UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CLARICE MORAIS JARDIM

ADUBAÇÃO VERDE COMO ESTRATÉGIA EM PROJETOS DE RESTAURAÇÃO DE
FLORESTAS TROPICAIS

CURITIBA

2021

CLARICE MORAIS JARDIM

ADUBAÇÃO VERDE COMO ESTRATÉGIA EM PROJETOS DE RESTAURAÇÃO DE
FLORESTAS TROPICAIS

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão de Pós-Graduação MBA em Gestão Ambiental, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Ângelo

Orientadora: Profa. Dra. Karen Koch F. Souza

BELO HORIZONTE

2021

Adubação verde como estratégia em projetos de restauração florestal

Clarice Morais Jardim

RESUMO

As florestas tropicais são provedoras de recursos e serviços ecossistêmicos essenciais à vida no planeta. Diante do alarmante cenário de degradação florestal, várias iniciativas à níveis globais estão sendo realizadas em prol da restauração de florestas, entretanto, na prática, a restauração florestal ainda apresenta grandes obstáculos para seu sucesso, sendo um dos principais o restabelecimento das plantas nativas no estágio inicial do processo sucessional. A adubação verde é uma prática agrícola em que o consórcio ou rotação de algumas espécies promove o enriquecimento do solo e melhores condições climáticas e edáficas para o desenvolvimento das espécies de interesse. Nesse contexto, a adubação verde se apresenta como promissora ferramenta para o aperfeiçoamento dos projetos de restauração florestal. O presente estudo revisou como a adubação verde tem sido utilizada em projetos de restauração de florestas tropicais e quais os seus resultados. A adubação verde é uma ferramenta com potencial de melhorar as condições edafoclimáticas e auxiliar nos estágios iniciais da restauração florestal, entretanto, para ser eficiente, a técnica precisa estar bem alinhada com as condições locais e específicas de cada caso.

Palavras-chave: Adubação-verde 1. Restauração de florestas tropicais 2. Restauração florestal 3. Plantas de cobertura 4. Adubos verdes

ABSTRACT

Tropical forests are providers of resources and ecosystem services essential to life on the planet. Due to the alarming scenario of forest degradation, several global initiatives are being carried out in the restoration of forests. Therefore, in practice, forest restoration still presents great obstacles to its success, being one of them the initial establishment of native plants. Green manuring is an agricultural practice in which the consortium or rotation of some species promotes the soil enrichment and improvement of climatic and edaphic conditions, which enhance the development of species of interest. In this context, green manuring appears as a promising tool for the improvement of forest restoration projects. The present study reviewed how green manure has been used in tropical forest restoration projects and its results. Green manuring is a tool with the potential to meet the edaphoclimatic conditions and assist us in the initial stages of forest restoration, meanwhile, to be efficient, the technique needs to be aligned with the local and specific conditions of each case.

Keywords: Green manuring 1. Tropical forest restoration 2. Forest restoration 3. Cover plants 4. Green manure 5.

1 INTRODUÇÃO

1.1 DEGRADAÇÃO DAS FLORESTAS TROPICAIS E METAS GLOBAIS

As florestas são provedoras de serviços ecossistêmicos fundamentais à níveis locais e globais, dentre os quais podemos citar a manutenção da qualidade do ar e da água, conservação da biodiversidade, proteção e manutenção dos reservatórios hídricos, sequestro de carbono e mitigação dos efeitos decorrentes das mudanças climáticas (WATSON et al., 2018; CHAZDON, BRANCALION, 2019; FAO, UNEP, 2020). Apesar disso, a degradação de ecossistemas florestais ainda ocorre em níveis alarmantes, 420 milhões de hectares de floresta sofreram drásticas influências antrópicas entre 1990 e 2020, e com taxas de desmatamento ainda muito elevadas entre 2015 e 2020, de cerca de 10,2 milhões de ha por ano (FAO, UNEP, 2020; IUCN, 2021).

As florestas tropicais abrigam 60% de todas as espécies de plantas vasculares do mundo (FAO, UNEP, 2020), e pelo menos 50% destas florestas já sofreram com algum tipo de ação antrópica, as quais além de provocar perdas significativas de biodiversidade (HOLL, 2017), contribuíram com cerca de 12% das emissões globais de dióxido de carbono nas últimas décadas (VAN DER WERF et al., 2009, BARLOW et al., 2016).

Devido ao cenário alarmante de perda de ambientes florestais, a restauração ecológica de florestas tem ganhado uma crescente importância nas políticas ambientais mundiais (LÖF, 2019; HÖHL et al., 2020, BONN CHALLENGE, 2021). Na Cúpula do Clima das Nações Unidas no ano de 2014 foi definida uma meta global de 350 milhões de hectares de florestas restauradas até o ano de 2030. Dentro dessa meta, o Brasil se comprometeu a restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de vegetação em seu território nacional (MMA, 2015). Entretanto, apesar de benéficas e essenciais, estas metas têm se mostrado desafiadoras tanto no Brasil quanto a nível global, relacionadas principalmente a desafios técnico-científicos, socioeconômicos e políticos, os quais compõem uma teia altamente complexa em torno da restauração florestal (CHAZDON et al., 2017; HOLL, 2017; LÖF, 2019; HÖHL et al., 2020).

Devido ao grande número de variáveis envolvidas em ações de restauração ecológicas de florestas, o sucesso destas ações ainda enfrenta considerável imprevisibilidade de forma geral (COSTA et al., 2016; WUETHRICH, 2007). Muitos trabalhos reportam casos de insucesso em tentativas de restauração de florestas, principalmente quando são incluídas métricas de monitoramento de longo prazo (DUDLEY et al., 2005; WUETHRICH, 2007; THOMAS et al.; 2015, HÖHL et al., 2020).

Na prática, a restauração ecológica se mostra como uma área de ciência aplicada que demanda muito conhecimento científico, planejamento estratégico monitoramento de longo prazo e em geral considerável aporte financeiro, os quais representam importantes fatores limitantes ao sucesso destas ações (COSTANZA et al., 2013; CHAZDON & GUARIGUATA, 2016; CROUZEILLES et al., 2016). Em uma estimativa conservadora, são necessários US \$2.000 por hectare de floresta a ser restaurada, ou seja, pelo menos US \$700 bilhões seriam necessários para restaurar 350 milhões de hectares de florestas até 2030 (LÖF, 2019). Esse valor representa uma barreira significativa, já que os possíveis aumentos de custos e dificuldades ao longo da próxima década podem causar o recuo dos financiadores dos projetos de restauração florestal (LÖF, 2019).

Para que as metas então propostas sejam alcançadas, é imprescindível o aperfeiçoamento das técnicas de restauração florestal, de modo a torná-la mais eficientes e menos onerosas principalmente para projetos de grande escala (COSTANZA et al., 2013; ZAHAWI et al., 2013; KIMBALL et al., 2015; CHAZDON, GUARIGUATA, 2016; HOLL, 2017; NUNES et al., 2017).

1.2 RESTAURAÇÃO DAS FLORESTAS TROPICAIS

A restauração ecológica é uma atividade intencional que inicia ou acelera a recuperação da integridade e sustentabilidade de um ecossistema, quando o mesmo encontra-se degradado (ENGEL, PARROTTA, 2003; SER, 2004). Segundo a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), uma floresta degradada é uma floresta secundária que perdeu a estrutura, função, composição de espécies ou produtividade normalmente associada às florestas naturais esperadas naquela região (CDB, 2002).

