefácio. In: LELES, P. S. dos S.; RESENDE, A. S. de (Ed.). **Controle de plantas daninhas em restauração florestal**. Brasília, DF: Embrapa, p. 8-9, 2017.
- MARTINS, S. V. Alternative forest restoration techniques. In: VIANA, H. (Ed.). **New perspectives in forest science**. London: IntechOpen, p. 131–148, 2018.
- MARTINS, E. G.; NEVES, E. J. M.; SANTOS, A. F.; FERREIRA, C. A. **Papelão tratado: Alternativa para controle de plantas daninhas em plantios de pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth)**. Comunicado Técnico. Embrapa, Colombo, 2004.
- MAYORAL, C.; VAN BREUGEL, M.; TURNER, B. L.; ASNER, G. P.; VAUGHN, N. R.; HALL, J. S. Effect of microsite quality and species composition on tree growth: a semi-empirical modeling approach. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 432, p. 534–545, 2019.
- MCDONALD, T.; GANN, G. D.; JONSON, J.; DIXON, K. W. International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts. **Society for Ecological Restoration**, Washington, p. 0-48, 2016.
- MELO, A. C. G.; REIS, C. M.; RESENDE, R. U. Guia para Monitoramento de Reflorestamentos para Restauração. **Circular Técnica 1 Projetos Mata Ciliar**, São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, n. 1, p.0-10, 2010.
- MENDES, S. M.; LATAWIEC, A. E.; SANSEVERO, J. B. B.; CROUZEILLES, R.; MORAES, L. F. D. de; CASTRO, A.; NERY, H.; PINTO, A.; BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R. et al. Look down—there is a gap—the need to include soil data in Atlantic Forest restoration. **Restoration Ecology: The Journal of the Society for Ecological Restoration**, Malden, v. 27, p. 361-370, 2018.

MESQUITA, R. C. G.; MASSOCA, P. E. S.; JAKOVAC, C. C.; BENTOS, T. V.; WILLIAMSON, G. B. Amazon rain forest succession: stochasticity or land-use legacy? **BioScience**, Washington, v. 65, n. 9, p. 849–861, 2015.

MURCIA, C.; GUARIGUATA, M. R.; ANDRADE, A.; ANDRADE, G. I.; ARONSON, J.; ESCOBAR, M. E.; ETTER, A.; MORENO, F. H.; RAMÍREZ, W.; MONTES, E. Challenges and Prospects for Scaling-up Ecological Restoration to Meet International Commitments: Colombia as a Case Study. **Conservation Letters**, v. 9, p. 213-220, 2016.

NAVARRO-CERRILLO, R. M.; FRAGUEIRO, B.; CEACERO, C.; DEL CAMPO, A.; DE PRADO, R. Establishment of *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* Desf. Samp. using different weed control strategies in southern Spain. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 25, p. 332–342, 2005.

OBIRI, B. D.; OBENG, E. A.; ODURO, K. A.; APETORGBOR, M. M.; PEPRAH, T.; DUAH-GYAMFI, A.; MENSAH, J. K. Farmers' perceptions of herbicide usage in forest landscape restoration programs in Ghana. **Scientific African**, Amsterdã, v. 11, 2021.

PARROTA, J. A.; TURNBULL, J. W.; JONES, N. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 99, p. 1-7, 1997.

PAUL, M.; CATTERALL, C.; POLLARD, P.; KANOWSKI, J. J. Does soil variation between rainforest, pasture and different reforestation pathways affect the early growth of rainforest pioneer species? **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 260, p. 370–377, 2010.

PIVELLO, V. R. Invasões biológicas no cerrado brasileiro: efeitos da introdução de espécies exóticas sobre a biodiversidade. **Ecologia Info**, n. 33, 2008.

QGIS Development Team. **QGIS geographic information system**. Open-Source Geospatial Foundation Project. Version 3.6.3 Bucharest, 2019. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/> Acesso em: 14 mar. 2019.

R CORE TEAM. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, version 3.5.3 Inc., Boston: The R Foundation for Statistical Computing Platform, 2015 Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 05 fev. 2019.

RESENDE, A. S.; LELES, P. S. S. O problema do controle de plantas daninhas na restauração florestal. In: LELES, P. S. dos S.; RESENDE, A. S. de (Ed.). **Controle de plantas daninhas em restauração florestal**. Brasília, DF: Embrapa, p. 13-28, 2017.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSE, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M.; The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, Essex, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RIGUEIRA, D. **Como restaurar sua floresta**. Mucugê, BA: Conservação Internacional (CI-Brasil); Secretaria do Meio Ambiente - Governo do Estado da Bahia (Sema); Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema), 2015.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendencias e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Ed.). **Matas ciliares: Conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP; FAPESP, 2000.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. 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, 2009.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G.; ARONSON, J.; BARRETO, T. E.; VIDAL, C. Y.; BRANCALION, P. H. S. Large-scale ecological restoration of high diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.261, p.1605-1613, 2011.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, p. 133-137, 1998.

ROZANE, D. E.; NATALE, W. Calagem, adubação e nutrição mineral de Anonáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, 2014.

SANTANA, J. E. S.; LELES, P. S. S.; RESENDE, A. S.; MACHADO, A. F. L.; RIBEIRO, J. G.; GOMES, R. F. Grasses Control Strategies in Setting Restoration Stand of the Atlantic Forest. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 27, n. 2, 2020.

