

Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



RICARDO DA SILVA SALADA JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE ÁRVORES NATIVAS EM SISTEMA
AGROFLORESTAL CONCEBIDO COMO MÉTODO DE
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM ÁREA DE RESERVA
LEGAL**

ARARAS - 2024

Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



RICARDO SALADA JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE ÁRVORES NATIVAS EM SISTEMA
AGROFLORESTAL CONCEBIDO COMO MÉTODO DE
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM ÁREA DE RESERVA LEGAL**

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Profa. Dra. Alessandra dos Santos
Penha

ARARAS – 2024

Dedico este trabalho aos meus pais e aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

À minha família,

Nenhum sucesso é alcançado sem um pilar sólido de apoio e minha família tem sido esse alicerce ao longo da minha jornada na faculdade. Seu amor, incentivo e compreensão foram a força propulsora por trás de cada desafio superado e de cada conquista alcançada. Agradeço por estarem sempre ao meu lado, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Querida Alessandra,

Hoje, expresso minha mais profunda gratidão a você, minha orientadora. Sua orientação sábia e apoio incansável foram fundamentais para minha jornada acadêmica. Seu comprometimento e paixão pelo ensino moldaram não apenas minha formação profissional, mas também meu crescimento pessoal. Agradeço sinceramente por sua dedicação exemplar.

À Professora Josiane,

Expresso minha gratidão por sua orientação especializada na parte estatística do meu trabalho. Sua paciência e habilidade em simplificar conceitos complexos foram essenciais para minha compreensão e sucesso nessa área. Agradeço por compartilhar seu conhecimento e por contribuir de maneira significativa para o desenvolvimento do meu projeto.

A todos vocês, meu mais sincero obrigado. Esta jornada acadêmica foi enriquecida pela presença e apoio de pessoas tão incríveis como vocês. Estou profundamente grato por fazerem parte desta conquista significativa em minha vida.

Com estima, Ricardo Salada.

“Tudo é considerado impossível até ser realizado” (Nelson Mandela)

RESUMO: Ações humanas intensivas e mal planejadas têm acelerado fortemente a fragmentação florestal e, por isso, a adaptação de estratégias alternativas de restauração ecológica tem ganhado cada vez mais destaque, no que se refere ao cumprimento da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN). Neste contexto, os sistemas agroflorestais (SAF) têm despontado como alternativa, pois podem potencializar a regeneração natural, acelerar a melhoria de condições microbiológicas e físico-químicas dos solos, viabilizar interações positivas, contribuindo com o resgate de inúmeros atributos ecossistêmicos e aumento da biodiversidade regional. Nessa perspectiva, tivemos por objetivo analisar o crescimento de espécies arbóreas nativas utilizadas na instalação de um SAF concebido em 2017 como estratégia de restauração ecológica de parte da Reserva Legal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Araras, SP, avaliando o desenvolvimento das espécies arbóreas nativas desde a sua instalação. A hipótese era que o desenvolvimento das árvores variasse entre espécies, mesmo considerando que todas elas fossem classificadas como “pioneiras” (“grupo de preenchimento”). O SAF está organizado em quatro parcelas contíguas de 60 m x 18 m, cada parcela conta com 120 mudas de 10 espécies arbóreas nativas de florestas estacionais semidecíduas, em espaçamento de 2,0 m entre plantas, intercaladas com mudas de café e 6,0 m de espaçamento entre linhas. Realizamos duas amostragens (dezembro/2019 e junho/2021), quando medimos a altura e diâmetro das árvores e a porcentagem de mortalidade de árvores. As espécies nativas tiveram crescimento diferenciado entre si. Verificamos que *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae) apresentou maior crescimento médio em altura; enquanto *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Malvaceae), o menor crescimento e a maior porcentagem de plantas mortas. À luz do conhecimento em ecologia da restauração, os resultados contribuirão com informações técnicas sobre as potencialidades de SAF como estratégia de restauração e, deste modo, pequenos produtores rurais poderiam gerar renda suficiente para arcar ao menos com parte dos custos da restauração em suas propriedades.

Palavras-chave: Adequação ambiental; Agrofloresta; Consórcio agrícola; Ecologia da restauração; Manejo; Sustentabilidade.

ABSTRACT: Development of native trees in an agroforestry system designed as a method of ecological restoration in a Legal Reserve area.

Intensive and poorly planned human actions have greatly accelerated forest fragmentation and, therefore, the adaptation of alternative ecological restoration strategies has gained prominence, regarding compliance with the Brazilian environmental law. In this context, agroforestry systems (AFS) have emerged as an alternative, as they can enhance natural regeneration, accelerate the improvement of microbiological and physical-chemical conditions of soils, enable positive interactions, contributing to the rescue of numerous ecosystem attributes, and regional biodiversity increase. We aimed to analyze the growth of native tree species used in a AFS designed in 2017 as an ecological restoration strategy for part of the Legal Reserve of the Agricultural Sciences Center of the Federal University of São Carlos, Araras, SP, evaluating the development of native tree species. We hypothesized that the development of trees would vary between species, even considering that all of them were classified as pioneer species. The AFS has four contiguous plots of 60 m x 18 m, each plot has 120 seedlings of 10 tree species native to seasonal semideciduous forests, with a spacing of 2.0 m between plants, interspersed with coffee seedlings and 6.0 m line spacing. We carried out two samplings - December/2019 and June/2021 -, when we measured the height and diameter of the trees and the death tree percentage. Native species had different growth rates. We found that *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae) showed greater average growth in height, and *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Malvaceae), the lowest growth and the highest death plant percentage. Considering knowledge in restoration ecology, we argue that results will contribute with technical information about the AFS potential as a restoration strategy and, in this way, small rural producers could generate enough income to cover at least part of the ecological restoration costs on their properties.

