

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FLÁVIO HENRIQUE FARDIN

**MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE UMA
ÁREA DEGRADADA NO CERRADO E INSERÇÃO DE
LEGUMINOSAS COMO FORMA DE CONTRIBUIÇÃO AO
PROCESSO**

Ilha Solteira

2019

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FLÁVIO HENRIQUE FARDIN

**MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE UMA
ÁREA DEGRADADA NO CERRADO E INSERÇÃO DE
LEGUMINOSAS COMO FORMA DE CONTRIBUIÇÃO AO
PROCESSO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Profa. Dra. Kátia Luciene Maltoni
Orientadora

Ilha Solteira

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F221m Fardin, Flávio Henrique.
Monitoramento da restauração ecológica de uma área degradada no Cerrado e inserção de leguminosas como forma de contribuição ao processo / Flávio Henrique Fardin. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2019
91 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2019

Orientador: Kátia Luciene Maltoni

Inclui bibliografia

1. Recuperação de áreas degradadas. 2. Cobertura vegetal. 3. Espécies nativas regenerantes. 4. Monitoramento. 5. Restauração ecológica.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Monitoramento da restauração ecológica de uma área degradada no cerrado e inserção de leguminosas como forma de contribuição ao processo

AUTOR: FLÁVIO HENRIQUE FARDIN

ORIENTADOR: KÁTIA LUCIENE MALTONI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. KÁTIA LUCIENE MALTONI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. GLÁUCIA AMORIM FARIA
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. MARIA JOSÉ NETO
Câmpus de Três Lagoas / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (aposentada)

Ilha Solteira, 07 de agosto de 2019

DEDICO...

Dedico este trabalho para aqueles que com amor despertaram em mim o respeito ao meio ambiente, em especial meus avós, meus pais e tios. Dedico ainda a todos que contribuem com a conservação do Cerrado.

AGRADEÇO...

À Deus pela providência do necessário em cada situação, pelas possibilidades ofertadas em cada momento, a proteção na rodovia, a saúde e a coragem para as lutas, a paciência e a serenidade pela espera das conquistas.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela estrutura, professores e funcionários.

À toda a minha família e amigos, pelo excepcional apoio e incentivo que foram fundamentais para mais essa conquista, em especial a Taciane Fardin de Oliveira e Murilo Cesar Carvalho Pereira.

Ao meu Avô Basílio Fardin (in memoriam), por me transmitir o conhecimento sobre as árvores nativas e seus usos;

À minha querida orientadora, Prof^ª. Dr^ª. Kátia Luciene Maltoni, pelo acolhimento apoio e direcionamento desde o início da pós-graduação.

À Prof^ª. Dr^ª. Gláucia Amorim Faria, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao técnico José Raimundo de Melo, pela importante ajuda em campo.

À toda equipe do Laboratório de Pedologia que tanto me ajudaram tanto no trabalho em campo quanto nas análises laboratoriais, em especial as amigas Adriana Avelino Santos, Thalita Vicente das Neves e Thaís Soto Boni.

À todas as pessoas que tornaram este trabalho possível e que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento e aprendizagem.

*Desde o começo do mundo água e chão se amam
e se entram amorosamente
e se fecundam.*

Manoel de Barros

RESUMO

Na região Noroeste do Estado de São Paulo, divisa com Mato Grosso do Sul, a construção da Usina Hidrelétrica-UHE de Ilha Solteira, em 1965, deu origem a extensas áreas degradadas, devido à remoção da vegetação e utilização do solo para formação do barramento do Rio Paraná. O subsolo exposto resultou em insignificante recuperação do Cerrado, ao longo do tempo, pois o material exposto é edaficamente insuficiente para dar suporte ao estabelecimento e desenvolvimento da vegetação, além da ausência de fatores como o banco de sementes e microrganismos, comuns nos 0,10 m superficiais dos solos. Com o objetivo de recuperar as condições ecológicas da área, em 2011/2012 deu-se início ações de restauração por meio da revegetação. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da UNESP de Ilha Solteira, situada no Município de Selvíria, MS. Inicialmente a área foi mecanizada (escarificação a 0,40 m de profundidade), como condicionantes do subsolo foram incorporados resíduo orgânico - RO (macrófitas aquáticas) nas doses 0, 16, e 32 Mg ha⁻¹ e resíduo agroindustrial - RA (cinza), nas doses 0, 15, 30 e 45 Mg ha⁻¹, e parcialmente revegetada, com o plantio de mudas de 10 diferentes espécies arbóreas nativas do Cerrado (espaçamento 4,0 x 5,0 m). Transcorridos 5 anos da intervenção, avaliou-se o desempenho da técnica proposta por meio da Portaria CBRN 1/2015 do Estado de São Paulo, a qual estabelece o Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica, utilizando como indicadores ecológicos: cobertura do solo com vegetação nativa (CSVN), densidade de indivíduos nativos regenerantes (DINR) e número de espécies nativas regenerantes (NENR). Os resultados apontaram que os resíduos, principalmente RO, se mostraram importantes no processo de recuperação do subsolo exposto, favorecendo a regeneração e cobertura do solo, no entanto, para os valores apresentados a metodologia sugere que fossem feitas outras intervenções para efetividade das ações de restauração. Assim, em janeiro de 2017, foram semeados dois tipos de leguminosas, o Calopogônio (*Calopogonium caeruleum*) e o Estilosantes Campo Grande, o qual se trata do nome comercial da mistura física de sementes de duas espécies, o *Stylosanthes capitata* e o *Stylosanthes macrocephala*. Cada uma das parcelas dos tratamentos com os resíduos foi subdividida em quatro unidades e receberam as sementes das leguminosas da seguinte forma: T1- 100% Estilosantes, T2 –100% Calopogônio, T3 – 50% Estilosantes + 50% Calopogônio e T4 – Controle (sem leguminosas). Um ano após a inserção das leguminosas a área foi novamente avaliada para os indicadores ecológicos citados, além

de N, P e C do solo. Verificou-se que, mesmo após 5 anos da inserção dos resíduos, eles ainda eram significativos para CSVN, DINR, NENR, N, P e C. As leguminosas, especialmente Etilosantes, influenciaram positivamente a CSVN. Os resultados indicam que a área está seguindo uma trajetória de recuperação, mas o monitoramento deve ser mantido ao longo dos anos para que novas interferências possam ser feitas quando necessário.

Palavras-chave: Recuperação de áreas degradadas. Cobertura vegetal. Espécies nativas regenerantes. Monitoramento. Restauração ecológica.

ABSTRACT

In the Northwest region of São Paulo State, on the border of Mato Grosso do Sul, the construction of Ilha Solteira Hydroelectric Power Plant, in 1965, gave rise to extensive degraded areas, due to vegetation removal and soil use as part of rockfill material of Paraná River. The exposed subsoil resulted in negligible Cerrado recovery over time as the exposed material is edaphically unsuitable to support the establishment and development of the vegetation, besides the absence of factors such as seed bank and microorganisms, common in the 0.10 m superficial of the soil. In order to restore the area ecological conditions, in 2011/2012 restoration actions were initiated through revegetation. The work was developed at the Teaching, Research and Extension Farm (FEPE) of UNESP, Ilha Solteira Campus, located in Selvíria, MS. Initially the area was mechanized (chisel plowing at 0.37 m depth), the soil conditioners were incorporated, organic residue - RO (aquatic macrophytes) at doses of 0, 16, and 32 Mg ha⁻¹ and agroindustrial residue - RA (ash from sugar cane), at doses of 0, 15, 30 and 45 Mg ha⁻¹, and seedlings of 10 different native tree species of the Cerrado were introduced in the area (4.0 x 5.0 m spacing). After 5 years of intervention, the performance of the proposed technique was evaluated through the Ordinance CBRN 1/2015 of São Paulo State, which establishes the Protocol for Monitoring Ecological Restoration Projects, using as ecological indicators: land cover with native vegetation (CSVN), density of native regenerating individuals (DINR) and number of native regenerating species (NENR). Thus, in January 2017, two types of legumes were sown, *Calopogonium caeruleum* and Estilosantes Campo Grande, which is the trade name of the physical seed mixture of two species, *Stylosanthes capitata* and *Stylosanthes macrocephala*. Each of the waste treatment plots was subdivided into four units and received the legume seeds as follows: T1- 100% Estilosantes, T2 –100% Calopogônio, T3 – 50% Estilosantes + 50% Calopogônio e T4 – Controle (sem leguminosas). One year after the legume insertion the area was again evaluated for the ecological indicators mentioned, besides N, P and C of the soil. It was found that even 5 years after the insertion of the residues, they were still significant for CSVN, DINR, NENR, N, P and C. Legumes, especially Estilosantes, positively influenced the CSVN. The results indicate that the area is following a recovery trajectory, but the monitoring must be maintained over the years so that new interference can be made when necessary.

Keywords: Recovery of degraded areas. Vegetal cover. Native species regeneration. Monitoring. Ecological restoration.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	REVISÃO DE LITERATURA	14
1.1.1	Cerrado	14
1.1.2	Recuperação de áreas degradadas	15
1.1.3	Utilização de leguminosas herbáceas na recuperação de áreas degradadas	16
1.2	OBJETIVO GERAL	17
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO	17
1.4	MATERIAIS E MÉTODOS	18
1.4.1	Histórico da área	18
1.4.2	Condições de clima e solo da área experimental	24
	REFERÊNCIAS	25
	CAPÍTULO 2 – RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM ÁREA DE CERRADO ANTROPIZADA	29
2.1	INTRODUÇÃO	29
2.2	MATERIAIS E MÉTODOS	30
2.2.1	Avaliação da cobertura do solo com vegetação nativa – CSVN	31
2.2.2	Avaliação da densidade de indivíduos nativos regenerantes – DINR	32
2.2.3	Avaliação do número de espécies nativas regenerantes-NENR	35
2.2.4	Análises estatísticas	35
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
2.4	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS	47
	CAPÍTULO 3: USO DE LEGUMINOSAS NO PROCESSO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM ÁREA DE SOLO DEGRADADO.	51
3.1	INTRODUÇÃO	51
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.2.1	Delineamento experimental e tratamentos	53
3.2.2	Avaliação dos indicadores ecológicos	54
3.2.3	Coleta de solo para análises de Carbono orgânico total (COT), Nitrogênio (N) e Fósforo (P)	56
3.2.4	Análises estatísticas	56

3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.4	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS	75
	CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
	ANEXO A - Caracterização inicial da área	84
	ANEXO B – Teores de nutrientes do resíduo orgânico (macrófitas aquáticas) (MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1997)	85
	ANEXO C - Composição química do resíduo agroindustrial (cinza), determinada em termos de óxidos totais.	86
	ANEXO D – Elementos de interesse, disponíveis no resíduo agroindustrial (cinza) (RAIJ <i>et al.</i>, 2001)	87
	ANEXO E – Relatório Fotográfico	88

1 INTRODUÇÃO

Em meados do século XX com o advento da construção de usinas hidrelétricas no Brasil, e a ausência, da necessidade de adequado licenciamento ambiental, impactos ambientais profundos foram gerados, tais como extensas áreas inundadas, e imensuráveis km² de ambientes antropizados devido a retirada de solo para a formação da barragem, para o enrocamento do rio, dentre outras alterações drásticas na paisagem.

Na divisa dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, foi construída na década de 60 a Usina Hidrelétrica (UHE) de Ilha Solteira, dando origem a extensas áreas antropizadas, resultantes da remoção da vegetação, neste caso, o Cerrado, e de camadas de solo e subsolo, em profundidades que variaram de 1 a 12 m, para utilização no barramento da água e nas demais obras, durante o estabelecimento da UHE. Em um contexto regional, a UHE de Jupia (Três Lagoas/MS) e a de Três Irmãos (Pereira Barreto/SP) também apresentam em seu entorno o mesmo tipo de dano ambiental, isto é, extensas áreas antropizadas com características similares às encontradas nos municípios de Ilha Solteira/SP e Selvíria/MS.

A remoção da vegetação e da camada superficial do solo deixou à superfície um material edaficamente desprovido das condições necessárias ao restabelecimento da vegetação e de baixa resiliência, situação semelhante a encontrada em áreas mineradas. Essas áreas permanecem, desde 1965, sem ou com baixo recobrimento vegetal, demandando urgente intervenção para sua recuperação, uma vez que, desprovidas de atributos físicos, químicos e microbiológicos, não contribuem para o reestabelecimento da vegetação e são suscetíveis a processos erosivos; além de apresentar baixos teores de matéria orgânica e nutrientes, baixa atividade microbiológica, reduzida velocidade de infiltração de água, ausência de estrutura estável e alta densidade do solo.

A reintrodução da vegetação nativa tem sido uma das medidas de indução da revegetação e de início do reestabelecimento do ecossistema já existente. Para isso, é imprescindível criar condições edáficas que contribuam para garantir o sucesso do processo de revegetação por meio da introdução de mudas de arbóreas nativas, assim, foi necessário mecanizar a área para romper o selamento superficial e adicionar resíduos para condicionar o subsolo, para introdução da vegetação e permitir o estabelecimento da biota que irá atuar no processo de recuperação.

Resíduos orgânicos (macrófitas aquáticas) e agroindustriais (cinza oriunda da queima do bagaço da cana de açúcar) foram utilizados para o condicionamento da fertilidade do solo, e mudas de 10 diferentes espécies arbóreas nativas foram introduzidas na área. O

monitoramento se constitui em uma etapa essencial para verificação da efetividade das ações de recuperação, e para isto foram utilizados indicadores ecológicos como cobertura do solo por vegetação nativa, densidade e diversidade de espécies nativas espontâneas.

Após o monitoramento, considerou-se a necessidade de introdução de outras espécies na área antropizada para contribuir com o processo de restauração, em regiões de formações florestais nativas mais densas, os projetos de restauração ecológica normalmente buscam utilizar espécies arbóreas que promovam o rápido recobrimento do solo, no entanto, no Cerrado a recuperação deve considerar a presença de espécies herbáceas nativas que naturalmente compõem as paisagens deste bioma, principalmente em fitofisionomias mais abertas como o Cerrado Sentido Restrito e o Campo Sujo.

Assim, passados um pouco mais de cinco anos da primeira ação de recuperação nesta área, o monitoramento realizado sugeriu que a cobertura vegetal ainda era reduzida. Com o intuito de melhorar este aspecto decidiu-se por uma segunda interferência no processo de restauração, neste momento com a inserção de herbáceas forrageiras, porém do grupo das leguminosas, pertencentes aos gêneros *Stylosantes* e *Calopogonium*.

Nativas do Cerrado, ambos gêneros são comercializados para a formação de pastagens, pois apresentam teores de nitrogênio interessantes devido a capacidade de fixação biológica. O recobrimento e a melhoria das condições químicas do solo pela inserção de nitrogênio e carbono, são fatores de extrema relevância na recuperação de áreas degradadas, fazendo com que cada vez mais se utilizem tais espécies para esta finalidade.

A introdução das leguminosas mostrou ao final de 2 anos que a cobertura vegetal teve um aumento expressivo e que o estabelecimento das plantas contribuirá para a fornecer condições químicas, físicas e biológicas no solo para o estabelecimento de regenerantes, tanto em densidade quanto diversidade, culminando na recuperação da área degradada.

1.1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1.1 Cerrado

O Cerrado é considerado um dos biomas mais ricos e com maior biodiversidade de espécies no mundo (LEWINSOHN; PRADO, 2002), possuindo aproximadamente 160 mil espécies de plantas, fungos e animais catalogados (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). É o mais rico em espécies vegetais (aproximadamente 12 mil), das quais pelo menos um terço são endêmicas (MENDONÇA *et al.*, 2008).

A região Centro Oeste brasileira é quase toda ocupada pelo Cerrado, segundo maior bioma do país com aproximadamente 2 milhões de quilômetros quadrados, o que corresponde a 22% do território nacional (EITEN, 2001); faz interface com todos os principais biomas da América do Sul (Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Chaco e Pantanal), podemos considerá-lo como um grande corredor de biodiversidade (GANEM; DRUMMOND; FRANCO, 2010).

Esse bioma é caracterizado por ser um complexo vegetacional, que tem relações ecológicas e fisionômicas com savanas da América tropical e com as de outros continentes como a África, a Ásia e a Austrália (RIBEIRO; WALTER, 2008). Composto por um mosaico de fisionomias vegetais, o Cerrado possui habitats bastante variados, com alta riqueza de espécies e grande número de endemismos (SILVA; SANTOS, 2005).

Apesar de sua importância, o Cerrado ainda é um dos biomas mais ameaçados do planeta, o que o colocou entre os 34 hotspots mundiais, (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007). A ocupação humana, por meio do uso e ocupação do solo para atividades agropecuárias, expansão mineral e degradação dos recursos naturais, reduziu a área nativa do Cerrado para 50,84% do território original (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011), seu *status* de degradação é superado apenas pela Mata Atlântica (MEDEIROS, 2011).

1.1.2 Recuperação de áreas degradadas

Diante do crescente avanço das fronteiras econômicas, que expandem cada vez mais as áreas degradadas em todo o país, aumentam as demandas por projetos de restauração florestal (HENRIQUES, 2003; KAGEYAMA; GANDARA; OLIVEIRA, 2003). Aliado à devastação das florestas, as pastagens nativas também começaram a ser substituídas por capins exóticos, o que representou a substituição das fitofisionomias nativas do Cerrado por paisagens cada vez mais antropizadas (SILVA.; FRANCO; DRUMMOND, 2015). Segundo Sampaio (2015), é necessário restaurar 5 milhões de hectares no Cerrado para que haja habitat suficiente para favorecer a auto sustentação de todas as espécies do bioma.

No tocante a recomposição de uma área, alguns termos usados são: restauração, recuperação e reabilitação. Restauração é o restabelecimento da estrutura, produtividade e diversidade de espécies da flora original. Recuperação é o restabelecimento da estrutura e da produtividade em uma área degradada, usando espécies arbóreas nativas e exóticas (LAMB; GILMOUR, 2003). Já na reabilitação é dada ênfase à recuperação de processos e funções do ecossistema para aumentar o fluxo de serviços e benefícios às pessoas, mas sem que haja uma

intenção explícita em se restabelecer a composição e estrutura originais do ecossistema (CLEWELL, 2009).

Em resumo a restauração ecológica busca gerar estabilidade e integridade biológica aos ecossistemas naturais (ENGEL; PARROTA, 2003), visando proporcionar o reestabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes nos sistemas naturais (DIAS; GRIFFITH, 1998; BARBOSA, 2006).

Para obter o conhecimento da eficácia do processo de restauração é preciso ter inferência das condições ambientais dessa restauração ecológica e devem ser utilizadas ferramentas de avaliação denominadas indicadores (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009). O uso desses indicadores deve, além de estar voltado aos objetivos do projeto, (MANOLIADIS, 2002), transmitir ganhos ambientais em áreas de restauração (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004). A partir dos parâmetros selecionados como indicadores de restauração, com base em critérios que reflitam a viabilidade e estabilidade do ecossistema, em longo prazo, é possível a obtenção de dados que reflitam a situação em vários momentos do monitoramento da área em estudo (MUMMEY; STAHL; BUYER, 2002). Portanto, o uso de indicadores é considerado uma ferramenta importante na avaliação continuada dos projetos de restauração, ou ainda em seu monitoramento ao longo do tempo.

Diversos projetos de restauração ecológica relatam o uso de indicadores ecológicos na avaliação da eficiência da restauração; alguns destes indicadores são: registro da presença de microrganismos, juntamente com as propriedades físico-químicas do solo (BENTHAM *et al.*, 1992), estrutura da comunidade de invertebrados (JANSEN, 1997), densidade de minhocas (ZOU; GONZALEZ, 1997), meso e macrofauna edáfica (SAUTTER, 1998) e parâmetros vegetacionais, como altura e diâmetro (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004); os projetos mais detalhados com relação a utilização dos parâmetros e avaliação estão ligados a Mata Atlântica.

Para o Cerrado ainda são necessárias informações consolidadas, evidenciando a necessidade da continuidade dos estudos aplicados à restauração ecológica e monitoramento de áreas restauradas, que são fundamentais na recuperação da integridade ecológica (BARBOSA, 2006). Acredita-se que, por meio de interferências de manejo, seja possível acelerar o processo de regeneração e assegurar a conservação do ecossistema de Cerrado.

1.1.3 Utilização de leguminosas herbáceas na recuperação de áreas degradadas

Tradicionalmente projetos de recuperação priorizam o plantio de espécies arbóreas (PINHEIRO *et al.*, 2009), no entanto, de acordo com Maltoni e Valério (2000), a revegetação

de áreas de empréstimo com espécies forrageiras nativas tem-se mostrado benéfica para o ecossistema, principalmente em se tratando de leguminosas, as quais são fixadoras de Nitrogênio (N), considerado um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento de plantas em seu ambiente natural (FRANCO; DÖBEREINER, 1994).

A utilização de leguminosas herbáceas, como plantas de cobertura, aponta a possibilidade de melhorias em diversos atributos do solo, associado à minimização dos processos erosivos, aporte de nitrogênio atmosférico, ciclagem de nutrientes, manutenção da umidade e redução da amplitude térmica do solo, favorecendo a atividade de microrganismo (SMITH, 2008).

Espécies leguminosas dos gêneros *Stylosanthes* e *Calopogonium* são nativas do bioma Cerrado e apontadas como potenciais para recuperação de áreas degradadas (SILVA; CORRÊA, 2011; SEIFFERT *et al.*, 1985; SANTOS *et al.*, 2011), sendo uma boa opção em áreas onde o uso de espécies nativa seja uma exigência (SILVA; CORRÊA, 2008). Ambos os gêneros de leguminosas, além de fixadoras de N, ocorrem e são resistentes em solos ácidos, secos e de baixa fertilidade, são tolerantes a elevados teores de alumínio no solo e apresentam potente sistema radicular pivotante (GUGLIERI-CAPORAL; CORPORAL; POTT, 2015, CALHEIROS *et al.*, 2015; SILVA; ZIMMER, 2004).

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar um modelo de indução do processo de recuperação, estabelecido há cinco anos, por meio de indicadores ecológicos e parâmetros nutricionais do solo;

Melhorar as condições ecológicas e nutricionais de solo degradado por meio da introdução de espécies herbáceas nativas de Cerrado fixadoras de N.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Avaliar a cobertura do solo por vegetação nativa da superfície da área degradada;

Identificar as espécies e densidade da vegetação espontânea arbustiva e arbórea em área degradada submetida a processo de recuperação;

Avaliar a disponibilidade de N, Fósforo (P) e Carbono (C) no solo da área degradada.

Inserir espécies herbáceas leguminosas nativas de Cerrado para melhorar: a cobertura do solo, o teor de nutrientes, principalmente N, aumentar a disponibilidade de C e com isto favorecer a regeneração natural com espécies nativas na área degradada.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

1.4.1 Histórico da Área

Este trabalho foi desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Engenharia da Unesp, Campus de Ilha Solteira, situada no município de Selvíria (MS), em uma área degradada na década de 60, pela remoção da vegetação nativa (Cerrado) e de horizontes do solo, durante a construção da UHE de Ilha Solteira (SP).

A ação antrópica deixou exposto o subsolo, o qual permaneceu por décadas com baixa cobertura vegetal, devido à inadequação das condições edáficas para o estabelecimento da vegetação (Anexo A). Adotaremos ao longo do texto o termo solo degradado como menção ao subsolo exposto para fins de redação e discussão.

Em 2011 deu-se início a um trabalho de condicionamento e revegetação desta área degradada; o experimento instalado teve por objetivo a utilização de resíduos da agroindústria e de atividades hidrelétricas para recuperação de áreas de empréstimo, além da revegetação com espécies nativas de Cerrado e a busca pela constituição de um horizonte superficial no subsolo exposto; o projeto foi financiado pelo CNPq (Processo: 561842/2010-8; Edital: 26/2010). Este processo foi finalizado em fevereiro de 2014, sendo necessário o monitoramento da área para verificação da efetividade das ações implementadas e avaliação da necessidade de outras intervenções para a recuperação da área.

A área experimental é de 34.000 m² (3,4 ha) e faz parte de uma grande extensão de solo degradado localizado à margem direita do Rio Paraná, a jusante da UHE, sob Latitude 20° 23' 02" Sul e Longitude 51° 24' 24" Oeste (Figura 1).

Como condicionantes do subsolo foram incorporados na área resíduos orgânicos (RO) e agroindustriais (RA), com o objetivo de criar condições para o estabelecimento da vegetação nativa. O RO foi composto por uma mistura de diversas macrófitas aquáticas, como *Egeria densa* Planch., *Egeria najas* Planch., *Ceratophyllum demersum* L., *Eichhornia azurea* Kunth, *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach, *Pistia stratiotes* L. e *Typha latifolia* L.; removidas do reservatório da UHE de Jupia, secas ao sol durante 120 dias. O RO seco foi analisado nutricionalmente segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997)

(Anexo B). O (RA) utilizado foi a cinza oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar coletada na Usina Alcoolvale, em Aparecida do Taboado - MS, este resíduo foi seco a pleno sol por 30 dias (Figura 2, *a e b*) e analisado quimicamente de acordo com Raij *et al.* (2001) (Anexos C e D).

A combinação fatorial de 3 doses de RO (0, 16 e 32 Mg ha⁻¹) e 4 doses de RA (0, 15, 30 e 45 t ha⁻¹) resultou em 12 tratamentos (Tabela 1); dispostos em 3 blocos casualizados (Figura 3), totalizando 36 parcelas de 20m x 30m (600m²).

