

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 31/12/2024.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

THAÍS SOTO BONI

**RECUPERAÇÃO DE ÁREAS SEVERAMENTE DEGRADADAS NO
CERRADO: atributos do solo e respostas das plantas**

Ilha Solteira
2021

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

THAÍS SOTO BONI

**RECUPERAÇÃO DE ÁREAS SEVERAMENTE DEGRADADAS NO
CERRADO: atributos do solo e respostas das plantas**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção – Manejo e Conservação do Solo e da Água.

Kátia Luciene Maltoni
Orientadora

Ana Maria Rodrigues Cassiolato
Coorientadora

Engil Isadora Pujol Pereira
Coorientadora

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B715r Boni, Thaís Soto.
Recuperação de áreas severamente degradadas no cerrado: atributos do solo e respostas das plantas / Thaís Soto Boni. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
133 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientador: Kátia Luciene Maltoni
Coorientadora: Ana Maria Rodrigues Cassiolato; Engil Isadora Pujol Pereira
Inclui bibliografia

1. Recuperação de áreas degradadas. 2. Cerrado. 3. Resíduos orgânicos.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS SEVERAMENTE DEGRADADAS NO CERRADO: atributos do solo e respostas das plantas.


AUTORA: THAÍS SOTO BONI

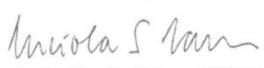
ORIENTADORA: KÁTIA LUCIENE MALTONI


COORDINADORA: ENGIL ISADORA PUJOL PEREIRA

COORDINADORA: ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO


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

Prof.ª Dr.ª KÁTIA LUCIENE MALTONI (Participação Virtual) 
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profa. Dra. LUCÍOLA SANTOS LANNES (Participação Virtual) 
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Virtual) 
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. CLÁUDIO ROBERTO FONSÊCA SOUSA SOARES (Participação Virtual) 
Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia / Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. EPITÁCIO JOSÉ DE SOUZA (Participação Virtual) 
Departamento de Agronomia / UniBRAS

Ilha Solteira, 30 de novembro de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico minha tese a todos aqueles que estão passando pela pós-graduação. Mesmo que seja um sonho, é um grande desafio. Seja qual for sua dificuldade, você não está sozinho(a), saiba pedir ajuda!

AGRADECIMENTOS

“Não existe um homem feito por si mesmo, nós somos feitos por milhares de outros”.
E assim foi construída minha jornada no doutorado. Foram mais de 4 anos de experiências, aprendizados e muita ajuda. Agradeço a cada um que passou pelo meu caminho ao longo desses anos. Minha gratidão...

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida (Processo número: 88882.433606/2019-01) e pela possibilidade de realização do tão sonhado doutorado sanduíche (Processo número: 88887.468068/2019-00).

À *The University of Texas Rio Grande Valley* pela estrutura e oportunidade.

À minha orientadora, Profa. Dra. Kátia Luciene Maltoni, pelo direcionamento, apoio, amizade e acolhimento desde o início da graduação.

À Dra. Engil Isadora Pujol Pereira, pelo apoio e essencial ajuda na realização de um sonho.

À Profa. Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato, pelo auxílio nas análises microbiológicas.

À Profa. Dra. Lucíola Santos Lannes, pela paciência e essencial apoio na modelagem das equações estruturais.

Ao Prof. Dr. Enes Furlani pelo empréstimo do equipamento IRGA e à Dra. Amanda Paixão pelo auxílio e acompanhamento no uso do mesmo.

À Profa. Dra. Aline Martins Redondo e à Mestre Marilaine Cristina Marques Leite pela ajuda nas avaliações morfológicas foliares.

Aos técnicos José Antonio Agustini e Diego Gonçalves Feitosa, pela incondicional ajuda e amizade.

A todos os colegas do laboratório de Pedologia, em especial à Karla Nascimento Sena, pelas conversas, sessões de desabafos e acima de tudo, pelo apoio mútuo.

A toda a minha família, pelo apoio, incentivo e compreensão que foram fundamentais para mais essa conquista.

Ao meu namorado, José Daniel Soler Garves, meu ponto de apoio em meio ao caos.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite. Agradeço pelo tempo dispendido à leitura do trabalho e pelas contribuições. É uma honra tê-los como avaliadores do meu trabalho.