Uma das condições ambientais importantes na determinação das estratégias para a restauração florestal é a capacidade de regeneração natural que aquela área apresenta (RODRIGUES et al., 2009). A capacidade de recuperação das florestas tropicais é fortemente influenciada pelo tipo, duração e intensidade dos distúrbios sofridos e varia de acordo com características ambientais como padrões de chuvas, temperatura e tipo de solo (HOLL, 2007).

Existem duas estratégias para a restauração florestal: a restauração passiva, que inclui a regeneração natural espontânea e assistida, e a restauração ativa, feita através da semeadura direta ou do plantio de árvores de espécies nativas (STANTURF et al. 2014). As técnicas, a eficácia, os potenciais benefícios e as desvantagens de ambas as estratégias são explorados na literatura (CROUZEILLES et al., 2017; MELI et al. 2017; REID et al., 2018), onde conclui-se que a estratégia mais adequada vai depender das condições específicas de cada área a ser restaurada, e frequentemente essas estratégias serão complementares (REID, 2018; LÖF, 2019; HÖHL et al., 2020).

1.3 ADUBAÇÃO VERDE PARA RESTAURAÇÃO DE FLORESTAS TROPICAIS

Um dos maiores desafios para restauração ativa de ambientes florestais após drásticas alterações estruturais de origem antrópica, como a remoção completa da vegetação e intensas mudanças nas condições do solo, é o restabelecimento das plantas nativas no estágio inicial do processo de recolonização (RODRIGUES et al., 2009; HOLL, 2017; HÖHL et al., 2020). Neste contexto, alterações drásticas nas condições do solo, tanto bióticas (e.g. microbiota do solo) quanto abióticas (e.g. disponibilidade de nutrientes e pH), podem ser um grande obstáculo para o estabelecimento das plantas jovens (CHAZDON, 2003, HOLL, 2017). Além disso, a presença de predadores e espécies exóticas invasoras muitas vezes altamente competitivas pode dificultar o estabelecimento, crescimento e distribuição espacial das espécies nativas (HOLL, 2017; HÖHL et al., 2020). Em muitos casos são utilizados tratamentos químicos para controle de espécies invasoras e predadores, entretanto este método tem sido questionado devido ao potencial de contaminação de recursos hídricos e impactos diretos e indiretos em organismos não-alvo

(WILLOUGHBY et al., 2009; PEREIRA et al., 2014; DAVOREN, SCHIESTL, 2018; VAN BRUGGEN et al., 2018).

Na busca de alternativas sustentáveis dentro da restauração florestal, a teoria ecológica relativa às interações planta-planta pode ser utilizada para aprimorar as técnicas de restauração florestal (LÖF et al., 2019). O conceito das plantas-facilitadoras afirma que uma espécie de planta pode facilitar o crescimento e o desenvolvimento de outra espécie (PADILLA, PUGNAIRE, 2006). Além disso, o conceito da hipótese de gradiente de estresse afirma que com o aumento do grau de estresse abiótico e biótico, as relações de facilitação aumentam em importância em relação às de competição (MAESTRE et al., 2009). Ambos conceitos se tornam relevantes na restauração florestal em cenários de aumento de estresse devido às mudanças edafoclimáticas, com potencial para um papel cada vez maior de facilitação entre espécies para garantir a regeneração (LÖF et al. 2019). Nesse cenário, a integração de espécies de adubação verde aos projetos de restauração florestal se apresenta como uma técnica promissora, onde as mesmas atuam como facilitadoras do estabelecimento das espécies nativas (ELLIOT et al., 2003, SILVA et al., 2014).

A adubação verde é uma prática agrícola de origem milenar e que consiste no plantio de espécies vegetais em rotação ou em consórcio com as culturas de interesse econômico, com o objetivo de enriquecer o solo e aumentar a produtividade e qualidade agrícola (ESPINDOLA et al., 2005). Nessa prática, são utilizadas principalmente as espécies da família das leguminosas, por sua capacidade de fixar nitrogênio no solo (CHERR, SCHOLBERG, MCSORLEY, 2006). As plantas de adubação verde apresentam a capacidade de restaurar propriedades biológicas, químicas e físicas do solo (DABSNEY et al. 2001; BALANDIER et al. 2009; ROBACER, 2015), além de melhorar as condições microclimáticas (BALANDIER et al. 2009; BONILLA-MOHENO, HOLL, 2011; BRANCALION et al., 2015), o que pode facilitar o estabelecimento das plantas nativas (CAMPOS-FILHO et al., 2013; SILVA, 2014; SILVA et al., 2015). Além disso, a integração de espécies de adubação verde pode reduzir a predação de plantas jovens nativas (REIS et al., 2019) e, ao fornecerem uma rápida cobertura do solo, as espécies de adubação verde podem reduzir a invasão de espécies exóticas (CAMPOS-FILHO et al., 2013; PALMA, LAURENCE, 2015; SILVA et al., 2015). Finalmente, as plantas de

adubação verde podem atuar na restauração da fertilidade dos solos degradados devido à sua capacidade de fixar nitrogênio através da associação simbiótica com *Rhizobium sp.* (GILLER, 2001; MACEDO et al., 2008; VIEIRA, 2009).

Nesse contexto, essa técnica pode reduzir os custos dos projetos (RODRIGUES et al., 2009; VÁSQUEZ-CASTRO et al., 2020), reduzir a necessidade de manutenções (REIS et al., 2019; VÁSQUEZ-CASTRO et al., 2020) e aumentar as chances de sucesso dos mesmos. Entretanto, ainda são escassos trabalhos que analisem a eficiência do consórcio de adubos verdes com espécies nativas na restauração florestal (REIS et al., 2019).

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão da literatura científica sobre o que sabemos até o momento e como podemos aprimorar a aplicação de técnicas de adubação verde em prol da restauração de florestas tropicais.

2 METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura científica sobre o uso da adubação verde no contexto da restauração de florestas tropicais. Para isso foi utilizada a plataforma de busca *Google Acadêmico*, contemplando artigos científicos publicados entre os anos de 1990 e 2021.

A pesquisa abordou a literatura científica em português e inglês. Utilizou-se as palavras-chave “restauração florestal”, “restauração de florestas tropicais” combinada com “adubação verde” ou “plantas de cobertura” e seus sinônimos em inglês, “forest restoration”, “restoration of tropical forests”, “restoring tropical forests”, “green manure”, “cover cropping” e “cover crops”.

3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Foram encontrados 49 artigos, dos quais 22 foram excluídos por não contemplarem diretamente a aplicação da técnica de adubação verde na restauração de florestas tropicais ou por apenas citarem a prática. Dos 26 artigos selecionados (Tabela 1), 62% das publicações são dos últimos 4 anos, o que indica

a crescente relevância do tema. Foram encontradas apenas 3 revisões ou artigos de opinião do tema, sendo os outros 23 artigos estudos experimentais práticos.