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos gerados pela combinação de doses dos resíduos orgânico (RO) e agroindustrial (RA).

Identificação	Combinação das doses
RO00 RA00	RO 00 Mg ha ⁻¹ e RA 00 Mg ha ⁻¹
RO00 RA15	RO 00 Mg ha ⁻¹ e RA 15 Mg ha ⁻¹
RO00 RA30	RO 00 Mg ha ⁻¹ e RA 30 Mg ha ⁻¹
RO00 RA45	RO 00 Mg ha ⁻¹ e RA 45 Mg ha ⁻¹
RO16 RA00	RO 16 Mg ha ⁻¹ e RA 00 Mg ha ⁻¹
RO16 RA15	RO 16 Mg ha ⁻¹ e RA 15 Mg ha ⁻¹
RO16 RA30	RO 16 Mg ha ⁻¹ e RA 30 Mg ha ⁻¹
RO16 RA45	RO 16 Mg ha ⁻¹ e RA 45 Mg ha ⁻¹
RO32 RA00	RO 32 Mg ha ⁻¹ e RA 00 Mg ha ⁻¹
RO32 RA15	RO 32 Mg ha ⁻¹ e RA 15 Mg ha ⁻¹
RO32 RA30	RO 32 Mg ha ⁻¹ e RA 30 Mg ha ⁻¹
RO32 RA45	RO 32 Mg ha ⁻¹ e RA 45 Mg ha ⁻¹

Fonte: Elaboração própria.

Antes da incorporação dos compostos a área foi gradeada (grade pesada a 0,40 m de profundidade) e escarificada (0,37 m de profundidade), os tratamentos foram distribuídos a lanço, com aplicador de calcário, e incorporados a área degradada com grade média (0,30 m) em novembro de 2011 e a área permaneceu em pousio por 03 meses (Figura 2 *c e d*).

Mudas de 10 espécies nativas de Cerrado (Tabela 2) foram introduzidas na área experimental em fevereiro de 2012, com plantio em covas de 0,40 m de profundidade e espaçamento de 4,0 por 5,0 m. Ao todo, foram introduzidas 1080 mudas com aproximadamente

0,3 m de altura, cada parcela recebeu três indivíduos de cada espécie, totalizando 30 indivíduos por parcela (Figura 2 e).

Tabela 2 - Espécies de mudas nativas de Cerrado utilizadas no plantio em fevereiro de 2012 na área experimental.

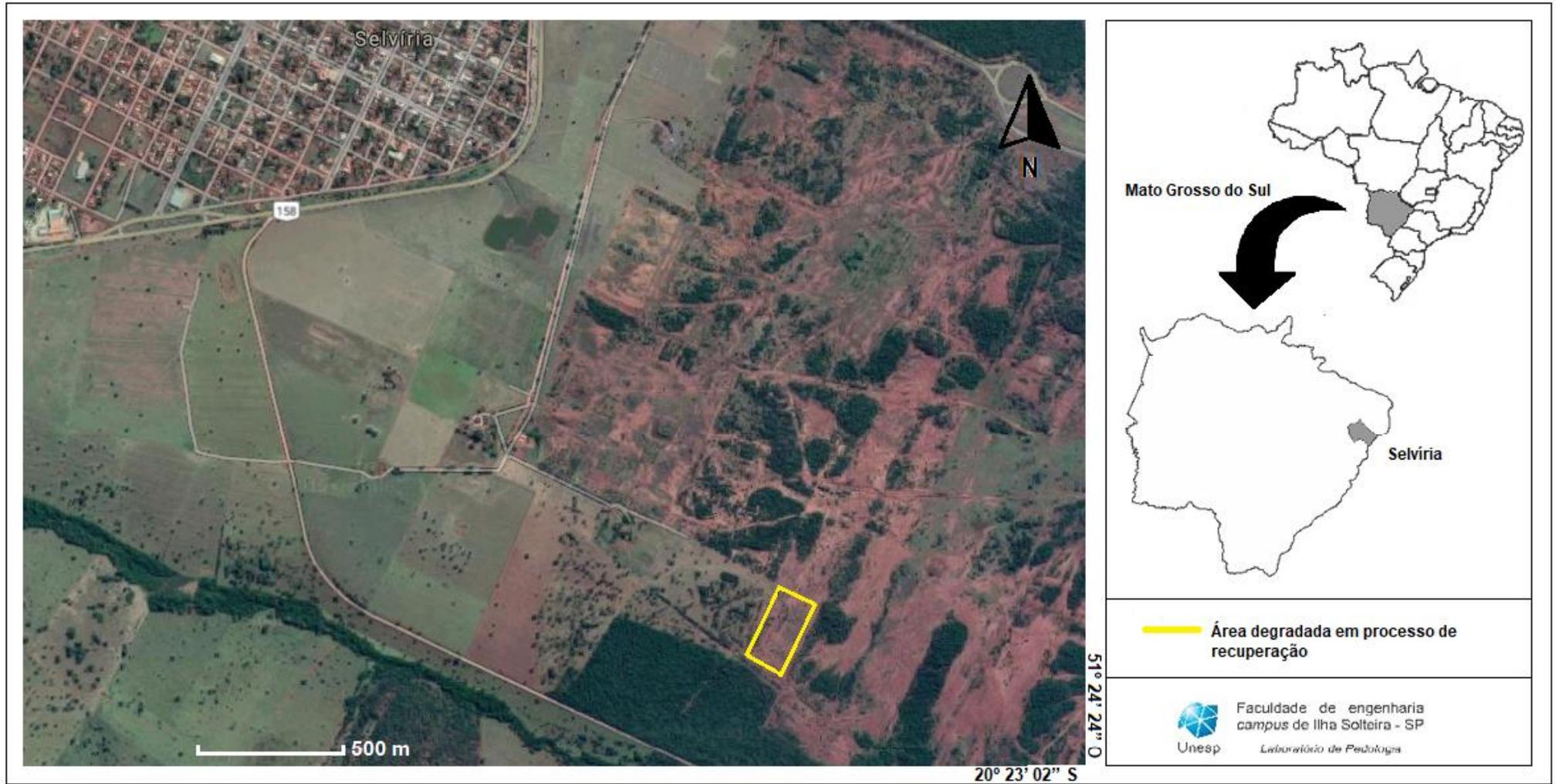
Família	Nome científico	Nome popular
Anacardiaceae	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Gonçalo Alves
Annonaceae	<i>Xylopia aromatica</i> Lam. (Mart.)	Pimenta de Macaco
Apocynaceae	<i>Hancornia speciosa</i> Gom.	Mangaba
Bignoniaceae	<i>Tabebuia caraiba</i> (Mart.) Bureau	Ipê Amarelo
Euphorbiaceae	<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	Canudo de Pito
Fabaceae	<i>Acacia polyphylla</i> DC.	Monjoleiro
	<i>Anadenanthera peregrina</i> var. <i>falcata</i> (Benth.) <i>Altschul</i>	Angico do Cerrado
	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Baru
	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart.	Jatobá do Cerrado
Myrtaceae	<i>Psidium guineense</i> Swartz	Araçá do Campo

Fonte: Elaboração própria.

Em janeiro de 2017 foi feito um diagnóstico na área, por meio do protocolo de monitoramento de projetos de restauração ecológica, estabelecido pela Portaria CBRN nº 1/2015 (SÃO PAULO, 2015). Após esta avaliação, seus resultados mostraram que a cobertura do solo com vegetação ainda era considerada insuficiente para áreas em restauração ecológica com 5 anos, devido esta observação (Figura 2 f), sugeriu-se uma nova intervenção na área, neste momento, optou-se na introdução de leguminosas nativas.

As espécies selecionadas foram o Calopogônio (*Calopogonium caeruleum* (Benth.) C.Wright) e o Estilosantes Campo Grande, este último se trata de um nome comercial dado a mistura física de sementes na proporção de 80 e 20%, respectivamente das espécies *Stylosanthes capitata* Vogel e *Stylosanthes macrocephala* M. B. Ferreira & Sousa Costa (MOURA *et al.*, 2011).

Figura 1 - Localização da área experimental no município de Selvíria/MS.



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2019).

Figura 2 – Área experimental em diferentes fases: (a) resíduos orgânicos (macrófitas) e (b) resíduo agroindustrial (cinza), (c) área antes do início do experimento, (d) após a aplicação dos resíduos (novembro/2011), (e) plantio das mudas (fevereiro/2012) e (f) área experimental com 5 anos em campo (2017).



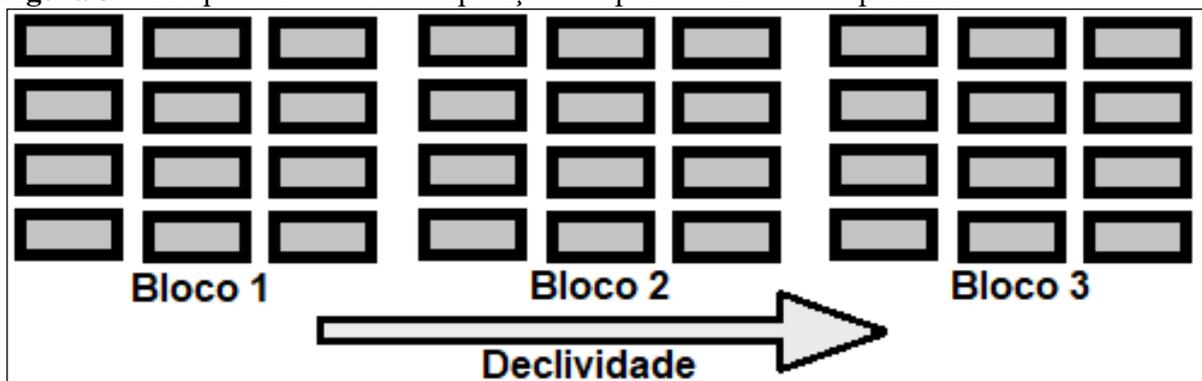
Fonte: Adaptado de Laboratório de Pedologia (2012).

As leguminosas além de recobrir a superfície, são perenes e fixadoras de nitrogênio, dois fatores importantes. Assim, cada uma das 36 parcelas foram subdividas em 4 subparcelas, as quais receberam, aleatoriamente, o calopogônio, o estilosantes, ou uma mistura de proporções iguais de calopogônio e estilosantes, e por fim, uma das subparcelas não recebeu o tratamento, representando o controle.

A quantidade de sementes utilizadas em cada uma das parcelas subdivididas foi de 0,05 kg, seguindo as recomendações comerciais para o plantio das espécies utilizadas. O plantio das leguminosas ocorreu manualmente e em linhas distantes entre si de 0,5 a 0,6 m, e profundidade de 0,02 a 0,04 m, realizadas com auxílio de uma enxada (Figura 4). As instruções comerciais determinam o plantio a lanço (mecanizado ou não) e revolvimento do solo com gradeamento leve para enterrar a semente; como a mecanização da área não seria possível devido a destruição da cobertura vegetal já existente, optou-se pelo plantio manual.

A área foi avaliada em 2017 antes da inserção das leguminosas e um ano após sua introdução; foram avaliados parâmetros ecológicos, como a cobertura do solo com vegetação nativa, a densidade e o número de espécies nativas; bem como carbono orgânico, nitrogênio e fósforo e em 2019 a cobertura do solo foi novamente avaliada.

Figura 3 – Croqui ilustrativo da disposição das parcelas na área experimental.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 - Área experimental. (a) no momento do plantio do Calopogônio e do Estilosantes (janeiro/2017) e (b) dois anos após o plantio (março/2019) pode-se observar as linhas com as leguminosas.



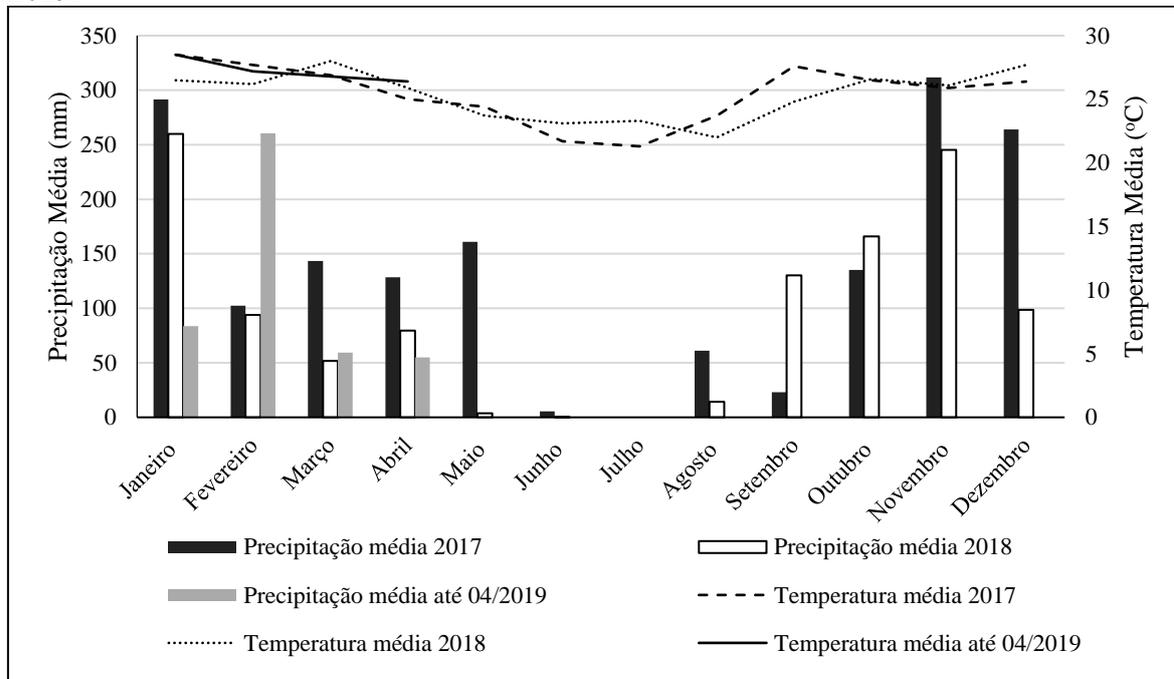
Fonte: Elaboração própria.

1.4.2 Condições de clima e solo da área experimental

De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região da área experimental é o AW (tropical com estação seca no inverno); com temperatura média anual de 23,7°C e a precipitação média anual de 1.300mm. Na Figura 5 são apresentadas as médias mensais de temperatura e precipitação para os anos de janeiro de 2017 a abril de 2018. A altitude média na região é de 335 m.

Os solos de ocorrência comum na região são Argissolos e Latossolos Vermelhos Distróficos, em acordo com a classificação atual (SANTOS *et al.*, 2018).

Figura 5 - Temperatura e Precipitação médias mensais dos anos de janeiro de 2017 a abril de 2019.



Fonte: Laboratório de Hidráulica e Irrigação – Unesp/FEIS (2019).

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, L. M. **Manual para recuperação de áreas degradadas do Estado de São Paulo: matas ciliares do interior paulista**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. 128 p.
- BENTHAM, H; HARRIS, J. A.; BIRCH, P; SHORT, K. C. Habitat classification and the soil restoration assessment using analysis of soil microbiological and physicochemical characteristic. **Journal Applied Ecology**, London, v. 29, p. 711-718, 1992.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de monitoramento do desmatamento dos biomas brasileiros por satélite: monitoramento do bioma Cerrado Ano: 2009-2010**. 2011. p. 1-65.
- CALHEIROS, A. S.; LIRA JÚNIOR, M. DE A.; SANTOS, M. V. F.; LYRA, M. DO C. C. P. Efetividade simbiótica e competitividade de rizóbios de calopogônio isolados de três coberturas vegetais, em Argissolo Vermelho-Amarelo da Zona da Mata Pernambucana. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 367-376, 2015.
- CLEWELL, A. F. Guidelines for reference model preparation. **Ecological Restoration**, Madison, v. 27, p. 244-246, 2009.
- DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Viçosa, MG. **Anais [...]** Viçosa, MG: [s. n.], 1998. p. 1-7.
- EITEN, G. **Vegetação natural do Distrito Federal**. Brasília, DF: Sebrae, 2001. 162 p.
- ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. *In*: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D. de; ENGEL, V. L. e GANDARA, F. B. (ed.). **Restauração ecológica de ecossistema naturais**. São Paulo: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2003. p. 3-22.
- FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J. A biologia do solo e a sustentabilidade dos solos tropicais. **Summa Phytopathológica**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 68-74, 1994.
- GANEM, R. S.; DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. A. Ocupação humana e impactos ambientais no bioma Cerrado: dos bandeirantes à política dos biocombustíveis. *In*: BRASIL, V. M.; GANDARA, G. S. **Cidades, Rios e Patrimônio: memórias e identidades beiradeiras**. Goiânia: PUC-Goiás, 2010, p. 171-188.
- GUGLIERI-CAPORAL, A.; CORPORAL, F. J. M.; POTT, A. Phytosociology of sown pasture weeds under two levels of degradation in Brazilian savanna areas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 312-321, 2010.
- HENRIQUES, R. P. B. O futuro ameaçado do Cerrado Brasileiro. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 195, p. 34-39, 2003.
- JANSEN, A. Territorial on vertebrate community structure as an indicator of success of a tropical rain forest restoration project. **Restoration Ecology**, Washington, v. 5, n. 2, p. 115-24, 1997.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. B.; OLIVEIRA, R. E. Biodiversidade e restauração da floresta tropical. *In*: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF. 2003. p. 27-48.

LAMB, D; GILMOUR, D. **Rehabilitation and restoration of degraded forests**. Gland: IUCN, 2003. 122 p.

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. **Biodiversidade brasileira: síntese do estado atual do conhecimento**. São Paulo: Contexto, 2002. 176 p.

MALTONI, K. L.; VALÉRIO FILHO, W. V. Contribuições da revegetação de áreas de empréstimo para as características químicas do subsolo. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4, 2000, **Anais [...]** Blumenau: [s. n.], 2000.

MANOLIADIS, O. G. Development of ecological indicators - a methodological framework using compromise programming. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 2, p. 169-176, 2002.

MEDEIROS, J. DE D. **Guia de campo: vegetação do Cerrado 500 espécies**. Brasília, DF: MMA/SBF, 2011. 534 p.

MENDONÇA, R. C.; FILFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. S.; REZENDE, A. V.; NOGUEIRA, T. S.; FAGG, C. W. Flora vascular do Bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. **Cerrado: ecologia e flora**, Brasília, DF, v. 2. 2008. p. 421-1279.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 540 p.

MOURA, R. L.; NASCIMENTO, M. P. S. C. B.; RODRIGUES, M. M.; OLIVEIRA, M. E.; LOPES, J. B. Razão folha/haste e composição bromatológica da rebrota de estilosantes Campo Grande em cinco idades de corte. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 249-254, 2011.

MUMMEY, D. L.; STAHL, P. D.; BUYER, J. S. Microbial biomarkers as an indicator of ecosystem recovery following surface mine reclamation. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 21, p. 251-25, 2002.

PINHEIRO, C. DE Q.; CORRÊA, R. S.; SILVEIRA, I. M.; JESUS, R. S.; JORGE, R. R. DE A. Análise fitossociológica do estrato arbóreo de uma cascalheira revegetada no Distrito Federal. **Cerne**, Larvras, v. 15, n. 2, p. 205-214, 2009.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RATTER, J. A; RIBEIRO, J. R.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, Exeter, v. 80, p. 223-230. 1997.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (org.) **Cerrado, Ecologia e Flora**, Brasília, DF: Embrapa, 2008. v.1, p. 152-212.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: Instituto BioAtlântica, 2009. 264 p.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. *In*: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H.F. (ed.). **Matas Ciliares Conservação e Recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2004. p. 235-247.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Restauração de florestas tropicais: subsídios para uma definição metodológica e indicadores de avaliação e monitoramento. *In*: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 1998. p. 203-215.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 356 p.

SANTOS, S.; MORAES, M. L. L.; REZENDE, M. O. O.; SOUZA FILHO, A. P. S. Potencial alelopático e identificação de compostos secundários em extratos de *Calopogonium* (*Calopogonium mucunoides*) utilizando eletroforese capilar. **Eclética Química**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 51-68, 2011.

SAMPAIO, A. B.; VIEIRA, D. L. M.; CORDEIRO, A. O. O.; AQUINO, F. G.; SOUSA, A. P.; ALBUQUERQUE, L. B.; SCHMIDT, I. B.; RIBEIRO, J. F.; PELLIZZARO, K. F.; SOUSA, F. S.; MOREIRA, A. G.; SANTOS, A. B. P.; REZENDE, G. M.; SILVA, R. R. P.; ALVES, M.; MOTTA, C. P.; OLIVEIRA, M. C.; CORTES, C. A.; OGATA, R. **Guia de restauração do Cerrado**: volume 1: semeadura direta. Brasília, DF: Universidade de Brasília, Rede de Sementes do Cerrado, 2015. 40 p.

SÃO PAULO. Portaria CBRN N° 01, de 17 de janeiro de 2015, estabelece o protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 01 jan. 2015.

SAUTTER, K. D. Meso (Acari e Collembola) e macrofauna (Oligochaeta) na recuperação de solos degradados. *In*: DIAS, L. E.; MELO, J. W. V. (ed.) **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 1998. p. 197-202.

SEIFFERT, N. F.; ZIMMER, A. H.; SCHUNKE, R. M.; MIRANDA, C. H. B. **Reciclagem de nitrogênio em pastagem consorciada de *Calopogonium mucunoides* com *Brachiaria decumbens***. Campo Grande: EMBRAPA-CNPQC, 1985. 40 p. (Boletim de pesquisa, 3)

SILVA, J. M. C.; SANTOS, M. P. D. A importância relativa dos processos biogeográficos na formação da avifauna do Cerrado e de outros biomas brasileiros. *In*: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Orgs.). **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 219-233.

SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Evolução da qualidade do substrato de uma área minerada no Cerrado revegetada com *Stylosanthes spp* **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 907-918, 2011.

SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no Cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p.731-740, 2008.

SILVA, M. P.; ZIMMER, A. H. Avaliação agronômica de consorciações de braquiárias e *Andropogon gayanus* com novos acessos de estilosantes sob pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais [...]** Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004. p. 212–220.

SILVA, S. D.; FRANCO, J. L. A.; DRUMMOND, J. A. Devastação florestal no oeste brasileiro: colonização, migração e a expansão da fronteira agrícola em Goiás. H1b, **Revista de História Iberoamericana**, Madri, v. 8, n. 2, 2015, p. 10-31.

SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 81, n. 2, p. 169-178, 2008.

ZOU, X.; GONZALES, G. Changes in earthworm density and community structure during secondary succession in abandoned tropical pastures. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 29, p. 627-629, 1997.

2 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM ÁREA DE CERRADO ANTROPIZADA

2.1 INTRODUÇÃO

Apesar dos estudos de técnicas de recuperação do Cerrado serem escassos, nos últimos anos o bioma vem ganhando destaque nas pesquisas de restauração, devido a necessidade de conservação e valorização da biodiversidade existente nas formações savânicas, porém na prática as ações de restauração estavam sendo feitas sem embasamento científico, o que resultou em vários insucessos, devido a utilização de técnicas voltadas a florestas tropicais (CAVA *et al.*, 2016). A nível nacional, é sobre a Mata Atlântica que se tem o maior volume de informações relacionadas a restauração e a ferramentas de monitoramento da restauração (LIMA *et al.*, 2015).

Trata-se, o monitoramento, de uma etapa essencial do processo de avaliação da restauração, quando tenta se identificar seu êxito ou insucesso, tanto no que se refere aos métodos usados, como para inferir se a área em restauração está seguindo a trajetória ecológica desejada (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2009). O monitoramento é realizado por meio da análise de indicadores ecológicos, os quais possibilitam avaliar os métodos de restauração ecológica empregados e assim garantir maior grau de segurança à recomendação técnica (LIMA *et al.*, 2015). Para o Cerrado, diversos autores utilizam como indicadores ecológicos a avaliação da regeneração natural, a chuva de sementes e o desenvolvimento de mudas (CORTES, 2012; FREITAS, 2012; BORDINI, 2007; LIMA, 2014; RESENDE; PINTO, 2013; ROCHA, 2013).

No entanto, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado de São Paulo recomenda a utilização da Resolução SMA nº 32/2014 (SÃO PAULO, 2014) e a Portaria CBRN ° n 1/2015 (SÃO PAULO, 2015) para o monitoramento das ações de restauração no Estado de São Paulo, estas definem respectivamente os parâmetros e a metodologia para avaliar as ações de restauração até o sucesso da recuperação, inclusive para o bioma Cerrado. Tais parâmetros consistem de: 1- porcentagem da cobertura vegetal do solo, proveniente da vegetação nativa (CSVN); 2- densidade de indivíduos regenerantes nativos por hectare (DINR) e 3- número de espécies nativas regenerantes (NENR).

Considera-se que a restauração ecológica obteve sucesso quando esses três parâmetros (CSVN, DINR e NENR) são satisfeitos, pois no caso de não atendimento, mesmo que parcial, a formação vegetal pode retornar à condição anterior ou causar desequilíbrio na dinâmica florestal (BRANCALION *et al.*, 2015). Os parâmetros utilizados no monitoramento são

variáveis, tanto qualitativamente, quanto quantitativamente e caracterizam efetivamente o estado de um determinado ecossistema, quando avaliados ao longo de sua trajetória rumo a condição não degradada (METZER; CASATTI; VERDADE, 2002).

