



FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA - FACET

Jessica Ferreira da Silva

**ÍNDICES DE REFERÊNCIA PARA MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO
DE FLORESTAS ESTACIONAIS SEMIDECÍDUAS**

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

DOURADOS

MATO GROSSO DO SUL

2023

Jessica Ferreira da Silva

**ÍNDICES DE REFERÊNCIA PARA MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO
DE FLORESTAS ESTACIONAIS SEMIDECÍDUAS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Exatas e Tecnologia, Universidade Federal da
Grande Dourados, para obtenção do título de
Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental,
Linha de pesquisa: Ciência Ambiental.
Orientadora: Profª Drª Zefa Valdivina Pereira

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S586i Silva, Jessica Ferreira Da
ÍNDICES DE REFERÊNCIA PARA MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO DE
FLORESTAS ESTACIONAIS SEMIDECÍDUAS [recurso eletrônico] / Jessica Ferreira Da Silva. --
2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Zefa Valdivina Pereira.
Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental)-Universidade Federal da Grande
Dourados, 2023.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. INDICADORES ECOLÓGICOS. 2. ECOSISTEMA DE REFERÊNCIA. 3. VALORES
REFERENCIAIS. 4. MONITORAMENTO AMBIENTAL. I. Pereira, Zefa Valdivina. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

Jessica Ferreira da Silva

**ÍNDICES DE REFERÊNCIA PARA MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO
DE FLORESTAS ESTACIONAIS SEMIDECÍDUAS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Exatas e Tecnologia, Universidade Federal da
Grande Dourados, para obtenção do título de
Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental,
Linha de pesquisa: Ciência Ambiental.
Orientadora: Prof^a Dr^a Zefa Valdivina Pereira

APROVADA (X)

REPROVADA ()

Prof^a. Dr^a. Zefa Valdivina Pereira
(Orientadora)
(UFGD)

Prof^o.

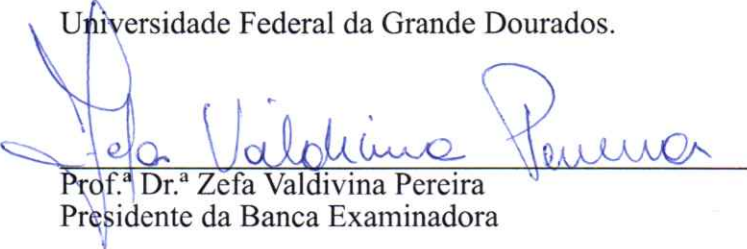
Prof^o.

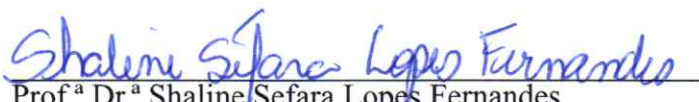
Prof^o.

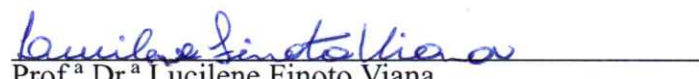
Prof^o.

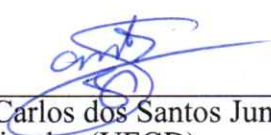
Termo de Aprovação

Após apresentação, arguição e apreciação pela banca examinadora, foi emitido o parecer Aprovado, para a tese intitulada: "**Índices de Referência para Monitoramento da Restauração de Florestas Estacionais Semidecíduas**", de autoria de **JESSICA FERREIRA DA SILVA**, apresentada ao Programa de Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Grande Dourados.


Prof.ª Dr.ª Zefa Valdivina Pereira
Presidente da Banca Examinadora


Prof.ª Dr.ª Shaline Sefara Lopes Fernandes
Membro Examinador


Prof.ª Dr.ª Lucilene Finoto Viana
Membro Examinador (UEMS)


Prof. Dr. Luiz Carlos dos Santos Junior
Membro Examinador (UFGD)


Prof.ª Dr.ª Caroline Quinhones Froes
Membro Examinador (UFGD)

Dourados/MS, 28 de fevereiro de 2023.

Dedico

“A minha mãe, Marcilene, pois nos momentos mais difíceis nunca deixou de dar apoio. Em todos os sentidos, seu amor fez toda diferença, e sua fé em mim e em Deus me fez chegar até aqui.”

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me permitido concluir essa etapa profissional, em que muitos momentos acreditei não ter forças para continuar, mas com sua mão me ajudou a levantar e seguir em frente, graças à Ele cheguei até aqui;

À minha orientadora, por ser além de profissional de excelência, um ser humano empático e amigo, que no desespero deu seu colo e compreensão e me guiou até a finalização deste projeto;

Aos meus pais amados, Aparecido e Marcilene, que desde os primeiros passos na escola, me incentivaram e apoiaram a evoluir e a compreender que o estudo é a única coisa que não se tira de ninguém, e com todo amor, fé e ajuda me permitiram chegar ao tão sonhado doutorado, vocês sempre foram meu porto seguro. Eu amo vocês;

Ao meu marido, Dhiego, que mesmo nos dias das maiores crises de ansiedade, esteve ao meu lado, mesmo que em casos sem saber como ajudar, que aguentou nas noites em claro e foi o parceiro silencioso que me sustentou. Você foi uma das minhas bases, gratidão por tudo;

Às minhas irmãs, Marcilei e Simone, por sempre torcerem para o meu sucesso e sempre me apresentarem em suas orações, o cuidado de vocês comigo nunca será esquecido;

A minha grande amiga Mikaelly por me acompanhar desde o mestrado, e estar presente em minha vida desde então, por ouvir meus longos áudios de desabafo e desespero, das ausências pelas crises de ansiedade, pelas palavras amigas e de encorajamento, das risadas e tereres para animar. Para sempre minha pessoa, muito obrigada por tudo;

As minhas amigas, Thais e Rayane, muito obrigada pela amizade, pelas palavras de apoio e por tudo, vocês são irmãs e sei que torceram até o último segundo para tudo acabar bem;

Ao grupo LABRA por sempre estar disponível em ajudar, e por de fato ajudar com suas palavras de incentivos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental pela oportunidade e à CAPES pela concessão da bolsa de Doutorado;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação por auxiliarem minha formação;

Aos membros da banca que aceitaram participar e colaborar na leitura, correção e sugestões para este trabalho.

À todas as pessoas que de certa forma são presentes em minha vida e são amigas, e que torceram para o meu sucesso e para esse momento de finalização de doutorado, minha gratidão.

Por isso não tema, pois estou com você; não tenha medo, pois sou o seu Deus. Eu o fortalecerei e o ajudarei; eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa.

Isaías 41:10

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

- Figura 1. Na imagem da esquerda a visão lateral da área restaurada de Ivinhema-MS. Na imagem da direita a visão do interior da área restaurada, Ivinhema, MS, Brasil, 2016. 15
- Figura 2 . Na esquerda a visão lateral da área restaurada. Na direita a visão do interior da área restaurada, Jateí, MS, Brasil, 2016. 15
- Figura 3. Na esquerda a visão frontal da área restaurada. Na direita a visão do interior da área restaurada, Caarapó, MS, Brasil, 2016. 16
- Figura 4. Dados sobre a extensão (ha) de áreas restauradas por bioma no Brasil.....19

CAPÍTULO 1

- Figura 1. Infográfico apresentando os resultados das análises de dados, com o número de artigos selecionados e/ou excluídos em cada etapa..... 40
- Figura 2. Representação gráfica do número de áreas analisadas que apresentaram informações sobre os indicadores ecológicos selecionados. 42
- Figura 3. Representação gráfica do valor de referência (%) encontrado para cada grupo sucessional – pioneira (PI), Secundária Inicial (SI) e Secundária Tardia (ST)- nas florestas estacionais semidecídua em estágio avançado de sucessão. O intervalo de confiança está representado por meio da linha presente nas barras.. 44
- Figura 4. Representação gráfica dos valores de referência (%) encontrados para as síndromes de dispersão nas florestas estacionais semidecíduas – zoocoria (zoo), anemocoria (anemo) e autocoria (auto) - em estágio avançado de sucessão. O intervalo de confiança está representado por meio da linha presente nas barras..... 44