Keywords: Agroforestry; Agricultural consortium; Environmental suitability; Management; Restoration ecology; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Vista aérea da área do experimento: quadra 23 do CCA, UFSCar, *campus* Araras, SP. Imagem obtida por câmera FishEye embarcada no VANT Parrot Bebop 2 em 2022 (fonte: Viani, R.A.G.).19
- Figura 2.** Croqui do posicionamento das mudas nativas pioneiras, secundárias iniciais e mudas de café no SAF, conforme Rezende (2019). (Imagem: Rezende, 2022). 20
- Figura 3.** Altura média (em metros) do conjunto das dez espécies nativas implantadas nas linhas do SAF na amostragem de dezembro de 2019 (M1) e na amostragem de junho de 2021 (M2). As barras representam os desvios-padrão. 23
- Figura 4.** Crescimento médio em altura das dez espécies pioneiras nas linhas do SAF na primeira amostragem (dezembro/2019). As barras correspondem aos desvios-padrão. As letras correspondem ao teste de Tukey (p maior ou igual a 0,05). Médias que não compartilham as mesmas letras são significativamente diferentes. Os números correspondem às espécies registradas na Tabela 1. 23
- Figura 5.** Crescimento médio em altura das dez espécies pioneiras nas linhas do SAF na segunda amostragem (junho/2021). As barras correspondem aos desvios-padrão. As letras correspondem ao teste de Tukey (p maior ou igual a 0,05). Médias que não compartilham as mesmas letras são significativamente diferentes. Os números correspondem às espécies registradas na Tabela 1. 24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista das espécies arbóreas nativas de florestas estacionais semidecíduas que compõem o SAF (REZENDE, 2019). A coluna N representa o número de registo das espécies nas linhas do SAF (adaptado de REZENDE, 2019). 20

SUMÁRIO

RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
3. OBJETIVOS	17
4. HIPÓTESE	17
5. MATERIAIS E MÉTODOS	18
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
7. CONCLUSÃO	26
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1. INTRODUÇÃO

A maior parte dos canaviais do Brasil localizam-se no estado de São Paulo (AZANIA et al., 2006) e a região de Araras é um dos polos da monocultura de cana-de-açúcar, sendo que seu manejo intensivo vem transformando os solos da região desde a segunda metade do século 20 (YOSHIDA; STOLF, 2016).

O cultivo intenso de monoculturas, juntamente com quesitos de expansão urbana e industrial, têm causado grandes impactos ambientais (AMADOR, 2003; METZGER; CASATTI, 2006) e essa intensa ocupação rural, urbana e industrial tem pressionado a forte redução e fragmentação de florestas estacionais nativas, exercendo inúmeros efeitos negativos, especialmente a perda da biodiversidade regional (FÁVERO et al., 2008), a redução de recursos hídricos, a alteração da estrutura da vegetação, entre outras consequências (BORGES et al. 2004).

Considerando este panorama, a restauração de ecossistemas nativos degradados compreende mais do que a simples reposição de árvores nativas em uma área, mas o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL, 2004; MCDONALD et al., 2016). Portanto, a execução de planos de manejo em restauração ecológica que levem em conta estratégias que se embasem em seus princípios, é um meio potencialmente efetivo para minimizar os impactos das ações humanas intensivas e de resgatar e conservar a biodiversidade regional (COELHO, 2010).

A falta de considerações na parte cultural em projetos de restauração ecológica resulta na exclusão de muitos produtores rurais e a não adesão a esses tipos de progressos (HIGGS, 2005; SILVA et al., 2008). Dessa maneira, é essencial pensar em formas de restauração ecológica eficientes e economicamente viáveis, a fim de estimular ações que garantam a conservação da biodiversidade (SEOANE, 2010).

A partir da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) de 2012 (A Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, também conhecida como novo "Código

Florestal", estabelece normas gerais sobre a Proteção da Vegetação Nativa, incluindo Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de Uso Restrito; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais, o controle e prevenção dos incêndios florestais, e a previsão de instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos.) foi permitido o manejo silvicultural em Áreas de Reserva Legal (ARL), a fim de permitir o uso sustentável destas áreas de preservação ambiental (BRASIL, 2012) tal como definida no artigo 3º da Lei 12.651/2012:

Reserva Legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art.12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (BRASIL, 2012).

Portanto, atualmente é possível planejar comunidades formadas por espécies nativas que, além de seu potencial de manejo, possuam em conjunto, a capacidade de voltarem a ser ecossistemas biologicamente viáveis e que em longo prazo, potencialmente não dependam de intervenções humanas, isto é, sustentáveis do ponto de vista ecológico (BRANCALION et al., 2010; MCDONALD et al., 2016).

Os SAF, quando utilizados como processos de restauração ecológica, exercem uma melhoria na fertilidade dos solos por conta da diversificação dos componentes arbóreo, arbustivo e herbáceo: a matéria orgânica é fundamental para a recuperação de áreas degradadas (AMADOR; VIANA, 1998; SILVA, 2002; BELTRAME, 2013), pois ajudam a manter condições físicas adequadas ao solo, uma vez que retêm nutrientes, protegendo-os contra a lixiviação até serem liberados pela mineralização do solo (ALVES, 2009).

Neste contexto, desejamos gerar informações científicas sobre a influência do manejo agrícola no desenvolvimento de plantas nativas consorciadas com café nas linhas do plantio de um SAF, contribuindo para fundamentar a opção de utilizar este tipo de plantio em ARL, pensando que o

pequeno produtor rural poderia gerar renda suficiente para arcar ao menos com parte dos custos da restauração (DAHLQUIST et al., 2007; LEITE, 2014; MARCONATO, 2015).

2. REVISÃO DE LITERATURA

A partir da década de 1950 a região Centro-Sul do Brasil se destacou na produção canavieira. O estado de São Paulo se despontou neste contexto por conta de sua forte representatividade na produção, tornando-se o maior produtor nacional de cana-de-açúcar, além de concentrar grande parte da capacidade de seu processamento industrial no país (SHIKIDA; AZEVEDO; VIAN, 2011). O estado possui polos canavieiros, incluindo a região de Araras. Com o avanço da agricultura intensiva, diversos problemas de ordem ambiental passaram a ser verificados nos ecossistemas nativos dessas regiões, os quais têm acentuado e acelerado a sua fragmentação e degradação, em grande parte devido ao incentivo do desenvolvimento da agricultura intensiva e da pecuária extensiva.