Assim, a partir do monitoramento ao longo do tempo pode-se confirmar o reestabelecimento dos processos ecológicos nas áreas restauradas e auxiliar no planejamento ambiental e na definição das futuras estratégias de ação (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009). Com a ausência da prática de monitoramento sistemático, de áreas restauradas, perde-se a oportunidade única de aumentar o conhecimento sobre os inúmeros processos e fatores envolvidos na recolonização e restabelecimento de comunidades vegetais e animais (SIQUEIRA; MESQUITA, 2007).

Desta forma o objetivo deste capítulo foi avaliar um modelo de indução do processo de recuperação, estabelecido há 5 anos, por meio dos parâmetros ecológicos: cobertura do solo com vegetação nativa, densidade de indivíduos nativos regenerantes e número de espécies nativas regenerantes.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área experimental, caracterizada no Capítulo 1, está localizada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEIS/UNESP), localizada em Selvíria-MS, em área degradada na década de 60, a qual foi submetida a projeto de revegetação parcial com espécies arbóreas nativas e condicionamento do solo com resíduos em 2011. A combinação fatorial de 3 doses (0, 16 e 32 Mg ha⁻¹) de resíduos orgânicos (macrófitas) – RO e 4 doses (0, 15, 30 e 45 Mg ha⁻¹) de resíduos agroindustriais (cinza do bagaço da cana-de-açúcar) – RA resultaram em 12 tratamentos (Tabela 3), dispostos em 3 blocos casualizados, resultantes de três repetições de cada tratamento, totalizando 36 parcelas de 20m x 30m.

Durante os 5 anos que se seguiram a vegetação nativa que surgiu na área foi mantida. Em 2017 teve início a avaliação do experimento, utilizando-se a metodologia proposta na Portaria CBRN 1/2015, que estabelece o Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica. Os resultados obtidos nas avaliações ecológicas são, nesta metodologia, classificados qualitativamente em crítico, mínimo e adequado, de acordo com o tempo transcorrido entre a implantação do processo e a avaliação realizada; os referenciais numéricos para o enquadramento na classificação, encontram-se na Resolução SMA nº 32/2014 (Tabela 4).

Tabela 3 - Descrição dos tratamentos com doses de resíduos orgânico (RO) e agroindustrial (RA) estabelecidos na área degradada em monitoramento.

Identificação	Doses
RO00 RA00	RO 00 Mg ha ⁻¹ e RA 00 Mg ha ⁻¹
RO00 RA15	RO 00 Mg ha ⁻¹ e RA 15 Mg ha ⁻¹
RO00 RA30	RO 00 Mg ha ⁻¹ e RA 30 Mg ha ⁻¹
RO00 RA45	RO 00 Mg ha ⁻¹ e RA 45 Mg ha ⁻¹
RO16 RA00	RO 16 Mg ha ⁻¹ e RA 00 Mg ha ⁻¹
RO16 RA15	RO 16 Mg ha ⁻¹ e RA 15 Mg ha ⁻¹
RO16 RA30	RO 16 Mg ha ⁻¹ e RA 30 Mg ha ⁻¹
RO16 RA45	RO 16 Mg ha ⁻¹ e RA 45 Mg ha ⁻¹
RO32 RA00	RO 32 Mg ha ⁻¹ e RA 00 Mg ha ⁻¹
RO32 RA15	RO 32 Mg ha ⁻¹ e RA 15 Mg ha ⁻¹
RO32 RA30	RO 32 Mg ha ⁻¹ e RA 30 Mg ha ⁻¹
RO32 RA45	RO 32 Mg ha ⁻¹ e RA 45 Mg ha ⁻¹

Fonte: Elaboração própria.

O Estado do Mato Grosso do Sul, onde encontra-se a área experimental avaliada, não dispõe de legislação própria para avaliação de projetos de restauração, desta forma propôs-se a utilização da portaria citada, pois traz os índices ecológicos para o bioma Cerrado.

Esta metodologia avalia a cobertura do solo pela vegetação nativa, a densidade de indivíduos nativos regenerantes e o número de espécies nativas, utilizando os parâmetros para avaliação de projetos em área de Cerrado (Tabela 4).

2.2.1 Avaliação da cobertura do solo com vegetação nativa – CSVN

Este indicador ecológico (CSVN) é medido pela porcentagem de solo coberto por espécies nativas. Primeiro demarcaram-se as parcelas amostrais dentro dos tratamentos, cada parcela amostral é formada por um transecto linear com 25 m de comprimento, o qual foi utilizado para calculara CSVN, com o auxílio de uma trena analógica (Figura 6 a).

Em cada uma das 36 parcelas experimentais foram demarcados aleatoriamente 3 transectos em diagonal (25 m cada um). Os trechos do transecto onde se faziam presentes gramíneas exóticas, foram consideradas áreas não cobertas e as porções cobertas por gramíneas nativas foram computadas no indicador (Figura 6 b).

Nesta metodologia os valores da CSVN, para uma área de 5 anos, são classificados como críticos quando inferiores a 30%; mínimos quando entre 30 e 80% e adequados quando acima de 80% (Tabela 4).

2.2.2 Avaliação da densidade de indivíduos nativos regenerantes – DINR

A DINR determina a quantidade de indivíduos nativos regenerantes de espécies lenhosas (arbustivas ou arbóreas) por hectare, para determinação deste parâmetro, utilizam-se parcelas de 100 m², (25m de comprimento e 4m de largura), conforme Figura 7 a. Para esta avaliação foram aleatoriamente delimitadas duas parcelas amostrais de 100 m² em cada uma das parcelas experimentais, totalizando 72 parcelas amostrais analisadas. Nesta análise foram considerados todos os indivíduos com altura $\geq 0,50$ m.

A parcela amostral para coleta dos dados da DINR foi determinada com o auxílio de uma trena de 25m, posicionada em diagonal às linhas de plantio das mudas, cada lado da trena foi percorrido utilizando-se uma vara de 2m (Figura 6 c) e todos os indivíduos regenerantes que atendem as exigências da metodologia foram computados (Figura 7 b).

A DINR foi calculada dividindo-se o número de indivíduos presentes na parcela amostral (100 m²), pela área da parcela em hectares de acordo com a equação 1 abaixo:

$$DINR (ind\ ha^{-1}) = \frac{n^{\circ}\text{ indivíduos encontrados na parcela amostral}}{0,01} \quad (1)$$

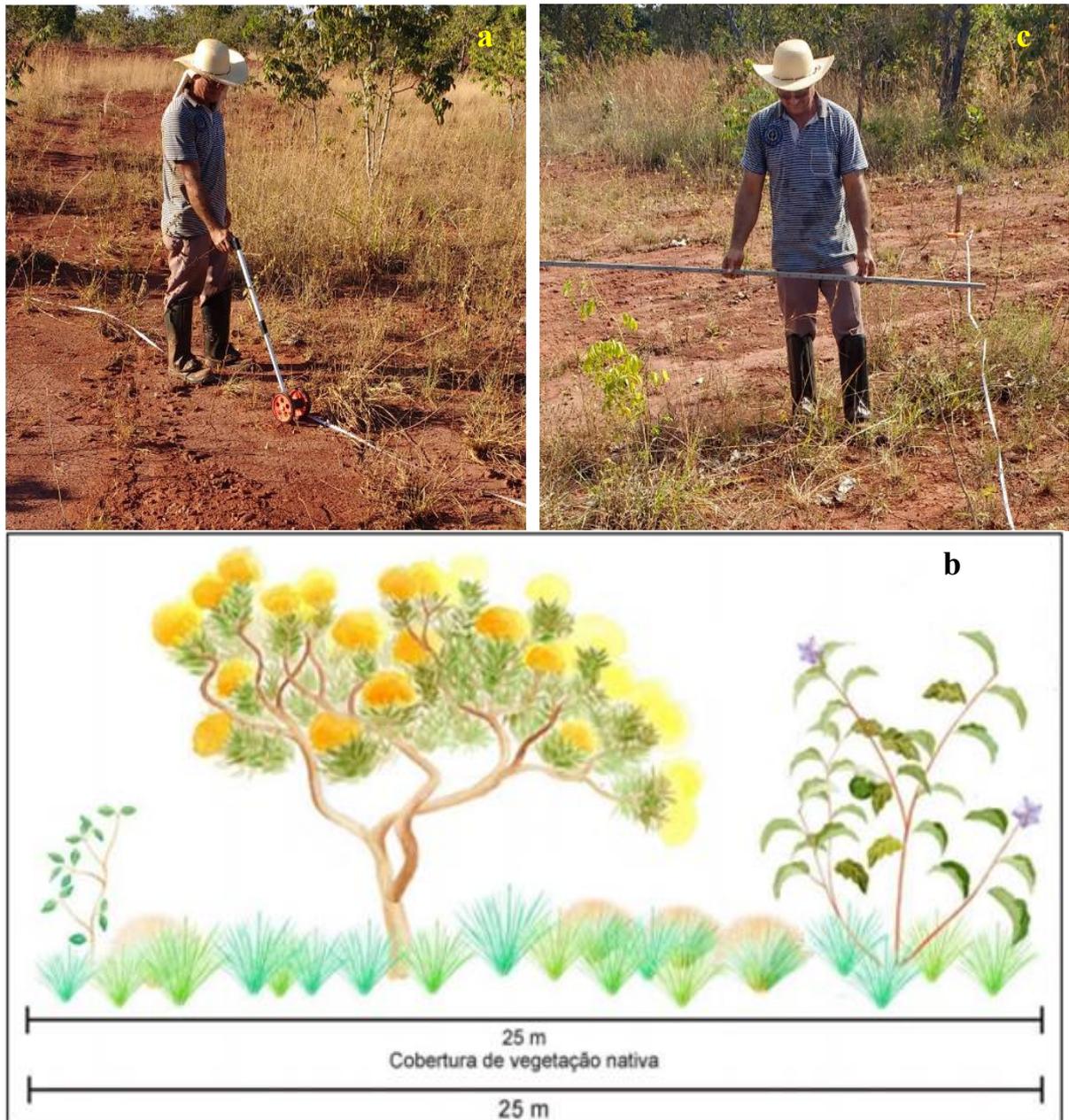
Os valores de referência para DINR, para áreas de 5 anos (após implantação do projeto de recuperação em Cerrado e Cerradão) são considerados: críticos < 200 ind.ha⁻¹; mínimo entre 200 e 500 ind. ha⁻¹ e adequado acima de 500 ind. ha⁻¹ (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores intermediários de referência e utilizados para atestar a recomposição para monitoramento de projetos de restauração ecológica para as fitofisionomias Cerradão e Cerrado *stricto sensu*.

		Cerradão ou Cerrado <i>stricto sensu</i>								
Indicador		Cobertura do solo com vegetação nativa (%)			Densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha)			Número de espécies nativas regenerantes (n° spp.)		
Nível de Adequação		crítico	mínimo	adequado	crítico	mínimo	adequado	crítico	mínimo	adequado
Valores intermediários de referencia	3 anos	0 a 15	15 a 80	> 80	-	0 a 200	> 2000	-	0 a 3	> 3
	5 anos	0 a 30	30 a 80	> 80	0 a 200	200 a 500	> 500	0 a 3	3 a 10	> 10
	10 anos	0 a 50	50 a 80	> 80	0 a 500	500 a 1000	> 1000	0 a 10	10 a 15	> 15
	15 anos	0 a 70	70 a 80	> 80	0 a 1000	1000 a 1500	> 1500	0 a 15	15 a 20	> 20
Valores utilizados para atestar recomposição	20 anos	0 a 80	-	> 80	0 a 2000	-	> 2000	0 a 25	-	> 25

Fonte: Adaptado de São Paulo (2014).

Figura 6 - A imagem mostra a coleta dos dados da CSVN, **(a)** os trechos do transecto (25m) cobertos por vegetação nativa, são percorridos pela trena analógica e computados. **(b)** Esquema explicativo da avaliação do parâmetro CSVN para Cerrado *strictu sensu*. A área de solo coberta com quaisquer formas de vida vegetal, desde que nativas, deve ser contabilizada. No exemplo, a CSVN no transecto é de 25m, ou seja, 100%. **(c)** Coleta dos dados dos indicadores DINR e NENR, a trena com 25m de comprimento permaneceu no chão e cada lado foi percorrido com uma vara de 2m.



Fonte: *a* e *c*, elaboração própria; *b* Portaria CBRN 1 (2015).

2.2.3 Avaliação do número de espécies nativas regenerantes-NENR

O indicador NENR quantifica o total de espécies lenhosas (arbustivas ou arbóreas) regenerantes nativas encontradas nas parcelas. A parcela para avaliação do NENR é a mesma utilizada para avaliação do DINR, porém cada espécie é contada apenas uma vez dentro da parcela e o valor final obtido é o somatório das espécies registradas, por tratamento (Figura 7 c). Neste cálculo são considerados apenas os indivíduos regenerantes com altura $\geq 0,50$ m.

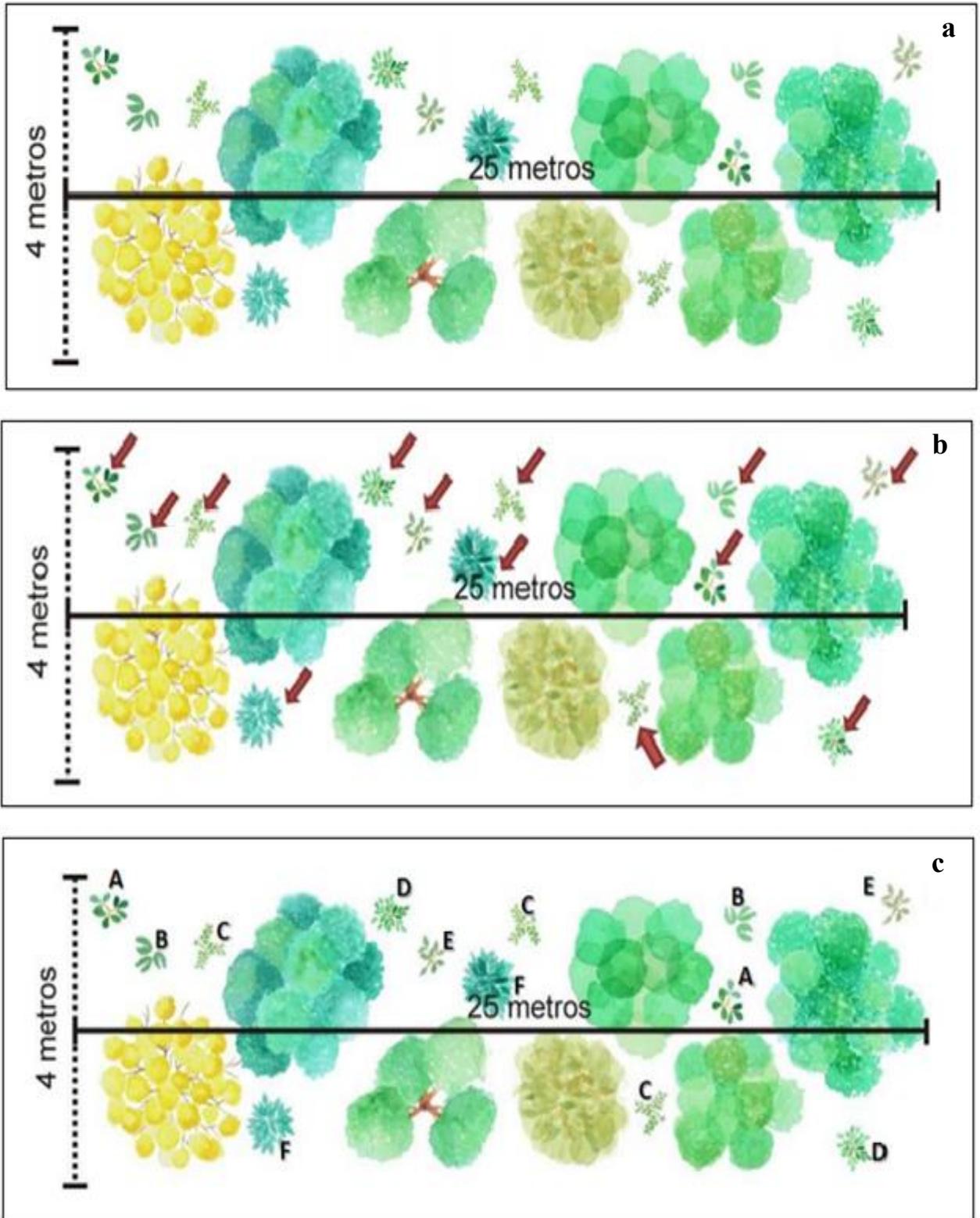
As espécies regenerantes encontradas nas parcelas dentro dos tratamentos foram identificadas em campo, porém, quando isto não foi possível, o material botânico foi coletado ou fotografado, para posterior identificação com auxílio de especialistas e literatura especializada. As espécies foram ordenadas em famílias de acordo com o APG IV (2016). As síndromes de dispersão das espécies arbóreas identificadas foram determinadas segundo a classificação de Van Der Pijl (1982), onde as espécies podem ser organizadas em três grandes grupos, de acordo com as características das unidades de dispersão das sementes: 1) anemocoria - dispersão pelo vento; 2) autocoria - auto-dispersão ou dispersão sem a ação de um agente dispersor; e 3) zoocoria - dispersão por animais.

2.2.4 Análises estatísticas

As análises dos dados foram realizadas de acordo com o delineamento em blocos casualizados, no esquema fatorial completo 4 x 3. O primeiro fator RO com 3 níveis (0, 16 e 32) e o segundo fator RA com 4 níveis (0, 15, 30 e 45).

Por meio do software SISVAR (Ferreira, 2014), a hipótese da normalidade foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk. A análise de variância foi realizada (ANOVA) sendo aplicado o teste F a 5% de probabilidade para detectar as diferenças de todos os fatores. Uma vez encontrada diferença significativa nos fatores com três níveis foi utilizado o teste de Scott-Knott a 10% para comparar as médias, para o fator com 4 níveis foi realizada a análise de variância na regressão. Nesta, o critério para escolha de um modelo confiável foi verificado a partir do *p-valor* do desvio da regressão (não significativo) e os modelos de regressão polinomial selecionados foram os baseados nos coeficientes de correlação (R^2) superiores, dentre as regressões significativas pelo teste F.

Figura 7 - Vista da parcela amostral **(a)** Representação esquemática da área utilizada para coleta de dados da DINR e do NENR. **(b)** Indicação dos indivíduos regenerantes (setas vermelhas). **(c)** Indicação de 6 (seis) espécies nativas regenerantes.



Fonte: Portaria CBRN 1 (2015).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O parâmetro ecológico CSVN apresenta resposta significativa para todas as fontes de variação (Tabela 5). Mesmo aplicados a cinco anos atrás, o incremento nas doses de RO e RA influenciaram positivamente o indicador, bem como a interação entre os resíduos se mostrou importante na melhoria da cobertura (Tabela 6 e Figura 8), pois os maiores resultados são observados nas combinações das maiores doses.

Apesar dos efeitos positivos dos resíduos no indicador na CSVN, observa-se que os valores estão longe da classificação adequada, ou seja, acima de 80%, apontada pela Portaria CBRN 1/2015. A maior parte dos valores obtidos são classificados como mínimos (Tabela 5, 6 e Figura 8).

Tabela 5 - Quadrados médios das fontes de variação (FV) avaliadas, médias gerais, coeficiente de variação (CV%) e testes de comparações múltiplas para cobertura do solo por vegetação nativa (CSVN), densidade de indivíduos nativos regenerantes (DINR) e número de espécies nativas regenerantes (NENR).

FV	CSVN (%)	DINR (ind. ha ⁻¹)	NENR (n° sp.)	
QM				
Bloco	1.240,089***	387.916,667*	0,542 ^{ns}	
RO	1.594,952***	655.416,667**	7,292**	
RA	1.419,878***	601.620,370***	8,037***	
RO x RA	522,976***	273.564,815*	3,8287*	
Média geral	34,33	337,50	1,50	
CV (%)	36	109	87	
RO		Médias		
0	27 b	154 b	0,9 b	
16	36 a	383 a	1,7 a	
32	40 a	475 a	1,9 a	
RA		Médias		
0	24	383	2,2	
15	35	556	1,9	
30	37	284	1,3	
45	41	117	0,7	
Equações de Regressão para RA			R²	Desvio
CSVN	$\hat{y}^{***} = 26,488 + 0,3488x$		0,8679	0,211
DINR	$\hat{y}^{***} = 496,667 - 7,0740x$		0,5615	0,189
NENR	$\hat{y}^{***} = 2,267 - 0,0341x$		0,9751	0,810

Nota: ***, ** e * = valores significativos para $P \leq 0,01$, $\leq 0,05$ e $\leq 0,10$, respectivamente, pelo Teste F; ^{ns}= valores não significativos. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Skott Knott a 10%. RO = resíduo orgânico; RA = resíduo agroindustrial; seguidos das doses aplicadas 00, 15, 30 e 45 para RA e 00, 16 e 32 para RO em Mg ha⁻¹.

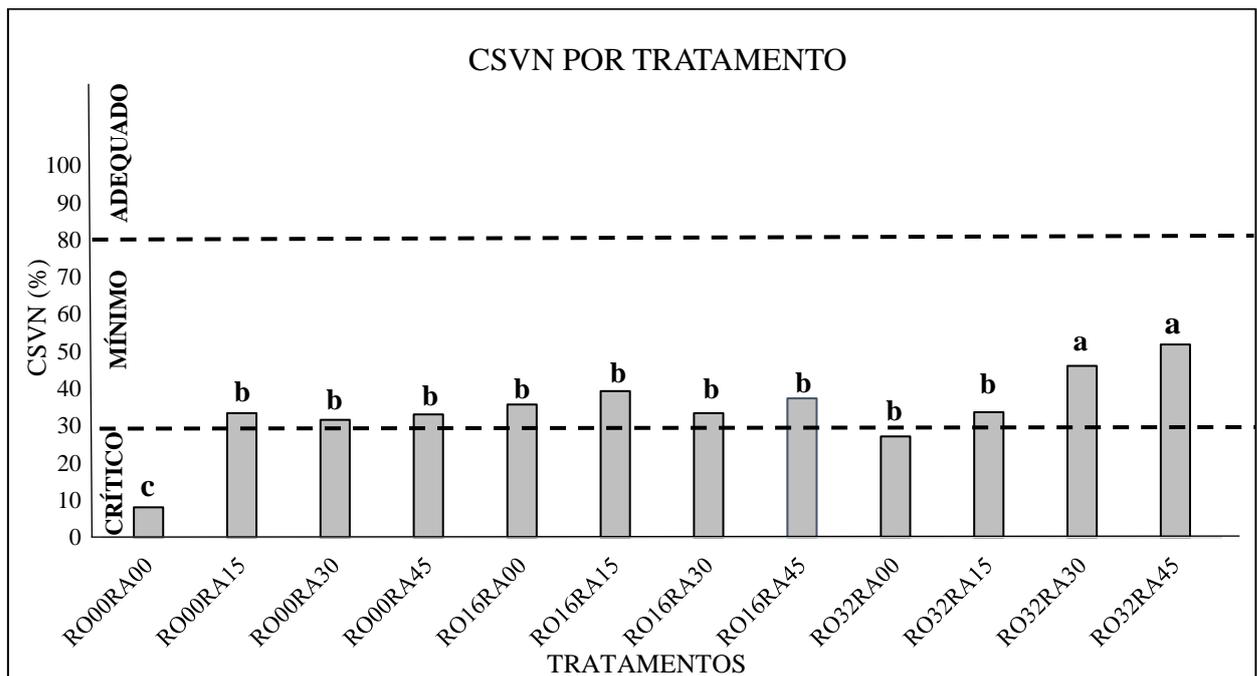
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6 - Médias do desdobramento da interação entre Resíduo Orgânico (RO) e Resíduo Agroindustrial (RA), para o indicador cobertura do solo com vegetação nativa em % (CSVN).

CSVN (%)				
Doses de RA (Mg ha ⁻¹)	Doses de RO (Mg ha ⁻¹)			P valor
	0	16	32	
00	9 b	36 a	27 a	0,0001
15	33 a	39 a	34 a	0,5202
30	32 b	33 b	45 a	0,0544
45	33 b	37 b	53 a	0,0026
P Valor	0,0001	0,7768	0,0001	
Doses de RO	Equações de Regressão		R ²	Desvio (p-valor)
00	$\hat{y}^{***} = 16,4509 + 0,4634x$		0,5907	0,126
16	$\hat{y}^{ns} = 36,5970 - 0,0059x$		0,0021	0,298
32	$\hat{y}^{**} = 26,4184 + 0,5890x$		0,9911	0,681

Nota: ***, ** e * = valores significativos para $P \leq 0,01$, $\leq 0,05$ e $\leq 0,10$, respectivamente, pelo Teste F; ^{ns}= valores não significativos. Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 10%.
Fonte: Elaboração própria.

Figura 8 - Valores médios da cobertura do solo com vegetação nativa (CSVN) em porcentagem para os 12 tratamentos.



Nota: As linhas pontilhadas classificam o indicador CSVN como: crítico, quando abaixo de 30%; mínimo entre 30 e 80% e adequado, acima de 80%. Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott para $p < 0,1$. $F_{cal} = 5,410^*$; média geral = 34,33; . RO = Resíduo Orgânico; RA = Resíduos Agroindustrial, seguidos das doses aplicadas 00, 15, 30 e 45 para RA e 00, 16 e 32 para RO em Mg ha⁻¹.