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

“You only learn from an experience. So as much as people can tell you things, you have to go out there and make your own mistakes in order to learn.”

– Emma Watson

“But man is a part of nature, and his war against nature is inevitably a war against himself.”

– Rachel Carson

“Nothing in life is to be feared, it is only to be understood. Now is the time to understand more, so that we may fear less.”

– Marie Curie

RESUMO

Diversas são as técnicas utilizadas para recuperação de solos degradados, e quando se trata de áreas onde ocorreu remoção total da vegetação e das camadas superficiais de solo, é necessário utilizar técnicas que contribuam para melhorar as condições edáficas, incorporando matéria orgânica e nutrientes, para que a vegetação e os microrganismos se restabeleçam. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a recuperação de áreas intensamente degradadas, no bioma Cerrado, por meio de indicadores da vegetação como morfofisiologia, *status* nutricional e levantamento da vegetação estabelecida, em associação com atributos do solo como a fertilidade e atividade microbiológica. O monitoramento do processo de recuperação foi realizado em dois experimentos. Em um deles, foi avaliada a capacidade de aclimação de duas espécies nativas de Cerrado (*Dipteryx alata* Vogel e *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex. Hayne) em 4 tratamentos distintos, uma área de Cerrado preservada (CER) e 3 tratamentos presentes em duas áreas em recuperação há 7 e 15 anos, onde essas espécies foram introduzidas por meio do plantio de mudas. Diferenças fisiológicas (fotossíntese e transpiração) foram verificadas entre os indivíduos do CER e das áreas em recuperação. O estudo da morfologia das folhas mostrou redução da densidade estomática e da espessura foliar nos espécimes nas áreas degradadas em relação à área nativa. Os indivíduos do CER apresentam melhor *status* nutricional, tendo em vista o comprometimento edáfico das áreas degradadas, mesmo após a realização de intervenções para recuperação. O outro experimento foi estabelecido em campo, em Novembro/2017, utilizando composto orgânico, resíduo ovino, semeadura direta, *Stylosanthes* spp. e transposição de galharia. Essa área foi avaliada ao longo dos anos para verificar o desempenho das técnicas utilizadas. A incorporação de matéria orgânica foi fundamental para melhorar a condição edáfica da área, tanto química quanto microbiologicamente, o que favoreceu o estabelecimento da vegetação, que foi facilitado pelo mix de sementes nativas introduzidas via semeadura direta, e por espécies de ocorrência espontânea, que em conjunto com a galharia adicionada, reduziram a temperatura e aumentaram a retenção de umidade no solo. A atividade e presença dos microrganismos, atividade das enzimas β -glucosidase, fosfatase ácida, atividade enzimática total e o número de unidades formadoras de colônias de bactérias e fungos, também foram positivamente influenciadas pelo conjunto de ações realizadas, contudo, não foram verificadas diferenças entre a diversidade de bactérias nos tratamentos avaliados. As técnicas e avaliações realizadas no presente estudo são indicadas como ferramentas para recuperar áreas intensamente impactadas e para avaliar os

impactos da degradação e das mudanças climáticas globais e, também, são indicadoras do *status* da recuperação de ambientes degradados.

Palavras-chave: Subsolo exposto. Resíduos. Semeadura direta. Ecofisiologia. Atividade enzimática. Diversidade bacteriana.