TABELA 1 – LISTA DE ARTIGOS SELECIONADOS

Ano	Autor(es)	Título
2021	Souza, D. C.; Engel, V. L.; Mattos, E. C.	Direct seeding to restore tropical seasonal forests: effects of green manure and hydrogel amendment on tree species performances and weed infestation
2020	Santos, G. C.	Restauração florestal em área de pastagem no domínio da Mata Atlântica
2020	Vásquez-Castro, D. C. et al.	Preliminary results of using green manure species as a cost-effective option for forest restoration
2020	Santos, F. A. M. et al.	Estratégias de controle de braquiárias <i>Urochloa</i> spp. na formação de povoamento para restauração florestal
2020	Le Bourlegat, J. M. G.	Avaliação do efeito de diferentes micro-habitat no processo de restauração ecológica de Floresta Estacional Semidecidual
2020	de Castro, P. A. M.	Análise microbiológica em solos sob diferentes sistemas de restauração ecológica na Amazônia
2020	Caldeira, M. V. W. et al.	Serapilheira e nutrientes acumulados sobre o solo em plantios de leguminosas e em área restaurada com espécies nativas da Floresta Atlântica
2019	Freitas, M. G. et al.	Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years
2019	Viégas, L. B. et al.	Restoring Ecological Functions Using Agroforestry Systems in Riparian Forests
2019	Shrestha, P. et al.	Effects of agronomic treatments on functional diversity of soil microbial community and microbial activity in a revegetated coal mine spoil
2019	Santos, F. A. M. et al.	Consórcio de espécies arbóreas com leguminosas herbáceas como estratégia para restauração florestal
2019	Leão, B. M.	Muvuca e bolas de sementes na restauração ecológica de áreas degradadas
2019	Reis, L. K. et al.	Which spatial arrangement of green manure is able to reduce herbivory and invasion of exotic grasses in native species?
2018	Freitag, R. et al.	Técnicas nucleadoras e adubação verde em unidades demonstrativas de restauração ecológica
2018	Calixto Júnior, J. E. D.	Semeadura direta consorciada com plantio de mudas: teste para cobrir o solo e acelerar a restauração florestal
2018	Meli, P. et al.	Optimizing seeding density of fast-growing native trees for restoring the Brazilian Atlantic Forest
2016	Silva, K. A. et al.	Restauração Florestal de uma Mina de Bauxita: Avaliação do Desenvolvimento das Espécies Arbóreas Plantadas

Ano	Autor(es)	Título
2013	Campos-Filho, E. M. et al.	Mechanized Direct-Seeding of Native Forests in Xingu, Central Brazil
2013	Beltrame, T. P.	Restaurando a ecologia na Restauração
2013	Souza, R. P.	Semeadura direta de espécies florestais nativas, como alternativa de restauração ecológica para a região de Dourados, Mato Grosso do Sul.
2013	César, R. G. et al.	Does crotalaria (<i>Crotalaria breviflora</i>) or pumpkin (<i>Cucurbita moschata</i>) inter-row cultivation in restoration plantings control invasive grasses?
2012	Martins, A. F.	Controle de gramíneas exóticas invasoras em área de restauração ecológica com plantio total, floresta estacional semidecidual, Itu-SP
2010	Rodrigues, E. R.	Controle biológico de <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf em área de reserva legal em processo de recuperação, na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil
2009	Vieira, D. L. M.; Holl, K. D.; Peneireiro, F. M.	Agro-successional restoration as a strategy to facilitate tropical forest recovery
2008	Beltrame, T. P.; Rodrigues, E.	Comparação de diferentes densidades de feijão guandu <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.) na restauração florestal de uma área de reserva legal no Pontal do Paranapanema, SP
2008	Chazdon, R. L.	Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands.

FONTE: Jardim (2021).

Dos 23 estudos experimentais práticos, 15 (65%) realizaram a técnica de adubação através da semeadura direta das sementes, 4 (17%) através do plantio direto de mudas e 4 (17%) testaram a técnica de adubação verde com os dois tratamentos. Dos 23 estudos experimentais práticos 17 (74%) utilizaram espécies leguminosas exóticas na prática de adubação verde, enquanto 5 (22%) utilizaram espécies leguminosas nativas e exóticas. Apenas 1 (4%) utilizou exclusivamente espécies nativas de leguminosas. A espécie exótica mais recorrente foi a *Cajanus cajan* (L.) Millsp., sendo utilizada em 19 (83%) estudos. As espécies do gênero *Crotalaria* foram as segundas mais recorrentes, utilizadas em 13 (57%) estudos. A espécie nativa mais recorrente foi a *Senna alata*, testada em 3 (13%) estudos.

As principais propriedades avaliadas nos estudos foram os potenciais de cobertura do solo, de facilitação do estabelecimento das espécies nativas e de controle da invasão de espécies exóticas. 73% dos experimentos práticos avaliaram a cobertura vegetal, onde apenas 10% não obtiveram uma cobertura do solo

satisfatória com a técnica de adubação verde. 50% dos experimentos práticos testaram a facilitação do estabelecimento de espécies nativas, e 38% rejeitaram essa hipótese. 65% dos experimentos práticos testaram a capacidade de controle de espécies invasoras da técnica de adubação verde, e 82% confirmaram essa hipótese.

Não foi possível estabelecer uma correlação desses fatores com o sucesso do uso da técnica de adubação verde, visto que a heterogeneidade dos experimentos impossibilita o extrapolamento de conclusões a respeito. Dentre os trabalhos analisados, há grande variação nas espécies utilizadas, densidade, distribuição, espaçamento, tempo de monitoramento, condições climáticas, entre outros; sendo todos esses fatores relevantes para se determinar se a técnica de adubação verde será bem sucedida.

4 DISCUSSÃO

4.1 PRÉ-REQUISITOS PARA APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO VERDE NO CONTEXTO DA RESTAURAÇÃO DE FLORESTAS TROPICAIS

A técnica de adubação verde será indicada para projetos de restauração ativa, visto que no caso da restauração passiva ela pode influenciar o processo de regeneração natural, alterando a composição de espécies e os ciclos de nutrientes (HOLL, 2017). A restauração ativa é indicada para áreas que apresentam severa degradação ou perturbação do solo, que não apresentam níveis de sucessão natural, se encontram sem proximidade de florestas remanescentes e com ausência de dispersores de sementes. A restauração ativa geralmente é realizada através da semeadura direta ou plantio de mudas (CHAZDON, 2008; PALMA, LAURANCE, 2015; BRANCALION et al. 2016; GROSSNICKLE, IVETIĆ, 2017). O plantio de mudas pode ser eficiente para restabelecer a trajetória sucessional de forma mais rápida, mas é um método mais caro (HOLL et al., 2010; PALMA, 2013; CAMPOS-FILHO et al., 2013; PALMA, LAURANCE, 2015; BRANCALION et al. 2016), sendo 2 a 2,5 vezes mais cara do que a técnica de semeadura direta (ENGEL; PARROTTA, 2001). Além disso, estudos recentes sugerem que a técnica de plantio de mudas pode não alcançar, e possivelmente inibir, uma trajetória de restauração de longo

prazo em direção à alta diversidade de espécies característica dessas florestas (CAMPOS-FILHO et al., 2013).