Fonte: Elaboração própria.

Apenas os tratamentos RO00RA00 e RO32RA00 foram considerados críticos, no primeiro não foram adicionados nenhum tipo de resíduo, a CSVN foi de 9%, a menor entre os tratamentos, mostrando a importância da adição destes resíduos para melhorar a cobertura

vegetal da área. O tratamento RO32RA00, embora tenha recebido resíduos orgânicos, apresentou CSVN de 27 %, valor considerado crítico, o que pode ser justificado pelas variações edáficas presentes na área experimental, como a pedregosidade observada neste tratamento, a qual torna a área suscetível a erosão e ocasiona rápida perda de água pela evaporação (BEZERRA JUNIOR; SILVA, 2008), além da possibilidade de perda do material orgânico adicionado devido as ações erosivas, dificultando o estabelecimento da vegetação, o que pode justificar a baixa porcentagem de cobertura.

Rodrigues, Maltoni e Cassiolato (2007), observaram que a reduzida taxa de infiltração da área experimental (10 cm h^{-1}) comparada com o Cerrado preservado (60 cm h^{-1}), tende a intensificar os processos erosivos (HONDA; DURIGAN, 2017), acarretando o araste de sementes e de material orgânico que poderiam ser depositados à superfície para formação de serrapilheira, para fora da área, dificultando o restabelecimento da vegetação.

Os tratamentos com maior CSVN foram RO32RA30 e RO32RA45 com 45 % e 53 %, respectivamente (Tabela 6 e Figura 8), ambos receberam as maiores quantidades de resíduos, mostrando a importância destes no condicionamento do solo, principalmente os tratamentos onde ocorreu incorporação de material orgânico.

Estes resultados condizem com as afirmações de Paul (2016), que relata a importância da matéria orgânica no solo, a qual melhora o reservatório de nutrientes importantes aos microrganismos e plantas, conserva a umidade e reduz as variações na temperatura do solo. Assim, a adição dos resíduos contribuiu para dar início ao restabelecimento da vegetação no subsolo em estudo.

Os resultados obtidos para CSVN no monitoramento da área aos 05 anos, na maioria dos tratamentos, estão em acordo com a Resolução SMA nº 32, de 03 de abril de 2014 e cumprem as exigências mínimas, exceto para nos tratamentos RO00RA00 e RO32RA00, considerados críticos (Tabela 6 e Figura 8). De um modo geral, os resultados indicam a necessidade de novas ações para melhorar a CSVN, pois nenhum dos tratamentos atingiu o nível adequado; pode-se considerar válido para a área em estudo, iniciativas de adensamento da vegetação e controle eficaz dos processos erosivos.

A DINR apresentou resposta significativa para todas as fontes de variação (Tabela 5). Os incrementos nas doses de RO e RA também influenciaram positivamente o indicador (Tabela 7 e Figura 9). As doses crescentes de RA dentro de cada dose de RO apresentam resultados semelhantes entre si ou decrescentes para DINR, o que indica ausência de efeitos de RA sobre DINR.

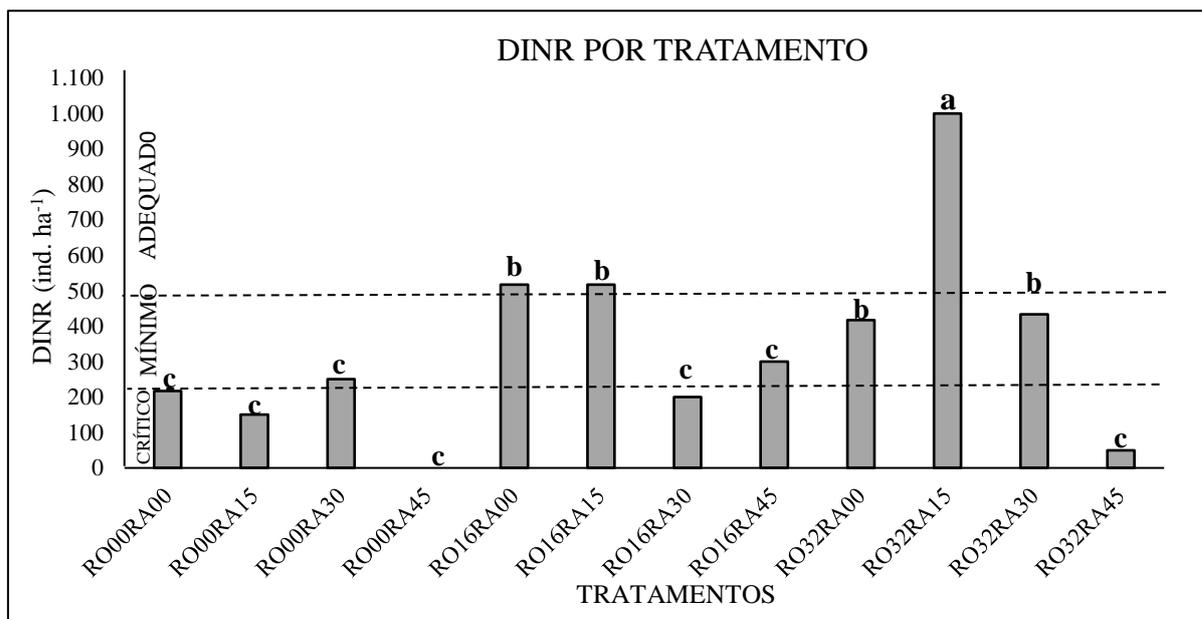
Tabela 7 - Médias do desdobramento da interação entre Resíduo Orgânico (RO) e Resíduo Agroindustrial (RA), para o indicador densidade de indivíduos nativos regenerantes (DINR).

Doses de RA	Doses de RO			P valor
	0	16	32	
00	217 a	517 a	417 a	0,3600
15	150 b	517 b	1.000 a	0,0008
30	250 a	200 a	433 a	0,5146
45	0 a	50 a	300 a	0,3224
P Valor	0,6547	0,3477	0,0005	
Doses de RO	Equações de Regressão		R ²	Desvio (p-valor)
00	$\hat{y}^{ns} = 236,6667 - 3,6667x$		0,4102	0,446
16	$\hat{y}^{ns} = 528,3333 - 6,4444x$		0,6139	0,281
32	$\hat{y}^* = 725,000 - 11,1111x$		0,3010	0,053

Nota: ** e * = valores significativos para $P \leq 0,01$ e $\leq 0,05$, respectivamente, pelo Teste F; ^{ns}= valores não significativos. Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 10%.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 9 - Valores médios para densidade de indivíduos regenerantes (DINR) por tratamento.



Nota: As linhas pontilhadas indicam os limites de classificação do indicador para: crítico, quando DINR abaixo de 200 ind. ha⁻¹; mínimo entre 200 ind. ha⁻¹ e 500 ind. ha⁻¹ e adequado, acima de 500 ind. ha⁻¹. Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, para $p < 0,1$. $F_{cal} = 2,992^*$, média geral=337,5. RO = Resíduo Orgânico; RA = Resíduos Agroindustrial, seguidos das doses aplicadas 00, 15, 30 e 45 para RA e 00, 16 e 32 para RO em Mg ha⁻¹.

Fonte: Elaboração própria.

A DINR foi mínima para a maioria dos tratamentos; os menores valores encontram-se nos tratamentos RO00RA15, RO00RA45 e RO32RA45 com valores críticos para este parâmetro ecológico. No tratamento RO00RA45, não se observou nenhum regenerante, o tratamento RO32RA45 apresentou o segundo menor valor, esperava-se para este tratamento um

comportamento mais próximo dos tratamentos RO32RA15 e RO32RA30, os quais receberam a mesma dose de RO 32 Mg ha⁻¹.

O tratamento RO32RA45, com a segunda menor DINR, apresentou 53 % de CSVN, o melhor resultado no experimento, porém a cobertura tem dominância de espécies herbáceas forrageiras, como gramíneas e leguminosas nativas, o que pode ter dificultado o estabelecimento de espécies arbóreas (GUILHERME, 2000).

A DINR apresentou grande variação entre tratamentos, com tendência de aumento acompanhando o incremento na quantidade dos resíduos. Os tratamentos sem incorporação de RO (RO00) estão entre os de menores valores de DINR, mostrando a importância deste resíduo na quantidade de indivíduos arbóreos regenerantes.

O teste de médias Scott-Knott agrupou os tratamentos RO16RA00 e RO16RA15 como os de segundo maior DINR, ambos com 517 ind. ha⁻¹ e destacou o tratamento RO32RA15 como o de maior DINR, com 1000 ind. ha⁻¹ (Figura 10). Os tratamentos citados receberam 16 ou 32 Mg ha⁻¹ de RO e doses variadas de resíduo agroindustrial, destacando a importância da matéria orgânica oriunda do RO, em detrimento do RA, para aumentar a DINR.

O parâmetro ecológico NENR apresenta resposta significativa para RO, RA e a interação RO x RA, mas não para os blocos (Tabela 5). Os melhores valores são os resultantes das doses de RO com as doses 15 e 30 Mg ha⁻¹ de RA (Tabela 8 e Figura 10), as maiores doses dos resíduos combinados não apresentaram efeito adicional ao indicador, possivelmente devido as variações edáficas na área experimental.

Tabela 8 - Médias do desdobramento da interação entre Resíduo Orgânico (RO) com Resíduo Agroindustrial (RA), para o indicador número de espécies nativas regenerantes (NENR):

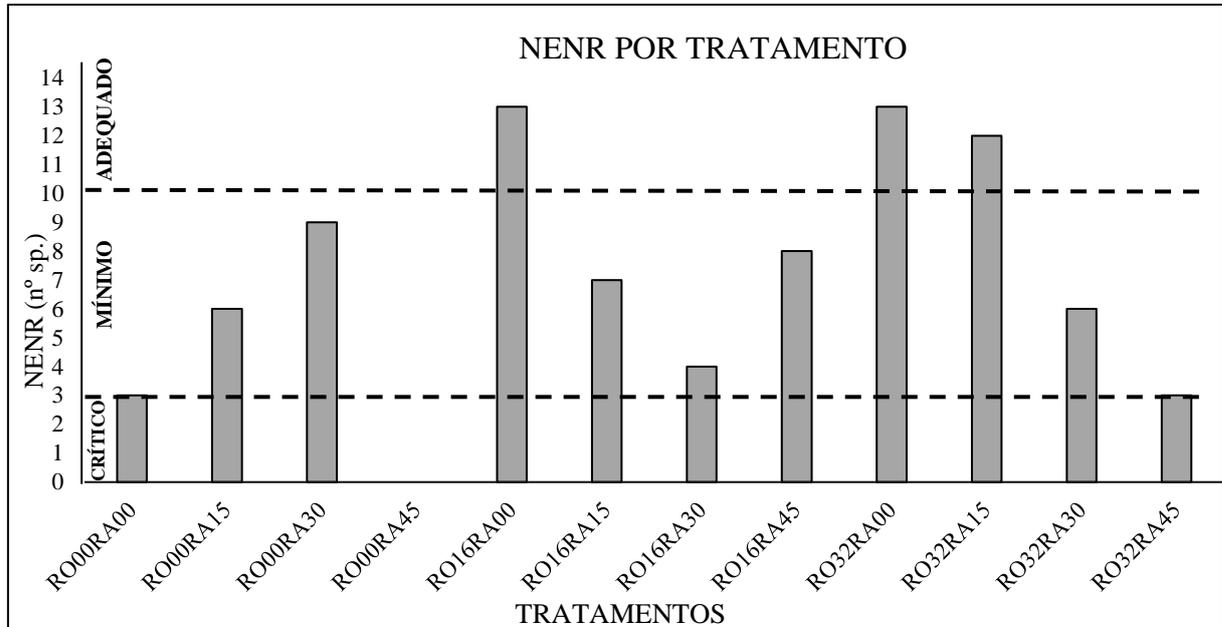
Doses de RA	Doses de RO			P valor
	0	16	32	
00	0,7 b	2,8 a	3,0 a	0,0043
15	1,7 a	1,8 a	2,7 a	0,1445
30	1,7 a	0,7 a	1,5 a	0,3679
45	0,0 a	0,5 a	1,5 a	0,1359
P Valor	0,1603	0,0464	0,0059	
Doses de RO	Equações de Regressão		R ²	Desvio (p-valor)
00	$\hat{y}^{ns} = 1,1000 - 0,0100x$		0,0740	0,368
16	$\hat{y}^* = 2,4833 - 0,0344x$		0,5539	0,369
32	$\hat{y}^* = 3,2167 - 0,0578x$		0,9589	0,677

Nota: ** e * = valores significativos para $P \leq 0,01$ e $\leq 0,05$, respectivamente, pelo Teste F; ^{ns}= valores não significativos. Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 10%.
Fonte: Elaboração própria.

Os valores apresentados na Tabela 8 são as médias observadas, necessárias para mostrar os efeitos dos resíduos nos testes estatísticos, no entanto, este indicador deve ser tratado de

forma qualitativa, pois se trata do somatório do número de espécies observadas em todas as amostras realizadas, assim para fins de discussão quanto a metodologia utilizada, devem ser considerados os valores apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Número de espécies nativas regenerantes (NENR) por tratamento.



Nota: As linhas pontilhadas indicam os limites de classificação do indicador para: crítico, quando NENR abaixo 3; mínimo entre 3 e 10, e adequado, acima de 10 espécies. $F_{cal} = 3,352^*$; média geral=3. RO = Resíduo Orgânico; RA = Resíduos Agroindustrial, seguidos das doses aplicadas 00, 15, 30 e 45 para RA e 00, 16 e 32 para RO em $Mg\ ha^{-1}$.

Fonte: Elaboração própria.

O NENR obtido no monitoramento foi mínimo para a maioria dos tratamentos, exceto para os tratamentos RO00RA00, RO00RA45 e RO32RA45, onde NENR foi crítico, isto é, tratamentos com 3 ou menos espécies. No entanto, para este parâmetro os tratamentos RO16RA00, RO32RA00 e RO32RA15, apresentam valores adequados para o índice, os dois primeiros com 13 espécies cada e o último com 12. Estes tratamentos receberam 16 ou 32 $Mg\ ha^{-1}$ de resíduo orgânico, e valores variados de resíduo agroindustrial, confirmando os efeitos positivos da matéria orgânica adicionada, neste ambiente edáfico.

A identificação dos indivíduos arbóreos revelou 26 espécies distribuídas em 16 famílias (Tabela 9). Fabaceae e Annonaceae, foram as famílias mais representadas, com 7 e 3 espécies, respectivamente (Tabela 9). Calgaro *et al.* (2015) observaram em levantamentos realizados em áreas de Cerrado próximas da área experimental 30 famílias botânicas. Neste trabalho foram descritas 16 famílias todas presentes no levantamento citado, bem como muitas das espécies identificadas; Fabaceae e Annonaceae também foram as mais representativas. A maior

representatividade da família Fabaceae se justifica pela grande plasticidade ecológica do grupo, o que permite que habitem ambientes em situações adversas (ARAÚJO *et al.*, 2006), o que explica a ocorrência das mesmas em condições de estresse ambiental.

Tabela 9 - Espécies arbóreas nativas regenerantes espontâneas, organizadas por família, nome popular e síndrome de dispersão, encontradas na área experimental em janeiro de 2017.

Nome científico /Família	Nome popular	Dispersão
Anacardaceae		
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Gonçaleiro	Anemocoria
Annonaceae		
<i>Annona coriacea</i> Mart.	Araticum	Zoocoria
<i>Annona dioica</i> A. St.-Hil.	Araxicum	Zoocoria
<i>Annona phaeoclados</i> Mart.	Ata-vermelha	Zoocoria
Apocynaceae		
<i>Himatanthus obovatus</i> (Müll.Arg.) Woodson	Pau-de-leite	Anemocoria
Celastraceae		
<i>Peritassa campestris</i> (Cambess.) A.C. Sm.	Bacupari-do-cerrado	Zoocoria
Connaraceae		
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	Araruta-do-campo	Zoocoria
Dilleniaceae		
<i>Curatella americana</i> L.	Lixeira	Zoocoria
<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	Lixeirinha	Zoocoria
Ebanaceae		
<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	Caqui-do-mato	Zoocoria
Euphorbiaceae		
<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	Canudo-de-pito	Zoocoria
Fabaceae		
<i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakovlev	Cascudinho	Anemocoria
<i>Acosmium subelegans</i> (Mohlenbr.) Yakovlev	Sucupira-branca	Anemocoria
<i>Bauhinia curvula</i> Benth.	Pata-de-vaca-branca	Autocoria
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Sucupira-preta	Anemocoria
<i>Diptychandra aurantiaca</i> (Mart.) Tul.	Balsaminho	Anemocoria
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub	Canafistula	Anemocoria
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Amargosa	Anemocoria
Lamiaceae		
<i>Aegiphila verticillata</i> Vell.	Milho-de-grilo	Zoocoria
Malpighiaceae		
<i>Byrsonima intermedia</i> A. Juss.	Murici-mirim	Zoocoria
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) Rich. Ex Juss.	Murici-grande	Zoocoria
Moraceae		
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Mama-cadela	Zoocoria
Rubiaceae		
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich.	Marmelo-de-bola	Zoocoria
Salicaceae		
<i>Casearia sylvestris</i> Sw	Guaçatonga	Zoocoria
Solanaceae		

<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	Lobeira	Zoocoria
Vochysiaceae		
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Pau-terra-miúdo	Anemocoria

Fonte: Elaboração própria.

Numa análise comparativa entre Cerradão e Cerrado o maior número de espécies da família Fabaceae foi justificado pelo fato da região central do Brasil ser o principal centro de diversificação da mesma (COSTA, 2001; POLHILL; RAVEN, 1981). A ocorrência comum das famílias Annonaceae, Dilleniaceae e Malpighiaceae também pode ser explicada por possuir diversos representantes nos biomas Cerrado, como apontado pelos levantamentos realizados por Balduino (2005), Castro *et al.* (1999), Jesus (2016), entre outros.

Na área experimental foram amostrados 243 indivíduos arbóreos regenerantes. Dentre as espécies de maior ocorrência destacam-se a *Curatella americana* com 99 indivíduos amostrados e a *Bowdichia virgilioides* com 32, as quais representam 40,74 % e 13,17 %, respectivamente, do total de regenerantes amostrados e juntas representam 53,91 % do total de regenerantes, o que pode ser justificado pela presença de indivíduos arbóreos adultos nas proximidades da área avaliada.

A *Curatella americana* também foi a espécie de maior ocorrência no levantamento realizado por Felfili *et al.* (2002) em Água Boa (MT), neste caso em um ambiente natural com baixo impacto antrópico, o que indica que a alta ocorrência observada na área experimental, não necessariamente retrata um desequilíbrio e sim uma tendência natural. No levantamento realizado por Calgaro *et al.* (2015) nas proximidades da área experimental, a espécie de maior ocorrência foi a *Curatella americana* e os autores destacaram sua importância como espécie nucleadora, pois é uma das primeiras a surgir e facilitar a regeneração de outras espécies sob suas copas, fato também observado na área do experimento (Figura 11). Furley *et al.* (1988) consideram a *Curatella americana* uma espécie generalista e Felfili *et al.* (1993) observam que a espécie é mais abundante em cerrados localizados em menores altitudes, situação similar a área em discussão.

Citada em diversos trabalhos, a *Bowdichia virgilioides* é umas das espécies de maior ocorrência em áreas de cerrado e de ampla distribuição no bioma (EITEN 1972; FINGER *et al.*, 2015; COSTA; ARAUJO; LIMA-VERDE, 2004).

Para o cálculo do NENR não foram computadas as espécies introduzidas no plantio inicial (fev/2012), porém a espécie *Mabea fistulifera* foi a única a apresentar regenerantes a partir das mudas introduzidas (Figura 12 a), visualmente percebe-se que a espécie se adaptou muito bem ao local, chegando a frutificar e gerar grande número de sementes, em conformidade

com as descrições de Lorenzi (1992), o qual afirma ainda que essa é uma espécie pioneira, logo tende a um rápido desenvolvimento inicial. Segundo Vieira (1991) a espécie fornece abundantes recursos florais nos períodos de seca, os quais são utilizados por diversos animais como fonte alimentar, período em que estes recursos podem ser escassos, logo acabam por polinizar as flores justificando a expressiva produção de sementes pela espécie. Campos Filho *et al.* (2015), relatam que *Mabea fistulifera* é muito resistente a seca, além de ser muito comum em áreas com impacto antrópico acentuado, conforme relatado por Gomes (2009).

Figura 11 - Indivíduo de *Curatella americana* na área experimental, pode-se observar a presença de indivíduos regenerantes de diversas espécies em sua proximidade. (a) Detalhe dos regenerantes e (b) Presença de serapilheira acumulada sobre o indivíduo de *Curatella americana*.



Fonte: Elaboração própria.

Mais da metade das espécies arbóreas identificadas (62 %) possuem síndrome de dispersão por zoocoria (Tabela 9), indicando que na área ocorre o trânsito de animais silvestres (Figura 12 b), fator que segundo Reis *et al.* (2014), promove a conectividade de áreas em processo de restauração com outros remanescentes naturais. Segundo Stefanello, Fernandes-Bulhão e Martins (2009), áreas mais abertas, tendem a apresentar um número maior de espécies anemocóricas em relação a zoocóricas, as quais predominam em ambiente florestais, o que não ocorreu na área em avaliação, apesar de ser bastante aberta; a justificativa talvez seja porque os remanescentes mais próximos a área avaliada são de formações florestais (Cerradão) e também ao fato da área em avaliação ter sido bastante alterada.

Figura 12 - Indivíduos juvenis regenerantes (a) de *Mabea fistulifera* (porção inferior da imagem) sob a copa de um indivíduo adulto introduzido. Indicação de fluxo de animais nativos (b) a presença de fezes é bastante comum na área avaliada.



Fonte: Elaboração própria.

2.4 CONCLUSÕES

A utilização dos resíduos orgânico e agroindustrial se mostraram importantes na recuperação da vegetação em área de subsolo exposto, favorecendo a regeneração de espécies nativas e o recobrimento do solo.

As maiores doses do resíduo orgânico apresentaram os maiores índices de CSVN, DINR e NENR. No entanto considerando-se que a maior parte dos índices não foram classificados como adequados, de acordo com a metodologia utilizada, a área ainda necessita de intervenções que auxiliem sua recuperação.

As espécies regenerantes de maior densidade foram *Curatella americana* e *Bowdichia virgilioides*.

Mabea fistulifera foi a única espécie nativas introduzida na área em recuperação a apresentar regenerantes.

REFERÊNCIAS

- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (APG). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 181, p. 1-20, 2016.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ARAUJO, F. S.; MARTINS, S. V.; MEIRA NETO, J. A. A.; LANI, J. L.; PIRES, I. E. Estrutura da vegetação arbustivo-arbórea colonizadora de uma área degradada por mineração de caulim, Brás Pires, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, 2006.
- BALDUINO, A. P. C.; SOUZA, A. L.; MEIRA NETO, J. A. A.; SILVA, A. F.; SILVA JÚNIOR, M. C. Fitossociologia e análise comparativa da composição florística do cerrado da flora de Paraopeba-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 25-34, 2005.
- BEZERRA JÚNIOR, J. G. O.; SILVA, N. M. Caracterização geoambiental da microrregião do Seridó Oriental do Rio Grande do Norte. **HOLOS**, Natal, v. 2, p. 78-91, 2008.
- BORDINI, M. C. P. **Manejo da regeneração natural de vegetação de cerrado, em áreas de pastagens, como estratégia de restauração na Fazenda Santa Maria do Jauru, município de Porto Esperidião, MT**. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- BRANCALION, P. H. S.; DURIGAN, G.; CHAVES, R. B.; ARONSON, J. On the need of frameworks for assenssing restoration projects secess: new perspective from São Paulo state. **Restoration Ecology**, Amsterda, v. 23, n.6, p. 754-759, 2015.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Incorporação do conceito da diversidade genética na restauração ecológica: In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela Restauração da Mata Atlântica, referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ - Instituto BioAtlântica, 2009. p. 128-146.
- CALGARO, H. F.; BUZETTI, S.; SILVA, L. R.; STEFANINI, L.; MIRANDA, L. P. M.; MORAES, M. A.; MORAES, M. L. T. Distribuição natural de espécies arbóreas em áreas com diferentes níveis de antropização e relação com os atributos químicos do solo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 39, n. 2, p. 233-243, 2015.
- CALGARO, H. F.; CAMBUIM J.; SILVA, A. M.; ALVES, M. C.; BUZETTI, S.; MORAES, M. A.; CARVALHO, S. L.; MIRANDA, L. P. M.; MORAES, M. L. T. Distribuição natural de espécies arbóreas em áreas com diferentes níveis de antropização. Atributos físicos do solo. **Revista Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 24, n. 3, p. 327-344, 2015.
- CAMPOS FILHO, E. M.; SARTORELLI, P. A. R. **Guia de árvores com valor econômico**. São Paulo: Agroicone, 2015. 139 p.

CASTRO, A. A. J. F.; MARTINS, F. R.; TAMASHIRO, J. Y.; SHEPHERD, G. J. How Rich Is the Flora of Brazilian Cerrados? **Annals of the Missouri Botanical Garden**, St. Louis, v. 86, n. 1, p. 192-224, 1999.