ABSTRACT

There are several techniques used to recover degraded soils, and when it comes to areas where there has been total removal of vegetation and surface layers of soil, it is necessary to use techniques that contribute to improving the edaphic conditions, incorporating organic matter and nutrients, so that vegetation and microorganisms can re-establish. The general objective of this work was to evaluate the recovery of intensively degraded areas, in the Cerrado biome, through vegetation indicators such as morphophysiology, nutritional status and survey of established vegetation, in association with soil attributes thus fertility and microbiological activity. The monitoring of the recovery process was carried out in two experiments. In one of them, we evaluated the acclimatization capacity of two native Cerrado species (*Dipteryx alata* Vogel and *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex. Hayne) in 4 different treatments, a preserved Cerrado area (CER) and 3 treatments present in two areas in recovery for 7 and 15 years, where these species were introduced by planting seedlings. Physiological differences (photosynthesis and transpiration) were verified between individuals from the CER and from the recovering areas. The study of leaf morphology showed a reduction in stomatal density and leaf thickness in specimens in degraded areas compared to the native area. Individuals from the CER have better nutritional status considering the edaphic impairment of degraded areas, even after carrying out interventions for recovery. The other experiment was established in the field in November/2017, using organic compost, sheep residues, direct seeding, *Stylosanthes* spp. and brushwood transposition. This area has been evaluated over the years to verify the performance of the techniques used. The incorporation of organic matter was fundamental to improve the edaphic condition of the area, both chemically and microbiologically, which favored the establishment of vegetation, which was facilitated by the mix of native seeds introduced via direct seeding, and by spontaneously occurrence species, which in together with the added brushwood, they reduced the temperature and increased the soil moisture retention. The activity and presence of microorganisms, activity of β -glucosidase and acid phosphatase enzymes, total enzymatic activity and number of bacterial and fungal colony forming units were also positively influenced by the set of actions performed, however, there were no differences between the diversity of bacteria in the evaluated treatments. The techniques and assessments carried out in this study are indicated as tools to recover heavily impacted areas and to assess the impacts of degradation and global climate change, and are also indicators of the status of recovery of degraded environments.

Keywords: Exposed subsoil. Residues. Direct seeding. Ecophysiology. Enzymatic activity. Bacterial diversity.

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	14
1.1	INTRODUÇÃO.....	14
	REFERÊNCIAS	18
2	ECOMORFOFISIOLOGIA DE DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS DO CERRADO EM DIFERENTES NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO DO SOLO	19
2.1	INTRODUÇÃO.....	20
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.2.1	Caracterização das áreas de estudo	22
2.2.1	Seleção das espécies avaliadas	25
2.2.2	Coleta de dados	25
2.2.2.1	<i>Análise química do solo</i>	25
2.2.2.2	<i>Trocas gasosas</i>	26
2.2.2.3	<i>Pigmentos fotossintetizantes.....</i>	26
2.2.2.4	<i>Fenóis totais</i>	27
2.2.2.5	<i>Anatomia foliar.....</i>	27
2.2.2.6	<i>Área foliar específica (AFE)</i>	28
2.2.2.7	<i>Status nutricional foliar.....</i>	28
2.2.3	Análise de dados.....	28
2.3	RESULTADOS	29
2.4	DISCUSSÃO.....	44
2.5	CONCLUSÕES.....	48
	REFERÊNCIAS	49
3	RESÍDUOS ORGÂNICOS, SEMEADURA DIRETA E TRANSPOSIÇÃO DE GALHARIA: EFEITOS NA QUÍMICA E MICROBIOLOGIA DE SOLO SEVERAMENTE DEGRADADO	55
3.1	INTRODUÇÃO.....	55

3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	57
3.2.1	Caracterização da área e design experimental	57
3.2.2	Coleta e Análises.....	60
3.2.2.1	<i>Fertilidade do solo</i>	60
3.2.2.2	<i>Respiração basal do solo (RBS).....</i>	61
3.2.2.3	<i>Carbono da biomassa microbiana (CBM)</i>	61
3.2.2.4	<i>Quocientes metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMic$).....</i>	61
3.2.2.5	<i>Atividade enzimática</i>	62
3.2.2.6	<i>Contagem de unidades formadoras de colônias (UFC) – bactérias e fungos</i>	62
3.2.2.7	<i>Análise de dados.....</i>	63
3.3	RESULTADOS	64
3.4	DISCUSSÃO.....	73
3.5	CONCLUSÕES.....	76
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICE A – Composição do mix de sementes nativas	82
	APÊNDICE B – Imagens da área experimental.....	83
4	USO DE RESÍDUOS PARA RECUPERAÇÃO DO SOLO, RESTABELECIMENTO DA VEGETAÇÃO E RECOBRIMENTO DA SUPERFÍCIE EM ÁREAS DEGRADADAS.....	84
4.1	INTRODUÇÃO.....	84
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	86
4.2.1	Histórico e caracterização da área experimental	86
4.2.2	Análises e Determinações.....	90
4.2.2.1	<i>Identificação das espécies vegetais que se estabeleceram no local.....</i>	90
4.2.2.2	<i>Recobrimento do solo por vegetação (REC).....</i>	91
4.2.2.3	<i>Temperatura e umidade do solo</i>	91
4.2.2.4	<i>Análise de dados.....</i>	91