Em virtude do aumento da demanda pelo açúcar e etanol, a área total de plantio da cana de açúcar segue em expansão pelo território brasileiro. A saturação de áreas cultivadas com cana-de-açúcar no estado de São Paulo, aliada à moderna tecnologia de maquinários e insumos agrícolas, pode ser apontada como um dos fatores determinantes para a diminuição e fragmentação de florestas estacionais nativas do interior do estado e, especificamente, da região de Araras, de maneira que diversos impactos podem ser verificados, tais como; perda da biodiversidade regional, alteração da qualidade e do aporte de recursos hídricos e da estrutura e função de comunidades vegetais nativas (BORGES et al., 2004).

Para que os impactos causados pela expansão sucroalcooleira sejam minimizados, a restauração ecológica de ecossistemas naturais degradados vem ganhando força no país, contribuindo, assim, para a mitigação de impactos ambientais diversos. Este processo vem ocorrendo de maneira que métodos de recuperação ambiental que evoluíram a partir de reflorestamentos mistos, compostos predominantemente por espécies arbóreas exóticas, a plantios com alta diversidade de espécies exclusivamente nativas regionais e que prescindem também de outras formas de catalisar o potencial de autorrecuperação da área-alvo a ser restaurada (RODRIGUES et al., 2009).

O conceito de restauração ("intervenção humana intencional em ecossistemas degradados ou alterados, para desencadear, facilitar ou

acelerar o processo natural de sucessão ecológica”. ecológica baseia-se na restituição de todas as características naturais, biológicas e físicas de uma determinada área que sofreu impactos ambientais; sendo assim, seu conceito vai além da recomposição da vegetação que ali estava presente. Considerando este panorama, a restauração ecológica de ecossistemas nativos degradados compreende mais do que a simples reposição de árvores nativas em uma área, mas o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL, 2004; MCDONALD et al., 2016).

Comparado com a escala temporal dos processos ecológicos e por se tratar de uma ciência nova, o processo de restauração florestal apresenta diversos desafios e a pesquisa e a prática da restauração vêm apresentando grande avanço devido às novas tecnologias, ferramentas e orientações quanto a sua execução (WORTLEY et al., 2013). Estes desafios estão entrelaçados ao correto diagnóstico da área a ser restaurada e do estabelecimento das metas de sua restauração. A resiliência dos ecossistemas, o histórico de uso desta área e o contexto da paisagem são fatores que definem as escolhas estratégicas e as tomadas de decisão em um projeto. Tais fatores devem ser aliados aos objetivos e aos recursos disponíveis para a execução deste projeto (HOLL; AIDE, 2011; MCDONALD et al., 2016).

Atrelados aos altos custos embutidos na implantação destes projetos (MELO, 2005), diversos produtores rurais muitas vezes resistem à ideia da restauração, adotando tais medidas apenas por imposição das leis, mediante autuações (SEOANE, 2010). Além disso, essa resistência surge também pelas questões culturais (CULLEN-JUNIOR et al., 2003), que sintetizam todas as formas de conhecimentos, crenças, artes, leis, costumes e quaisquer outras capacidades adquiridas e que se tornam inconscientes e automáticas (LARAIA, 2007). Deste modo, a cultura se interpõe às práticas de restauração, pois a visão que se tem está diretamente ligada a uma série de variáveis que afetam a percepção de certas situações e suas possíveis consequências na tomada de decisões em restauração (MCDONALD et al., 2016).

O processo de condução da regeneração natural se dá pela aplicação de técnicas que relacionam a reconstrução de comunidades podem ser utilizados como métodos para o processo de restauração florestal (MCDONALD et al., 2016). Em paisagens degradadas e fragmentadas, as técnicas de restauração ativas e mais utilizadas estão relacionadas à reconstrução de comunidades (CHAZDON et al., 2008). Já em restauração de ecossistemas florestais com paisagens degradadas, duas estratégias podem ser utilizadas, sendo estas, o plantio pouco diverso de mudas nativas, em que o foco principal é a utilização de espécies de rápido crescimento que formam um dossel capaz de sombrear o solo (cobertura de copa), responsáveis por pelo controle de gramíneas, que limitam a restauração florestal (CÉSAR et al., 2014). Já o plantio multidiverso, com espécies arbóreas comuns em diferentes estádios de sucessão florestal, pode ser utilizado como estratégia alternativa, onde os diferentes estádios e modelos de sucessão secundária poderiam simulados conforme um dado ecossistema de referência (LAMB et al., 2005; RODRIGUES et al., 2009).

Em longo prazo, do ponto de vista ecológico e sustentável, é possível planejar comunidades formadas por espécies nativas que, além do potencial de manejo, possuam a capacidade de retornarem a ser uma floresta biologicamente viável de maneira que não dependam fortemente da intervenção humana em longo prazo (BRANCALION et al., 2010; MCDONALD et al., 2016).

Os sistemas agroflorestais (SAF) preconizam o uso e ocupação do solo onde plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras e/ou em integração com animais, em uma mesma unidade de manejo, de acordo com o um arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes (PASSOS, 1997). Eles se apresentam como uma proposta de manejo interessante do ponto de vista ecológico, pois pressupõe-se que potencializam a regeneração natural e a sucessão ecológica, aceleram a melhoria de condições do solo e viabilizam interações positivas de seus componentes, além de proporcionarem retorno financeiro (FAVERO et al., 2008).

Quando utilizados como processos de restauração ecológica, os SAF exercem uma melhoria na fertilidade dos solos por conta da diversificação dos componentes arbóreo, arbustivo e herbáceo: a matéria orgânica é fundamental para a restauração de áreas degradadas (AMADOR; VIANA, 1998; SILVA, 2002; BELTRAME, 2013), pois ajudam a manter condições físicas adequadas ao solo, uma vez que retêm nutrientes, protegendo-os contra a lixiviação até serem liberados pela mineralização do solo (ALVES, 2009).

Há alguns experimentos que avaliaram os SAF como alternativa de manejo para restauração de áreas degradadas (AMADOR; VIANA, 1998; SILVA, 2002; BELTRAME; RODRIGUES, 2007; DAHLQUIST et al., 2007; DARONCO et al., 2012). Beltrame et al. (2006) discutiram as vantagens econômicas, ecológicas e sociais de SAF na restauração. Ainda, existem áreas recuperadas com SAF que indicaram grande sucesso tanto na regeneração florestal quanto na hidrografia: em um SAF consorciado com cacau e espécies nativas no sul da Bahia, instalado desde 1985, em uma área exposta à agricultura de corte-e-queima durante 40 anos.