CAVA, M. G. B.; ISERHAGEN, I.; MENDONÇA, A. H.; DURIGAN G. Comparação de técnicas para restauração da vegetação lenhosa de Cerrado em pastagens abandonadas. **Hoehnea**, São Paulo, v. 43, n. 2, p. 301-315, 2016.

COSTA, A. A.; ARAUJO, G. M. Comparação da vegetação arbórea de cerradão e de cerrado na Reserva do Panga, Uberlândia, Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 63-72, 2001.

COSTA, I. R.; ARAUJO, F. S.; LIMA-VERDE, L. W. Flora e aspectos auto-ecológicos de um enclave de cerrado na chapada do Araripe, Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**. São Paulo, v. 18, n. 4, p. 759-770, 2004.

CORTES, J. M. **Desenvolvimento de espécies nativas do Cerrado a partir do plantio de mudas e da regeneração natural em uma área em processo de recuperação, Planaltina-DF**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**, New York, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciencia Agropecuaria**, Clayton, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E.; SILVA JÚNIOR, M. C.; MARIMON, B. S.; DELITTI, W. B. C. Composição florística e fitossociologia do cerrado sentido restrito no município de Água Boa - MT. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 103-112, 2002.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; MACHADO, B. W. T.; SILVA, P. E. N.; HAY, J. D. Análise comparativa da florística e fitossociologia da vegetação arbórea do cerrado sensu stricto na Chapada Pratinha, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 27-46, 1993.

FINGER, Z.; FINGER, F. A. Fitossociologia em comunidades arbóreas remanescentes de cerrado sensu stricto no Brasil central. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 769-780, 2015.

FREITAS, V. L. O. **Restauração de áreas degradadas pela extração de Ardósia, utilizando seus rejeitos, no município de Papagaio, Minas Gerais**. 2012. 116 f. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

FURLEY, P. A.; RATTER, J. A.; GIFFORD, D. R. Observations on the vegetation of eastern Mato Grosso, Brazil. III. The woody vegetation and soils of the Morro de Fumaça, Torixoreu. **Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences**, London, v. 235, n. 1280, 1988.

- GOMES, P. B. **Análise espacial de espécies arbóreas pertencentes à Floresta Estacional Semidecidual e ao Cerradão baseada em imagens de alta resolução espacial**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- GUILHERME, F. A. G. Efeitos da cobertura de dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas em mata de galeria. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 60-66, 2000.
- HONDA, E. A.; DURIGAN, G. A. Restauração de ecossistemas e a produção de água. **Hoehnea**, São Paulo, v. 44, n. 3, p. 315-327, 2017.
- JESUS, E. N.; SANTOS, T. S.; RIBEIRO, G. T.; ORGE, M. D. R.; AMORIM, V. O.; BATISTA, R. C. R. C. Regeneração Natural de Espécies Vegetais em Jazidas Revegetadas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 2, p. 191-200, 2016.
- LIMA, P. A. F. **Eficiência de indicadores da restauração ecológica em mata ripária (fase de implantação), no Cerrado, Gama – DF**. 2014. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.
- LIMA, P. A. F.; PACHÊCO, B. S.; SOUSA, S. R.; GATTO, A.; AQUINO, F. G.; ALBUQUERQUE, L. B. **Indicadores ecológicos: ferramentas para o monitoramento do processo de restauração ecológica**. Documento, 327. Embrapa Cerrados: Planaltina, DF, 2015, 46 p.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992. 384 p.
- METZER, J.; CASATTI, L.; VERDADE, L. M. Indicadores de conservação & avaliação do conhecimento para conservação. *In: I WORKSHOP DE SÍNTESE DO PROGRAMA BIOTA/FAPESP*, 1, 2002, **Anais [...]** São Carlos: [s. n.], 2002.
- PAUL, E. A. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. **Soil Biology and Biochemistry**, Kidlington, v. 98, p. 109 - 126, 2016.
- POLHILL, R. M.; RAVEN, P. H. **Advances in legume systematics**. Kew: Royal Botanic Gardens, 1981. 1050 p.
- REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES, D. R.; TRENTIN, B. E. Nucleação: concepção biocêntrica para a restauração ecológica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 509-519, 2014.
- RESENDE, L. A.; PINTO, L. V. A. Emergência e desenvolvimento de espécies nativas em área degradada por disposição de resíduos sólidos urbanos. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 5, n. 1, p. 37-48, 2013.

- ROCHA, F. B. **Avaliação do desenvolvimento inicial de espécies nativas do cerrado submetidas a quatro tipos de adubação na recuperação de área degradada na APA Gama e Cabeça de Veado, DF.** 2013. 57 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.
- RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 73-80, 2007.
- RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal.** LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, São Paulo. 2009. 264 p.
- SÃO PAULO. 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. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 03 abr. 2014.
- SÃO PAULO. Portaria CBRN Nº 01, de 17 de janeiro de 2015, estabelece o protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 17 jan. 2015.
- SIQUEIRA, L. P.; MESQUITA, C. A. B. **Meu Pé de Mata Atlântica.** Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica, 2007. 188 p.
- STEFANELLO, D.; FERNANDES-BULHÃO, C.; MARTINS, S. V. Síndromes de dispersão de sementes em três trechos de vegetação ciliar (nascente, meio e foz) ao longo do rio Pindaíba, MT. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.33, n.6, p.1051-1061, 2009.
- VAN DER PIJL, L. **Principles of dispersal in higher plants.** 3 ed. New York: Springer Verlag, 1982. 187 p.
- VIEIRA, M. F. **Ecologia da polinização de *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae) na região de Viçosa - MG.** 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado em Biologia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

3 USO DE LEGUMINOSAS NO PROCESSO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM ÁREA DE SOLO DEGRADADO

3.1 INTRODUÇÃO

Em áreas degradadas onde, a vegetação e os horizontes superficiais do solo foram removidos, os meios de regeneração bióticos como o banco de sementes e de plântulas são eliminados, deixando à superfície um subsolo, com condição edáfica bastante limitante à restauração natural, devido a elevada densidade ou compactação, baixa taxa de infiltração de água, baixos teores de nutrientes e matéria orgânica, entre outros (RODRIGUES; MALTONI; CASSIOLATO, 2007; ALVES; NASCIMENTO; SOUZA, 2012). Em áreas como estas, quando não revegetadas, o que resta no subsolo em termos de nutrientes fica, ao longo do tempo, sujeito a perdas por erosão, lixiviação e volatilização (VITOUSEK; MATSON, 1984). Os danos resultantes deste tipo de degradação não se limitam a área afetada, estes causam efeitos deletérios extensivos aos mananciais hídricos e a biodiversidade regional (AMAZONAS, 2010; FERREIRA *et al.*, 2007).

Perdas significativas de nutrientes, redução de reservas destes no ecossistema, destruição dos mecanismos mantenedores da ciclagem bioquímica, entre outros resultam em limitação nutricional à vegetação e representam séria barreira à expressão da regeneração natural e das ações efetivas da restauração ecológica (BROWN, LUGO, 1994). Portanto, pode-se assumir que estas áreas apresentam baixa resiliência, e seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser extremamente lento (CARPANEZZI *et al.*, 1990; CHADA; CAMPELLO; FARIA, 2004).

Nessas situações, a recuperação do solo é uma etapa que precede a recuperação da cobertura vegetal, e para recuperação do solo a reintrodução dos nutrientes perdidos é fundamental (REIS-DUARTE; CASAGRANDE, 2006). Rodrigues e Gandolfi (1998) destacam a importância da condição edáfica e afirmam que em áreas restauradas deve-se proceder a avaliação, dentre outros parâmetros, do retorno da fertilidade do solo e da produção de serrapilheira.

A utilização de resíduos como cinza de caldeira e macrófitas aquáticas tem sido reportada como benéfica na recuperação de áreas degradadas, com resultados satisfatórios no que diz respeito à fertilização, ao condicionamento orgânico e microbiológico dos materiais de solo e no favorecimento da revegetação (CALGARO *et al.*, 2008; MACHADO *et al.*, 2014; MIZOBATA, 2017).

Quando a recuperação de uma área degradada demanda a reintrodução da vegetação é preciso selecionar e identificar espécies aptas às condições edáficas existentes, e que suportem o estresse do ambiente, para que tenham sucesso e possam se estabelecer e contribuir com a introdução de matéria orgânica e nutrientes no solo, para aumentar a atividade microbiológica, contribuir para os processos de estruturação do solo, entre outros (CAMPOS; ALVES, 2006). Neste aspecto, o uso de leguminosas na recuperação de áreas degradadas pode ser considerada uma estratégia, com aplicação em diversos ambientes, cujo objetivo principal é acelerar o processo de recuperação natural do ecossistema (RESENDE *et al.*, 2013).

As características das leguminosas como rápido crescimento, fixação de nitrogênio atmosférico, adição de carbono orgânico ao solo via sistema radicular, podem favorecer os processos de recuperação proporcionando cobertura ao solo e a recuperação de características físicas, químicas e biológicas do mesmo (BERTONI *et al.*, 1972; MIYASAKA; GALLO; SILVA, 1984; SANTOS *et al.*, 2001).

Diversas espécies de leguminosas herbáceas têm se mostrado eficientes na recuperação de áreas degradadas, como a mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy), o guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC), o tremosso (*Lupinus albescens* H. et Arn.), o calopogônio (*Calopogonium caeruleum* (Benth.) Sauvalle) e diversas espécies pertencentes ao gênero *Stylosanthes* (ALVES *et al.*, 2012; ANTUNES, 2006; NERI *et al.*, 2011; PATRÍCIO, 2009; ROVEDDER, ELTZ 2008). Leguminosas arbóreas também têm sido utilizadas para esta finalidade, tanto espécies exóticas, como as acácias (*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth e *Acacia mangium* Willd.) quanto nativas, como o sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.), o jacarandá-da-baía (*Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth.) e a orelha-de-negro (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) (DIAS *et al.*, 1994; DIAS *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2014).

Assim, nota-se que a restauração de áreas degradadas depende, muitas vezes, da fertilidade do solo e do aumento da diversidade vegetal (FANG; PENG, 1997), do N, que é considerado um nutriente de extrema importância ao crescimento vegetal em seu ambiente natural, entre outros (FRANCO; DÖBEREINER, 1994). Assim, o suprimento de nutrientes como N e P, em áreas degradadas, são essenciais ao reestabelecimento da biota, pois o primeiro compõe estruturas de aminoácidos, proteínas, enzimas e coenzimas, e o P está ligado a síntese e armazenamento de energia necessária ao metabolismo da célula (MARIN *et al.*, 1999; RAIJ, 1991). Parte destes nutrientes chega ao solo via matéria orgânica.

A recomposição dos teores de matéria orgânica do solo é uma das mais importantes metas da recuperação de áreas degradadas (MORAES, 2006) e a revegetação pode produzir

este incremento (matéria orgânica), por meio da introdução de folhas e raízes no sistema, (BONI, 2017), logo há uma série de benefícios em sua inserção, pois a matéria orgânica tem função de estabilizar agregados do solo, diminuir as amplitudes térmicas, aumentar a capacidade de retenção de água, servir como fonte de energia para decompositores (atividade microbiana), favorecer a ciclagem de nutrientes, também influencia a fertilidade do solo por reter formas orgânicas de nutrientes e ter alta capacidade de troca catiônica (GUARIGUATA; OSTERTAG, 2001; GATTO *et al.*, 2010; KITAMURA *et al.*, 2008; AULER *et al.*, 2008; DINESH *et al.*, 2004).

Por fim, a avaliação da trajetória da recuperação ecológica deve prever o monitoramento de atributos bióticos e de aspectos da biodiversidade (SER, 2004). Os fatores bióticos podem ser monitorados por meio de indicadores ecológicos como cobertura vegetal, chuva de sementes, desenvolvimento de mudas, regeneração natural e diversidade de espécies (DURIGAN, 2011; RODRIGUES; GANDOLFI, 1998, MELO; MIRANDA; DURIGAN, 2007).

Neste capítulo o objetivo foi avaliar mudanças ocorridas em alguns atributos químicos e ecológicos resultantes da inserção de leguminosas, em área degradada em processo de recuperação.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

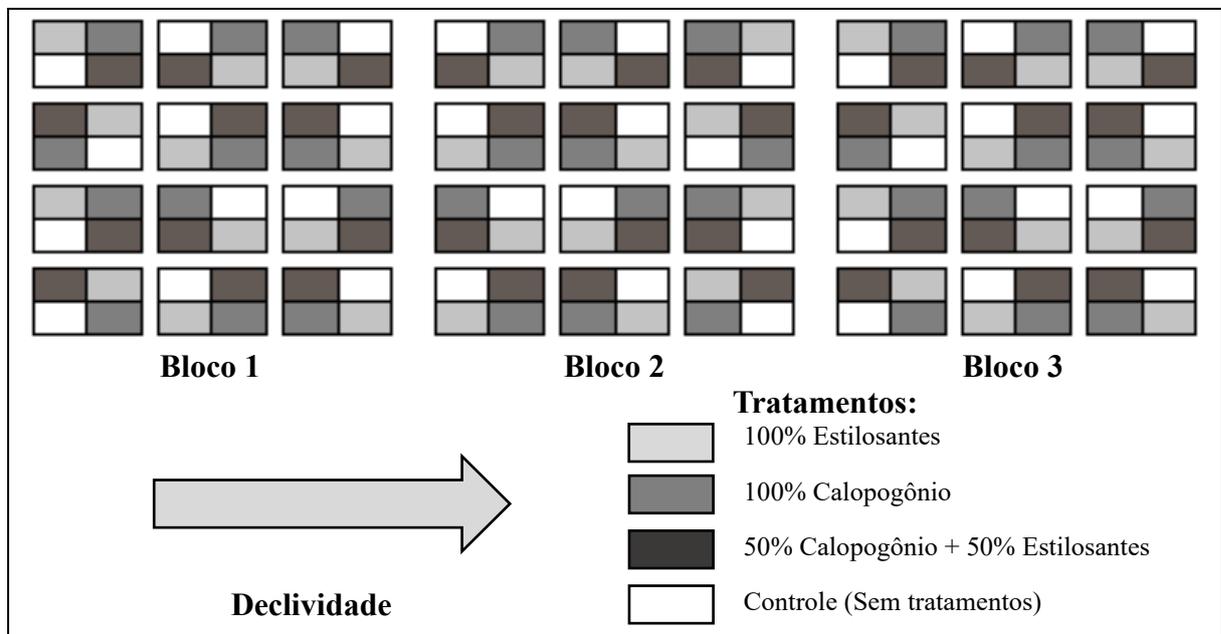
3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento originalmente instalado em 2011, na área degradada, possui 12 tratamentos resultantes da combinação fatorial de 3 doses de resíduo orgânico (0, 16 e 32 Mg ha⁻¹) e 4 doses de resíduo agroindustrial (0, 15, 30 e 45 Mg ha⁻¹) dispostos em 3 blocos casualizados, resultantes de três repetições de cada tratamento, totalizando 36 parcelas experimentais.

Em janeiro de 2017, cada uma destas 36 parcelas experimentais, foi subdividida em quatro, produzindo 144 novas parcelas de 10m x 15m (150m²), nas quais foram introduzidas sementes de leguminosas de ocorrência comum no cerrado, o calopogônio (*Calopogonium caeruleum* (Benth.) Sauvalle) e o Estilosantes Campo Grande (nome comercial dado a mistura física de sementes de *Stylosanthes capitata* Vogel e *Stylosanthes macrocephala* M.B. Ferreira & Sousa Costa), deste ponto em diante nominado apenas estilosantes.

Assim, as parcelas iniciais receberam 04 novos tratamentos, aleatoriamente distribuídos (Figura 13), sendo estes: 100% estilosantes, 100% calopogônio, 50% estilosantes + 50% calopogônio, e o controle (sem adição de sementes). A quantidade de sementes adicionada foi de 0,05 kg para cada subparcela (150 m²), como na maioria das parcelas já havia algum tipo de vegetação nativa, optou-se por esta quantidade conforme recomendação de uso das leguminosas para composição de pastagens consorciadas com gramíneas, que é de 2,5 a 3,5 kg ha⁻¹ (ZIMMER *et al.*, 2007).

Figura 13 – Croqui ilustrativo da área experimental após a introdução das leguminosas. Cada bloco possui 12 parcelas, dos tratamentos iniciais com os resíduos, divididas em 4 subparcelas contendo as leguminosas.



Fonte: Elaboração própria.

3.2.2 Avaliação dos indicadores ecológicos

Transcorrido um ano da semeadura das leguminosas, a área foi avaliada utilizando-se a mesma metodologia empregada na caracterização inicial conduzida em 2017, como indicado na Portaria CBRN 1/2015 (SÃO PAULO, 2015), que trata do Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica, com a finalidade de averiguar a contribuição das leguminosas no processo por meio de seus efeitos sobre os parâmetros ecológicos, cujos valores de referência constam da Resolução SMA n° 32 (SÃO PAULO, 2014).

Assim, os indicadores ecológicos avaliados foram cobertura do solo com vegetação nativa (CSVN); densidade de indivíduos nativos regenerantes (DINR) e número de espécies nativas regenerantes (NENR).

O indicador CSVN foi avaliado em 2017, 2018 e 2019, dado que a inserção das leguminosas poderia produzir efeitos relativamente rápidos.

Devido as dimensões das 144 novas parcelas, as unidades amostrais para aferição dos parâmetros do protocolo de monitoramento foram ajustadas como segue:

- Para avaliação da CSVN foram realizados dois transectos de 15m cada, em cada uma das 144 parcelas;
- Para avaliar o NENR e DINR foi analisada uma parcela amostral de 12,5m x 4m (50m²) por parcela experimental de 150 m², neste caso não foi possível a realização de mais unidades amostrais devido a sobreposição das mesmas na parcela, o que promoveria um erro de avaliação no monitoramento.

As espécies regenerantes encontradas foram identificadas e ordenadas em famílias de acordo com o APG IV (2016). As síndromes de dispersão das espécies arbóreas identificadas foram determinadas, seguindo a classificação adotada por Van Der Pijl (1982).

Simulou-se uma segunda avaliação para o indicador DINR e NENR, no momento da coleta dos dados em campo, registrou-se também os regenerantes de espécies lenhosas com dimensões menores que 0,5 m, segundo a Portaria CBRN 1/2015 o critério para inclusão dos regenerantes na avaliação é ter altura $\geq 0,50$ m. Nesta avaliação, no entanto, o objetivo foi averiguar se esta inclusão teria potencial para contribuir com o monitoramento do processo de restauração, uma vez que nas condições de degradação presentes o regenerante poderá levar anos para atingir a altura mínima de 0,5 m, adicionado ao fato de que as espécies de Cerrado, geralmente, possuem crescimento inicial muito lento, por investirem mais no sistema radicular que no aéreo (MOREIRA; KLINK, 2000; PAULILO; FELIPPE, 1998). Assim, ao considerar apenas os regenerantes maiores, informações importantes sobre o processo poderiam estar sendo postergadas.

O critério de inclusão passou a ser a possibilidade de identificação do regenerante e o indicador foi denominado DINR Total e NENR Total, esta avaliação é uma sugestão para avaliação de processos de restauração em áreas Cerrado.

3.2.3 Coleta de solo para análises de Carbono orgânico total (COT), Nitrogênio (N) e Fósforo (P)

A coleta de solo foi realizada em todas as 144 parcelas em meados de 2018, dezoito meses após a inserção das leguminosas. As coletas foram realizadas na camada de 0,0 a 0,10 m, seguindo um modelo de coleta em zigue-zague (aleatório), onde 6 (seis) amostras simples, produziram uma amostra composta, por parcela.

A determinação do teor de COT do solo foi conduzida no Laboratório de Pedologia da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Ilha Solteira, pelo método PMI – Perda de Massa por Ignição (BEN-DOR; BANIN, 1989).

P e N foram determinados na rotina dos Laboratórios de Fertilidade e Nutrição de Plantas da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Ilha Solteira, utilizando as metodologias de Mehlich III (MEHLICH, 1984) e Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

3.2.4 Análises estatísticas

As análises dos dados foram realizadas de acordo com o delineamento em blocos casualizados, no esquema fatorial completo 4 x 3 x 4. O primeiro fator RO com 3 níveis (0, 16 e 32 Mg ha⁻¹) e o segundo fator RA com 4 níveis (0, 15, 30 e 45 Mg ha⁻¹) foram dispostos na parcela experimental e o terceiro fator leguminosas com 4 níveis (ausência, 100% estilosante, 50% estilosante + 50% calopogônio e 100% calopogônio) foi disposto na subparcela.

Através do software SISVAR (Ferreira, 2014), a hipótese da normalidade foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) sendo aplicado o teste F a 10% de probabilidade para detectar as diferenças de todos os fatores. Uma vez encontrada diferença significativa para o fator RA e Leguminas foi utilizado o teste de Scoot-Knott a 10% para comparar as médias, para o fator RO foi realizada a análise de variância na regressão. Nesta, o critério para escolha de um modelo confiável foi verificado a partir do p-valor do desvio da regressão (não significativo) e os modelos de regressão polinomial selecionados foram os baseados nos coeficientes de correlação (R²) superiores, dentre as regressões significativas pelo teste F.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O parâmetro ecológico CSVN apresenta resposta significativa para a maioria das fontes de variação e suas interações (Tabela 10).

Tabela 10 – Quadrados médios das fontes de variação (FV) avaliadas, médias gerais, coeficiente de variação (CV%) e testes de comparações múltiplas para cobertura do solo por vegetação nativa (CSVN), densidade de indivíduos nativos regenerantes (DINR), número de espécies nativas regenerantes (NENR), Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Carbono orgânico total (COT).

FV	CSVN (%)	DINR (ind ha ⁻¹)	NENR (nº sp.)	N (g kg ⁻¹)	P (mg dm ⁻³)	COT (mg g ⁻¹)
QM**						
Bloco	2.790,54 ^{ns}	287.708,33 ^{ns}	1,75 ^{ns}	0,038 ^{***}	0,027*	1947,03 ^{***}
RO	6.993,60 ^{***}	581.875,00*	14,65 ^{**}	0,069 ^{***}	0,027*	1015,18 ^{***}
RA	6.558,89 ^{***}	480.069,44 ^{ns}	8,60 ^{**}	0,022 ^{**}	0,009 ^{ns}	555,22 ^{***}
RO x RA	259,88 ^{ns}	19.854,66 ^{ns}	4,33 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,009 ^{ns}	123,35 ^{**}
Leguminosas	2.123,11 ^{***}	73.217,59 ^{ns}	2,10 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,027 ^{ns}	31,42 ^{ns}
RO x LEG	502,60 ^{**}	58.356,48 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,027*	68,63 ^{ns}
RA x LEG	813,70 ^{***}	110.810,18 ^{ns}	1,98 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,009 ^{ns}	31,37 ^{ns}
RA x RO x LEG	667,45 ^{***}	70.208,33 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,009 ^{ns}	31,60 ^{ns}
Média geral	52,64	214,58	1,13	0,38	1,01	30,13
CV (%)	27,73	145,46	128,37	20,90	11,76	29,15
RO	Médias					
0	42,87 b	91,66 b	0,52 b	0,34 b	1,00 a	25,44 c
16	56,35 a	247,91 a	1,25 a	0,41 a	1,04 b	30,32 b
32	58,67 a	304,16 a	1,60 a	0,41 a	1,00 a	34,63 a
Leguminosas	Médias					
Estilosantes	59,49 a	277,77 a	1,47 a	0,39 a	1,00 a	31,37 a
Calopogônio	47,97 c	197,22 a	1,08 a	0,40 a	1,00 a	29,97 a
50Est + 50Cal	54,48 b	172,22 a	1,02 a	0,36 a	1,00 a	30,07 a
Controle	48,59 c	211,11 a	0,91 a	0,38 a	1,05 a	29,10 a
RA	Médias					
0	38,45	236,11	1,50	0,34	1,00	25,78
15	55,58	350,00	1,50	0,39	1,00	27,92
30	57,86	202,77	1,03	0,39	1,02	32,70
45	58,64	69,44	0,47	0,40	1,02	34,12
Equações de Regressão para RA				R²	Desvio	
CSVN	$\hat{y}^{***} = 43,2085 + 0,4189x$			0,7227	0,440	
DINR	$\hat{y}^{**} = 311,6667 - 4,3148x$			0,5235	0,423	
NENR	$\hat{y}^{**} = 1,6583 - 0,0237x$			0,8818	0,745	
N	$\hat{y}^{**} = 0,3628 + 0,0009x$			0,5920	0,669	
P	$\hat{y}^{ns} = 0,9972 + 0,0007x$			0,8000	0,454	
COT	$\hat{y}^{***} = 25,6652 + 0,1985x$			0,9582	0,200	

Nota: ***, ** e * = valores significativos para $P \leq 0,01$, $\leq 0,05$ e $\leq 0,10$, respectivamente, pelo Teste F; ^{ns}= valores não significativos. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Skott Knott a 10%. LEG = leguminosas; 50Est = 50 % de estilosantes; 50Cal= 50% de calopogônio, RO = resíduo orgânico; RA = resíduo agroindustrial; seguidos das doses aplicadas 00, 15, 30 e 45 para RA e 00, 16 e 32 para RO em Mg ha⁻¹.
Fonte: Elaboração própria.