4.3	RESULTADOS	92
4.4	DISCUSSÃO	98
4.5	CONCLUSÕES	101
	REFERÊNCIAS	102
	APÊNDICE C – Espécies estabelecidas na área experimental	108
	APÊNDICE D – Imagens da área experimental.....	111
5	DIVERSIDADE DE BACTÉRIAS EM SOLO SEVERAMENTE DEGRADADO EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO NO CERRADO	112
5.1	INTRODUÇÃO.....	112
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	114
5.2.1	Área de estudo e coleta de solo	114
5.2.2	Análises e determinações	115
5.2.2.1	<i>Extração de DNA do solo</i>	116
5.2.2.2	<i>Perfil da microbiota</i>	116
5.2.2.3	<i>Análise de bioinformática</i>	117
5.2.2.4	<i>Análise estatística.....</i>	117
5.3	RESULTADOS	118
5.4	DISCUSSÃO	124
5.5	CONCLUSÕES	128
	REFERÊNCIAS	129
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	133

1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO

Atenuar a degradação e recuperar áreas degradadas são ações globais e prioritárias para manutenção do funcionamento e produtividade dos ecossistemas, e são de grande importância no bioma Cerrado, onde estima-se que mais de 50% das áreas nativas já foram convertidas para uso agropecuário. A recuperação destas áreas depende, muitas vezes, da recuperação do solo, que devido a ações antrópicas estão constantemente sofrendo degradação. O solo é base de muitos dos serviços ecossistêmicos, atuando como meio para o estabelecimento e crescimento da vegetação, abrigo de macro e microrganismos e é, conseqüentemente, a base da biodiversidade. O solo atua também nos ciclos biogeoquímicos e ciclo d'água, garantindo sua qualidade, é um dos principais reservatórios naturais de carbono, serve como alicerce em obras de infraestrutura, garantindo estabilidade às áreas urbanas, entre outros.

Em áreas onde ocorreu supressão total da vegetação e remoção das camadas superficiais do solo, assemelhando-se a áreas mineradas a céu aberto, é necessário intervir para que a recuperação do ambiente aconteça, uma vez que essas áreas apresentam profundas modificações na paisagem, topografia, compactação do solo, redução na infiltração de água, acentuação dos processos erosivos, baixa ou nula regeneração natural da vegetação e diversos outros impactos.

Nestas áreas ocorre a perda do banco de sementes e a destruição das estruturas subterrâneas, que no Cerrado tem grande importância, uma vez que muitas das espécies vegetais se propagam por rebrota, por meio dessas estruturas especializadas. Este cenário sugere que a recuperação destas áreas será lenta, podendo necessitar de intervenções contínuas ao longo de muitos anos para alcançar êxito na recuperação.

Como em muitas outras localidades espalhadas pelo Brasil, na divisa entre São Paulo e Mato Grosso do Sul ocorreu na década de 60 a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (UHE/ILHA), gerando extensas áreas degradadas (aproximadamente 8.000.000,00 m²). Nessas áreas de empréstimo de materiais (solo e rochas), ocorreu a remoção da vegetação natural (Cerrado) e de camadas de solo e subsolo, de cerca de 10 m em profundidade, para utilização no enrocamento da barragem e demais obras, durante o estabelecimento da UHE/ILHA.

Para recuperação de áreas de extração de material, como as áreas de empréstimo descritas, é necessário, ao menos, avaliar se há impedimento na infiltração de água e a condição

da fertilidade, para que sua correção permita a reintrodução da vegetação e o processo de recuperação tenha início. Diversas técnicas têm sido apresentadas como alternativas à recuperação/restauração de áreas degradadas, como a utilização de fertilizantes minerais, orgânicos, resíduos ambientais ricos em matéria orgânica e nutrientes, dando neste caso um destino melhor a esses resíduos, podendo citar como exemplos macrófitas aquáticas, cinza do bagaço da cana de açúcar, esterco de animais, entre outros. Estes podem ser adicionados ao solo como condicionantes, uma vez que contêm matéria orgânica, macro e micronutrientes, com potencial para melhorar a fertilidade do solo, e estimular a atividade dos organismos presentes no sistema.