Após cinco anos, obteve-se a primeira safra de cacau, além de ter sido registrado o ressurgimento de 17 nascentes na região (ALVES, 2009). Pensando especialmente em paisagens agrícolas sob diferentes regimes de clima e tipos vegetação a serem restauradas, novos modelos de SAF poderiam ser testados, de modo a buscar a união entre as demandas ecológicas locais e as socioculturais em relação aos custos, geração de emprego e alimentos, ressaltando a ideia de resgate da biodiversidade regional e de atributos ecossistêmicos (AMADOR; VIANNA, 1998; AMADOR, 1999; AMADOR 2003).

Em razão desse alto grau de perturbação em que se encontram os ecossistemas nativos e dos altos custos envolvidos nos métodos atuais utilizados em conjunto com quesitos culturais, as pesquisas em restauração ecológica têm se tornado prioritárias e, portanto, explorar as potencialidades de SAF torna-se de grande relevância.

3. OBJETIVOS

Neste trabalho, tivemos por objetivo analisar o crescimento e a porcentagem de mortalidade de dez espécies arbóreas nativas utilizadas na instalação de um SAF, concebido em janeiro de 2017 como estratégia de restauração ecológica de parte da Reserva Legal do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), *campus* Araras, SP, comparando seu desenvolvimento desde a sua instalação.

4. HIPÓTESE

Pressupomos que o crescimento e a mortalidade ocorreriam de modo diferenciado entre espécies arbóreas que compunham o SAF, mesmo considerando que todas elas fossem consideradas como pioneiras; certamente, elas possuem estratégias distintas de crescimento, considerando o contínuo das estratégias r e K e, portanto, cada espécie arbórea apresentaria performances particulares de desenvolvimento (BEGON et al., 2007). Na biologia, os modelos K e r , também conhecidos como modelos de crescimento populacional, são frequentemente utilizados para descrever o padrão de crescimento de uma população em relação à sua capacidade de sustentação ambiental, ou seja, a capacidade máxima do ambiente de suportar indivíduos de uma determinada espécie. Esses modelos são aplicados em diferentes contextos, incluindo a reprodução e dinâmica populacional. Quando aplicados à reprodução, fornecem uma estrutura conceitual para entender como as populações crescem e se estabilizam em relação aos recursos disponíveis no ambiente. Enquanto o modelo K representa um crescimento populacional estável em torno da capacidade de suporte, o modelo r descreve um crescimento ilimitado quando não há restrições ambientais significativas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Realizamos o trabalho em num sistema agroflorestal (SAF) instalado na Quadra 23 do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), *campus* Araras, SP (22°21'25" S e 47°23'03" O). Anteriormente à organização do SAF, a área era destinada ao cultivo de cana-de-açúcar (Figura 1). Atualmente, ela compõe parte da área de Reserva Legal do CCA, como parte do plano de adequação ambiental do CCA. Este trabalho está conectado à dissertação de mestrado intitulada "Uso de sistemas agroflorestais como elemento facilitador da restauração ecológica de áreas de Reserva Legal" (REZENDE, 2019).

O solo da área é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférico Latossólico com textura argilosa a proeminente; caulinitico, oxidico - catiônico (YOSHIDA; STOLF, 2016). Na região, predominavam as Florestas Estacionais Semidecíduais (IBGE, 2012). O clima da região é do tipo Cwa de Köppen, com precipitação anual é de 1.441 mm e déficit hídrico entre os meses de abril e outubro. A temperatura média anual é de 21,4°C, com mínima no mês de julho, de 17,7 oC, e máxima em fevereiro, de 24,1°C (SENTELHAS et al., 2003).

O delineamento experimental foi organizado em blocos com quatro tratamentos para questões relacionadas a ele: reflorestamento convencional com controle químico de daninhas; reflorestamento convencional com controle mecânico de daninhas; SAF com controle mecânico de daninhas; SAF com controle químico de daninhas. O experimento foi organizado de modo sistemático, uma vez que levou em consideração o tamanho da área de teste e as dificuldades das sequências descontínuas da aleatorização; e porque as análises químicas dos solos da área apontaram apenas um tipo de solo, o NVdf (REZENDE, 2019).

Cada parcela possui área de 60 m x 18 m, constituídas por 120 mudas, sendo 12 plantas de 10 espécies arbóreas nativas pioneiras (Tabela 1) com espaçamento de 2,0 m entre plantas, intercaladas com mudas de café (variedade Catuaí-144), e de 6,0 m entre linhas. Nas entrelinhas de plantio, o manejo agrícola foi convencional, utilizando-se culturas de soja, sorgo e feijão, nesta sequência. Cada linha conta com 60 árvores dispostas em sequências

iguais com as 10 espécies de nativas escolhidas e com seis metros de entrelinhas (Figura 2).

Figura 1. Vista aérea da área do experimento: quadra 23 do CCA, UFSCar, *campus* Araras, SP. Imagem obtida por câmera FishEye embarcada no VANT Parrot Bebop 2 em 2022 (fonte: Viani, R.A.G.).



Figura 2. Croqui do posicionamento das mudas nativas pioneiras, secundárias iniciais e mudas de café no SAF, conforme Rezende (2019). (Imagem: Rezende, 2022).