O incremento nas doses de RO e RA influenciaram positivamente este indicador, apesar dos resíduos terem sido incorporados ao subsolo há mais de cinco anos, e isto pode ser observado inclusive nos tratamentos mais recentes, os que receberam as leguminosas, uma vez que todas responderam positivamente à presença das doses de resíduos RO e, ou RA (Tabela 11, figuras 14 e 15).

Tabela 11 – Valores médios para cobertura do solo com vegetação nativa (CSVN), no desdobramento da interação Resíduo Orgânico (RO), Resíduo Agroindustrial (RA) e leguminosas, bem como valores de P (*P* valor).

CSVN (%)						
RO 00						
Leguminosas	Estilosantes	Calopogônio	Est + Cal	Controle	<i>P</i> valor	
0	23,91 a	32,78 a	33,16 a	16,54 a	0,1516	
RA	15	52,37 a	21,43 b	33,88 b	66,47 a	0,0000
	30	63,24 a	42,77 b	38,92b	50,85 b	0,0225
	45	61,35 a	47,89 a	52,00 a	48,31 a	0,3491
<i>P</i> valor	0,073	0,1359	0,3604	0,0017		
Equações de Regressão						
$\hat{y}^{**} = 31,7461 + 0,8212x$		$\hat{y}^{ns} = 26,2255 + 0,4442x$		$\hat{y}^{ns} = 30,2645 + 0,4102x$		$\hat{y}^* = 33,5954 + 0,5312$
R²	0,7662	0,5422	0,8297	0,2414		
Desvio	0,897	0,196	0,920	0,042		
RO 16						
0	42,05 a	50,83 a	39,30 a	49,71 a	0,4391	
RA	15	67,97 a	51,16 b	56,86 b	71,42 a	0,0590
	30	62,02 a	50,02 b	75,89 a	45,69 b	0,0018
	45	71,95 a	60,41 a	73,00 a	33,41 b	0,0000
<i>P</i> valor	0,0722	0,7901	0,0140	0,0229		
Equações de Regressão						
$\hat{y}^* = 48,4410 + 0,5583x$		$\hat{y}^{ns} = 48,9700 + 0,1839x$		$\hat{y}^{**} = 43,2444 + 0,8007x$		$\hat{y}^* = 61,2530 - 0,4975x$
R²	0,6633	0,5301	0,8456	0,3700		
Desvio	0,207	0,728	0,533	0,110		
RO 32						
0	58,63 a	34,51 b	46,06 a	33,90 b	0,0105	
RA	15	69,05 a	51,54 b	70,28 a	54,52 b	0,0499
	30	73,76 a	70,34 a	69,18 a	51,68 b	0,0431
	45	67,52 a	61,92 a	65,26 a	60,65 a	0,8432
<i>P</i> valor	0,6340	0,0277	0,1570	0,1462		
Equações de Regressão						
$\hat{y}^{ns} = 62,5379 + 0,2091x$		$\hat{y}^* = 39,4255 + 0,6735x$		$\hat{y}^{ns} = 54,2221 + 0,3766x$		$\hat{y}^{**} = 38,5767 + 0,5162x$
R²	0,4101	0,7144	0,4171	0,7572		
Desvio	0,888	0,440	0,548	0,349		

Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas, por fonte de variação, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 10% de probabilidade. Est + Cal = 50% estilosantes + 50% calopogônio, RO = Resíduo Orgânico; RA = Resíduos Agroindustrial, seguidos das doses aplicadas (00, 15, 30 e 45 para RA e 00, 16 e 32 para RO em Mg ha⁻¹).

Fonte: Elaboração própria.

Esperava-se que os efeitos dos resíduos já tivessem cessado devido ao tempo transcorrido (mais de 5 anos), e isto pode ter acontecido, de forma que os resultados obtidos podem ser atribuídos a efeitos indiretos dos resíduos sobre as condições gerais da área, as quais permitiram que as leguminosas respondessem melhor nos tratamentos onde houve aplicação de RO e RA.

De modo geral, desconsiderando as diferenças entre as parcelas, o tratamento com 100% de estilosantes (Est) se destaca em relação aos demais com praticamente 60% de CSVN, o tratamento 50% estilosantes + 50% calopogônio (Est+Cal) aparece em segundo lugar com CSVN de praticamente 55% (Tabela 11), enquanto o tratamento 100 % calopogônio (Cal) se iguala ao controle, parcela experimental onde não foram introduzidas leguminosas, isto mostra que o Est foi mais eficiente em se estabelecer e recobrir a superfície, neste curto período de tempo em um ambiente edáfico ainda bastante comprometido. A Figura 14 mostra o efeito das leguminosas sobre os tratamentos com os resíduos, onde podem ser observados claramente o efeito positivo do Est sobre a CSVN.

Godoi, Borges e Leandro (2008), Silva e Corrêa (2010) obtiveram resultados positivos utilizando Est em áreas de empréstimo condicionadas com resíduos, destacando a capacidade das plantas nativas em tolerar a seca e colonizar solos de baixa fertilidade. Apesar de ambas leguminosas serem bastante rústicas, Martuscello *et al.* (2011) e Fernandes (2010) observaram uma maior produção de biomassa com Est comparativamente ao Cal.

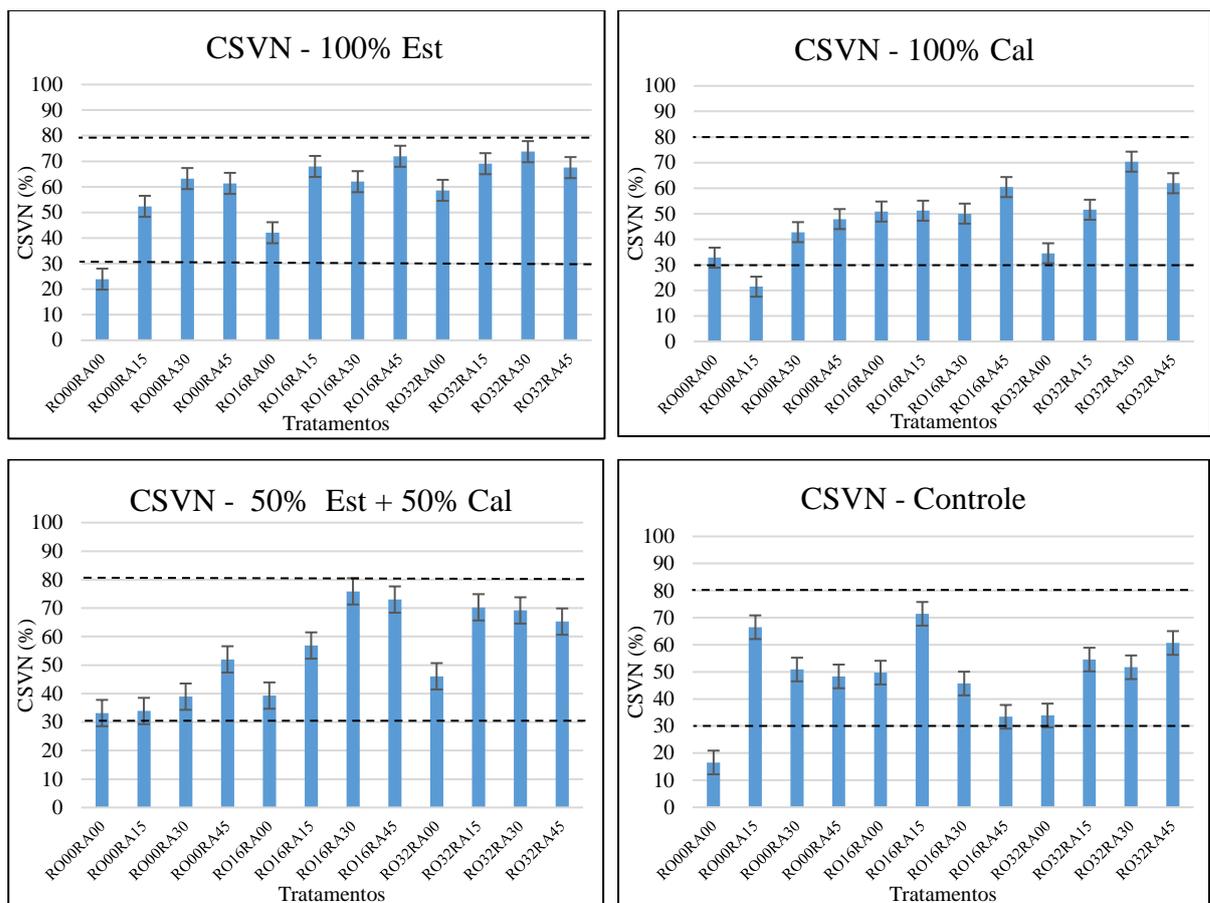
Neste trabalho o Cal não foi eficiente em recobrir a superfície, o que pode ser atribuído à intensidade da degradação existente, fato verificado na área experimental, houve pouca sobrevivência de indivíduos juvenis, apesar de haver algumas plantas que se mantiveram como perenes, a grande maioria dos indivíduos de Cal assumiram comportamento anual, ressurgindo e frutificando na estação chuvosa, fato também observado por Ribeiro, Holanda e Araújo Filho (2013), quando utilizaram a leguminosa em área de solo degradado. O Cal, segundo Machado *et al.* (2014) possui desenvolvimento inicial lento, o que o torna vulnerável a competição com outras herbáceas, dificultando seu estabelecimento em áreas degradadas, mas denota melhores resultados quando se adiciona matéria orgânica ao solo, corroborando constatações feitas neste trabalho (Tabela 10), onde as doses crescentes de RO mostram incrementos na CSVN para os tratamentos com Cal.

A maior CSVN obtida foi 73,8%, valor registrado no tratamento 100% Est, onde foi aplicado 32 Mg ha⁻¹ de RO e 30 Mg ha⁻¹ de RA há mais de 5 anos, apenas os tratamentos Est e Controle na ausência de resíduos (RO00 RA00) e Cal no tratamento RO00 RA15 apresentaram valores de CSVN considerados críticos (Figura 14). Apesar disto e da elevação da média geral

da CSVN de 34,26% em 2017, para 52,64% na avaliação do ano seguinte, nenhum dos tratamentos apresentou médias superiores a 80%, indicada pela portaria CBRN 1/2015 como adequada para projetos nesta fase de desenvolvimento, estando os valores obtidos dentro da margem de tolerância mínima para o prazo de 5 anos.

Degrandi (2017), utilizando a mesma metodologia, avaliou um projeto de restauração no Cerrado em um mesmo estágio de recuperação e obteve uma média geral de 65% para a CSVN, no entanto, nas condições de degradação da área avaliada neste trabalho, os valores obtidos (tabelas 9, 10 e figuras 14 e 15) revelam que a área está em processo de recuperação, com CSVN superando 60 % em várias situações (Figura 14).

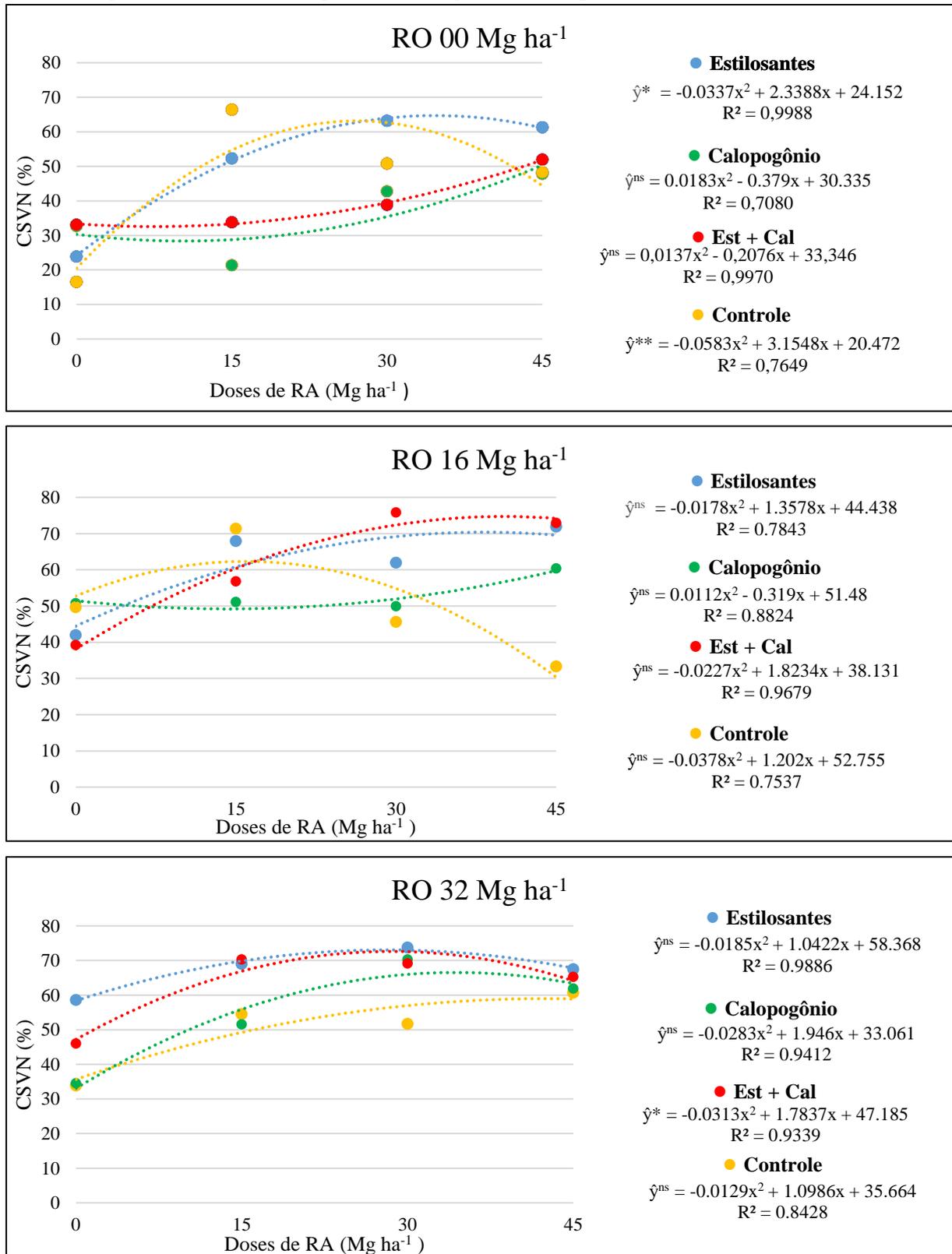
Figura 14 – Valores médios da Cobertura do solo com vegetação nativa (CSVN) nos tratamentos 100% Estilosante, 100% Calopogônio, 50% Estilosantes + 50% Calopogônio e Controle (sem leguminosas), para cada um dos tratamentos com os resíduos orgânico (RO) e agroindustrial (RA) e respectivas doses (Mg ha⁻¹).



Nota: As linhas pontilhadas classificam o indicador CSVN como: crítico, quando abaixo de 30%; mínimo entre 30 e 80% e adequado, acima de 80%. Média geral: 100% Est = 59,49; 100% Cal = 47,97; 50% Est + 50% Cal = 54,48 e Controle 48,59 Doses aplicadas 00, 15, 30 e 45 para RA e 00, 16 e 32 para RO em Mg ha⁻¹.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 15 – Comportamento da cobertura do solo com vegetação nativa (CSVN) para os tratamentos com leguminosas, em cada dose de Resíduo orgânico (RO), variando as doses de Resíduo agroindustrial (RA), equações de regressão e respectivo R².



Nota: ***, ** e * = valores significativos para $P \leq 0,01$, $\leq 0,05$ e $\leq 0,10$, respectivamente, pelo Teste F. RO = Resíduo Orgânico; RA = Resíduos Agroindustrial.

Fonte: Elaboração própria.

O comportamento da CSVN, em função dos tratamentos com leguminosas, avaliado ao longo dos anos de 2017, 2018 e 2019 (Tabela 12) mostra que a introdução das plantas proporcionou um acréscimo (média geral) de 13,62 % na CSVN de 2017 para 2018, índice que continua a aumentar, mas esta diferença foi menor de 2018 para 2019 (1,45%), pois apesar das plantas estarem produzindo grandes quantidades de sementes, ainda não se observou propagação acentuada além das linhas de plantios. O Est introduzido se comportou de forma similar as outras espécies já ocorrentes na área degradada, ou seja, apresentou comportamento perene.

Tabela 12 – Quadrados médios para fontes de variação (FV) avaliadas, média geral, coeficiente de variação (CV%) e testes de comparações múltiplas para cobertura do solo por vegetação nativa (CSVN).

FV	CSVN (%)			
Bloco	1.861,64 **			
Resíduo Orgânico (RO)	582,60 ns			
Resíduo Agroindustrial (RA)	2.765,31 ***			
RO x RA	1.135,57 *			
Tempo	2.487,83 ***			
Tempo x RO	87,68 ns			
Tempo x RA	292,58 ns			
RA x RO x Tempo	50,44 ns			
Média Geral	43,82			
CV (%)	29,18			
Doses de RO (Mg ha⁻¹)	00	16	32	
Médias	39,22 a	45,53 a	46,70 a	
Tempo	2017	2018	2019	
Médias	34,25 b	47,87 a	49,32 a	
Doses de RA (Mg ha⁻¹)	00	15	30	45
	30,14	54,59	45,29	45,24
Equação de Regressão para RA	R²		Desvio (P valor)	
$\hat{y}^* = 38,4295 + 0,2399x$	0,6995		0,026	

Nota: ***, ** e * = valores significativos para $P \leq 0,01$, $\leq 0,05$ e $\leq 0,10$, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Skott Knott a 10%.

Fonte: Elaboração própria.

Os testes estatísticos utilizados para DINR (Tabela 10) indicam que a única diferença significativa observada ocorreu na presença de RO, com incrementos ocorrendo nos tratamentos que receberam doses do resíduo. Estes resultados reafirmam os benefícios da adição de matéria orgânica no processo de restauração da área. A introdução das leguminosas, no entanto, ainda não mostrou efeitos significativos sobre a DINR, o que pode ser explicado pelo tempo transcorrido, considerado incipiente para a observação de mudanças na densidade

de indivíduos, pouco mais que doze meses, particularmente quando se trata de uma área com comprometimento edáfico.

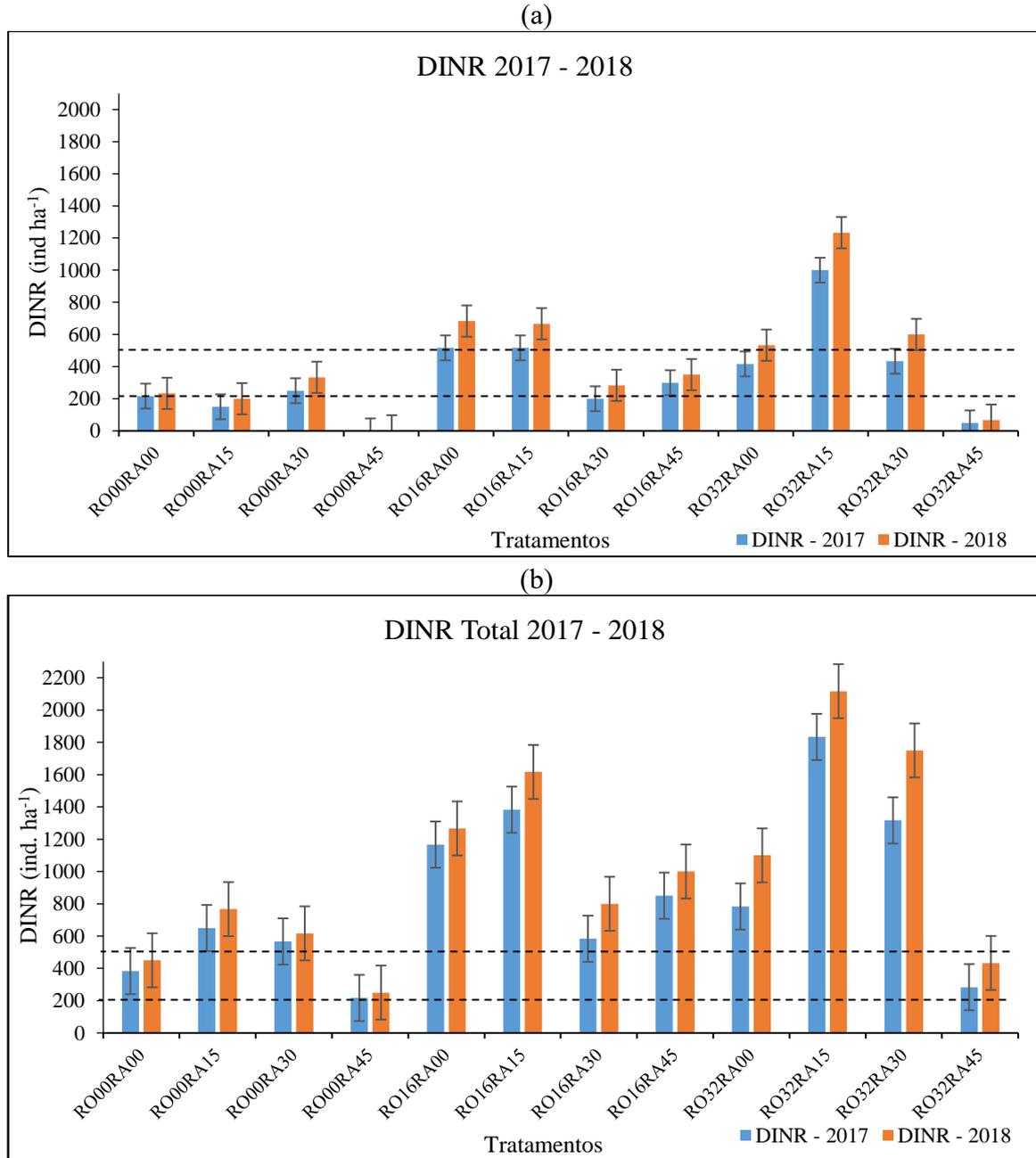
Ao avaliar a DINR entre os anos de 2017 e 2018 (Figura 16 *a*) nota-se uma evolução, apenas um tratamento permanece no nível crítico, os demais seguem no mesmo nível ou evoluíram de crítico para mínimo ou de mínimo para adequado, mostrando que o processo avança, muito embora a média geral tanto em 2017 (337,5 ind.ha⁻¹) quanto em 2018 (431,94 ind.ha⁻¹) ainda se enquadrem como mínima, pela Portaria CBRN 1/2015, considerando-se como critério de inclusão, apenas os regenerantes de espécies lenhosas com altura $\geq 0,50$ m. Estes resultados não surpreendem, uma vez que o surgimento de espécies regenerantes tende a ser baixo nos estágios iniciais da restauração, e crescente ao longo do tempo, como já relatado em outros trabalhos de restauração (LIMA *et al.*, 2016; SCHIEVENIN *et al.*, 2012; VIANI, RODRIGUES, 2008).

Considerando agora a DINR Total, tanto na avaliação de 2017 quanto na de 2018, apenas três tratamentos (RO00 RA00, RO00 RA45 e RO32 RA45) se classificam como mínimos, os demais podem ser considerados adequados (Figura 16 *b*). Alguns trabalhos apontam a idade do reflorestamento e as dificuldades para entrada de propágulos na área em processo de restauração como os fatores que mais influenciam o desenvolvimento do estrato regenerante (SOUZA; BATISTA, 2004; SILVEIRA; DURIGAN, 2004). A idade refere-se também a contribuição de regenerantes a partir das mudas introduzidas no plantio inicial, apesar de se observar na área a frutificação de algumas das espécies arbóreas utilizadas no plantio, apenas *Mabea fistulifera* apresentou registros na regeneração natural, a maior parte dos outros regenerantes são oriundos de fragmentos de cerrado presentes no entorno da área avaliada.

Os valores para NENR (Tabela 10) foram significativos apenas para RO e RA, assim como ocorreu para DINR, o acréscimo do RO significou incrementos no indicador. Apesar de qualitativo, o índice foi tratado como quantitativo para obtenção de médias e análises pelos testes estatísticos, de modo que as médias apresentadas na Tabela 10 não são úteis para discussão dos efeitos dos tratamentos em conformidade com os parâmetros da metodologia, cujo valor expresso corresponde a todas as espécies regenerantes identificadas nas amostragens.

Tendo em vista a não significância dos tratamentos com as leguminosas, vamos analisar apenas os efeitos do tratamento inicial, com resíduos RO e RA, sobre o NENR entre os anos de 2017 e 2018 (Figura 17 *a*). O tratamento RO00 RA45 não apresentou nenhum regenerante, sendo classificado como crítico para ambos os anos, os demais tratamentos ficaram classificados em mínimos e adequados, e nenhum deles mudou de categoria de um ano para o outro.

Figura 16 – Valores médios para (a) densidade de indivíduos nativos regenerantes (DINR) com altura $\geq 0,5$ m e (b) DINR Total com altura variável, desde que identificáveis, ambos avaliados nos anos de 2017 e 2018.



Nota: Obs.: As linhas pontilhadas indicam os limites de classificação do indicador para: crítico, quando DINR abaixo de 200 ind. ha⁻¹; mínimo entre 200 ind. ha⁻¹ e 500 ind. ha⁻¹ e adequado, acima de 500 ind. ha⁻¹. RO = Resíduo Orgânico; RA = Resíduos Agroindustrial, seguidos das doses aplicadas 00, 15, 30 e 45 para RA e 00, 16 e 32 para RO em Mg ha⁻¹.

Fonte: Elaboração própria.