A semeadura direta vem ganhando destaque na restauração do Cerrado e entre seus principais pontos positivos estão o baixo custo, quando comparado às técnicas usuais como o plantio de mudas nativas, além de apresentar a possibilidade de introdução de grande número de espécies de diferentes hábitos de vida, visto que o Cerrado é um bioma muito diverso e suas fitofisionomias apresentam vegetação característica. A semeadura direta favorece a adição de sementes de árvores, arbustos, subarbustos, herbáceas e gramíneas que compõem importante papel nesse cenário, comparativamente, o plantio de mudas é direcionado ao plantio de arbóreas. Seja por meio da semeadura ou plantio de mudas, o uso de espécies nativas é indispensável, pois estão adaptadas às condições de clima da região, e tem mais chance de sobreviver em condições abióticas adversas, como solos com reduzidos teores de matéria orgânica e nutrientes, baixa disponibilidade de água, ausência de propágulos e redução na diversidade de microrganismos.

A transposição de galharias é outra técnica que contribui para a restauração ecológica e vem sendo utilizada na recuperação de ambientes degradados. Esta técnica é recomendada para locais sem cobertura vegetal. Materiais como resíduo de podas de árvores e galhos secos encontrados em remanescentes de Cerrado podem ser utilizados como núcleos de biodiversidade, auxiliando na incorporação de matéria orgânica ao solo, mas principalmente melhorando o microclima do solo, reduzindo a temperatura do solo, favorecendo a retenção de umidade, a germinação e o restabelecimento da vegetação e dos microrganismos, além de fornecer abrigo para muitos animais como insetos, roedores e pássaros.

Outro aspecto importante na recuperação de áreas com remoção das camadas superficiais, e que muitas vezes é negligenciado, é a mecanização do solo ou do substrato exposto para rompimento da compactação e do selamento superficial. A mecanização auxilia

na infiltração de água, aeração do solo e conseqüentemente melhora, fisicamente, o substrato que irá receber as raízes das plantas e os microrganismos.