CAPÍTULO 2

- Figura 1. Localização dos projetos de restauração nos municípios de Jateí (amarelo), Caarapó (Azul) e Ivinhema (Laranja), Mato Grosso do Sul..... 57
- Figura 2. Valores atribuídos (pesos de 1 a 3) pela metodologia MESMIS para os indicadores ecológicos nas três áreas avaliadas, Jateí (verde), Ivinhema (rosa) e Caarapó (azul). H'= Diversidade espécies arbóreas. S=Riqueza de espécies nativas. De=Densidade de indivíduos (ind. ha⁻¹). J'=Equitabilidade. Es=Diversidade de Estados Sucessionais. Fe=Diversidade de funções ecológicas. h=aAltura dos indivíduos arbóreos. E=Epífitas. CL=Cipós e Lianas. Ex=Presença de espécies exóticas. F=Fabaceae. SD=Síndrome de dispersão. Hb=Herbáceas. Sp=Produção serapilheira (Kg.ha⁻¹). Ds=Chuva de sementes (s.m⁻²)... 63
- Figura 3. Valor de referência final (linha horizontal laranja) para cada indicador ecológico de monitoramento. As linhas finas verticais pretas representam o intervalo de confiança em torno da média. V.R.= valor de referência..... 67

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Indicadores propostos para florestas estacionais semidecíduas.....	37
Tabela 2. Valores de referência encontrados para os indicadores ecológicos na avaliação para áreas restauradas com a fitofisionomia Floresta Estacional Semidecídua.....	42

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Atributos, descritores, indicadores, cenários referenciais e parâmetros na avaliação para áreas restauradas no Mato Grosso do Sul (adaptada de PIÑA-RODRIGUES et al. 2015 com valores de referência e intervalos de confiança de SILVA, 2023 – Capítulo 1).....	39
Tabela 2. Resultados dos indicadores aplicados para avaliação nas três áreas estudadas..	60
Tabela 3. Valores da quantidade de espécies da família Fabaceae (%) e quantidade de indivíduos zoocóricos, anemocóricos e autocóricos. Fonte: Costa, 2017....	62

RESUMO GERAL

Silva, Jessica Ferreira da. **Índices de Referência para Monitoramento da Restauração de Florestas Estacionais Semidecíduas**. 2023. 77p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2023.

Um dos principais objetivos da restauração ambiental é resgatar a autossustentabilidade do ecossistema fragilizado e para determinar se o ecossistema se encaminha para esse objetivo é que faz necessário um eficiente monitoramento ambiental. O ato de ser necessário repensar a restauração a todo instante, torna o monitoramento uma etapa crucial no processo de restauração ecológica, e consequentemente torna também a escolha dos indicadores ecológicos. Além de ser essencial a escolha, é importante determinar os valores de referência para a avaliação das áreas restauradas, e garantir se o ambiente a ser restaurado está realmente recuperando suas funcionalidades ecológicas e sustentabilidade. Neste sentido, o trabalho teve como objetivo propor índices de referência para a fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecídua, para todo o Brasil, como uma proposta de ferramenta de auxílio no processo de monitoramento ambiental das áreas em processo de restauração ambiental, e aplicar tais valores formulados na avaliação de três áreas de restauração ecológica, respectivamente nos municípios de Ivinhema, Jateí e Caarapó, MS. Foram estudados 18 indicadores ecológicos em 307 ecossistemas de referência de Floresta Estacional Semidecídua em 15 estados brasileiros. Para análise dos dados de indicadores ecológicos numéricos foi utilizada a estatística descritiva (média e intervalo de confiança) e para os indicadores nominais foram avaliados por meio da comparação da proporção de ausentes e presentes para criar os valores de referência e comparação. Foram definidos os valores de referência e comparação para vários indicadores ecológicos. Para a avaliação das áreas, utilizou-se de indicadores baseado no método MESMIS – Marco de Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais Incorporando Indicadores, sendo avaliados os processos ecológicos geradores de estabilidade (capacidade do sistema de manter o equilíbrio ecológico), de resiliência (resposta a distúrbios do sistema) e de confiabilidade (capacidade do sistema de manter sua produtividade com o surgimento de alterações a longo prazo) com base em valores de referência propostos. Das três áreas, Caarapó é o que progride mais próximo a uma área restaurada uma vez que apresenta condições próximas à área de referência, estando Jateí logo na sequência, apresentando destaque nos indicadores riqueza (106 espécies) e diversidade de espécies arbóreas (3,99). A alta capacidade tanto a estabilidade como a resiliência do ecossistema de Caarapó e Jateí, indica uma maior facilidade, frente a Ivinhema, do sistema manter o equilíbrio dinâmico estável e da capacidade para regressar ao estado de equilíbrio ou manter seu potencial produtivo, mesmo após distúrbio. A área de Ivinhema mesmo após 13 anos de implantação da restauração ainda não apresentou a estabilidade necessária para a funcionalidade do sistema.

Palavras-chave: Avaliação; Funções ecológicas; Floresta Estacional Semidecídua.

ABSTRACT

Silva, Jessica Ferreira da. **Índices de Referência para Monitoramento da Restauração de Florestas Estacionais Semidecíduas**. 2023. 77 p. Thesis (Doctorate in Environmental Science and Technology). Faculty of Exact Sciences and Technology, Federal University of Grande Dourados, Dourados, MS, 2023.

One of the main objectives of environmental restoration is to rescue the self-sustainability of the fragile ecosystem and to determine whether the ecosystem is moving towards this objective, efficient environmental monitoring is necessary. The fact that it is necessary to rethink restoration at all times makes monitoring a crucial step in the process of ecological restoration, and consequently also makes the choice of ecological indicators. In addition to being essential to choose, it is important to determine the reference values for the evaluation of restored areas, and to ensure that the environment to be restored is really recovering its ecological functionality and sustainability. In this sense, the objective of this work was to propose reference indexes for the phytophysiology of the Semideciduous Seasonal Forest, for all of Brazil, as a proposal for a tool to aid in the process of environmental monitoring of areas in the process of environmental restoration, and to apply such formulated values in the evaluation of three areas of ecological restoration, respectively in the municipalities of Ivinhema, Jateí and Caarapó, MS. Eighteen ecological indicators were studied in 307 reference ecosystems of Semideciduous Seasonal Forest in 15 Brazilian states. Descriptive statistics (mean and confidence interval) were used for data analysis of numerical ecological indicators and for nominal indicators, they were evaluated by comparing the proportion of absent and present to create reference and comparison values. Reference and comparison values were defined for several ecological indicators. For the evaluation of the areas, indicators were used based on the MESMIS method – Framework for the Evaluation of Natural Resource Management Systems Incorporating Indicators, evaluating the ecological processes that generate stability (the system's ability to maintain the ecological balance), resilience (response to system disturbances) and reliability (system's ability to maintain its productivity in the face of long-term changes) based on proposed benchmarks. Of the three areas, Caarapó is the one that progresses closest to a restored area since it presents conditions close to the reference area, with Jateí following, standing out in the indicators richness (106 species) and diversity of tree species (3.99). The high capacity, both stability and resilience of the Caarapó and Jateí ecosystem, indicates a greater facility, compared to Ivinhema, for the system to maintain a stable dynamic equilibrium and the ability to return to a state of equilibrium or maintain its productive potential, even after disturbance. . The Ivinhema area, even after 13 years of implantation of the restoration, still did not present the necessary stability for the functionality of the system.