O NENR Total também foi calculado (Figura 17 b), e quatro tratamentos foram classificados como mínimos e oito como adequados, novamente não houve mudança de

categoria de um ano para o outro. Utilizando-se estes critérios o tratamento RO00 RA45 apresenta seis espécies de regenerantes, porém, não há variação de um ano para o outro.

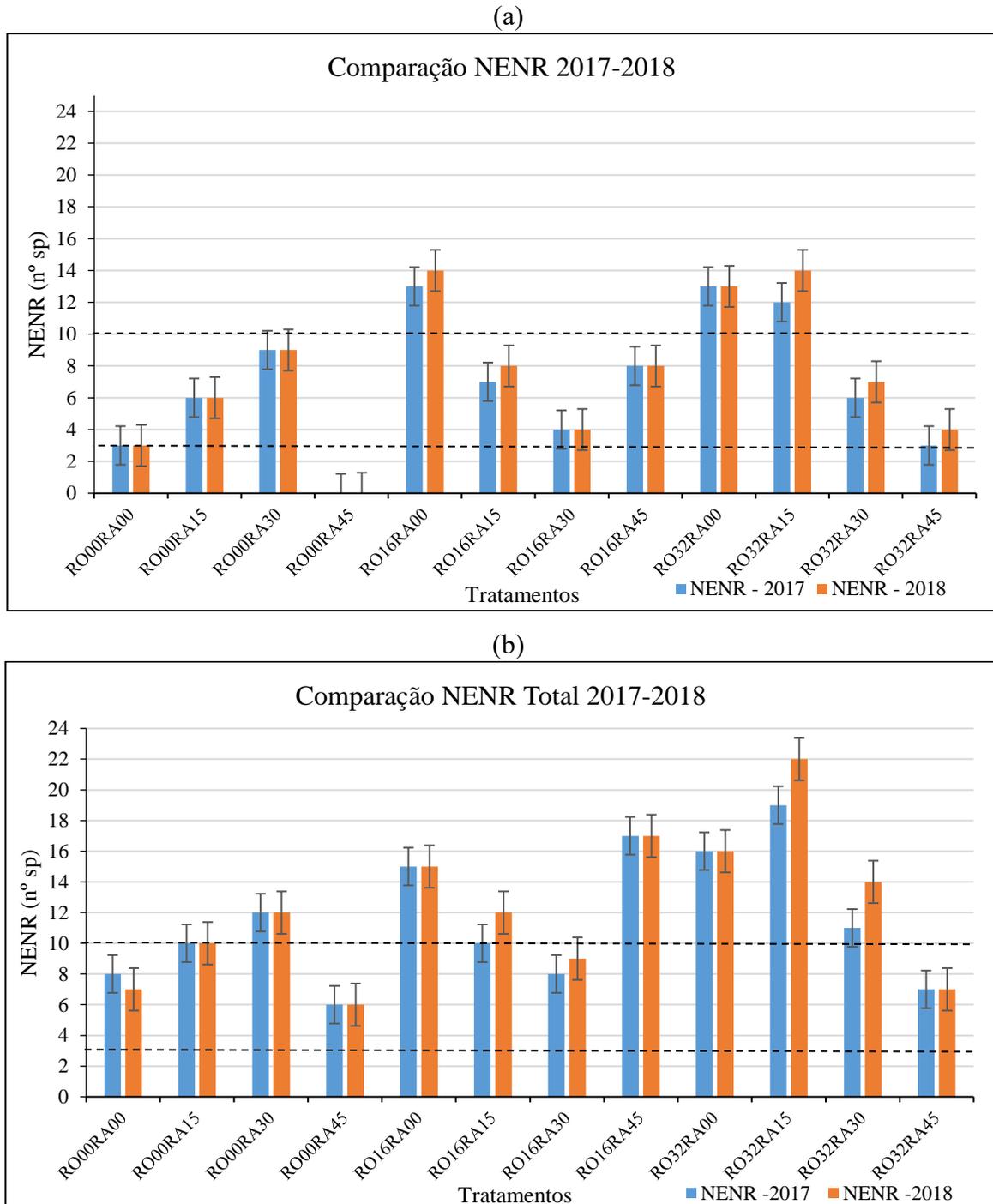
Na avaliação realizada em 2018 foram amostradas 27 espécies arbóreas (Tabela 13), distribuídas nas mesmas 16 famílias do ano anterior, a única espécie nova registrada foi *Stryphnodendron obovatum* Bth, pertencente à família Fabaceae; outras três espécies desta família, apesar de amostradas em ambas avaliações, ainda não haviam sido registradas na área em levantamentos anteriores, são elas, *Diptychandra aurantiaca* (Mart.) Tul., *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. e *Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke.

Levantamentos florísticos realizados na área (Boni, 2017) em 2013 e 2015, identificaram 25 espécies arbustivo-arbóreas, das quais, duas delas, *Sebastiania hintonii* Lundell e *Magonia pubescens* A. St.-Hil, não foram amostradas nos levantamentos realizados em 2017 e 2018 devido a utilização de metodologias diferentes, mas as espécies foram visualizadas na área experimental. Outro fato importante do estudo citado, é a presença já em 2015 de regenerantes de *Mabea fistulifera*, única das espécies introduzidas, a contribuir como regenerante.

Desta forma, tem-se o registro de 29 espécies arbustivas e arbóreas regenerantes na área experimental e apenas a espécie *Mabea fistulifera* ocorre como regenerante das mudas introduzidas. Em outros trabalhos de restauração com idade mais avançada, verifica-se que a composição florística dos regenerantes é predominantemente formada por espécies provenientes de fontes externas (SANTOS; MELO; DURIGAN, 2007; MIRANDA-NETO *et al.*, 2012), o que corrobora com o encontrado neste trabalho. Observou-se ainda alguns indivíduos de *Mabea fistulifera* atuando com função nucleadora (Figura 18), favorecendo o surgimento de outras espécies regenerantes.

O fator idade nos plantios de restauração é determinante para a evolução tanto da riqueza quanto da densidade da comunidade regenerante (MELO; DURIGAN, 2007). Darronco (2013) apontam que a conectividade da paisagem e as relações fauna-flora, também podem influenciar na riqueza e densidade dos regenerantes, fatores estes presentes na área avaliada, pois os fragmentos de cerrado existentes nas proximidades favorecem a entrada de sementes e animais dispersores.

Figura 17 – Valores médios para (a) número de espécies nativas regenerantes com altura $\geq 0,5$ m (NENR) e (b) NENR Total com altura variável, desde que identificáveis, ambos avaliados nos anos de 2017 e 2018.



Nota: Obs.: As linhas pontilhadas indicam os limites de classificação do indicador para: crítico, quando NENR abaixo 3; mínimo entre 3 e 10, e adequado, acima de 10 espécies. RO = Resíduo Orgânico; RA = Resíduos Agroindustrial, seguidos das doses aplicadas 00, 15, 30 e 45 para RA e 00, 16 e 32 para RO em Mg ha^{-1} .

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13 – Espécies arbóreas nativas regenerantes espontâneas, organizadas por família, nome popular e síndrome de dispersão, encontradas na área experimental em maio de 2018.

Nome científico /Família	Nome popular	Dispersão
Anacardaceae		
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Gonçaleiro	Anemocoria
Annonaceae		
<i>Annona coriacea</i> Mart.	Araticum	Zoocoria
<i>Annona dioica</i> A. St.-Hil.	Araxicum	Zoocoria
<i>Annona phaeoclados</i> Mart.	Ata-vermelha	Zoocoria
Apocynaceae		
<i>Himatanthus obovatus</i> (Müll.Arg.) Woodson	Pau-de-leite	Anemocoria
Celastraceae		
<i>Peritassa campestris</i> (Cambess.) A.C. Sm.	Bacupari-do-cerrado	Zoocoria
Connaraceae		
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	Araruta-do-campo	Zoocoria
Dilleniaceae		
<i>Curatella americana</i> L.	Lixeira	Zoocoria
<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	Lixeirinha	Zoocoria
Ebanaceae		
<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	Caqui-do-mato	Zoocoria
Euphorbiaceae		
<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	Canudo-de-pito	Zoocoria
Fabaceae		
<i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakovlev	Cascudinho	Anemocoria
<i>Acosmium subelegans</i> (Mohlenbr.) Yakovlev	Sucupira-branca	Anemocoria
<i>Bauhinia curvula</i> Benth.	Pata-de-vaca-branca	Autocoria
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Sucupira-preta	Anemocoria
<i>Diptychandra aurantiaca</i> (Mart.) Tul.	Balsaminho	Anemocoria
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub	Canafistula	Anemocoria
<i>Stryphnodendron obovatum</i> Bth.	Barbatimão	Autocoria
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Amargosa	Anemocoria
Lamiaceae		
<i>Aegiphila verticillata</i> Vell.	Milho-de-grilo	Zoocoria
Malpighiaceae		
<i>Byrsonima intermedia</i> A. Juss.	Murici-mirim	Zoocoria
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) Rich. Ex Juss.	Murici-grande	Zoocoria
Moraceae		
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Mama-cadela	Zoocoria
Rubiaceae		
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich.	Marmelo-de-bola	Zoocoria
Salicaceae		
<i>Casearia sylvestris</i> Sw	Guaçatonga	Zoocoria
Solanaceae		
<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	Lobeira	Zoocoria
Vochysiaceae		
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Pau-terra-miúdo	Anemocoria

Fonte: Elaboração própria.

Figura 18 – Detalhe da função nucleadora da *Mabea fistulifera*, as setas indicam a ocorrência de regenerantes.



Fonte: Elaboração própria.

A família Fabaceae foi a mais numerosa em espécies, fato bastante comum em diversos estudos de levantamentos florísticos em áreas de cerrado em processo de restauração ou regeneração natural (PINHEIRO; DURIGAN *et al.*, 2012; MANTOVANI; MARTINS 1993; ZUANY *et al.*, 2007). Bordino, Neto e Bliny. (2018) identificaram 7 espécies arbustivo-arbóreas da família em levantamentos da regeneração natural em uma área degradada, duas das quais em comum com os resultados discutidos neste trabalho, *Bowdichia virgilioides* Kunth e *Acosmium dasycarpum* (Vogel) Yakovlev. Para as outras famílias botânicas não houve variação no número de espécies de um ano para o outro.

Em 2018 foram amostrados 310 indivíduos arbóreos regenerantes maiores de 0,50m, enquanto no ano anterior foram registrados 242. *Curatella americana* L. e *Bowdichia virgilioides* Kunth continuam sendo as espécies com maior representatividade, com aproximadamente 56% do total de indivíduos amostrados em 2018, ambas são espécies de ampla ocorrência em diversas áreas de cerrado no Brasil (CAVA *et al.*, 2016; MEWS *et al.*, 2011; ZANELLI, 2013). Apesar de não introduzidas na área no plantio inicial, as espécies são

consideradas prioritárias para a restauração da vegetação de Cerrado, dada sua resistência e importância ecológica (PILON; DURIGAN, 2013).

A síndrome de dispersão dominante nas espécies regenerantes foi a zoocoria (59,25%); Ferreira *et al.* (2010) em avaliação a uma área de restauração de aproximadamente 13 anos de idade, observou o predomínio de espécies zoocóricas em 62,5% dos regenerantes, pois esta é a forma de dispersão mais frequente em florestas tropicais (REIS; KAGEYAMA, 2003), padrão que se repetiu nesta área, embora no domínio do Cerrado.

A medição do fósforo (P) na área mostrou que há diferença estatística entre os blocos, em diferentes concentrações de RO e na interação entre RO x Leguminosas (tabelas 10 e 14). Resultados similares para esse parâmetro foram observados por Boni *et al.* (2017) na mesma área e por Alves, Nascimento e Souza (2012) em área de empréstimo próxima a discutida neste trabalho, todos estes dados sugerem que estas áreas apresentam conteúdo de P muito baixo e que pequenas variações são suficientes para gerar diferenças significativas, no entanto não alteram o comportamento das variáveis em análise.

Tabela 14 – Médias do desdobramento da interação entre Resíduo Orgânico (RO) e as leguminosas, para Fósforo (P).

Leguminosas	Doses de RO (Mg ha ⁻¹)			P valor
	0	16	32	
Estilosantes	1,00 aA	1,17 bA	1,00 aA	0,0004
Calopogônio	1,00 aA	1,00 aA	1,00 aA	1,0000
Est + Cal	1,00 aA	1,00 aA	1,00 aA	1,0000
Controle	1,00 aA	1,00 aA	1,00 aA	1,0000
P valor	1,0000	0,0011	1,0000	

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si para, pelo teste Scott Knott a 10%. Est = estilosantes; Cal = calopogônio.

Fonte: Elaboração própria.

Assim, apesar da diferença estatística observada entre os tratamentos com RO, o tratamento com 16 mg ha⁻¹ do resíduo apresentou o maior resultado, enquanto a ausência do resíduo e a dose máxima aplicada apresentaram o mesmo valor de P. As doses crescentes de RO significariam um incremento de P no ambiente, dada sua disponibilidade no resíduo (Anexo B), o que não foi observado. O resultado pode ser justificado pelo tempo decorrido desde a aplicação dos resíduos, pelas variações edáficas e nos padrões de cobertura vegetal.

A interação RO x Leguminosas apresentou apenas uma pequena variação positiva na dose 16 Mg ha⁻¹ de RO com o Est (Tabela 14), porém o teste estatístico mostra que não houve nenhuma variação em decorrência da inserção das leguminosas, não podendo ser assumido como possibilidade e não permitindo explicar tal variação. Variações de P só seriam possíveis com a adição do elemento via fontes externas, como os resíduos, fertilizantes, ou mesmo via biomassa.

A média de fósforo registrada foi 1,01 mg dm⁻³, resultado similar ao observado por Boni *et al.* (2017), em avaliação anterior (1,00 mg dm⁻³); ambos inferiores aos obtidos na caracterização inicial, que foi de 3,0 mg dm⁻³ (Anexo A), de acordo com Santos *et al.* (2018) a redução do conteúdo de fósforo em área como esta, apesar do condicionamento feito com resíduos, pode ter ocorrido devido ao aumento da microfauna do solo, o que pode ter ocasionado o sequestro do P. Além, da distribuição e intensidade de plantas introduzidas e regenerantes na área, as quais também podem influenciar no conteúdo de fósforo do solo (KUMAR *et al.*, 2015).

De modo geral a disponibilidade de P em solos de regiões tropicais é bastante baixa, especialmente no Cerrado (REIS, 2009), no entanto os resultados obtidos são similares aos observados por Pinto *et al.* (2013) ao analisar diferentes solos em área de cerrado sem interferência antrópica; sugerindo que este fator não deve ser limitante à recuperação da área, pois as plantas ocorrentes no bioma estão adaptadas às condições de deficiência em nutrientes no solo (ARENS, 1963; FONSECA *et al.*, 2010).

A avaliação do Nitrogênio (N) do solo apresentou diferença significativa para os fatores de variação bloco, RO e RA (Tabela 10), mostrando que a adição dos resíduos aumentou o N no solo. A média geral obtida para os tratamentos foi de 0,38 g kg⁻¹, valores inferiores aos obtidos em avaliação anterior por Boni (2017), cuja média foi de 0,55 g kg⁻¹, fator preocupante pois observa-se que mesmo com a introdução das leguminosas, a resposta em relação à fixação de N ainda não é satisfatória.

No desdobramento de RO x Leguminosas observa-se que a ausência de resíduos interferiu na disponibilidade de N no solo (Tabela 15) no entanto, não se observou efeito significativo resultante da inserção das leguminosas. Apesar disto, observou-se em campo a nodulação das leguminosas, indicando que tem ocorrido a fixação biológica de N, a Figura 19 mostra a presença de nódulos do Cal e dos Est, tanto nos nativos quanto nos introduzidos. Como a coleta do material de solo não foi conduzida especificamente na região da rizosfera talvez não tenha sido possível diagnosticar os resultados da fixação de N no solo.

Tabela 15 – Médias do desdobramento da interação entre Resíduo Orgânico (RO) e as leguminosas, para Nitrogênio.

Leguminosas	Doses de RO (Mg ha ⁻¹)			P valor
	0	16	32	
Estilosantes	0,344 bA	0,418 aA	0,414 aA	0,0393
Calopogônio	0,368 bA	0,399 aA	0,382 aA	0,0281
Est + Cal	0,311 bA	0,375 bA	0,447aA	0,0182
Controle	0,341 bA	0,432 aA	0,388 aA	0,0234
P valor	0,3981	0,3579	0,1897	

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si para, pelo teste Scott Knott a 10%. Est = estilosantes; Cal = calopogônio.

Fonte: Elaboração própria.

Talvez sejam necessárias outras intervenções no sentido de garantir o suprimento de N, pois as etapas iniciais de sucessão secundária são limitadas pela disponibilidade do elemento, no entanto à medida que a sucessão progride as propriedades de ciclagem de N são recuperadas (AMAZONAS, 2010; DAVIDSON *et al.*, 2007). Se gramíneas passarem a ocupar a área no próximo período chuvoso talvez a ciclagem de nutrientes via biomassa possa melhorar um pouco as questões relacionadas aos aportes químicos essenciais, tendo em vista o ciclo curto (anual para algumas), sistema radicular abundante e elevado efeito rizosférico (MARTINS; MIRANDA; MIRANDA, 1999; MARTINS; LEITE; HARIDASAN, 2001).

O Carbono orgânico total (COT) do solo foi o fator que mais apresentou variações significativas entre os parâmetros de solo avaliados; além da diferença estatística entre blocos, RO e RA também foram observadas significância estatística para a interação entre RO x RA (Figura 20), onde a maior dose de RO, combinada com a maior dose de RA deixa no material do solo a maior contribuição em COT, com média geral de 30,13 mg COT g⁻¹ solo (Tabela 10). Resultados similares foram obtidos em estudos anteriores na área experimental por Boni (2017) sugerindo manutenção dos teores de COT ao longo do tempo de restauração.

As dosagens de RO e RA apresentaram uma tendência de incremento no COT nos tratamentos com doses crescentes de resíduos. Os resultados obtidos foram semelhantes aos observados por outros autores, indicando a importância da utilização dos resíduos para o condicionamento e melhora da qualidade de solos degradados (MODESTO *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2014; BONINI *et al.*, 2015).

O desdobramento da interação RO x Leguminosas (Tabela 16), mostra o melhor resultado para COT na presença do Est combinado com a dose 32 Mg ha⁻¹ de RO, apesar do

teste estatístico não apresentar diferenças significativas entre os tipos de plantas nas dosagens de RO. Nascimento *et al.* (2005) também não obtiveram incremento de carbono no solo, em um período de três anos pela ação de leguminosas.

Figura 19 – Imagens dos nódulos (setas) das leguminosas presentes na área experimental e detalhe da parte aérea das plantas. (a) *Stylosantes sp.* nativa já ocorrente, (b) nódulos do *Calopogonio caeruleum*, (c) *Stylosantes Capitata* e (d) *S. macrochefala*.



Fonte: Elaboração própria.

Apesar da significativa variação na cobertura do solo pela vegetação nativa (CSVN) supra discutida, observa-se que este mesmo efeito ainda não foi perceptível no COT, não acompanhando a tendência apontada por Auler *et al.* (2008), de que as leguminosas adicionam carbono ao solo, talvez seja necessário mais tempo para que a variação seja perceptível.

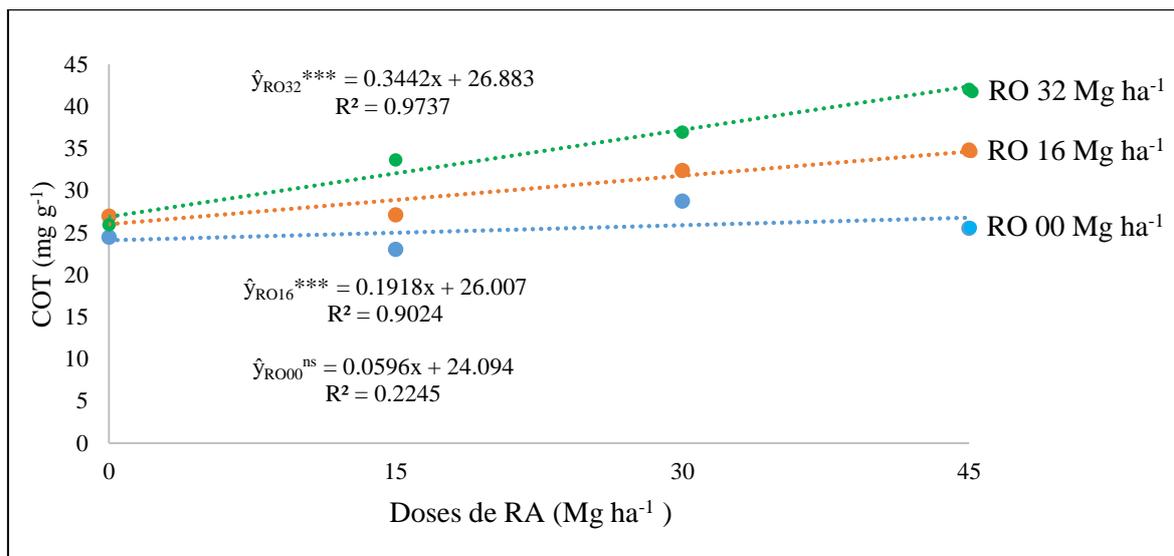
Tabela 16 – Médias do desdobramento Resíduo Orgânico (RO) e Leguminosas para Carbono orgânico total (COT) do solo.

Leguminosas	Doses de RO (Mg ha ⁻¹)			P valor
	0	16	32	
Estilosantes	24,61 bA	31,12 bA	38,37 aA	0,0004
Calopogônio	23,55 bA	30,66 aA	35,71 aA	0,0018
Est + Cal	27,70 aA	31,03 aA	31,48 aA	0,4627
Controle	25,89 aA	28,47aA	32,95 aA	0,1041
P valor	0,6854	0,8661	0,2335	

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 10%. Est = estilosantes; Cal = calopogônio.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 20 – Interação entre o Resíduo Agroindustrial (RA) e Resíduo Orgânico (RO) para o Carbono Orgânico Total doo solo (COT), equações de regressão e valores de R².



Nota: ***, ** e * = valores significativos para $P \leq 0,01$, $\leq 0,05$ e $\leq 0,10$, respectivamente, pelo Teste F. RO = Resíduo Orgânico; RA = Resíduos Agroindustrial.

Fonte: Elaboração própria.

3.4 CONCLUSÕES

A utilização dos resíduos orgânico e agroindustrial se mostraram importantes na recuperação da vegetação em área de subsolo exposto;

Os resíduos continuam influenciando positivamente o recobrimento do solo e a regeneração de espécies nativas em densidade e variedade, mesmo após mais 5 anos de sua incorporação;

Doses crescentes de RO influenciaram positiva e significativamente CSVN, DINR, NENR, N, P e COT, e as Doses de RA, CSVN, NENR, N e COT;

As leguminosas se mostraram eficientes na cobertura do solo;

As espécies regenerantes de maior densidade são *Curatella americana* e *Bowdichia virginoides*.

Das espécies nativas introduzidas na área em recuperação, *Mabea fistulifera* é a única com regenerantes e com função nucleadora.

O monitoramento, realizado em 2017, permitiu decidir sobre uma nova ação para melhorar o processo de restauração, neste caso a introdução das leguminosas.

Os resultados indicam que a área está seguindo uma trajetória positiva de recuperação, porém, os monitoramentos devem ser mantidos ao longo dos anos para que se possa fazer novas interferências quando necessárias.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C.; NASCIMENTO, V.; SOUZA, Z. M. Recuperação em área de empréstimo usada para construção de usina hidrelétrica. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 887-893, 2012.
- AMAZONAS, N. T. **Ciclagem do nitrogênio em uma cronosequência formada por florestas restauradas e floresta natural**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2010.
- ANTUNES, E. C. **Recuperação de áreas degradadas por meio de recomposição vegetal em solos arenosos no Sudoeste Goiano**. 2006. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.
- ARENS, K. As plantas lenhosas dos campos cerrados como flora adaptada às deficiências minerais do solo. In: Ferri, M. G. **Simpósio sobre o cerrado**. São Paulo: EDUSP, 1963. p. 251-265.
- AULER, P. A. M.; FIDALSKI, J.; PAVAN, M. A.; NEVES, C. S. V. J. Produção de laranja 'pêra' em sistemas de preparo de solo e manejo nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 363-374, 2008.
- BEN-DOR, E.; BANIN, A. Determination of organic matter content in arid zone soils using a simple "loss-on-ignition" method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 20, p. 1675-1695, 1989.
- BONI, T. S.; MIZOBATA, K. K. G. S.; SILVA, M. S. C.; MONTEIRO, L. N. H.; BARBIERI, R. S.; MALTONI, K. L.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Chemical soil attributes of Cerrado areas under different recovery managements or conservation levels. **International Journal of Biodiversity and Conservation**, Nairobi, v. 9, n. 5, p. 115-121, 2017.
- BONI, T. S. **Vegetação espontânea e atividade microbiológica como indicadores da recuperação de uma área degradada no cerrado**. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2017.
- BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Sewage sludge and mineral fertilization on recovery of chemical properties of a degraded soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 388-393, 2015.
- BORDINO, L. F.; NETO, M. J.; BLINY, R. C. B. Levantamento florístico de um fragmento de cerrado em recuperação no Distrito Industrial de Três Lagoas-ms. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, Três Lagoas, v. 6, n.1, p. 45-55, 2018.
- BERTONI, J.; PASTANA, F. I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI Jr., R. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agrônomo**. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 1972. 56 p. (Circular, 20)

BROWN, S.; LUGO, A. E. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. **Restoration Ecology**, Tucson, v. 2, p. 97-111, 1994.