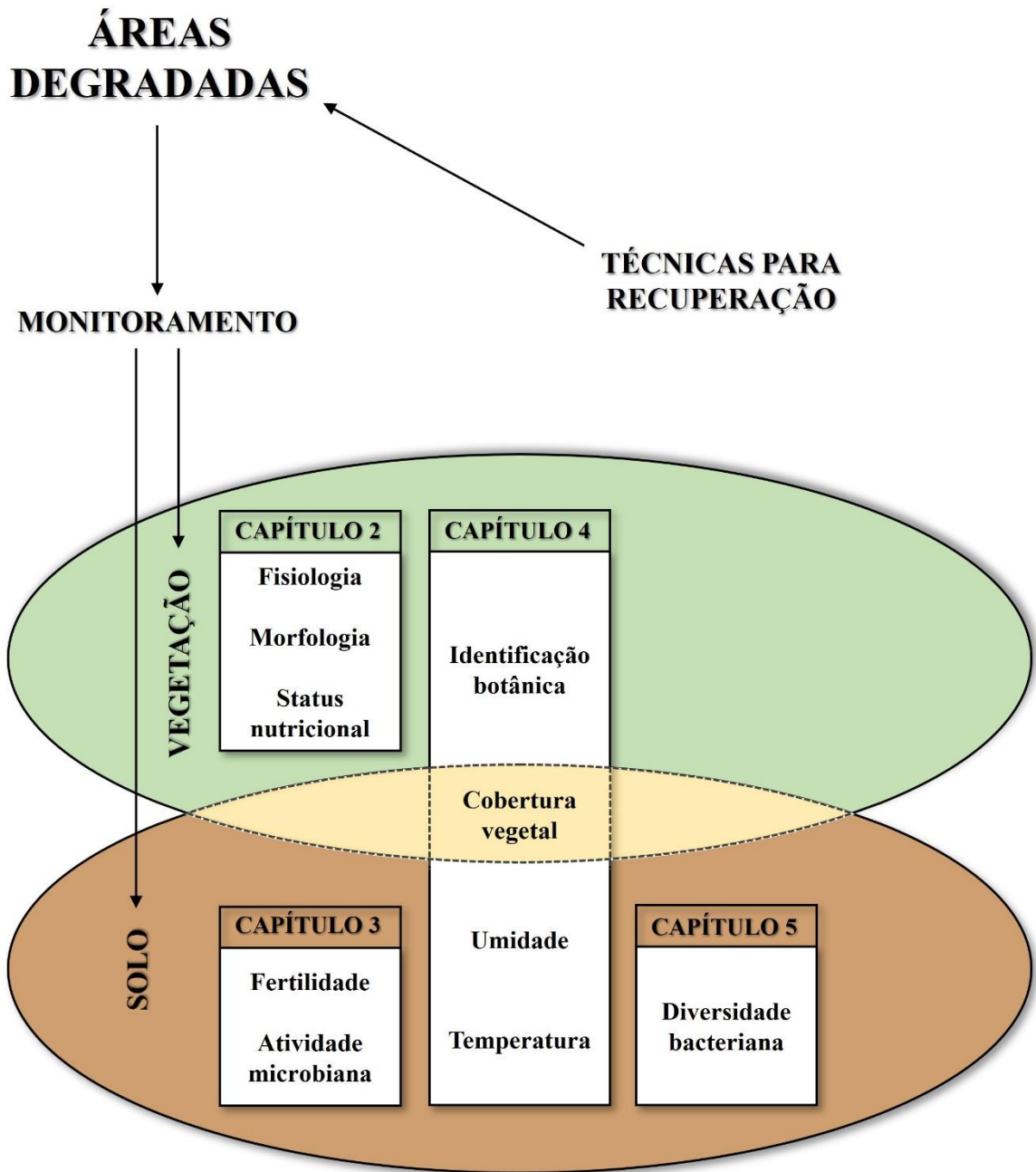
O conjunto das técnicas abordadas, como a mecanização, a introdução de condicionantes (resíduos), a reintrodução da vegetação por meio de espécies nativas, e a transposição de galharias, foram as práticas adotadas para recuperação das áreas degradadas avaliadas no presente trabalho. Após a adoção destas técnicas, faz-se necessário monitorar o desempenho e o andamento do processo de recuperação, para isto, foram realizadas análises multicritério, avaliando as mudanças ocorridas no solo e também o desenvolvimento da vegetação. Avaliações fisiológicas e morfológicas foliares foram realizadas, a identificação da flora estabelecida, tanto as espécies introduzidas quanto as de ocorrência espontânea, além de análises químicas, microbiológicas e moleculares do solo.

A hipótese geral do presente estudo é que a introdução de resíduos e material orgânico ao subsolo severamente degradado promova efeitos benéficos aos atributos químicos e biológicos.

Assim, o objetivo geral dessa tese foi avaliar o desempenho de técnicas de restauração voltadas à recuperação de áreas intensamente degradadas, utilizando indicadores da vegetação e do solo, a fim de indicar técnicas e manejos mais sustentáveis para recuperação de áreas degradadas semelhantes à área experimental.

Esta tese se encontra subdividida em capítulos semi-independentes que avaliam as diversas possibilidades de restauração de áreas degradadas, dando ênfase ao uso de técnicas de baixo custo, como o uso de resíduos ambientais. No segundo capítulo, é apresentada uma avaliação do desenvolvimento de duas espécies nativas de Cerrado – *Dipteryx alata* Vogel e *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex. Hayne – comparando espécies encontradas em áreas conservadas e em áreas degradadas em processo de recuperação. Indivíduos dessas duas espécies foram avaliados quanto a aspectos fisiológicos, morfológicos e nutricionais. No terceiro, quarto e quinto capítulos, são verificadas as influências do uso de resíduos orgânicos, semeadura direta e transposição de galharia sobre variáveis químicas e biológicas. O processo de recuperação do solo foi avaliado por meio de indicadores químicos, microbiológicos, temperatura, umidade e recobrimento do solo, bem como identificação das espécies vegetais estabelecidas na área experimental. Na Figura 1 é possível observar as diferenças e particularidades dos temas que serão apresentados nos próximos capítulos.