Key words: Assessment; Ecological functions; Semideciduous Seasonal Forest.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
RESUMO GERAL	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 Caracterização geral das áreas.....	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Breve histórico da Restauração Ambiental	17
3.2 Técnicas de Restauração ecológica	20
3.3 Ecossistema de Referência	22
3.4 Monitoramento ambiental da Restauração Ecológica	24
3.5 Indicadores Ecológicos.....	26
4 REFERÊNCIAS.....	29
CAPÍTULO 1	35
PROPOSIÇÃO DE ÍNDICES DE REFERÊNCIA PARA MONITORAMENTO DE ÁREAS RESTAURADAS EM FLORESTAS ESTACIONAIS SEMIDECÍDUAS	35
RESUMO.....	35
ABSTRACT	35
1 INTRODUÇÃO	36
2 MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1 Levantamento de Dados	37
2.2 Formulação dos Índices de Referência.....	38
3 RESULTADOS	41
3.1 Levantamento de Dados	41
3.2 Valores de Referência dos Indicadores Ecológicos para Floresta Estacional Semidecídua.....	42
4 DISCUSSÃO	45
5 CONCLUSÕES.....	49
6 REFERÊNCIAS.....	50

CAPÍTULO 2	54
FUNCIONALIDADE ECOLÓGICA DE ÁREAS RESTAURADAS NO MATO GROSSO DO SUL	54
RESUMO.....	54
ABSTRACT:	54
1. INTRODUÇÃO.....	55
2. MATERIAL E MÉTODOS	56
2.1 Área de estudo	56
2.2 Avaliação do monitoramento das áreas restauradas	58
3. RESULTADOS	62
4. DISCUSSÃO	68
5. CONCLUSÕES.....	72
6. REFERÊNCIAS.....	72
CONCLUSÃO GERAL	78

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um dos países tropicais com uma rica biodiversidade em suas florestas, considerado pela última Avaliação Global dos Recursos Florestais o país com a segunda maior área de florestas do mundo, com cerca de 497 milhões hectares de cobertura florestal (FAO, 2020). No entanto, no período de 2001-2021 cerca de 40% da cobertura vegetal do Brasil se tornaram degradadas e somente no período 2018-2020, o Brasil perdeu 1,6% de cobertura florestal, correspondendo a 12,9 milhões de hectares (LETRAS AMBIENTAIS, 2022).

Há uma necessidade legal de restaurar as áreas degradadas, que vem desde a Lei 6.938/1981, a Política Nacional do Meio Ambiente, em seu artigo segundo, no qual entre seus princípios está a proteção dos ecossistemas, recuperação de áreas degradadas e proteção de áreas ameaçadas de degradação e a Lei nº 12.651/2012 (Lei de Proteção da Vegetação Nativa), complementada pelo PLANAVEG (Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa), que aborda a necessidade e importância da recuperação/restauração da vegetação nativa (ROSENFELD E MÜLLER, 2020).

Há somando as leis acordos internacionais para promover a restauração (CHAZDON *et al.* 2017), como a Convenção pela Diversidade Biológica e o Desafio de Bonn, além dos próprios acordos nacionais, como o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica – PACTO (CALMON *et al.* 2011), e o Plano Nacional para Recuperação de vegetação nativa, que tem como meta nacional restaurar 12 milhões de hectares até 2030 (GUERRA *et al.* 2020).

O processo de assistir a recuperação de um ecossistema que foi degradado, perturbado ou destruído é considerado como a definição oficial de restauração ecológica para a Sociedade Internacional para Restauração Ecológica – SER. A restauração ecológica não é simplista e não se resume apenas à recomposição da estrutura da cobertura vegetal, ela tem o objetivo de assistir à recomposição de um ecossistema que seja funcional, com resgate dos processos ecológicos e interação entre os componentes do ecossistema para que sirva de habitat para diversos organismos e que a área com o decorrer do tempo reestabeleça seu funcionamento, tornando-se autossustentável (FROÉS *et al.* 2020; PIAIA *et al.* 2021).

Como apontam Menz, Dixon, Hobbs (2013), muitas das ações desenvolvidas de restauração estão longe de restabelecer ecossistemas funcionais semelhantes aos seus locais de referência naturais. Ecossistemas de referência servem como um modelo para o planejamento de um projeto de restauração e posteriormente para sua avaliação, em geral, a referência representa um ponto avançado do desenvolvimento que se encontra em algum ponto da trajetória pretendida para a restauração (SER, 2004).

Por meio de um bom monitoramento é possível realizar avaliações temporais, que quando analisadas com base dos objetivos estabelecidos no planejamento, servirão como base para a verificação do funcionamento e da dinâmica da área restaurada (BRANCALION *et al.* 2012). Contudo, Londe *et al.* (2020) afirmam que uma das principais lacunas é a falta de informações de referência para definir as metas e medir o sucesso da restauração, ou seja, base de dados de fragmentos de referência e definição dos valores de referência para os indicadores ecológicos.

Neste sentido, o trabalho foi dividido em dois capítulos. O primeiro terá como proposta a formulação de valores de referência dos principais indicadores ecológicos apresentados na literatura, para serem justamente empregados como ferramenta no monitoramento de áreas restauradas em florestas estacionais semidecíduas. Já o segundo capítulo, é a aplicação desses valores de referência estipulados em três áreas de restauração ecológica, respectivamente nos municípios de Ivinhema, Jateí e Caarapó, no estado de Mato Grosso do Sul, para monitorar o avanço das ações de restauração nas áreas e verificar desde modo o quão próximos estão de ecossistemas de referência.

1.1 Caracterização geral das áreas

As áreas em estudo, antecessoriamente as ações de restauração, apresentavam estado de degradação por ações antrópicas tais como as atividades de pecuária e agricultura.

Na área de Jateí trata-se de um plantio de mudas de 14 anos até o ano de 2017, localizada no Sítio Ecológico Gerson Pereira Dias, município de Jateí e implantado no ano de 2003, sob espaçamento 3x2m e diversidade de 125 espécies nativas. A área de restauração, possui 4,71 hectares, e é conectada com uma área de preservação permanente.

A restauração na área de Ivinhema trata-se de um plantio de espécies nativas de 13 anos até o ano de 2017 e é denominada de Reserva Florestal Recanto Verde, com 4,68 ha. A área era de propriedade de uma colonizadora do Município de Ivinhema, porém a partir de 1985 a população local passou a realizar o cultivo de culturas anuais, como mandioca, milho, arroz e feijão. Em 1988 a área foi doada para a criação da Escola Agrícola e sob o domínio da escola também foi cultivada com culturas anuais até a implantação da restauração florestal, no qual foi utilizado uma densidade de plantas de 1.666 plantas por hectare e espaçamento de 3x2. Até 2017 era perceptível que as áreas circundantes eram predominadas pela agricultura e pecuária, não existindo remanescentes florestais próximos à Reserva.

Na área de Caarapó a restauração ambiental é proveniente de um plantio de mudas de espécies nativas realizado no ano 2000, totalizando 17 anos de restauração até o ano de 2017. Está localizada na Escola Indígena - Aldeia Teyikue e possui 1,5 hectares. Anteriormente a restauração, a área foi degradada por pastagens e foi restaurada para dar continuidade a um fragmento florestal. A Reserva apresenta algumas clareiras e ocupação densa de gramíneas, reflexo dos campos de pastagem no entorno, condição que complexifica a regeneração natural.

Na figura 1, 2 e 3 é possível observar o aspecto geral das três áreas em processo de restauração.



Figura 1. Na imagem da esquerda a visão lateral da área restaurada de Ivinhema-MS. Na imagem da direita a visão do interior da área restaurada, Ivinhema, MS, Brasil, 2016. Fonte: Costa, 2017.



Figura 2. Na esquerda a visão lateral da área restaurada. Na direita a visão do interior da área restaurada, Jateí, MS, Brasil, 2016. Fonte: Costa, 2017.