CALGARO, H. F.; CASSIOLATO, A. M. R.; VALÉRIO FILHO, W. V.; FERNANDES, F. M.; MALTONI, K. L. Resíduos orgânicos como recondicionante de subsolo degradado e efeitos na atividade microbiana e fertilidade em cultivo de barbatimão. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 1069-1079, 2008.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Resistência à penetração de um solo em recuperação sob sistemas agrosilvopastoris. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 759-764, 2006.

CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G. S.; KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: observações de laboratórios naturais In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, **Anais [...]** Campos de Jordão, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 216-21.

CAVA, M. G. B.; ISERNHAGEN, I.; MENDONÇA, A. H.; DURIGAN, G. Comparação de técnicas para restauração da vegetação lenhosa de Cerrado em pastagens abandonadas. **Hoehnea**, São Paulo, v. 43, n. 2, p. 301-315, 2016.

CHADA, S. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, p. 801-809, 2004.

COSTA, M. G.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Leguminosas arbóreas para recuperação de áreas degradadas com pastagem em Conceição de Macabu, Rio de Janeiro, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 101-123, 2014.

COSTA, V.L.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELO, L. C. A. Spatial distribution of phosphorus in an Oxisol amended with sewage sludge and mineral fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 287-293, 2014.

DARRONCO, C. **Atributos funcionais de espécies arbóreas e a facilitação da regeneração natural em plantios de mata ciliar**. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2013.

DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIRA, A. M.; ISHIDA, F. Y.; OMETTO, J. P. H. B.; NARDOTO, G. B.; SABÁ, R. T.; HAYASHI, S. N.; LEAL, E. C.; VIERIA, I. C. G., MARTINELLI, L. A. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forest following agricultural abandonment. **Nature**, London, v. 447, p. 995–998, 2007.

DEGRANDI, L. **Monitoramento de projeto de restauração de cerrado na estação experimental de Mogi-Guaçu**. 2017. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade de São Paulo, Escola Superior De Agricultura “Luiz De Queiroz”, Piracicaba, 2017.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Eucalyptus pellita* e *Acacia mangium*. In. CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994. **Anais** [...] Foz do Iguaçu, 1994. CD-ROM.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORREIA, M. E. F.; ROCHA, G. P.; MOREIRA, J. F.; RODRIGUES, K. M.; FRANCO, A. A. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de híbrido de Digitaria. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 6, p. 1015-1021, 2006.

DINESH, R.; SURYANARAYANA, M. A.; GHOSHAL CHAUDHURI, S.; SHEEJA, T. E. Long-term influence of leguminous cover crops on the biochemical properties of a sandy clay loam Fluventic Sulfaquent in a humid tropical region of India. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 69-77, 2004.

DURIGAN, G. Uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação. In: UEHARA, T. H. K.; GANDARA, F. B. (org). **Cadernos da Mata Ciliar**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Monitoramento de áreas em recuperação, 2011. p. 13-41.

FANG, W.; PENG, S.L. Development of species diversity in the restoration process of establishing a tropical manmade forest ecosystem in China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 99, p. 185-196. 1997.

FERNANDES, F. E. P. **Espaçamento de plantio de eucalipto e leguminosas para sub-bosque em sistemas agroflorestais**. 2010. 74 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência Agropecuária**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FERREIRA, W. C.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, p. 177-185, 2007.

FERREIRA, W.C.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FARIA, J.M.R.; FERREIRA, D.F. Regeneração natural como indicador de recuperação de área degradada a jusante da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, p. 651-660. 2010.

FONSECA, M. B.; FRANCA, M. G. C.; ZONTA, E.; GIORNI, V. Crescimento inicial de *Dimorphandra wilsonii* (Fabaceae - Caesalpinioideae) em diferentes condições de fertilidade em solo de cerrado. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 24, n. 2, p. 322-327, 2010.

FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J. A biologia do solo e a sustentabilidade dos solos tropicais. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 68-74, 1994.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1069-1079, 2010.

GODOI, E.; BORGES, J.; LEANDRO, W. Índices de cobertura vegetal e fitomassa de *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão em área degradada, fertilizada com adubo mineral e bio sólido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 1, p. 21-26, 2008.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 148, p. 185-206, 2001.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, p. 405-416, 2008.

KUMAR, A.; BAHADUR, I.; MAURYA, B. R.; RAGHUWANSHI, R.; MEENA, V. S.; SINGH, D. K.; DIXIT, J. Does a Plant Growth Promoting Rhizobacteria Enhance Agricultural Sustainability? **Journal of Pure and Applied Microbiology**, Shahjahanabad, v. 9, n. 1, p. 715-724, 2015.

LIMA, P. A. F.; ALBUQUERQUE, L. B.; MALAQUIAS, J. V.; GATTO, A.; AQUINO, F. G. Eficiência de regenerantes como indicador de restauração ecológica no Cerrado, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 39, n. 3, p. 437-446, 2016.

MACHADO, D. F. T.; CONFESSOR, J. G.; RODRIGUES, S. C. Processo inicial de recuperação de área degradada a partir de intervenções físicas e utilização de leguminosas. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p. 42-54, jun. 2014.

MACHADO, K. S.; MALTONI, K. L.; SANTOS, C. M.; CASSIOLATO, A. M. R. Resíduos orgânicos e fósforo como condicionantes de solo degradado e efeitos sobre o crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, p. 541-52, 2014.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MANTOVANI, W; MARTINS, F. R. Florística do Cerrado na reserva biológica de Moji Guaçu, SP. **Acta Botânica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 33-60. 1993.

MARIN, V. A.; BALDANI, V. L. D.; TEIXEIRA, K. R. dos S.; BALDANI, J. I. **Fixação biológica de nitrogênio: Bactérias fixadoras de nitrogênio de importância para a agricultura tropical**. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, 1999. 24 p.

MARTINS, C. R.; LEITE, L. L.; HARIDASAN, M. Recuperação de uma área degradada pela mineração de cascalho com uso de gramíneas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 2, n. 25, p. 157-166, 2001.

MARTINS, C. R.; MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas do cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 665-674, 1999.

MARTUSCELLO, J. A.; OLIVEIRA, A. B.; CUNHA, D. N. F V.; AMORIM, P. L.; DANTAS, P. A. L.; LIMA, D. A. Produção de biomassa e morfogênese do capim-braquiária cultivado sob doses de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 4, 2011.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 15, p. 1.409-1.416, 1984.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Evolução estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no Médio Vale do Paranapanema. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 7, p. 101-111, 2007.

MELO, A. C. G.; MIRANDA, D. L. C.; DURIGAN, G. Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamento de restauração de matas ciliares no médio vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 321-328, 2007.

MEWS, H. A.; MARIMON, B. S.; MARACAHIPES, L.; FRANZAK, D. D.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Dinâmica da comunidade lenhosa de um Cerrado Típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropical**, Campinas, v. 11, n. 1, p.73-82, 2011.

MIRANDA-NETO, A., MARTINS, S. V.; SILVA, K. A.; GLERIANI, J. M. Florística e estrutura do estrato arbustivoarbóreo de uma floresta restaurada de 40 anos, Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, p. 869-878, 2012.

MIYASAKA, S.; GALLO, J. R.; SILVA, J. G. Histórico de estudos de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. In: **Adubação verde no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1984. p. 64- 124.

MIZOBATA, K. K. G. S. **Alterações de atributos físicos de subsolo revegetado e condicionado com resíduos, para recuperação de ambiente degradado no cerrado**. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2017.

MODESTO, P. T.; SCABORA, M. H.; COLODRO, G.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterations in some properties of a degraded oxisol by sewage sludge and organic residue application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Larvas, v. 22, n. 1, p. 1489-1498, 2009.

MORAES, L. F. D. **Indicadores da restauração de áreas degradadas na Reserva Biológica de Poços das Antas – RJ**. 2006. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Seropédica, 2006.

MOREIRA, A. G.; KLINK, C. A. Biomass allocation and growth of tree seedlings from two contrasting Brazilian savannas. **Ecotrópicos**, Mérida, v. 13, n. 1, p. 43-51, 2000.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Larvas, v. 29, p. 825-831, 2005.

NERI, A. V.; SOARES, M. P.; MEIRA NETO, J. A.; DIAS, L. E. Espécies de Cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas por mineração de ouro, Paracatu-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 907-918, 2011.

PAULILO, M. T. S.; FELIPPE, G. M. Growth of the shrub-tree flora of the Brazilian cerrados: a review. **Tropical Ecology**, Amsterdam, v. 39, p. 165-174, 1998.

PATRÍCIO, R. L. **Avaliação de métodos de revegetação de áreas degradadas utilizados na mineração de níquel em Niquelândia Goiás**. 2009. 40 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 2009.

PINHEIRO, E. S.; DURIGAN, G. Diferenças florísticas e estruturais entre fitofisionomias do cerrado em Assis, SP, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 181-193, 2012.

PINTO, F. A.; SOUSA, E. D.; PAULINO, H. B.; CURI, N.; CARNEIRO, M. A. C. P-sorption and desorption in Savanna Brazilian soils as a support for phosphorus fertilizer management. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, vol. 37, n. 6, p. 521-530, 2013.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

REIS A.; KAGEYAMA P. Y. Restauração de áreas degradadas utilizando interação interespecíficas. In: Kageyama, P. Y.; Oliveira, R. E.; Moraes, L. F. D.; V.L. Engel, V. L.; Gandara, F. B. (orgs.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 90-110.

REIS, T. H. P. **Dinâmica e disponibilidade de Fósforo em solos cultivados com café em produção**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

RESENDE, A. S.; CHAER, G. M.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, A. P.; LIMA, K. D. R.; CURCIO, G. R. Uso de leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas. In: Tópicos em Ciências do Solo, Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**, Lavras, v. 8, p. 71-92, 2013.

RIBEIRO, L. F.; HOLANDA, F. S. R.; ARAÚJO FILHO, R. N. Revegetação das margens do Rio Paramopama utilizando técnica de bioengenharia de solos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 2, p. 31-40, 2013.

RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 73-80, 2007.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Restauração de florestas tropicais: subsídios para uma definição metodológica e indicadores de avaliação e monitoramento. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 1998. p. 203-215.

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ, F. L. F. Revegetação com plantas de cobertura em solos arenizados sob erosão eólica no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 315-321, 2008.

SANTOS, A. A.; AGUSTINI, J. A.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Addition of waste and introduction of microorganisms after 45 years of soil degradation. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 49, n. 3, p. 363-370, 2018.

SANTOS, A. C.; SILVA, I. F.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, A. P.; CAVALCANTE, V.R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 4, p. 1063-1071, 2001.

SANTOS, F. F. M.; MELO, A.C.G.; DURIGAN, G. Regeneração natural sob diferentes modelos de plantio de mata ciliar em região de cerrado no município de Assis, SP. **IF Série Registros**, São Paulo, n. 31, p. 225-228, 2007.

SÃO PAULO. 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. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Meio Ambiente, 2014.

SÃO PAULO. Portaria CBRN Nº 01, de 17 de janeiro de 2015, estabelece o protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Meio Ambiente, 2015.

SER. SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE & POLICY WORKING GROUP. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. Tucson: Society For Ecological Restoration. 2nd., 2004. 13 p.

SCHIEVENIN, D. F.; TONELLO, K. C.; SILVA, D. A.; VALENTE, R. O. A.; FARIA, L. C.; THIERSCH, C. R. Monitoramento de indicadores de uma área de restauração florestal em Sorocaba-SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 19, n. 1, p. 95-108, 2012.

SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Evolução da qualidade do substrato de uma área minerada no cerrado revegetada com *Stylosanthes* spp. **Revista Brasileira de Engenharia e Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, 2010.

SILVEIRA, E. R.; DURIGAN, G. Recuperação de matas ciliares: estrutura da floresta e regeneração natural aos 10 anos em diferentes modelos de plantio na Fazenda Canaçu, Tarumã, SP. In: BÔAS, O. V.; DURIGAN, G. (org.). **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no Oeste Paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão**. São Paulo: Páginas e Letras, 2004. p. 347-370.

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

VAN DER PIJL, L. **Principles of dispersal in higher plants**. 3. ed. New York: Springer Verlag, 1982. 171 p.

VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R. Impacto da remoção de plântulas sobre a estrutura da comunidade de regenerante de Floresta Estacional Semidecidual. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 22, n. 4, p. 1015-1026, 2008.

VITOUSEK, P. M.; MATSON, P. A. Mechanisms of nitrogen retention in forest ecosystems: a field experiment. **Science**, Washington, v. 225, n. 4657, p. 51-52, 1984.

ZANELLI, C. B. **Florística e fotossociologia da comunidade lenhosa no sub-bosque de um cerrado em Assis, SP**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, 2013.

ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. ; GROF, B. ; ANDRADE, C. M. S.; FERNANDES, C. D.; PEREIRA, F. A. R.; QUEIROZ, H. P.; PURCINO, H. M. A.; VERZIGNASSI, J. R.; COSTA, J. A. A.; SOBRINHO, J. M.; SILVA, J. M.; VALÉRIO, J. R.; VALLE, L. C. S.; MACEDO, M. C. M.; CHARCHAR, M. S. D; NASCIMENTO, M. S. B.; SILVA, M. P.; RESENDE, R. M. S; MARIA SHUNKE, R. M. Cultivo e uso do estilosantes-campo-grande. *In: Comunicado Técnico nº 105*, Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte, 2007. 11p.

ZUANY, L. V.; PRATES, E. M. B.; FRANCO, M. P. M.; GALHARDO, I. C.; ALBUQUERQUE, R. W.; CARVALHO, S. M. F. Levantamento Florístico de uma área de Cerrado da Universidade de Brasília. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 801-803, 2007.

CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A restauração de um ambiente tão intensamente degradado como o discutido neste trabalho, além do grande desafio, requer a utilização de técnicas que ao longo do tempo, contribuam para devolver características edáficas (físicas, químicas e biológicas) no subsolo similares a do solo de um ambiente conservado.

As primeiras ações de restauração ocorridas na área em 2011, como o rompimento do selamento superficial, a adição de resíduos como condicionantes edáficos e o plantio de mudas nativas, se mostraram importantes no processo de restauração, porém o monitoramento apontou que esses resultados não se encontravam no patamar adequado para se atestar a recuperação e isto poderia comprometer resultados futuros, não garantindo que a evolução do ambiente seguiria o curso desejado, mas poderia permitir a entrada de plantas invasoras e comprometer as ações já realizadas, atrasando ainda mais o processo de restauração.

Assim, as leguminosas introduzidas (calopogônio e estilósantes) entram no cenário da recuperação do solo degradado fornecendo uma resposta rápida em termos de recobrimento, e não menos importante, mas mais lenta, no favorecimento da regeneração natural em densidade e diversidade, incremento de matéria orgânica e nitrogênio no solo, através da fixação biológica de N atmosférico. Estes processos se iniciaram na área avaliada neste trabalho, conforme demonstrado pelos monitoramentos, mostrando sua eficiência, no entanto, novos monitoramentos serão necessários para revelar o estabelecimento das ações e se outras intervenções devem ser realizadas.

O recobrimento do solo fornecido pelas leguminosas trouxe outras interferências positivas, que apesar de não discutidas neste trabalho, são perceptíveis na área experimental, como o acúmulo de serapilheira em locais antes descobertos, resultando na formação de polos nucleadores, criando condições de umidade e temperatura que favorecem o estabelecimento de espécies arbóreas e herbáceas primárias.

Estudos de recuperação e monitoramento de áreas degradadas no bioma Cerrado, ainda são escassos, bem como os resultados que este ambiente apresenta as estímulos de recuperação, muitas vezes, são pouco animadores; porém com o nível de degradação que o bioma vem sofrendo, a recuperação de áreas de empréstimo muitas vezes representam parcelas importantes de conservação, pois são áreas que muito possivelmente, nunca serão atrativas para processos produtivos, dadas as condições de solo e relevo inapropriados, sendo mantidas na maioria das vezes, como áreas abandonadas e desprezadas de qualquer investimento em sua recuperação.

ANEXO A – Caracterização inicial da área

Tabela 17: Valores médios para P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn do solo degradado antes do início do experimento. Selvíria/MS, 2011.

P (mg dm ⁻³)	MO (g dm ⁻³)	pH (CaCl ₂)	K	Ca	Mg	H+Al	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			----- (mmolc dm ⁻³) -----						----- (mg dm ⁻³) -----			
3	10	4,5	0,5	1	1	27	5	0,11	0,6	2	12	0,06

Fonte: Laboratório de Pedologia – Unesp/FEIS (2011).

Tabela 18: Valores médios para densidade do solo degradado, antes do início do experimento (2011).

Propriedade do Solo	Média	SD	CV(%)	Mínimo	Máximo
Densidade (g cm ³)					
0,00 - 0,10 m	1,45	0,12	8	1,30	1,64
0,10 - 0,20 m	1,47	0,20	14	1,21	1,92

Fonte: Laboratório de Pedologia – Unesp/FEIS (2011).

**ANEXO B – Teores de nutrientes do resíduo orgânico (macrófitas aquáticas)
(MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1997)**

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- (g kg ⁻¹) -----					----- (mg kg ⁻¹) -----					
17,6	1,7	6,5	11,6	2,4	6,7	27	57	2000	194	34

Fonte: Laboratório de Pedologia – Unesp/FEIS (2011).

ANEXO C - Composição química do resíduo agroindustrial (cinza), determinada em termos de óxidos totais

Resultados Analíticos		
Parâmetro	Umidade	Resultado
pH (em água 1:10)	---	5,2
Umidade, a 60 - 65°C	% (m/m)	3,2
Sólidos Totais	% (m/m)	95,2
Sólidos Voláteis	% (m/m)	48,7
Carbono Orgânico	g de C/kg	570
Nitrogênio Kejldahl	g de N/kg	6,1
Nitrogênio Amoniacal	mg de N/kg	220
Nitrogênio Nitrato-Nitrito	mg de N/kg	421
Bário	mg de Ba/kg	25,7
Sódio	mg de Na/kg	18,0
Potássio	mg de K/kg	1617
Arsênio	mg de As/kg	<1,0
Selênio	mg de Se/kg	<1,0
Mercúrio	mg de Hg/kg	<1,0
Alumínio	mg de Al/kg	1710
Boro	mg de B/kg	<3,2
Cádmio	mg de Cd/kg	<0,4
Cálcio	g de Ca/kg	5,3
Chumbo	mg de Pb/kg	3,4
Cobre	mg de Cu/kg	21,1
Cromo	mg de Cr/kg	12,5
Enxofre	g de S/kg	0,24
Ferro	mg de Fe/kg	1540
Fósforo	g de P/kg	0,86
Magnésio	g de Mg/kg	1,1
Manganês	mg de Mn/kg	182
Molibdênio	mg de Mo/kg	<0,9
Níquel	mg de Ni/kg	<2,4
Zinco	mg de Zn/kg	12,4

Nota: Análise realizada no Instituto Agronômico de Campinas (IAC) seguindo metodologia de Abreu, Andrade e Falcão (2006).
 Fonte: Laboratório de Pedologia – Unesp/FEIS (2011).

ANEXO D – Elementos de interesse, disponíveis no resíduo agroindustrial (cinza) (RAIJ *et al.*, 2001)

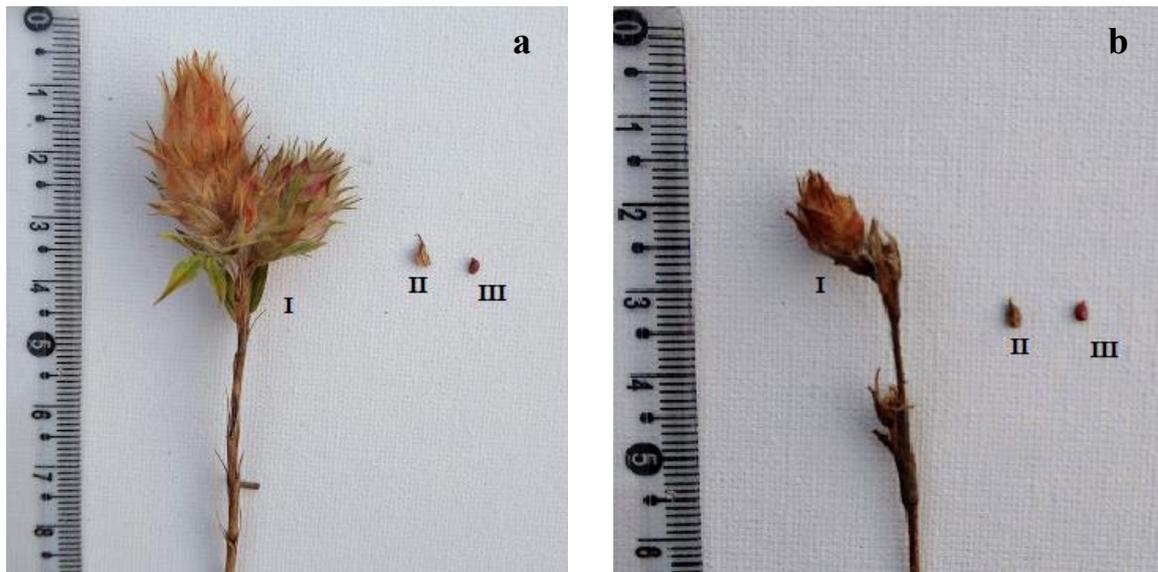
Resultados Analíticos		
Parâmetro	Umidade	Resultado
pH (CaCl ₂)	--	4,50
P	mg dm ⁻³	3,20
K	mmol _c dm ⁻³	0,48
Ca	mmol _c dm ⁻³	1,40
Mg	mmol _c dm ⁻³	1,20
Al	mmol _c dm ⁻³	5,40
MO	g dm ⁻³	9,60
B	mg dm ⁻³	0,11
Cu	mg dm ⁻³	0,62
Fe	mg dm ⁻³	2,20
Mn	mg dm ⁻³	12,22
Zn	mg dm ⁻³	0,06

Fonte: Laboratório de Pedologia – Unesp/FEIS (2011)

ANEXO E - Relatório Fotográfico

Este relatório ilustra alguns aspectos importantes observados referente a introdução das leguminosas na área experimental.

Figura 21 - O *Stylosanthes capitata* (a) e *S. macrocephala* (b) se estabeleceram na área experimental e produziram sementes. Estruturas morfológicas: inflorescência (I), lomento (II) e semente (III).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 22 - *Calopogonium caeruleum* em situação de campo (a) e detalhes das sementes dispostas na vagem (b).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 23 - A imagem mostra o comportamento ereto do estilósantes (a) e de liana do calopogônio (b), escalando sobre a vegetação em suas proximidades ou se prostrando diretamente sobre o solo.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 24 - Ramos do calopogônio (I) apresentaram enraizamentos secundários (II) a partir dos ramos que se aproximaram do solo.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 25 - Apesar do comportamento perene do estilosantes na área degradada, na estação seca a planta perde boa parte das folhas (a), a imagem mostra a planta com muitas inflorescências secas, mas na estação chuvosa ocorre a rebrota (b). Situação bastante similar à de outras plantas na área experimental, inclusive dos estilosantes nativos.



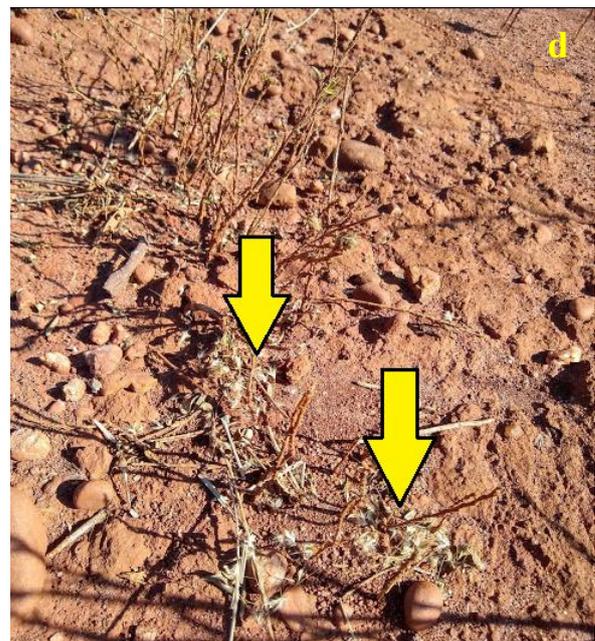
Fonte: Elaboração própria.

Figura 26 - Na Área degradada (a), observa-se a existência de pequenos aglomerados de gramíneas e herbáceas com função nucleadora e acúmulo de serapilheira, as leguminosas inseridas ajudaram no adensamento destes núcleos, pode-se observar a presença do estilosantes (b) e um indivíduo regenerante da espécie arbórea *Curatella americana* em um destes núcleos.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 27 - Presença do estilosantes em locais onde praticamente não havia nenhuma cobertura vegetal (a), as leguminosas auxiliaram na formação da serapilheira (b), além de folhas secas (c), as leguminosas também retêm (c) sementes de outras plantas, como de gramíneas nativas (d) pontos claros indicados pelas setas, auxiliando na regeneração.



Fonte: Elaboração própria.