Figura 1 – Visão geral do conteúdo dos quatro capítulos e suas relações.



Fonte: Elaboração da própria autora.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi desenvolvido no Cerrado, na região leste do Mato Grosso do Sul e teve como eixo central a recuperação de áreas que sofreram com a supressão da vegetação e dos horizontes A e B do solo. Devido à agressividade da ação antrópica, a regeneração natural não ocorreu, mesmo após 50 anos, deixando o material exposto à superfície sem defesa em relação a processos erosivos, radiação solar, impacto direto das chuvas, sendo necessárias intervenções para estimular o processo de restabelecimento da vegetação.

Múltiplos aspectos foram aqui considerados para recuperação dessas áreas, que ocorrem, comumente, associadas à mineração, no entorno de usinas hidrelétricas, em obras de infraestrutura em geral, onde muitas vezes são utilizadas para extração de solo e rochas.

Recuperar este tipo de área é um desafio, pois é necessário melhorar as condições edáficas, para que o restabelecimento da vegetação ocorra. Assim, o rompimento do selamento superficial, para facilitar a entrada de água e sementes, e a introdução de matéria orgânica, por meio da incorporação de resíduos orgânicos, promoveram modificações e melhorias na qualidade química do solo, possibilitando melhores condições para recebimento das sementes que foram introduzidas por meio de um mix de sementes de 35 espécies nativas do Cerrado, mais as sementes de *Stylosanthes* spp.

A galharia colocada à superfície melhorou o microclima do solo (reduziu a temperatura e aumentou a umidade do solo), facilitando a germinação das sementes e estabelecimento da vegetação e dos microrganismos, em um processo cíclico, mas tem seu início com a melhora da qualidade do solo.

Quanto à fertilidade do solo destacam-se com aumento carbono orgânico e pH, redução no alumínio disponível e acidez potencial, o que conseqüentemente promove o aumento na disponibilidade de nutrientes. As atividades microbiana e enzimática foram positivamente influenciadas pelas intervenções. A diversidade bacteriana não respondeu aos tratamentos estabelecidos, no entanto, a caracterização da comunidade microbiana do solo degradado em recuperação é importante para fortalecer e potencializar novos conhecimentos e estudos.

As avaliações realizadas podem ser utilizadas como indicadores do processo de recuperação, tanto a fertilidade quanto as atividades microbianas e enzimáticas, bem como as avaliações da vegetação, por meio de estudos ecomorfofisiológicos e *status* nutricional, tanto de espécies já estabelecidas como de espécies introduzidas, assim como a identificação das espécies de plantas que estão se estabelecendo a partir das sementes introduzidas quanto das

espécies espontâneas, sejam vindas de remanescentes próximos ou pela visita da fauna na área. O estudo da ecomorfofisiologia e do *status* nutricional das plantas, que estão se estabelecendo em áreas em recuperação representam ferramentas úteis para avaliação dos impactos das elevadas temperaturas e das mudanças climáticas que estão ocorrendo.

É importante ressaltar que o restabelecimento da vegetação ocorre com a mecanização do solo seguida da introdução dos resíduos orgânicos, no entanto, é intensificado nos tratamentos onde há associação de resíduo ovino e da galharia, destacando a importância e os efeitos benéficos da introdução da mesma. Os resultados obtidos corroboram com outros estudos e clarificam a necessidade da utilização de técnicas de restauração ativas para a recuperação de áreas tão impactadas, pois sem intervenções não há mudanças, como foi observado nas áreas controle.

O processo de recuperação dessas áreas é lento e se dá a longo prazo, assim novas intervenções podem ser realizadas para intensificar e acelerar o processo. O monitoramento ao longo do tempo também é indicado, dessa maneira as mudanças na estrutura do ecossistema em recuperação podem ser verificadas e novas informações geradas. Por fim, o conjunto das técnicas adotadas se mostrou promissor, pois está melhorando as condições edáficas e permitindo o desenvolvimento da vegetação e da atividade microbiológica.