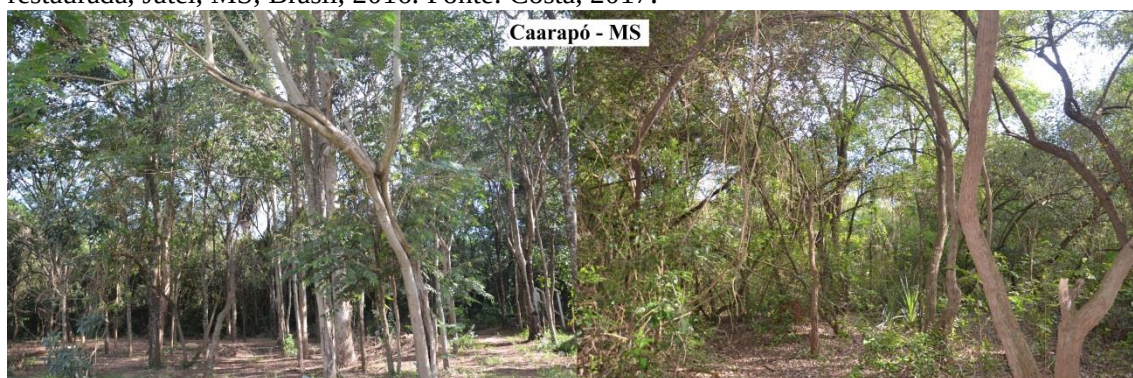


Figura 3. Na esquerda a visão frontal da área restaurada. Na direita a visão do interior da área restaurada, Caarapó, MS, Brasil, 2016. Fonte: Costa, 2017.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Formular índices de referência para a fitofisionomia de floresta estacional semidecídua, para todo o Brasil, como uma proposta de ferramenta de auxílio no processo de monitoramento ambiental das áreas em processo de restauração ambiental.

2.2 Objetivos específicos

- Fazer a busca e análise dos trabalhos que apresentam informações da fitossociologia, estrutura, florística, serapilheira e chuva e banco de sementes de ecossistemas de referência da Floresta Estacional Semidecídua de 2009 a 2022;
- Definir índices de referência a partir dos indicadores ecológicos escolhidos para ser aplicados no monitoramento de Florestas Estacionais Semidecíduais;
- Apontar os indicadores com maior e menor base de dados, para verificar os de maior distribuição e os que precisam de mais esforço amostral;

- Realizar o monitoramento de três áreas de restauração ecológica, respectivamente nos municípios de Ivinhema, Jateí e Caarapó, no estado de Mato Grosso do Sul, por meio dos índices de referência denificados.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Breve histórico da Restauração Ambiental

A busca pelo crescimento econômico no período colonial e imperial do Brasil trouxeram grandes impactos. Foram extensas áreas desmatadas, principalmente matas ciliares, afetando por exemplo, a disponibilidade de água na população carioca por volta do século XIX. Este foi um dos estímulos para o início da história da restauração dos ecossistemas.

Neste sentido a escassez de água e a proteção das matas ciliares foram consideradas, no Brasil Colônia e Império, dois motivos muito importantes para ações restaurativas. Uma das primeiras ações iniciou-se com a implantação de ações de restauração florestal na atual Floresta Nacional da Tijuca, município do Rio de Janeiro, tendo início em 1862, visando à preservação das nascentes e regularização do abastecimento público de água (DRUMMOND, 1988; CÉZAR & OLIVEIRA, 1992; FREITAS; NEVES; CHERNICHARO, 2006; BELLOTTO; GANDOLFI; RODRIGUES, 2009).

Em 1954, ocorreu processo semelhante com a recomposição de parte da Mata do Parque Nacional de Itatiaia, com a plantação de espécies de rápido crescimento (BELLOTTO; GANDOLFI; RODRIGUES, 2009). Outro trabalho de grande importância iniciou-se no município de Cosmópolis (SP) em 1955, às margens do Rio Jaguari, utilizando-se espécies arbustivo-arbóreas, a maioria nativas, sem espaçamento definido entre as mudas plantadas.

Nestas primeiras experiências de restauração, o papel da floresta se resumia fundamentalmente na proteção dos recursos hídricos e edáficos, e, portanto, na recuperação de bacias hidrográficas degradadas e na estabilização de encostas, não havia ainda a questão de planejamento, faltava, por exemplo, a preocupação de restabelecer os processos sucessionais (que é fundamental dentro da recuperação e restauração dos ecossistemas). Eram muitas variáveis importantes que a priori não eram avaliadas em áreas em processo de restauração e foi apenas com o tempo que os conhecimentos de

sucessão ecológica, ecossistema de referência, diversidade genética, diversidade de espécies, inserção de grupos funcionais, e visão ecossistêmica começaram progressivamente com o passar dos anos a serem considerados dentro das práticas de recuperação e restauração de áreas degradadas.

Foi na última década, que pesquisas em restauração de ecossistemas no Brasil começaram a avançar mansamente para além das matas ciliares, para outros biomas que não apenas a Mata Atlântica (por mais que este ainda é o bioma que mais sofreu degradação com o decorrer dos anos), para outras técnicas de restauração que não se restringiam apenas ao reflorestamento ou para outros aspectos da restauração, além da biodiversidade (DURIGAN & ENGEL, 2012).

Muito se avançou dentro da restauração ecológica, mas ainda há muito a ser discutido, avaliado e aprimorado, podendo citar, de acordo com Durigan e Engel (2012):

- Há grande conhecimento sobre a distribuição geográfica das espécies;
- Há produção de sementes e mudas de árvores nativas de florestas em todo Brasil;
- Compreende-se hoje que a restauração é o manejo da sucessão;
- Há consciência que nem sempre é preciso só plantar, ou seja, as vezes pode-se contar com a resiliência do ecossistema, tudo depende do histórico de uso da área e das características ecológicas que a mesma apresenta;
- É preciso controlar espécies invasoras: gramíneas africanas é uma das maiores dificuldades para o estabelecimento de espécies vegetais nativas nas áreas em restauração em quase todo o Brasil;
- Espécies de diversidade introduzidas na área, como as atrativas a fauna, estimulam a dispersão de sementes de diversos grupos funcionais, contribuindo para a regeneração natural.

Atualmente, a restauração ecológica encontra-se em uma fase em que pesquisadores reúnem esforços na diversidade florística e genética intraespecífica que são a base para a manutenção e evolução de quaisquer sistemas florestais (LESICA & ALLENDORF, 1999; RODRIGUES *et al.* 2009). Além disso, a restauração ecológica tem priorizado a perspectiva do funcionamento do ecossistema, ou seja, considera-se com mais profundidade além da composição biótica dos ecossistemas, as suas funções, que muitas das vezes possuem trajetórias imprevisíveis (EHRENFELD E TOTH, 1997; CHOI

et al. 2008; KOLLMANN *et al.* 2016). É necessária uma abordagem funcional dos processos, e não apenas estrutural.

A Avaliação do Ecossistema do Milênio documentou a deterioração de 60% dos serviços ecossistêmicos em escala global (CHAZDON *et al.* 2015). Neste sentido, o movimento global de restauração está ganhando impulso rapidamente, Bonn Challenge (2023) apontou que mais de 60 países já se comprometeram a restaurar cerca de 150 milhões de hectares de terras degradadas e desmatadas para paisagens produtivas, funcionais e favoráveis à biodiversidade.

No Brasil, o Observatório da Restauração e Reflorestamento (2021) reúne informações de campo com dados de satélite para traçar um panorama da situação do reflorestamento e da restauração em todos os biomas brasileiros. Segundo os dados, o observatório já mapeou 79,13 mil de hectares de restauração, 10,99 milhões de hectares de regeneração natural e 9,35 milhões de hectares de reflorestamento. Entre os dados apresentados, o bioma com mais ações de restauração é a Mata Atlântica (74.064,41 ha), seguido do Cerrado (4.247,93 ha), tendo em contrapartida, o Pantanal como o bioma que não teve indicação de ações de restauração (Figura 4).