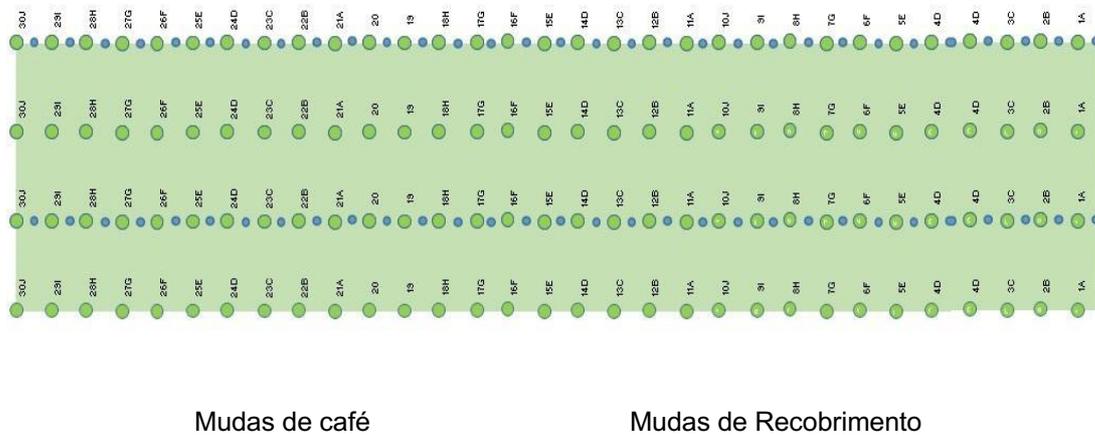


Tabela 1. Lista das espécies arbóreas nativas de florestas estacionais semidecíduas que compõem o SAF (REZENDE, 2019). A coluna N representa o número de registro das espécies nas linhas do SAF (adaptado de REZENDE, 2019).

Família	Espécie	Nome popular	N
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	aroeira-pimenteira	10
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	capixingui	2
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	canafístula-branca	1
Lamiaceae	<i>Aegiphilla sellowiana</i> Cham.	fruta-de-papagaio	3
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	mutamba-verdadeira	9
	<i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth	jangada-algodão	8
	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	paineira	4
Rhamnaceae	<i>Colubrina grandulosa</i> Perkins	sanguaranji-vermelho	5
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	embaúba-branca	6
Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	pau-viola	7

Fonte: Rezende (2022).

Para este trabalho, dividimos as parcelas e os métodos de controle foram descartados de análise com intuito de baixar custos e para uma maior facilidade de execução do projeto. Nosso plano foi dar continuidade às amostragens realizadas por Vicensotti (2018), que realizou as medidas das mudas de árvores nativas aos oito, 11 e 14 meses após o plantio, para checar se as espécies arbóreas se desenvolveram de modo significativamente diferente em função da estratégia de restauração (SAF e manejo convencional) e do tipo de manejo de plantas daninhas (químico e mecânico). De modo geral, as espécies cresceram mais no tratamento com SAF, independentemente do método de controle de plantas daninhas.

As amostragens foram realizadas a cada seis meses, quando foram medidas a circunferência do caule à altura do peito (CAP) - aproximadamente 1,3 m - com fita métrica, valores que posteriormente foram convertidos para diâmetro. Para medir a altura das árvores, contamos com o auxílio de um dendrômetro, que por semelhança de triângulos, ofereceu a altura.

A média em altura e diâmetro das árvores nas linhas do SAF foi avaliado por comparação de médias, por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$) no aplicativo Minitab Statistical Software versão 19 (Minitab, LCC). A hipótese nula era de que as médias dos crescimentos em altura e diâmetro entre as amostragens seriam iguais, enquanto a hipótese alternativa, era de que as médias seriam diferentes.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

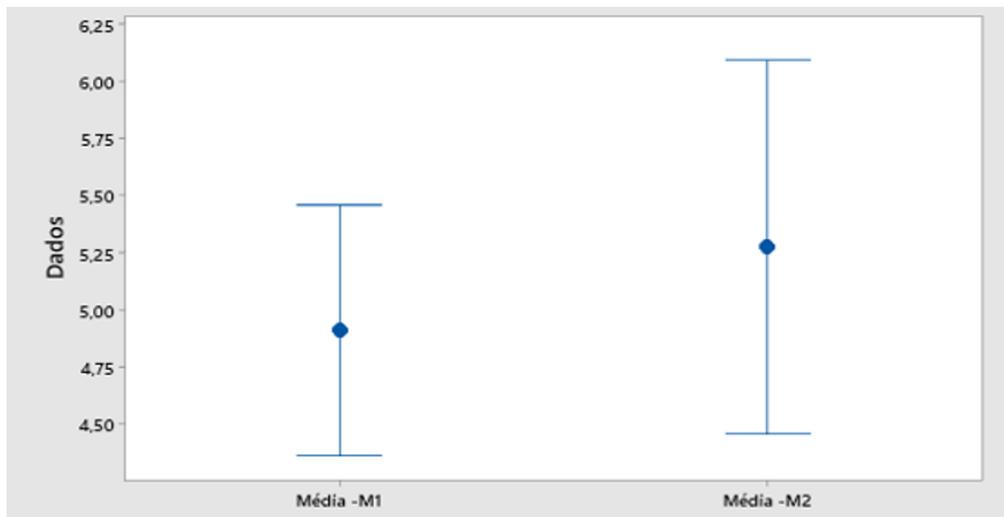
As amostragens (Figuras 3) confirmaram o desenvolvimento fisionômico e estrutural do SAF, considerando a média de altura em relação às dez espécies arbóreas nas linhas do SAF, tanto na primeira amostragem quanto na segunda. Considerando o conjunto das dez espécies arbóreas nas linhas do SAF, a altura média foi de 4,9 m \pm 0,77 m na primeira amostragem; e 5,27 m \pm 1,14 m, na segunda amostragem – crescimento médio em altura de 0,36 m (\pm 0,77 m na primeira amostragem; e \pm 1,14 m, na segunda).

Conferimos que duas espécies apresentaram médias de altura estatisticamente diferentes em relação às demais (Figuras 4 e 5) em ambas as amostragens. *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae) foi a espécie com maior média significativa em altura: 6,36 m (\pm 2,33 m) na primeira amostragem e 7,35 m (\pm 2,32 m), na segunda amostragem - crescimento médio de 0,45 m (\pm 2,30 m).

Por outro lado, *Ceiba speciosa* foi a espécie com menor altura média dentre as dez espécies: 3,62 m (\pm 2,30 m) na primeira amostragem; e 3,20 m (\pm 2,33 m), na segunda – crescimento médio de 0,99 m (\pm 2,30 m).