SANTOS, U. M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FELDPAUSCH, T. R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 226, p. 299-309. 2006.

SCHEPER, A. C.; VERWEIJ, P. A.; KUIJK, M. V. Post-fire forest restoration in the humid tropics: A synthesis of available strategies and knowledge gaps for effective restoration. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 771, 2021.

SER, SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica**. Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004. Disponível em: https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-portuguese.pdf. Acesso em: 14 abr. 2019.

SILVA, C. E. M.; GONÇALVES, J. F. C.; FELDPAUSCH, T. R.; LUIZÃO, F. J.; RONALDO R. MORAIS, R. R.; RIBEIRO, G. O. Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 4, p. 503-512, 2006.

SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; VALE, F. R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 205-2012, 1997.

SILVEIRA, E. R.; MELO, A. C. G.; CONTIÉRI, W. A.; DURIGAN, G. Controle de gramíneas exóticas em plantio de restauração do Cerrado. In: DURIGAN, G.; RAMOS, V. S. (Ed.). **Manejo adaptativo: primeiras experiências na restauração de ecossistemas**. São Paulo: Páginas & Letras, v. 1, p. 5-7, 2013.

SOBANSKI, I. N.; MARQUES, M. C. M. Effects of soil characteristics and exotic grass cover on the forest restoration of the Atlantic Forest region. **Journal for Nature Conservation**, Amsterdam, v. 22, p. 217–222, 2014.

SORREANO, M. **Avaliação da exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas**. Tese (Doutorado em Ecologia aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2006.

SORREANO, M. C. M.; RODRIGUES, R. R.; BOARETTO, A. E. **Guia de nutrição para espécies florestais nativas**. São Paulo: Oficina de Textos, 254 p., 2012.

SOUZA, F. M.; BATISTA, J. L. F. Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 191, p. 185–200, 2004.

STRINGER, W. J. **Herbicides For Small Scale Forestry Operations**. Department of Forestry Fact Sheet FORFS 99-9 Cooperative Extension Service, College of Agriculture, University of Kentucky, 1997.

SUGANUMA, M. S.; DURIGAN, G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. **Restoration Ecology: The Journal of the Society for Ecological Restoration**, Malden, v. 23, n. 3, p. 238–251, 2015.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. In: EMBRAPA (Ed.). Brasília, DF: Embrapa Solos, 573 p., 2017.

TURCHETTO, F.; ARAUJO, M. M.; TABALDI, L. A.; GRIEBELER, A. M.; RORATO, D. G.; BERGHETTI, A. L. P.; BARBOSA, F. M.; LIMA, M. S.; COSTELLA, C.; SASSO, V. M. Intensive silvicultural practices drive the forest restoration in southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 473, 2020.

UFSCar, Universidade Federal de São Carlos - Centro de Ciências Agrárias. **Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental. Grupo de Estudos e Práticas em Irrigação. Dados Climatológicos coletados pela Estação Meteorológica Automática. Araras, 2019.** Disponível em: www.meteorologia-ara.ufscar.br/dados-meteorologicos/estacao-meteorologica-automatica-ema/dados/ Acesso em: 30 abril de 2021.

VALENZUELA, P.; ARELLANO, E. C.; BURGER, J.; OLIET, J. A.; PEREZ, A. F. Soil conditions and sheltering techniques improve active restoration of degraded *Nothofagus pumilio* forest in Southern Patagonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 424, 28–38, 2018.

- 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. Protocol for monitoring tropical forest restoration: perspectives from the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. **Tropical Conservation Science**, Washington, v. 10, p. 1–8, 2017.
- VILLA, P. M.; RODRIGUES, A. C.; MARTINS, S. V.; OLIVEIRA NETO, S. N.; LAVERDE, A. G.; RIERA-SEIJAS, A. Reducing intensification by shifting cultivation through sustainable climate-smart practices in tropical forests: A review in the context of UN Decade on Ecosystem Restoration. **Current Research in Environmental Sustainability**, Amsterdam, v. 3, 2021.
- VILLALOBOS, E. B.; CETINA, V. M. A.; LÓPEZ, M. A. L.; ALDRETE, A.; PANIAGUA, D. H. V. Nursery practices increase seedling performance on nutrient-poor soils in *Swietenia humilis*. **iForest- Biogeosciences and Forestry**, Viterbo, v. 8, p. 552–557, 2014.
- WAGNER, V.; NELSON, C. R. Herbicides can negatively affect seed performance in native plants. **Restoration Ecology: The Journal of the Society for Ecological Restoration**, Malden, n. 22, p. 288-291, 2014.
- WEIDLICH, E. W. A.; FLÓRIDO, F. G; SORRINI, T. B; BRANCALION, P. H. S. Controlling invasive plant species in ecological restoration: A global review. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 00, p. 1–12, 2020.
- WILLOUGHBY, I. J.; PEPPER, H.; GREGORY, S.; DEWAR, J.; NISBET, T.; PRATT, J.; MCKAY, H.; SIDDONS, R.; MAYLE, B.; HERITAGE, S.; FERRIS, R.; TROUT, R. Reducing Pesticide Use in Forestry: Practice Guide. **Forest Research Forestry Commission**, Edinburgh, p. 1–140, 2004.
- YOSHIDA, F. A.; STOLF, R. Mapeamento digital de atributos e classes de solos da UFSCar-Araras/SP. **Ciência, Tecnologia & Ambiente**, Araras, v. 3, n. 1, p. 1-11, 2016.