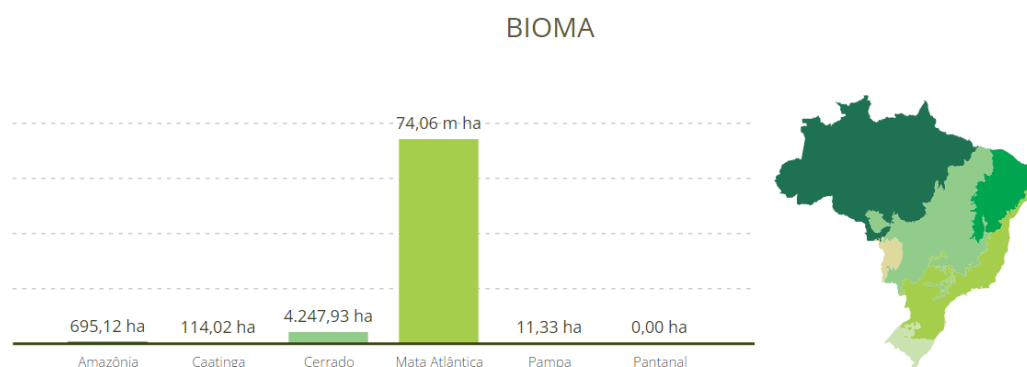


Figura 4. Dados sobre a extensão (ha) de áreas restauradas por bioma no Brasil. Fonte: Observatório da Restauração e Reflorestamento, 2021.

Percebe-se neste contexto que muitos países, incluindo o Brasil, estão desenvolvendo planos, estratégias e políticas de restauração e estão buscando maneiras de integrar as estratégias de restauração nas agendas de desenvolvimento sustentável e conservação (CHAZDON *et al.* 2015). É uma necessidade e exigência, por pressões nacionais e internacionais, buscar mais soluções e maneiras de se expandir a restauração ecológica no Brasil, e uma das maneiras é fomentando mais estudos na área, em especial

nas pautas com maiores déficits, como por exemplo, a busca por ferramentas para avaliar os resultados das intervenções, visando um monitoramento ambiental mais eficiente das áreas restauradas (WORTLEY; HERO; HOWES, 2013; DURIGAN; SUGANUMA; DE MELO, 2016).

3.2 Técnicas de Restauração ecológica

A restauração pode ser realizada de diferentes formas, dependendo do diagnóstico da área (histórico e das condições atuais da área, se está perturbada ou degradada), dos objetivos e do potencial de regeneração natural (SAMPAIO *et al.* 2021). Existem, portanto, diversas técnicas para se desenvolver o processo de restauração dos ecossistemas, podendo citar como principais empregadas a condução da regeneração natural e o plantio em área total.

A regeneração natural é a forma de mais baixo custo e mais ecológica para se promover o retorno das florestas nativas em áreas que foram removidas ou degradadas no passado (MARTINS, 2020). Esta prática consiste em todo e qualquer tipo de espécie vegetal nativa (ervas, arbustos, árvores) que surgiram naturalmente e estão se desenvolvendo nas áreas-alvo de recuperação ou restauração florestal (NBL, 2013).

De acordo com Martins (2013), em áreas onde a degradação não foi muito intensa, e o banco de sementes do solo não foi perdido e, ou, quando existem fontes de sementes próximas, deixar a área se regenerar por si mesma, com intervenções voltadas apenas a isolar a área de fatores de degradação, é suficiente para a restauração do ecossistema (SAMPAIO *et al.* 2021). Está é a restauração sem manejo, ou regeneração passiva.

A regeneração natural pode ser estimulada ou acelerada por meio de uma técnica simples, que é a sua condução, a chamada restauração com manejo (SAMPAIO *et al.* 2021). A condução da regeneração natural é obtida através do controle periódico, químico ou mecânico, de competidores, tal como plantas invasoras (colônias, braquiária, capim-gordura, entre outras) e lianas em desequilíbrio, seja pelo coroamento dos indivíduos regenerantes (plântulas e indivíduos jovens) como pelo controle das ervas daninhas em área total (ISERNHAGEN *et al.* 2009; SAMPAIO *et al.* 2021).

Nos casos em que o potencial de regeneração natural é baixo ou inexistente, é necessário o plantio em área total, em que espécies nativas são distribuídas ativamente em toda a extensão da área e, em geral, em alta densidade (SAMPAIO *et al.* 2021). A

implementação da técnica de plantio total, que pode ser realizada a partir da introdução de mudas (convencional) ou sementes (semeadura direta) de espécies florestais nativas (RODRIGUES *et al.* 2015).

O plantio de mudas convencional consiste na introdução em área total de mudas, onde são realizadas combinações das espécies em módulos ou grupos de plantio, visando à implantação das espécies dos estádios finais de sucessão (secundárias tardias e clímax) conjuntamente com espécies dos estádios iniciais de sucessão (pioneiras e secundárias iniciais), compondo unidades sucessionais que resultam em uma gradual substituição de espécies dos diferentes grupos ecológicos no tempo, caracterizando o processo de sucessão (RODRIGUES *et al.* 2015). Sua função é acelerar o processo de sucessão natural e para tanto o plantio deve obedecer a ordem natural, ou seja, pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e climáticas de acordo com a necessidade de luz (BAKONYI, 2012).

Uma estratégia empregada na técnica de plantio de mudas é realizar a combinação de espécies com a implantação do plantio em linhas alternadas. Nas linhas a lista de espécies nativas regionais é dividida em dois grupos funcionais: Grupo de Recobrimento e Grupo de Diversidade (ISERNHAGEN *et al.* 2009). O Grupo de Recobrimento é constituído por espécies que possuem rápido crescimento e boa cobertura de copa, proporcionando o rápido fechamento da área plantada (RODRIGUES *et al.* 2015). Já o Grupo de Diversidade inclui-se as espécies que não possuem rápido crescimento e/ou boa cobertura de copa, mas são fundamentais para garantir a perpetuação da área plantada, já que é esse grupo que vai gradualmente substituir o grupo de recobrimento quando este entrar em senescência, ocupando definitivamente a área (RODRIGUES *et al.* 2015).

A semeadura direta é o ato de semear, ou seja, implantar as sementes sobre o solo. De modo geral, as sementes de espécies nativas com bom potencial de germinação são plantadas em grande quantidade para garantir o seu estabelecimento. É um sistema de regeneração alternativo, onde as sementes são espalhadas diretamente no local a ser reflorestado, sem a necessidade da formação de mudas (RODRIGUES *et al.* 2015). Para que uma metodologia de implantação seja adequada, é necessário que ela seja embasada em princípios que garantam a substituição gradual de espécies, no mesmo sentido do plantio de mudas, com elevada diversidade de espécies, passível de implantação no

campo em pequenas e grandes escalas e que promova a mais rápida e eficiente cobertura florestal da área em processo de restauração, reduzindo assim, os custos de manutenção.

Pode ser empregado em conjunto as técnicas citadas para alcançar a restauração, modelos de nucleação, que tem como proposta a criação de pequenos habitats (núcleos) dentro da área a ser restaurada de forma a induzir uma heterogeneidade ambiental, propiciando ambientes distintos no espaço e no tempo (SÃO PAULO, 2011). São criadas condições para a regeneração natural, como a chegada de espécies vegetais, animais e microrganismos e a formação de uma rede de interações entre eles, no qual por meio das ilhas de vegetação ou núcleos, a vegetação secundária vai se expandindo e acelerando o processo de sucessão na área ser restaurada (MARTINS, 2013). Os núcleos são elementos capazes de formar novas populações, novos nichos de regeneração e gerar conectividade na paisagem (SÃO PAULO, 2011).