Vários estudos relatam bons resultados com a técnica de semeadura direta na restauração de florestas tropicais (ENGEL; PARROTTA, 2001; CAMARGO et al., 2002; CAMPOS-FILHO et al., 2013; GUERIN et al., 2005; SILVA et al., 2015) e relatam que a mesma promove uma estrutura mais semelhante à de regeneração natural, quando comparada com a de plantio de mudas (CAMPOS-FILHO et al., 2013; MELI et al., 2017; FREITAS et al., 2019). Em projetos de larga escala de florestas tropicais no Brasil, com a utilização da técnica de semeadura direta, sementes de espécies de adubação verde já são incluídas, dentre elas: feijão-deporco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), *Mucuna pruriens* var. *utilis* (Wall. ex Wight) L.H.Bailey e *Crotalaria juncea* L. (GUERIN et al., 2015). Essas espécies exercem função de pioneiras da primeira fase, por apresentarem ciclos mais curtos que os das árvores (GUERIN et al., 2015). Exceto o feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), cujo ciclo de vida pode chegar a cinco anos, as demais deixam o sistema seis meses a um ano depois do plantio, o que é desejável por não serem espécies nativas (CAMPOS-FILHO et al., 2013; GUERIN et al., 2015).

4.2 VANTAGENS DA APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO VERDE NO CONTEXTO DA RESTAURAÇÃO DE FLORESTAS TROPICAIS

A adição de espécies de adubação verde minimiza obstáculos para o sucesso da restauração florestal, como a predação de mudas, dessecação de sementes e plântulas e invasão de plantas competidoras (GUERIN et al., 2015). Em densidades adequadas entre nativas e espécies de adubação verde, a inclusão das últimas parece aumentar a germinação e a sobrevivência das sementes e ajuda a reduzir o uso de herbicidas para o controle de espécies invasoras (CAMPOS-FILHO et al., 2003). As vantagens da aplicação da adubação verde na restauração florestal são exploradas nas seções seguintes.

4.2.1 Cobertura do solo

Campos-Filho *et al.* (2013) observaram que a partir do segundo mês do plantio, as espécies de adubação verde formaram uma cobertura de dossel heterogênea sobre as árvores em germinação, enquanto que nas áreas sem essas espécies a cobertura do dossel só ocorreu 30 meses depois. Durante os primeiros dois anos e meio, as áreas de semeadura direta com espécies de adubação verde se assemelham mais às áreas de regeneração natural e parecem fornecer uma maior diversidade de nichos adequados para a recolonização por espécies não introduzidas, em comparação com áreas de plantações de mudas apenas das árvores nativas (CAMPOS-FILHO *et al.*, 2013). Para Beltrame (2013), Silva (2016) e Le Bourlegat (2020) o feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) apresentou satisfatória cobertura e sombreamento do solo, que possibilitou o controle de gramíneas invasoras. Em Silva (2016) foi observado que a cobertura vegetal proporcionada pelo feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) também atenuou processos erosivos. Em Freitag *et al.* (2018) observou-se que a riqueza de espécies e a abundância de indivíduos estão fortemente e positivamente associadas com os índices de cobertura do solo.

Em Calixto Júnior (2018) observou-se que espécies nativas como a *Senna alata* e a *Solanum lycocarpum* são capazes de promover uma elevada cobertura do solo em um curto intervalo de tempo, e *Senna alata* apresentou melhores taxas de germinação, emergência, estabelecimento e porcentagem de cobertura do solo, em comparação com espécies tipicamente utilizadas como adubos verdes: *Cajanus cajan*, *Crotalaria ochroleuca* e *Canavalia ensiformis*. Além disso, observou-se que *Senna alata* permanece como cobertura por mais tempo, quando comparada com as espécies de adubação verde, com exceção do feijão-guandu.

4.2.2 Melhora das propriedades biológicas e físico-químicas do solo

As espécies de adubação verde parecem favorecer o crescimento das espécies nativas, por aumentar a aeração, promover a descompactação e maior absorção de água no solo (ESPINDOLA *et al.*, 2005).

As leguminosas fixam nitrogênio no solo, possivelmente acelerando a ciclagem de nutrientes e a restauração da fertilidade do solo (CHERR, SCHOLBERG, MCSORLEY, 2006). Para Moreira (2005) a adição de espécies de

adubação verde promoveu melhora nas propriedades físico-químicas do solo e fertilidade, principalmente quando associada à subsolagem para o caso de solos sujeitos a elevado escoamento superficial devido ao relevo. Para Beltrame (2013) o cultivo de labe-labe (*Lablab purpureus* (L.) Sweet) e de feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) alteraram significativamente as concentrações de K e P e os valores de CTC e pH do solo, porém, não foi possível afirmar se houve aumento da fertilidade do solo.

Já em Santos (2019) apesar do maior crescimento no tratamento consorciado com adubos verdes, não houveram alterações da fertilidade do solo, pois não houve diferença significativa no teor de macronutrientes e matéria orgânica entre os tratamentos, aos 30 meses após o plantio. Le Bourlegat (2020) teve resultados semelhantes, onde, apesar do maior sombreamento, maior deposição de serapilheira e aumento da matéria orgânica do solo, não foi observada diferença significativa na disponibilidade de água ou atributos químicos do solo, após 22 meses do plantio de feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). Sperandio *et al.* (2020) também observaram no tratamento com adubos verdes maior deposição de serapilheira, que apresentou maiores teores e conteúdos de macronutrientes, com exceção do Cálcio.

Em relação às propriedades biológicas do solo, em Shrestha (2019) e De Castro *et al.* (2020) foi observado aumento na atividade microbiológica do solo e um efeito positivo na estrutura da comunidade bacteriana com o uso de espécies de adubação verde, sendo que o uso de espécies nativas para adubação verde apresentou a maior diversidade funcional.

4.2.3 Facilitação do estabelecimento das espécies nativas

Martins (2011) não observou melhorias no desenvolvimento das mudas pela associação com espécies de adubação verde. Além disso, para Bellemo (2017) o uso de espécies de adubação verde entrelinhas não diferiu significativamente em composição de espécies quando comparado ao controle. Em Santos (2021) e Vasquez-Castro (2020) não foi observada melhora na sobrevivência das espécies nativas na semeadura direta associada à adubação verde.

Já Beltrame e Rodrigues (2007) observaram que o plantio de feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) reduziu a mortalidade de pioneiras e aumentou a área basal e a altura de todas espécies nativas. Na revisão de Vieira *et al.* (2008) também observou-se que a presença do feijão-guandu reduziu a mortalidade e favoreceu o crescimento das espécies nativas. Em Beltrame (2013) tanto o cultivo de labe-labe (*Lablab purpureus* (L.) Sweet) quanto o de feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) resultaram em menor mortalidade, maior altura média e maior altura basal em comparação com o tratamento controle. Freitag *et al.* (2018) concluem que *Cajanus cajan* e *Canavalia ensiformis* possuem um alto índice de valor de importância para a estrutura fitossociológica da comunidade, devido aos seus elevados potenciais de germinação e estabelecimento em solos distróficos. Em Viégas *et al.* (2019) o tratamento com uso de espécies de adubação verde também apresentou maior composição de espécies.

Em Santos (2019) após 30 meses do plantio, as espécies arbóreas nativas obtiveram crescimento em altura, diâmetro e cobertura de copa significativamente superior no tratamento em que houve o consórcio com espécies de adubação verde (*Crotalaria juncea* L., *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformes*). Novamente, em Santos *et al.* (2020), as espécies florestais apresentaram média de crescimento significativamente superior em altura e em diâmetro nos tratamentos de consórcio com leguminosas.