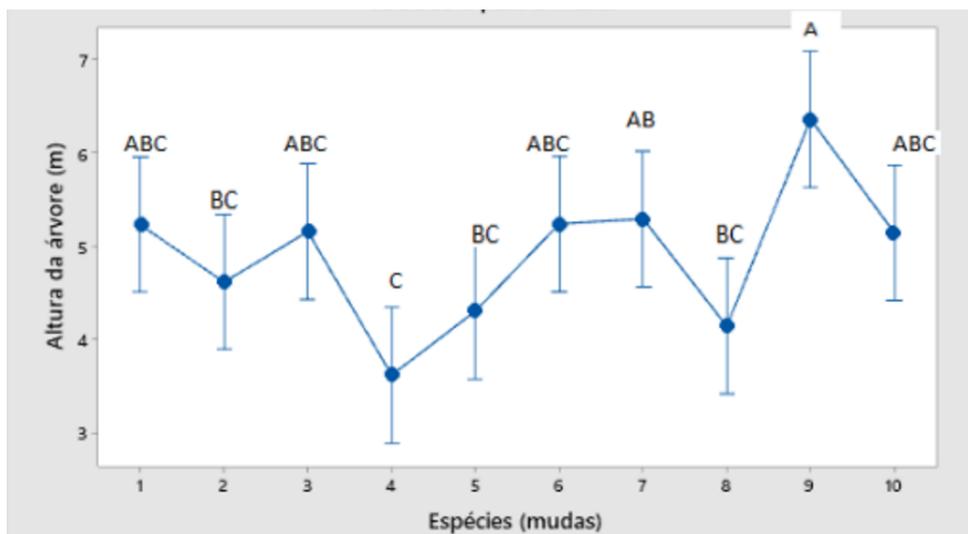
Desde o início da instalação do SAF, em 2017, em que foram plantadas todas as 720 mudas espécies arbóreas pioneiras do “grupo de preenchimento”, registramos a morte de 83 plantas, as quais representaram 11,6% do total de árvores no SAF.

Figura 3. Altura média (em metros) do conjunto das dez espécies nativas implantadas nas linhas do SAF na amostragem de dezembro de 2019 (M1) e na amostragem de junho de 2021 (M2). As barras representam os desvios-padrão.



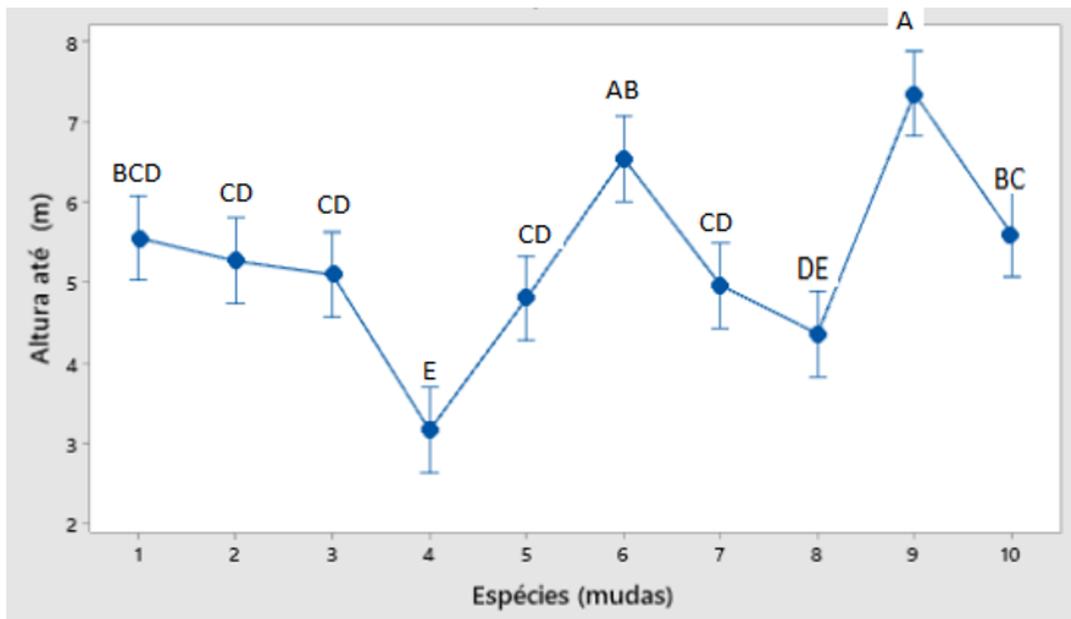
Fonte: Próprio autor (2024).

Figura 4. Crescimento médio em altura das dez espécies pioneiras nas linhas do SAF na primeira amostragem (dezembro/2019). As barras correspondem aos desvios-padrão. As letras correspondem ao teste de Tukey (p maior ou igual a 0,05). Médias que não compartilham as mesmas letras são significativamente diferentes. Os números correspondem às espécies registradas na Tabela 1.



Fonte: Próprio autor (2024).

Figura 5. Crescimento médio em altura das dez espécies pioneiras nas linhas do SAF na segunda amostragem (junho/2021). As barras correspondem aos desvios-padrão. As letras correspondem ao teste de Tukey (p maior ou igual a 0,05). Médias que não compartilham as mesmas letras são significativamente diferentes. Os números correspondem às espécies registradas na Tabela 1.



Fonte: Próprio autor (2024).

A possível causa para *C. speciosa* ter apresentado o menor crescimento médio dentre todas as dez espécies é a alta mortalidade, em conjunto com seu baixo desenvolvimento na área. Uma das possíveis causas para *C. speciosa* ter apresentado um índice de crescimento é resultado do baixo desenvolvimento e um número de mortes mais alto em relação às outras espécies, fator que pode estar altamente ligado às mudas escolhidas pois ao escolher as matrizes, além de elas devem estar altamente saudas, deve se atentar muito na capacidade de produção de sementes, juntamente com um monitoramento do processo de produção e coleta de sementes, visando garantir sementes de alta qualidade, para terem alto valor germinativo e crescerem de maneira sadia (ROVERI NETO; PAULA, 2017).