As técnicas de restauração não devem ser pensadas isoladamente, e sim, visualizadas em modo sistêmico, em que poderá ter casos que será necessário mesclar diferentes métodos para atingir o objetivo das ações de restauração, pois na restauração há muitos fatores que interagem e uma alta imprevisibilidade e risco de insucesso (SAMPAIO *et al.* 2021).

3.3 Ecossistema de Referência

Quando a avaliação do processo de restauração é realizada, muitos pesquisadores defendem a ideia da necessidade de uma fonte de comparação, o ecossistema de referência, pois as informações sobre o ecossistema que se pretende restaurar são fundamentais para fornecer a base teórica para a restauração (ARONSON; DHILLION; LE FLOC'H, 1995; SER, 2004; BREWER E MENZEL, 2009; SUDING E HOBBS, 2009; DURIGAN, 2011; DARONCO; MELO; DURIGAN, 2013; OLIVEIRA E ENGEL, 2017). Um ecossistema de referência é aquele que servirá inicialmente de modelo para o planejamento da restauração, e posteriormente para a avaliação e o monitoramento (SER, 2004). De acordo com Suganuma *et al.* (2013), a demanda de se ter maiores informações sobre o ecossistema a ser restaurado, faz com que áreas de referência sejam tão úteis para a tomada de decisões na restauração.

A escolha de um ecossistema de referência não é fácil. Os ecossistemas variam de forma complexa em escalas temporais e espaciais, além de haver uma importante

interação entre variação temporal e espacial (WHITE E WALKER, 1997) e para auxiliar o processo são usadas algumas estratégias nesse processo. Uma das estratégias para escolha dessa referência é o ecossistema representar “o melhor resultado possível para a realidade socioeconômica e a condição de degradação em que se encontra a área em restauração” (DURIGAN, 2011). Além disso, a SER (2004), aponta alguns atributos que devem ser exigidos ao escolher um ecossistema de referência no processo de avaliação de uma área em restauração:

- a) Diversidade e estrutura de comunidade similar a dos ecossistemas de referência;
- b) Presença de espécies nativas, com reduzida invasão biológica;
- c) Presença de grupos funcionais necessários para a estabilidade do ecossistema;
- d) Capacidade física do ambiente em sustentar populações reprodutivas;
- e) Funcionamento normal;
- f) Integração à paisagem;
- g) Estar isentos de fatores de degradação que ameaçam sua saúde e integridade ou com estes minimizados ao máximo;
- h) Resiliência a distúrbios naturais;
- i) Autossustentabilidade.

Um dos principais objetivos de restaurar um ecossistema é resgatar a sua autossustentabilidade, e isso segundo Daronco, Melo, Durigan (2013) depende da manutenção dos processos de regeneração natural das espécies vegetais, especialmente arbóreas, que formam a estrutura que abriga todas as outras espécies e cria condições ambientais para o desencadeamento dos processos ecológicos.

Assim, de acordo com Oliveira e Engel (2017), o ecossistema de referência precisa demonstrar a naturalidade de uma trajetória dele, que demonstrará uma condição prévia esperada, para o momento em que se encontra o ecossistema, em uma escala temporal, considerando-se os processos sucessionais ou de regeneração e padrões de referência em termos de sua estrutura, composição e funcionamento. Não é aconselhável, no entanto, que se utilize uma única referência para expressar o que se espera de estados potenciais e sua faixa histórica de variação expressa pelo ecossistema restaurado, isto porque ela representa um único estado ou expressão dos atributos de ecossistema (SER, 2004; DURIGAN, 2011).

Uma boa referência é aquela que é organizada a partir de múltiplas referências e até mesmo outras fontes, conforme SER (2004) sugere, pois assim irá refletir uma combinação particular de eventos estocásticos ocorridos durante o desenvolvimento do ecossistema, fornecendo uma base mais sólida para o planejamento da restauração. Quanto maior for o aumento de informações sobre específico ecossistema, maior será o valor de referência, contudo as limitações de tempo e recursos são uma das barreiras para uma boa escolha de ecossistema de referência.

3.4 Monitoramento ambiental da Restauração Ecológica

Martins (2013) afirma que para determinar o sucesso ou não de um projeto de restauração ecológica de um ecossistema nada melhor que o monitoramento ambiental. Independentemente do quão planejado foi o projeto e implantação de um projeto de restauração, os bons resultados não são uma garantia. O NBL (2013) acrescenta que:

Para as diferentes etapas do processo de restauração, devem ser obtidos parâmetros de monitoramento que permitam avaliar se as ações implantadas em uma determinada área estão efetivamente promovendo a recuperação da vegetação natural ou cobertura florestal, não apenas fisionomicamente, mas também dos seus processos mantenedores.

É justamente a necessidade de se repensar a restauração a todo instante que torna o monitoramento uma das etapas essenciais de todo processo de restauração ecológica, pois convida à reflexão e permite analisar continuamente como a área degradada está reagindo aos tratamentos que lhe são impostos. Pensando neste sentido, é preciso que se saiba o objetivo da área a ser restaurada, e temos três trajetórias que se pode ter: a) modelo contínuo gradual, caminhando para uma sucessão florestal; b) modelo estocástico, encontrar caminhos alternativos estáveis, onde pode permanecer estagnada e c) modelo limiar, entrar em processo de retrocesso, voltando ao estado de degradação anterior à intervenção (SUDING E HOBBS, 2009; SUGANUMA E DURIGAN, 2015).

O monitoramento de áreas em processo de restauração é definido como sendo a mensuração contínua dos parâmetros ambientais de funcionamento do ecossistema (ACADEMIA DE CIÊNCIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1987). Desse modo, são realizadas avaliações temporais, que quando analisadas com base dos objetivos estabelecidos no planejamento, servirão como base para a verificação do funcionamento e da dinâmica da área restaurada (BRANCALION *et al.* 2013).

No monitoramento da restauração, há basicamente dois horizontes temporais importantes: o acompanhamento dos parâmetros estabelecidos para avaliação do projeto e o acompanhamento em longo prazo do processo ecológico da restauração em determinada área (LIMA *et al.* 2015). Ou seja, é crucial que o monitoramento aconteça em diferentes etapas do processo de restauração, pois a avaliação contínua permite obter diversas variáveis que representam as condições da área e é por meio destas variáveis que se pode confirmar se as ações de restauração florestal implantadas na área estão de fato realizando o processo de restauração, perpetuação e aumento da biodiversidade no tempo desejado (BELLOTTO; GANDOLFI; RODRIGUES, 2009). Este período de monitoramento vai depender da capacidade de regeneração da área, da chegada de propágulos de fragmentos florestais e das atividades antrópicas realizadas no entorno (COSTA *et al.* 2022). Para Hobbs & Norton (1996):

O monitoramento da restauração de ecossistemas deve levar em conta sua composição, estrutura, padrão, heterogeneidade, função, interações entre espécies, dinâmica e resiliência. Ou seja, no ecossistema restaurado tem de haver um determinado conjunto de espécies que apresente padrões conhecidos de abundância e um arranjo esperado dos diferentes componentes que garanta uma estrutura vertical e distribuição horizontal condizente com as fisionomias enfocadas, e que apresente níveis mínimos de heterogeneidade e complexidade nos arranjos, na distribuição e na diversidade de componentes do sistema.

Como os projetos de restauração apresentam uma variação alta em seus objetivos, tornando-se crítico definir claramente os objetivos gerais e específicos, mensuráveis, selecionar indicadores de monitoramento que avaliem o sucesso da restauração de cada ambiente, percebe-se uma dificuldade em se realizar uma comparação com ecossistemas de referência (LISBOA; CIELO-FILHO; CÂMARA, 2020). Daí vem a importância de se pensar em protocolo de monitoramento de restauração, no qual vai consistir em um grupo de indicadores selecionados para avaliação da restauração com base em ecossistema e características socioeconômicas e projeto de metas e orientação técnica para medir tais indicadores (BLOCK *et al.* 2001).