Em Le Bourlegat (2020) as espécies apresentaram maiores alturas no tratamento com feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) mas se igualaram ao fim dos 22 meses. Apenas as espécies de recobrimento mantiveram maior altura no tratamento com feijão-guandu ao longo de todo o experimento. Ainda em Le Bourlegat (2020) não foi encontrada diferença na abundância, riqueza, diversidade e composição das comunidades finais de cada tratamento após 22 meses. Já em um segundo experimento, com semeadura direta de espécies nativas, Le Bourlegat (2020) observou que com a utilização de feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) as comunidades apresentaram maior abundância e riqueza de espécies.

4.2.4 Predação e herbivoria

As espécies de adubação verde podem minimizar a predação das mudas de espécies nativas devido à algumas características funcionais: tipicamente não alocam recursos para defesas anti-herbivoria, apresentam rápido estabelecimento e crescimento devido às altas capacidades fotossintéticas, e também são mais palatáveis (BROOKS et al. 2003, 2006; MONTTI et al. 2016). Segundo Reis *et al.* (2019), as espécies de adubação apresentaram taxas de herbívora de 1,8 a 2,9 vezes maiores do que as plantas nativas. A redução de herbivoria aumenta o fitness das espécies nativas, portanto, a adição de plantas de adubação verde aumenta as taxas de sobrevivência, estabelecimento e crescimento das espécies nativas na restauração florestal (REIS *et al.*, 2019).

4.2.5 Invasão de espécies exóticas

Como observado em uma revisão de MACDICKEN (1996) é possível o controle de invasão de espécies de gramíneas invasoras pela utilização de espécies de adubação verde, mas a eficiência do mesmo dependerá principalmente da intensidade e duração da cobertura vegetal das mesmas. Para Reis *et al.* (2019), a presença de espécies exóticas foi maior do que a de adubação verde durante todo o experimento. Em César et al. (2013), o uso de Crotalária nas entrelinhas também não controlou a invasão de *Brachiaria*.

Já em Rodrigues (2010) observou-se o elevado potencial das espécies *Mucuna aterrina* e *Macrotyloma axillare* (E.Mey.) Verdc. no controle biológico por mato-competição e alelopatia, onde as espécies invasoras apresentaram baixíssimas frequência e densidade. Nesse mesmo estudo, os tratamentos com Labe-Labe e Crotalária não diferiram estatisticamente do tratamento controle, mas ainda apresentaram valores de frequência e densidade de espécies invasoras mais baixos. Para Beltrame (2013) tanto o cultivo entrelinhas de labe-labe (*Lablab purpureus* (L.) Sweet) quanto o de feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) foram eficientes no controle de espécies invasoras.

Para Souza (2013), o tratamento com semeadura de adubos verdes aleatoriamente nas parcelas de reflorestamento teve efeito positivo na cobertura do solo e consequente controle das espécies invasoras.

Em Santos (2019) a invasão de espécies exóticas foi 3,5 vezes menor no tratamento realizado com adubação verde, em comparação com o controle. Em Santos (2021) conclui-se que o uso de adubos verdes pode ser uma estratégia eficiente para reduzir a infestação de espécies invasoras, entretanto em alguns períodos é necessário o uso associado de herbicidas. Em Le Bourlegat (2020) o uso de feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) também limitou de forma eficiente a colonização por espécies exóticas invasoras, sendo 20% o máximo da cobertura de invasoras no período de 22 meses.

4.2.6 Redução de custos

Como revisado por Vieira *et al.* (2008), o plantio em consórcio de espécies de adubação verde com árvores nativas reduz os custos de manutenção, quando comparado com o convencional plantio de mudas. Bellemo (2017) também considera o uso de adubação verde como alternativa para redução de custos em projetos de restauração.

Em Vasquéz-Castro (2020) foram comparados os custos de técnicas de restauração florestal e concluíram que os custos com o uso de espécies de adubação verde foram substancialmente menores, principalmente durante a fase de manutenção, por reduzirem as necessidades de fertilização e proteção individual.

4.2.7 Provisão de alimento

Algumas das espécies utilizadas na adubação verde são comestíveis e até comercializáveis, como o feijão-guandu. Como revisado por Vieira *et al.* (2008), se houverem comunidades no entorno da área a ser restaurada, as espécies de adubação verde podem ser utilizadas pelas mesmas. O cultivo das espécies de adubação verde na área de restauração pode ser feito por vários anos e promove uma maior interação local com o projeto de restauração, em que a comunidade local participa da manutenção e garante maior proteção ao mesmo.

4.3 DESAFIOS PARA APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO VERDE NO CONTEXTO DA RESTAURAÇÃO DE FLORESTAS TROPICAIS

Algumas variáveis são determinantes para o sucesso do uso de espécies de adubação verde para proteção das espécies nativas e controle das espécies exóticas invasoras em projetos de restauração florestal. É importante determinar o tempo desejado de permanência das mesmas no sistema e a intensidade desejada da cobertura vegetal. Para determinar as espécies adequadas para adubação verde em cada caso, deve-se analisar as taxas de crescimento das espécies nativas e de adubação verde, e da densidade ideal de indivíduos de cada uma, ambos fatores relacionados e dependentes das condições climáticas do local. Leguminosas fixadoras de nitrogênio de crescimento rápido podem tanto proteger quanto competir por água e luz com as árvores jovens (DUBOIS, VIANA, 1994; CAMPOS-FILHO et al., 2003), a depender da maneira como são inseridas no projeto. No caso do excesso de indivíduos de algumas leguminosas, como de *Canavalia ensiformis* (L.) DC., pode-se formar um dossel excessivamente denso e alto que retarda o crescimento das espécies nativas durante a estação chuvosa, por impedir que a luz solar alcance as mudas (CAMPOS-FILHO et al., 2003). Já durante a estação seca, no mesmo experimento de Campos-Filho et al. (2003), a competição parece se tornar facilitação, quando as espécies de leguminosas formam uma cobertura e protegem as árvores jovens e o solo da luz solar e do calor, criando microclimas úmidos e estáveis sob sua copa.

O dossel denso é desejável visto que exerce controle sobre a invasão de espécies exóticas, entretanto a altura dessas plantas em relação às nativas precisa ser controlada. Em Freitag *et al.* (2018), o excesso de sombra das Crotalárias prejudicou o desenvolvimento das plântulas. Já em Rodrigues (2010), Souza (2013), Leão (2019) e Santos (2020) sugere-se que o baixo adensamento das espécies de adubação verde no experimento e a consequente baixa taxa de recobrimento do solo impediram sua eficiência no controle de invasoras. A relevância da densidade de espécies de adubação verde para o sucesso da técnica também foi reportada em Beltrame (2007), onde observou-se que o tratamento com uma planta de feijão-guandu promoveu maior área basal das espécies nativas do que o tratamento com duas plantas de feijão-guandu.

Também é importante o momento em que a espécie de adubação verde sai ou é retirada do ambiente. Em Beltrame (2007) observa-se que a retirada do guandu após seis meses do plantio causou uma mortalidade significativamente maior das espécies não-pioneiras do que a ausência de guandu. Isso pode ser explicado pelo fato que as espécies de adubação verde promovem uma proteção aos estresses ambientais, e se essa proteção é retirada precocemente, as plantas serão mais afetadas do que se não tivessem tido a proteção inicial, como foi o caso dessas espécies não-pioneiras.