Por sua vez, *G. ulmifolia* teve o melhor desenvolvimento das espécies, provavelmente por conta do seu rápido crescimento, característica da espécie, que tem facilidade para se desenvolver em diferentes tipos de solos,

desde que estejam em um clima ameno, como é o caso da área deste experimento (CARVALHO, 2007).

De maneira geral, este SAF tem se mostrado como um método de sucesso para a restauração de ARL, já que o crescimento das árvores tem mostrado resultado positivo, conforme as expectativas. Esse crescimento vem ocorrendo de maneira estratificada do ponto de vista fisionômico e estrutural, ou seja, espécies diferentes com ritmos de crescimento diferentes (ainda que tenha sido encontradas diferenças estatísticas para duas espécies em relação ao conjunto de dez espécies) e desse modo acabam por se assemelhar muito com florestas naturais, que é o que se deseja como resultado de projetos de reflorestamentos em áreas de proteção ambiental (RIBEIRO, et al, 2019), principalmente após o plantio das mudas de diversidade recentemente instaladas – a resolução nº 32 de 2014 da Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo orienta que em três anos após a restauração, o reflorestamento deverá apresentar dossel e estrato de regeneração (SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

Com o sombreamento por parte das copas, a incidência de espécies invasoras, principalmente as gramíneas, vem diminuindo, o que certamente tem minimizado a competição por nutrientes, proporcionando melhores recursos e condições para as próprias árvores já plantadas desde 2017, que são do “grupo de preenchimento”, mas especialmente das espécies arbóreas do “grupo de diversidade”, cujas mudas foram recém-plantadas nas entrelinhas no SAF, em março de 2021. Não menos importante, o sombreamento coopera com a forma de decomposição da matéria orgânica morta acumulada sob o solo do SAF, o que pode ser positivo não apenas a respeito da proteção do solo, mas à sua fertilidade, posto que diminui progressivamente mais sua exposição ao sol e às intempéries de maneira geral, o que resultaria na maior sua conservação e sustentabilidade (RIBEIRO, et al, 2019).

Com o plantio das espécies secundárias, o manejo por meio da poda das árvores nas linhas de plantio é necessário, uma vez que aumenta a disponibilidade de luz e adiciona matéria orgânica ao solo (ROCHA et al., 2014), bem como manter a limpeza de maneira mecânica para diminuir possíveis impactos nas árvores e evitar a competição com o grupo de

diversidade recém-plantadas. Essas medidas de manejo, auxiliarão também desenvolvimento das mudas de café, cujas mudas foram plantadas concomitantemente às mudas de espécies arbóreas nativas em linhas intercaladas do SAF, que por um certo período foram tomados por plantas espontâneas, até a capina ser feita. Com aumento da incidência de luz por conta da desrama e com adubação correta, possivelmente o cultivo agrícola na área apresentará um melhor desenvolvimento.

Ainda, considerando que elas vieram em perfeitas condições, pode se inferir que a falta de limpeza adequada da área pode ter afetado e muito seu crescimento e até ocasionado esse índice mais alto. Durante as medições, ficou perceptível que muitas plantas acabaram por ficarem sufocadas por conta de espécies invasoras, que se enrolavam em volta de diversas árvores, bem como competindo por água, luz, nutrientes e espaço.

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados e discussões apresentados, podemos concluir que o SAF implementado demonstrou um desenvolvimento fisionômico e estrutural satisfatório ao longo do período avaliado. Os dados de altura média das dez espécies arbóreas nas linhas do SAF indicam um crescimento significativo, evidenciando a viabilidade e eficácia desse método para a restauração de Áreas de Reserva Legal.

É notável que duas espécies, *G. ulmifolia* e *C. speciosa*, se destacaram com diferenças estatisticamente significativas em relação às demais. Enquanto *G. ulmifolia* demonstrou um rápido crescimento e adaptabilidade ao ambiente, *C. speciosa* enfrentou desafios, incluindo alta mortalidade e menor desenvolvimento. Esses resultados ressaltam a importância da seleção criteriosa das espécies e do manejo adequado para garantir o sucesso do projeto de restauração.

Além disso, o sombreamento proporcionado pelas copas das árvores no SAF contribuiu para a redução da incidência de espécies invasoras e favoreceu a decomposição da matéria orgânica, promovendo um ambiente propício ao desenvolvimento das espécies plantadas. As medidas de manejo,

como a poda das árvores e a limpeza mecânica, são essenciais para otimizar os recursos disponíveis e minimizar os impactos negativos na competição entre as plantas.

Com o plantio das espécies secundárias e o manejo adequado, espera-se não apenas o fortalecimento do SAF, mas também benefícios adicionais, como o desenvolvimento das mudas de café e a melhoria da fertilidade do solo. No entanto, é crucial manter a vigilância e o cuidado contínuo para garantir o sucesso a longo prazo do projeto de restauração.

Em suma, os resultados obtidos até o momento demonstram que o SAF é uma estratégia promissora para a recuperação de áreas degradadas, proporcionando não apenas benefícios ambientais, como também socioeconômicos. Com a implementação de práticas de manejo sustentáveis e o acompanhamento constante, é possível alcançar uma restauração eficaz e duradoura desses ecossistemas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L.F.; METZGER, J.P. A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 2. 2006.

AMADOR, D.B. **Recuperação de um fragmento florestal com sistemas agroflorestais**. Dissertação (Mestrado). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1999. 114p.

AMADOR, D.B. **Restauração de ecossistemas com sistemas agroflorestais**. 2003. Disponível em: <<http://saf.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/14.pdf> embrapa.com.br> Acessado em: 31 novembro 2023.

AMADOR, D.B.; VIANA, V.M. Sistemas agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 105-110. 1998.

AZANIA, C.A.M; ROLIM, J.C; CASAGRANDE, A.A; et al. Seletividade de herbicidas. iii – aplicação de herbicidas em pós-emergência inicial e tardia da cana-de-açúcar na época da estiagem. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 489-495. 2006.

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecologia**: de indivíduos a ecossistemas. Porto Alegre: Artmed. 2007. 752p.

BELTRAME, T.P. **Restaurando a Ecologia na Restauração: avaliação de sistemas agroflorestais e espécies leguminosas em plantios de restauração ecológica**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2013. 168p.