Para serem usados em programas de restauração em larga escala, Viani *et al.* (2017) afirmam que é preciso que os protocolos de monitoramento sejam projetados para ser usado em locais que empregam diferentes métodos de restauração após uma série de cenários de degradação e em vários estágios sucessionais de recuperação, sejam econômicos e repetíveis por diferentes pessoas. Além disso devem estar integrados desde o início, o que permite avaliar a capacidade do sucesso geral dos programas de restauração

de forma generalizada, comparar a eficácia de diferentes métodos de restauração, estabelecer valores de referência para ecossistemas específicos e tornar os resultados comparáveis (HOLL E CAIRNS, 2002).

Os dados de monitoramento podem ser utilizados para uma gama de ações: cumprimento de demandas legais (fiscalização); constituição de um banco de dados regional/local; propiciar a geração de valores de referência para projetos na região; pesquisa científica; conservação de espécies/populações; subsidiar a tomada de decisão para ações corretivas (manejo adaptativo) nas trajetórias ecológicas; permite uma adequada avaliação dos métodos de restauração usados (HOOPER *et al.* 2015; VIANI *et al.* 2017). Para mais, existem poucos estudos publicados relatando o insucesso de projetos e as razões subjacentes, deste modo o monitoramento pode identificar problemas e economizar dinheiro em projetos futuros (GONZÁLEZ *et al.* 2015; VIANI *et al.* 2017).

Ainda que as discussões sobre monitoramento de ecossistemas em restauração tenham avançado no Brasil, há lagunas que ainda precisam ser ampliadas, como a dificuldade em avaliar se o ecossistema ao longo da sua trajetória temporal está seguindo com o esperado e a dificuldade da seleção de bons indicadores com valores de referência para a avaliação do que é bom ou ruim em cada etapa da trajetória sucessional (SOUZA E BATISTA, 2004; BRANCALION *et al.* 2012; SUGANUMA; ASSIS; DURIGAN, 2014; DURIGAN; SUGANUMA; DE MELO, 2016).

3.5 Indicadores Ecológicos

A possibilidade de um ecossistema restaurado igualar ou pelo menos aproximar-se de um ecossistema de referência só pode ser avaliada mediante monitoramento por meio de indicadores ecológicos (HEINK E KOWARIK, 2010; DARONCO; MELO; DURIGAN, 2013). Os indicadores ecológicos amplamente empregados na avaliação de condições ambientais, representam uma análise científica, com a categorização numérica ou descritiva de dados ambientais (VAN STRAALLEN, 1998; LIMA *et al.* 2015).

Para Rodrigues e Gandolfi (2001), os indicadores conseguem avaliar a recuperação visual da paisagem de uma área degradada e a reconstrução dos processos ecológicos mantenedores da dinâmica vegetal. Em termos práticos, os indicadores são uma espécie de “qualificadores” dos projetos de restauração, responsáveis por indicar a evolução de um ecossistema até que possa ser considerado como restaurado (LIMA *et al.*

2020). Com os resultados da sua aplicação, criam-se condições para avaliar a eficácia do processo de sucessão ecológica que deve ter espaço após a implementação das ações de restauração.

Realizar uma adequada e eficiente seleção de indicadores ecológicos para o monitoramento vai auxiliar qual a trajetória da restauração nos ecossistemas florestais e se estes são representativos da consecução dos objetivos estabelecidos (REIS *et al.* 2014; COSTA *et al.* 2022). Os indicadores são usados para rastrear a trajetória do ecossistema, avaliar o progresso da restauração em direção às metas estabelecidas, realizar ações corretivas e se comunicar com o público externo (DEY & SCHWEITZER, 2014)

A gama de indicadores que podem ser avaliados é excessivamente extenso, podendo-se medir, por exemplo muitos aspectos, como a riqueza, a diversidade e a densidade de espécies nativas, a invasão biológica, a chuva e o banco de sementes, fenologia das espécies plantadas, os serviços ecossistêmicos, a interação planta-animal, entre tantas outras possibilidades. No entanto, segundo Brancalion *et al.* (2013) não é possível empregar todos os indicadores possíveis em um processo de monitoramento ambiental, assim essa ampla quantidade de indicadores precisa ser restringida em função das demandas específicas do público para o qual os resultados do monitoramento serão apresentados.

Nem todo indicador é possível de ser aplicado e/ou utilizado em todas as situações, desde modo podem ser elencados alguns critérios para a escolha e proposição dos melhores indicadores para uma determinada situação (HERSPERGER; MUELLER; KIENAST, 2017). Portanto, um os desafios para o monitoramento da qualidade do ecossistema começam na escolha de bons indicadores ecológicos (DALE; BEYELER, 2001).

Algumas características são apontadas como ideais para indicadores ecológicos, das quais podem ser destacadas (SER, 2004; DURIGAN, 2011; DURIGAN; SUGANUMA; DE MELO, 2016):

- Facilidade de medição, clareza e modificação possível ao longo do processo;
- Ser de baixo custo;
- Ser sensível a fatores que modificam o ecossistema;
- Responder aos fatores que atuam sobre o ecossistema de forma previsível;

- Possibilitar predições sobre os efeitos dos agentes de degradação ou sobre os efeitos benéficos de práticas de manejo que venham a ser aplicadas;
- Ser integrativo (representar, na medida do possível, outras variáveis mais difíceis de medir);
- Ter baixa variabilidade nas respostas aos fatores que representa.

Sucintamente o conjunto de indicadores deve proporcionar a avaliação de diversos aspectos do ecossistema, relativos à sua estrutura, diversidade e funcionamento (DURIGAN; SUGANUMA; DE MELO, 2016). Para facilitar o planejamento da avaliação e do monitoramento, pode-se utilizar as seguintes categorias de classificação, segundo Brancalion et al. (2013):

- a) Classificação quanto à forma de medição ou coleta do indicador: Podem ser qualitativos e quantitativos. Os indicadores qualitativos são aqueles obtidos de forma não mensurável, com base na observação e julgamento do observador, estes são utilizados normalmente de forma abstrata e subjetiva, sem que haja um conjunto de dados para que um determinado indicador seja incluído em cada categoria de qualidade. Os quantitativos são com base na mensuração de determinados parâmetros descritores da área em processo de restauração, o que reduz a participação do avaliador nos resultados e possibilita uma maior replicabilidade de um dado método, conferindo maior segurança e transparência ao processo.
- b) Classificação quanto ao atributo do ecossistema que é avaliado: Estrutura (relacionado à forma como a comunidade vegetal está organizada espacialmente), Composição (referente às espécies e aos grupos funcionais que integram a comunidade vegetal), Funcionamento (restabelecimento dos processos ecológicos que permitem a autoperpetuação da comunidade vegetal) e Serviços Ecossistêmicos (benefícios para as populações humanas que são gerados pelo restabelecimento dos processos ecológicos).
- c) Classificação quanto à época em que o indicador é avaliado: Fase de implantação (1-12 meses), que correspondente ao estágio inicial de desenvolvimento da regeneração natural ou das mudas, no caso de plantios, onde as avaliações são realizadas mensalmente, já que é uma fase crítica e que exige rápida tomada de

decisão; Fase pós-implantação (1-3 anos), referente ao estágio médio de desenvolvimento das mudas ou da regeneração, em que a recomendação é que as avaliações sejam semestrais; Fase de vegetação formada (4 ou mais anos), nesta última fase deve-se priorizar o uso de indicadores que possibilitem apontar o sucesso ou insucesso da restauração da área em análise, com o fundamento de que esses indicadores sustentem uma possível tomada de decisão sobre a necessidade ou não de ações corretivas de restauração, desde modo são avaliados principalmente os indicadores relacionados ao funcionamento e aos serviços ecossistêmicos.