Em outros casos, as características fenológicas das espécies escolhidas para adubação verde impediram o sucesso das mesmas em cumprir suas finalidades na restauração florestal. Em Rodrigues (2010), observou-se que *Mucuna aterrina* e *Macrotyloma axillare* foram eficientes no controle de espécies invasoras, porém, levaram a mortalidade de todas as mudas de espécies arbóreas presentes nas parcelas. Já em Souza (2021) a *D. lablab* também teve efeito negativo sobre as espécies nativas, visto que a mesma possui hábito de crescimento entrelaçado e se entrelaçou nas plântulas. Em Fragoso (2016), as espécies de adubação verde escolhidas foram implementadas durante a estação chuvosa e não se desenvolveram devido às condições ambientais locais naquela estação.

Como observado em Souza (2021), um bom planejamento do tempo de acordo com a taxa de crescimento das espécies de adubação verde é essencial para a efetividade do mesmo em prover cobertura do solo e controle das espécies invasoras durante todo o período necessário. Nesse estudo observou-se que após 6 meses *D. lablab* foi a responsável pela cobertura vegetal, porém em 12 meses faltou cobertura e houve significativa invasão de espécies exóticas. Já a partir dos 18 meses o feijão-guandu cobriu a área até o final do experimento, 24 meses depois. Nesse caso, poderia ter se considerado o plantio de feijão-guandu mais cedo, ou feito uma nova semeadura de *D. lablab*, ou ainda inserido outra espécie de adubação verde que promovesse a cobertura 12 meses após o plantio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Perspectivas futuras para aplicação da adubação verde no contexto da restauração de florestas tropicais

Vários estudos indicam o potencial da técnica de aplicação de adubos verdes para aumentar as chances de sucesso dos projetos de restauração florestal, através do favorecimento do estabelecimento de espécies nativas e do controle da invasão de espécies invasoras. Por outro lado, muitos estudos apontam os desafios em se traçar o melhor método de aplicação da técnica de adubação verde para obter êxito em cada caso particular. São necessárias mais pesquisas para compreender as interações entre a fenologia e as densidades de espécies nativas e de espécies de adubação verde em relação aos processos de facilitação e competição, considerando-se também as variações sazonais locais (CAMPOS-FILHO et al., 2003).

Em muitos casos pode ser interessante utilizar uma mistura de plantas de cobertura em vez de uma única espécie, em particular para aproveitar as complementaridades das plantas em termos de estrutura de cobertura, fenologia e dinâmica no tempo e espaço (BALANDIER, 2009). Além disso, o mosaico multiestratificado favorece a formação de diferentes microclimas adequados para o estabelecimento de espécies com diferentes níveis de exigência de luz, que se assemelha melhor à heterogeneidade natural (ROBINSON, HANDEL, 2000). Isso promove o estabelecimento de diferentes nichos ecológicos e, conseqüentemente, de núcleos de diversidade (FREITAG, et al., 2018). Como observado por Freitag *et al.* (2018), técnicas distintas de restauração resultam em diferentes configurações da estrutura da comunidade. Por isso, sugere-se a aplicação de diferentes técnicas em uma área, para restaurar a heterogeneidade espaço-ambiental da paisagem degradada (FREITAG *et al.*, 2018).

Em casos de grande escala de restauração florestal, a tendência é que seja feita a combinação de técnicas mais economicamente viáveis (semeadura direta com semeadura de espécies de adubação verde) como complementares à outras técnicas mais caras e por vezes necessárias (plantio de mudas). Nesse sentido,

espera-se que sejam desenvolvidos cada vez mais estudos de aprimoramento dessas técnicas, inclusive da prática de adubação verde.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a limitação de estudos e a grande heterogeneidade em torno da prática de adubação verde impossibilita generalizações, mas indica um caminho a se percorrer na busca pela técnica mais adequada para cada caso, que pode ser bem sucedido através do conhecimento das particularidades de cada ambiente e das espécies utilizadas.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, M.; SIERRA, J.; RAMIREZ, W., et al. Toward a post-conflict Colombia: restoring to the future. **Restor. Ecol.**, v.23, p.4-6, 2015.

BALANDIER, P., FROCHOT, H.; SOURISSEAU, A. Improvement of direct tree seeding with cover crops in afforestation: Microclimate and resource availability induced by vegetation composition. **Forest Ecology and Management**, v.257, p.1716– 1724, 2009.

BARBOSA, L.M. Histórico das políticas públicas para a restauração de áreas degradadas no Estado de São Paulo. In: Thiago Hector Kanashiro UEHARA, T. H. K., GANDARA, F. B. (Ed). **Cadernos da Mata Ciliar Secretaria do Meio Ambiente, Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais, Unidade de Coordenação do Projeto de Recuperação das Matas Ciliares**. São Paulo, p.6-10, 2011.

BARLOW, J.; LENNOX, G. D.; FERREIRA, J.; BERENQUER, E.; A. C. LEES, A. C.; et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v.535, p.144–147, 2016.

BELTRAME, T. P. **Restaurando a Ecologia na Restauração: avaliação de sistemas agroflorestais e espécies leguminosas em plantios de restauração**

ecológica. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

BELTRAME, T. P., RODRIGUES, E. Comparação de diferentes densidades de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) na restauração florestal de uma área de reserva legal no Pontal do Paranapanema, SP. **Scientia Forestalis**, v.36, no. 80, p.317-327, 2008.

BELTRAME, T. P., RODRIGUES, E. Guandu bean (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) on tropical forest restoration Feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) na restauração de florestas tropicais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.28, n.1, p.19, 2009.

BONILLA-MOHENO, M.; HOLL, K. D. Direct seeding to restore tropical mature forest species in areas of slash-and burn agriculture. **Restoration Ecology**, v.18, p.438–445, 2010.

BONN CHALLENGE. Disponível em <<http://www.bonnchallenge.org/>>. Acesso em 10 junho 2021.

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Métodos de restauração florestal: áreas que possibilitem o aproveitamento inicial da regeneração natural. In: **Restauração Florestal**. 1ª edição. São Paulo: Oficina de textos, 2015. p.219– 250.

BRANCALION, P.H.S.; SCHWEIZER, D.; GAUDARE, U. et al. Balancing economic costs and ecological outcomes of passive and active restoration in agricultural landscapes: the case of Brazil. **Biotropica**, v.48, p.856–867, 2016.

BROOKS, A. B.; CROOK, M. J.; WILCOX, A.; COOK, R. T. A laboratory evaluation of the palatability of legumes to the field slug, *Deroceras reticulatum* Muller. **Pest Management Science**, v.59, p.245–251, 2003.

CALIXTO JÚNIOR, José Eduardo Dias. **Semeadura direta consorciada com plantio de mudas: teste para cobrir o solo e acelerar a restauração florestal**.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

CAMARGO, J. L. C.; FERRAZ, I. D. K.; IMAKAWA, A. M. Rehabilitation of degraded areas of central Amazonia using direct sowing of forest tree seeds. **Restoration Ecology**, v.10, p.636–644, 2002.

CAMPOS-FILHO, E. M.; SOUSA, O. L.; JUNQUEIRA, R. G. P. Mechanized direct-seeding of native forests in Xingu, Central Brazil. **Journal of Sustainable Forestry**, v.32, p.702-727, 2013.