BELTRAME, T.P.; RODELLO, C.M.; CULLEN JR, L. et al. Sistemas agroflorestais na recuperação de áreas de Reserva Legal: um estudo de

caso no Pontal do Paranapanema, São Paulo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 1, n. 1. 2006.

BELTRAME, T.P.; RODRIGUES, E. Feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) na restauração de florestas tropicais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 19-28. 2007.

BHAGWAT, S.A.; WILLIS, K.J.; BIRKS, H.J.B. et al. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 23, n. 5, p. 261-267. 2008.

BORGES, L.F.R.; SCOLFORO, J.R.; ACERBI, F.W. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Revista Cerne**, v. 10, n. 1, p. 22-38. 2004.

BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I.; MACHADO, R.P. et al. Seletividade dos herbicidas setoxidim, isoxaflutol e bentazon a espécies arbóreas nativas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 251-257. 2009.

BRANCALION, P.H.S.; RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. et al. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, v. 34, n. 3, p. 455-470, 2010.

BRASIL, Presidência da República. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, Casa Civil**. Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília. 2012.

COELHO, G.C. Restauração florestal em pequenas propriedades: desafios e oportunidades. In: A. HÜLLER (Ed.). **Gestão ambiental nos municípios: instrumentos e experiências na administração pública**. Santo Ângelo: FURI. p.195-215. 2010.

CULLEN, L.J.; BELTRAME, T.P.; LIMA, J.F. et al. Trampolins ecológicos e zonas de benefício múltiplo: ferramentas agroflorestais para a conservação

de paisagens rurais fragmentadas na Floresta Atlântica brasileira. **Natureza & Conservação**, v.1, n.1, p. 37-46. 2003.

DAHLQUIST, R.M.; WHELAN, M.P.; WINOWIECKI, L. et al. Incorporating livelihoods in biodiversity conservation: a case study of cacao agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. **Biodiversity Conservation**, v. 16, p. 2311-2333. 2007.

DARONCO, C.; MELO, A.C.G.; MACHADO, J.A.R. Consórcio de espécies nativas da floresta estacional semidecidual com mandioca (*Manihot sculenta* Crantz) para restauração de mata ciliar. **Revista Árvore**, v. 36, n. 2, p. 291-299. 2012.

EHAGBONARE, J.E. Effect of taungya on regeneration of endemic forest tree species in Nigeria: Edo State Nigeria as a case study. **African Journal of Biotechnology**, v.5, n.18, p.1608-1611. 2006.

FÁVERO, C.; LOVO, I.; MENDONÇA, E.S. Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 861-868. 2008.

GÖTSCH, E. **O Renascer da agricultura**. Rio de Janeiro: AS-PTA.1995. 24p.

HIGGS, E. The two-culture problem: ecological restoration and the integration of knowledge. **Restoration Ecology**, v. 13, n. 1, p. 159-164. 2005.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2012. 271p.

LEITE, T.V.P. **Sistemas Agroflorestais na recuperação de espaços protegidos por lei (APP e Reserva Legal): estudo de caso do Sítio**

Geranium, DF. Tese (Doutorado). Brasília: Universidade de Brasília. 2014. 120p.

MARCONATO, G.M. **Barreiras socioculturais e econômicas na restauração ecológica**. 2015. Tese (Doutorado). Botucatu: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas. 2015. 69p.

MARTINS, E.M.; SILVA, E.R.; CAMPELLO, E.F.C. et al. O uso de sistemas agroflorestais diversificados na restauração florestal na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 632. 2019.

MCDONALD T.; GANN G.D.; JONSON J. et al. **International standards for the practice of ecological restoration, including principles and key concepts**. Society for Ecological Restoration. 2016.

MELO, A.C.G. A legislação como suporte a programas de recuperação florestal no Estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, v. 8, p. 9-15. 2005.

METZGER, J.P.; CASATTI, L. Do diagnóstico à conservação da biodiversidade: o estado da arte do programa BIOTA/FAPESP. FAPESP, 2006. Disponível em: **Biota Neotropica** (Online), v6, n.2. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v6n2/pt/abstract?point-of-view+bn00106022006>> Acessado em: 31 novembro 2023.

OGDEN, J.A.E.; REJMÁNEK, M. Recovery of native plant communities after the control of a dominant invasive plant species, *Foeniculum vulgare*: implications for management. **Biological Conservation**, v. 125, p. 427-439. 2005.

REGAN, T.J.; MCCARTHY, M.A.; BAXTER, P.W.J.; et al. Optimal eradication: when to stop looking for an invasive plant. **Ecology Letters**, v. 9, p. 759-766. 2006.

RIBEIRO, J. M.; FRAZÃO, L.A.; CARDOSO, P.H.S. et al. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado mineiro. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 913-923. 2019.

ROCHA, G. P.; FERNANDES, L.A.; CABACINHA, C.D. et al. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 44, n. 7, p. 1197-1203. 2014.

ROVERI NETO, A.; PAULA, R. C. Variabilidade entre árvores matrizes de *Ceiba speciosa* (St.-Hil.) Ravenna para características de frutos e sementes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 234-244, 2017.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução SMA Nº 32, de 03 de abril de 2014**, estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Disponível em <<http://arquivo.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2016/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-032-2014-a.pdf>>. Acessado em 29 out 2021.

SENTELHAS, P.C.; NUNES, L.H.; PEREZ A. CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_038.html>. Acesso em: 31 de novembro de 2023.

SEOANE, C.E.S.; DIAZ, V. S.; SANTOS, T.L. et al. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 207. 2010.

SILVA, P.P.V. **Sistemas agroflorestais para recuperação de matas ciliares em Piracicaba, SP**. Tese (Doutorado). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2002. 98p.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL, Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política. 2004. **Princípios da SER Internacional**

sobre a restauração ecológica. Disponível em: <www.ser.org> Acesso em: 04 de abril de 2020.

SOUZA, M.C.S.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M. Desenvolvimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas na floresta ombrófila densa, Paraty, RJ. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 89-98, fev. 2013.

YOSHIDA, F.A.; STOLF, R. Mapeamento digital de atributos e classes de solos. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v.3, n.1, p.1-11. 2016.