CASTRO, D., RODRIGUES, R.; MELI, P.; BRANCALION, P.; RODRIGUES SILVA, R.; COUTO, H. Preliminary results of using green manure species as a cost-effective option for forest restoration Resultados preliminares da utilização de adubo verde como uma opção custo-benefício para a restauração florestal. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v.48, n.127, p.21, 2018.

CÉSAR, R. BRANCALION, P. et al. Does crotalaria (*Crotalaria breviflora*) or pumpkin (*Cucurbita moschata*) inter-row cultivation in restoration plantings control invasive grasses?. **Scientia Agricola**, v.70, p.268-273, 2013.

CHAZDON, R. L. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. **Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics**, v.6, p.51–71, 2003.

CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. **Science**, v.320, p.1458–1460, 2008.

CHAZDON, R. L.; BRANCALION, P. H. S. Restoring forests as a means to many ends. **Science**, v.364, p.24–25, 2019.

CHAZDON, R. L.; BRANCALION, P. H. S.; LAMB, D.; LAESTADIUS, L.; CALMON, M., KUMAR, C. A policy-driven knowledge agenda for global forest and landscape restoration. **Conservation Letters**, v.10, p.125–132, 2017.

CHAZDON, R. L.; GUARIGUATA, M. R. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: Prospects and challenges. **Biotropica**, v.48, p.716–730, 2016.

CHERR, C. M.; Scholberg, J. M. S.; McSorley, R. Green Manure Approaches to Crop Production. **Agronomy Journal**, v.98, n.2, p.302, 2006.

COSTA, A. S. A., MALHADO, A. C., BRAGAGNOLO, C., CORREIA, R. A., LADLE, R. J., Ecological outcomes of Atlantic Forest restoration initiatives by sugar cane producers. **Land Use Policy**, v.52, p.345–352, 2016.

COSTANZA, R.; DE GROOT, R.; SUTTON, P. et al. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v.26, p.152-158, 2014.

CROUZEILLES, R.; CURRAN, M.; FERREIRA, M. S.; LINDENMAYER, D. B.; GRELE, C. E. V.; REY BENAYAS, J. M. A global meta-analysis on the ecological drivers of forest restoration success. **Nature Communications**, v.7 11666, 2016.

CROUZEILLES, R.; FERREIRA, M.S.; CHAZDON, R.L.; LINDENMAYER, D.B.; SANSEVERO, J.B.B.; MONTEIRO, L.; IRIBARREM, A.; LATAWIEC, A.E.; STRASSBURG, B.B.N. Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. **Science Advances**, v.3, p.11, 2017.

DABSNEY, S.M.; DELGADO, J.; REEVES, D.W. Using Winter Cover Crops to Improve Soil and Water Quality. **Communications in Soil Science and Plant**, v.32, p.1221-1250, 2001.

DAVOREN, M. J., SCHIESTL, R. H. Glyphosate-based herbicides and cancer risk: A post-IARC decision review of potential mechanisms, policy and avenues of research. **Carcinogenesis**, v.39, n.10, p.1207– 1215, 2018.

DE CASTRO, P. A. **Análise microbiológica em solos sob diferentes sistemas de restauração ecológica na Amazônia**. Tese (Mestrado em Ciências Ambientais) - Campus Universitário de Sinop-MT, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2020.

DUBOIS, J. C. L.; VIANA, V. M.; ANDERSON, V. M. **Manual Agroflorestal para a Amazônia**. Rio de Janeiro: REBRAAF, V. I, 1996.

DUDLEY, N.; MANSOURIAN, S.; VALLAURI, D. Forest Landscape Restoration in Context. In: MANSOURIAN, S., VALLAURI, D., **Forest Restoration in Landscapes**. Nova Iorque: Springer, 2005. p.3–7.

ELLIOTT, S. et al. Selecting framework tree species for restoring seasonally dry tropical forests in northern Thailand based on field performance. **Forest Ecology and Management**, v.184, n.1-3, p.177-191, 2003.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p.3-26.

ESPÍNDOLA, J. A. A. et al. **Adubação verde com leguminosas**. Embrapa Agrobiologia. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.49.

ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de. **Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia, 1997. 20p

FAO and UNEP. **The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people**. Rome: 2020.

FREITAS, M. et al. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. **Forest Ecology and Management**, v.438, p.232, 2019.

GILLER, K. E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. Second edition. Wallingford: CAB International, 2001.

GROSSNICKLE, S.C., IVETIC, V. Direct seeding in reforestation – a field performance review. **Reforesta**, v.4, p.94–142, 2017.

GUERIN, N. et al. Avanços e próximos desafios da semeadura direta para restauração ecológica. In: Martins, S.V. (Ed.), **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**, second ed. Viçosa: UFV, 2005.

HÖHL, M.; AHIMBISIBWE, V., STANTURF, J.; ELSASSER, P.; KLEINE, M.; BOLTE, A. Forest Landscape Restoration—What Generates Failure and Success?. **Forests**, v.11, p.938, 2020.

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

HOLL, K. D. Old field vegetation succession in the neotropics. In: HOBBS, R. J., CRAMER, V. A. (Eds.), **Old Fields**. Washington, DC: Island Press, 2007. p. 93–117.

HOLL, K. D. Restoring Tropical Forests from the Bottom up. **Science**, v.355, p.455–56, 2017.

JACOBS, D. F.; OLIET, J. A.; ARONSON, J.; BOLTE, A. et al. Restoring forests: What constitutes success in the twenty-first century? **New Forests**, v.46, p.601–614, 2015.

KIMBALL, S.; LULOW, M.; SORENSON, Q. et al. Cost-effective ecological restoration. **Restoration Ecology**, v.23, p.800–810, 2015.

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

LE BOURLEGAT, J. M. G. **Avaliação do efeito de diferentes micro-habitat no processo de restauração ecológica de Floresta Estacional Semidecidual**. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

LEÃO, B. M. **Muvuca e bolas de sementes na restauração ecológica de áreas degradadas**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

LÖF, M.; MADSEN, P.; METSLAID, M.; WITZELL, J.; JACOBS, D.F. Restoring forests: Regeneration and ecosystem function for the future. **New Forests**, v.50, p.139–151, 2019.

MACDICKEN, K.G.; HAIRIAH, K.; OTSAMO, A. *et al.* Shade-based control of *Imperata cylindrica*: tree fallows and cover crops. **Agroforest Syst**, v.36, p.131–149, 1996.

MACEDO, M. O.; RESENDE, A. S.; GARCIA, P.C. *et al.* Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. **Forest Ecology and Management**, v.255, n.5-6, p.1516–1524, 2008.

MAESTRE, F. T.; CALLAWAY, R. M.; VALLADARES, F.; LORTIE, C. J. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities. **Journal of Ecology**, v.97, p.199-205, 2009.

MARTINS, A. F. **Controle de gramíneas exóticas invasoras em área de restauração ecológica com plantio total, floresta estacional semidecidual, Itu-SP**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MELI, P.; HOLL, K. D.; REY BENAYAS, J. M.; JONES, H. P.; JONES, P. C.; MONTOYA, D.; MORENO MATEOS, D. A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. **PLoS ONE**, v.12, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. O Brasil entra otimista na conferência climática. [S. l.], 12 nov. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/noticia-acom-2015-11-1272>>. Acesso em: 1 jul. 2021.

MONTTI, L. et al. Herbivory and the success of *Ligustrum lucidum*: evidence from a comparison between native and novel ranges. **Australian Journal of Botany**, v.64, p.181–192, 2016.

MURCIA, C.; GUARIGUATA, M. R.; ANDRADE, A. et al. Challenges and prospects for scaling-up ecological restoration to meet international commitments: Colombia as a case study. **Conservation Letters**, v.9, p.213-220, 2015.

NUNES, F. S. M.; SOARES-FILHO, B. S.; RAJÃO, R.; MERRY, F. Enabling large-scale forest restoration in Minas Gerais state, Brazil. **Environmental Research Letters**, v.12, 2017.

PADILLA, F.; PUGNAIRE, F. The Role of Nurse Plants in the Restoration of Degraded Environments. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.4, n.4, p.196-202, 2006.

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

PINTO, S. R.; MELO, F.; TABARELLI, M. et al. Governing and delivering a biome-wide restoration initiative: the case of Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. **Forests**, v.5, p.2212-2229, 2014.

PEREIRA, Thiago Mitonori. **Efeitos da nucleação nas respostas fisiológicas de mudas arbóreas em uma área de restauração ecológica**. Dissertação (Mestrado

em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

REID, J. L.; FAGAN, M.E.; ZAHAWI, R.A. Positive site selection bias in meta-analyses comparing natural regeneration to active forest restoration. **Science Advances**, v.4, p.5, 2018.

REIS, L.K. et al. Which spatial arrangement of green manure is able to reduce herbivory and invasion of exotic grasses in native species? **Ecological Applications**, v.29, p.8, 2019.

ROBAČER, M.; CANALI, S. et al. Cover crops in organic field vegetable production. **Scientia Horticulturae**, v.208, p.104-110, 2016.

RODRIGUES, E. R. **Controle biológico de *Brachiaria decumbens* Stapf em área de reserva legal em processo de recuperação, na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2010.

RODRIGUES, R.; LIMA, R. A.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experiences in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v.142, p.1242-1251, 2009.

SANTOS, F.; LELES, P.; RESENDE, A.; NASCIMENTO, D.; SANTOS, G. Estratégias de controle de braquiárias *Urochloa* spp. na formação de povoamento para restauração florestal. **Ciência Florestal**, v.30, p.1, 2020.

SANTOS, F.; LELES, P.; SANTANA, J. et al. Consórcio de espécies arbóreas com leguminosas herbáceas como estratégia para restauração florestal. **Advances in Forestry Science**, v.6, p.10, 2019.

SANTOS, G. C. **Restauração florestal em área de pastagem no domínio da Mata Atlântica.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em

Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

SER Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. **SER international primer on ecological restoration**. Society for Ecological Restoration, 2004. Disponível em: <http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration>. Acesso em junho de 2020.

SHARMA, A. R.; MITTRA, B. N. Effect of green manuring and mineral fertilizer on growth and yield of crops in rice-based cropping system on acid lateritic soil. **Journal Agric. Sci.**, v.110, p.605–608, 1988.

SHONO, K.; CADAWENG, E. A.; DURST, P. B. Application of Assisted Natural Regeneration to Restore Degraded Tropical Forestlands. **Restoration Ecology**, v.15, p.620–626, 2007.

SHRESTHA, P.; GAUTAM, R., ASHWATH, N. Effects of agronomic treatments on functional diversity of soil microbial community and microbial activity in a revegetated coal mine spoil. **Geoderma**, v.338, p.40-47, 2019.

SILVA, F. T. A. et al. Utilização de Métodos Biológicos para Restauração de Áreas Degradadas no Município de Ivinhema-MS. **Cadernos de Agroecologia**, v.9, n. 4, p.1-12, 2014.

SILVA, K. A. et al. Restauração Florestal de uma Mina de Bauxita: Avaliação do Desenvolvimento das Espécies Arbóreas Plantadas. **Floresta e Ambiente**, v.23, n.3 p.309-319, 2016.

SILVA, R. R. P.; OLIVEIRA, D. R.; ROCHA, G. P. E.; VIEIRA, D. L. M. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant cover and fertilization on seedling establishment and growth. **Restoration Ecology**, v.23, p.393-401, 2015.

SOUZA, D.; ENGEL, V. L.; MATTOS, E. Direct Seeding To Restore Tropical Seasonal Forests: Effects Of Green Manure And Hydrogel Amendment On Tree

Species Performances And Weed Infestation. **Restoration Ecology**, v.29. n.10, p.1111, 2020.

SOUZA, R. P. **Semeadura direta de espécies florestais nativas, como alternativa de restauração ecológica para a região de Dourados, Mato Grosso do Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2013.

SPERANDIO, H. et al. Serapilheira e nutrientes acumulados sobre o solo em plantios de leguminosas e em área restaurada com espécies nativas da Floresta Atlântica. **Advances in Forestry Science**, v.7, p.961-971, 2020.

STANTURF, J. A.; PALIK, B. J.; DUMROESE, R. K. Contemporary forest restoration: A review emphasizing function. **For. Ecol. Manag.**, v.331, p.292–323, 2014.

SUDING, K.; HIGGS, E.; PALMER, M. et al. Committing to ecological restoration. **Science**, v.348, p.638-640, 2015.

THOMAS, E.; JALONEN, R.; LOO, J.; BOZZANO, M. Avoiding failure in forest restoration: The importance of genetically diverse and site-matched germplasm. **Unasylva**, v.66, p.29, 2015.

UNEP. 2012. Decisions Adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its Eleventh Meeting: Decision XI/16 — Ecosystem Restoration. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-11/cop-11-dec-16-en.pdf> (acesso em julho de 2021).

VAN BRUGGEN, A. H. C. et al. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. **Science of the Total Environment**, v.616–617, p.255– 268, 2018.

VAN DER WERF, G.R.; MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; OLIVIER, J. G. J. et al. CO2 emissions from forest loss. **Nature Geoscience**, v.2, p.737–738, 2009.

VÁSQUEZ-CASTRO, D. C. V., RODRIGUES, R. R. et al. Preliminary results of using green manure species as a cost-effective option for forest restoration. **Scientia Forestalis**, v.48, p.127, 2020.

VIÉGAS, L. B. et al. Restoring Ecological Functions Using Agroforestry Systems in Riparian Forests. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, 2019.

VIEIRA, D.; HOLL, K.; PENEIREIRO, F. Agro-Successional Restoration as a Strategy to Facilitate Tropical Forest Recovery. **Restoration Ecology**, v.17, p.451 - 459, 2009.

WATSON, J. E. M.; EVANS, T. et al. The exceptional value of intact forest ecosystems. **Nat. Ecol. Evol.**, v.2, p.599–610, 2018.

WILLOUGHBY, I., BALANDIER, P. **Forest vegetation management in Europe: current practice and future requirements**. Brussels: COST Office, 2009.

WUETHRICH B. Biodiversity. Reconstructing Brazil's Atlantic rainforest. **Science**, v.315, n.5815, p.1070-2, 2007.

ZAHAWI, R. A.; HOLL, K. D.; COLE, R. J.; REID, J. L. Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. **J. Appl. Ecol.**, v.50, p.88-96, 2013.