Uma das grandes dificuldades da prática de monitoramento sistemático refere-se à falta de consenso na literatura científica em relação aos indicadores mais adequados para a avaliação dos projetos de restauração (LIMA *et al.* 2015). Além da dificuldade da seleção de bons indicadores, faltam valores de referência para a avaliação do que é bom ou ruim em cada etapa da trajetória sucessional (DURIGAN; SUGANUMA; DE MELO, 2016).

Durigan, Suganuma, De Melo (2016) apontam que determinar valores de referência para cada variável ambiental facilita o monitoramento da trajetória dos ecossistemas restaurados, à medida que estabelecem parâmetros para o que seria uma boa condição ou uma situação além do esperado, contribuindo para correções ou adaptações nas áreas restauradas. Tais índices de referência devem ser coletados de vários locais ou fontes de literatura, dada a variação natural, e deve ser adaptado ao tipo de ecossistema e estágio sucessório que é direcionado para projetos específicos (EHRENFELD, 2000; VIANI *et al.* 2017).

4 REFERÊNCIAS

ARONSON, J.; DHILLION, S.; LE FLOC'H, E. On the need to select an ecosystem of reference, however imperfect: a reply to Pickett and Parker. *Restoration Ecology*, v.3, n.1, p.1-3, 1995.

BAKONYI, S. M. C. Manejo e Recuperação de Áreas Degradadas. Curitiba: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2012.

BELLOTTTO, A.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Principais iniciativas de restauração florestal na mata atlântica, apresentadas sob a ótica da evolução dos conceitos e dos métodos aplicados. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H.; ISERNHAGEN, I. (Org.). Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos

conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009.

BLOCK, W. M. *et al.* Design and implementation of monitoring studies to evaluate the success of ecological restoration on wildlife. *Restoration Ecology*, v. 9, p. 293–303, 2001.

Bonn Challenge. (2023). The Challenge: a global effort. Retrieved January 19, 2023, from <http://www.bonnchallenge.org/>.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Finding the money for tropical forest restoration. *Unasylva*, v. 63, p. 41–50, 2012.

BRANCALION, P. H. S., *et al.* How to organize a large-scale ecological restoration program? The framework developed by the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Journal of Sustainable Forestry*, v. 32, p. 728–744, 2013.

BRANCALION, P. H. S.; HOLL, K. D. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Suganuma, Durigan, and Reid. *Restoration Ecology*, v. 24, n.1, p. 1–3, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm>. Acesso em: 25 de janeiro de 2021.

BREWER, J. S.; MENZEL, T. A method for evaluating outcomes of restoration when no reference sites exist. *Restoration Ecology*, v.17, n.1, p.4-11, 2009.

CALMON, M., *et al.* 2011. Emerging Threats and Opportunities for Large Scale Ecological Restoration in the Atlantic Forest of Brazil. *Restoration Ecology*, v.19, n.2, p.154– 158, 2011.

CÉZAR, P.B.; OLIVEIRA, R.R. A Floresta da Tijuca e a cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1992. 172p.

CHAZDON, R. L. *et al.* A Policy-Driven Knowledge Agenda for Global Forest and Landscape Restoration. *Conservation Letters*, v. 0, n. 0, p. 1-8, 2015.

CHAZDON, R. L., *et al.* A policy-driven knowledge agenda for global forest and landscape restoration. *Conservation Letters*, v.10, n.1, p.125–132, 2017.

CHOI, Y. D. *et al.* Ecological restoration for future sustainability in a changing environment. *Ecoscience*, v. 15, p. 53–64, 2008.

COSTA, P. F. *et al.* Regeneração natural em três áreas de restauração florestal no Mato Grosso do Sul, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 42, p. 1-14, 2022.

DALE V.H.; BEYELER, S.C. Changes in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, v. 1, p. 3-10, 2001.

DARONCO, C.; MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Ecossistema em restauração versus ecossistema de referência: estudo de caso da comunidade vegetal de mata ciliar em região de Cerrado, Assis, SP, Brasil. *Hoehnea*, v. 40, n.3, p. 485-498, 2013.

- DEY, D. C.; SCHWEITZER, C. J. Restoration for the Future: Endpoints, Targets, and Indicators of Progress and Success, *Journal of Sustainable Forestry*, V. 33, n.1, p.43-65, 2014.
- DRUMMOND, J. A. O jardim dentro da máquina: breve história ambiental da Floresta da Tijuca. *Estudos Históricos*, v.1, p.278-294, 1988.
- DURIGAN, G. O uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação. *Cadernos da Mata Ciliar*, v.4, p. 11-13, 2011.
- DURIGAN, G.; ENGEL, V. L. Restauração de ecossistemas no Brasil: Onde estamos e para onde podemos ir? In: MARTINS, S. V. (ed.). *Restauração ecológica de ecossistemas degradados*. Viçosa: UFV, 2012.
- DURIGAN, G.; SUGANUMA, M.S.; DE MELO, A.C.G. Valores esperados para atributos de florestas ripárias em restauração em diferentes idades. *Sci. For.*, v.44, 2016.
- EHRENFELD, J.G. Defining the limits of restoration: the need for realistical goals. *Restoration Ecology*, v. 8, n.1, p.2-9, 2000.
- EHRENFELD, J.G.; TOTH, L.A., Restoration ecology and the ecosystem perspective. *Restoration Ecology*, v.5, p.307–317, 1997.
- FAO. 2020. *Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>.
- FREITAS, S. R.; NEVES, C. L.; CHERNICHARO, P. Tijuca National Park: two pioneering restorationist initiatives in Atlantic forest in southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v.66, n.4, 2006.
- FRÓES, C. Q. *et al.* Chuva de sementes como indicador ambiental de áreas em processo de restauração ecológica do Mato Grosso do Sul. *Ciência Florestal*, v. 30, n. 4, p. 1032-1047, 2020.
- GONZA´LEZ, E. *et al.* Restoration of riparian vegetation: A global review of implementation and evaluation approaches in the international, peer-reviewed literature. *Journal of Environmental Management*, v. 158, n. 85–94, p.2015.
- HEINK, U.; KOWARIK, I. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, v.10, p. 584-593, 2010.
- HERSPERGER, A. M.; MUELLER, G.; KIENAST, F. Evaluating outcomes in planning: Indicators and reference values for Swiss landscapes. *Ecological Indicators*, v. 77, p. 96–104, 2017.
- HOBBS, R. J.; NORTON, D. A. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*, v. 4, p.93–110, 1996.
- HOLL, K. D.; CAIRNS, J. Monitoring and appraisal. In: M. R. Perrow, & A. J. Davy (Eds.). *Handbook of ecological restoration* (pp. 411–432). Cambridge, England: Cambridge University Press, 2002.

HOOVER, M. *et al.* Integrated Risk and Recovery Monitoring of Ecosystem Restorations on Contaminated Sites. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 12, n. 2, p. 284-295, 2015.

ISERNHAGEN, I.; BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G.; GANDOLFI, S. Diagnóstico ambiental das áreas a serem restauradas visando a definição de metodologias de restauração florestal. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H.; ISERNHAGEN, I. (Org.). *Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal*. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009.

KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, C.F.A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. *IPEF*, n.41/42, p. 83–93, 1989.

KOLLMANN, J. *et al.* Integrating ecosystem functions into restoration ecology - recent advances and future directions. *Restoration Ecology*, Malden, v. 24, p. 722-730, 2016.

LESICA, P.; ALLENDORF, F.W. Ecological genetics and the restoration of plant communities: mix or match? *Restoration Ecology*, v. 7, p.42–50, 1999.

LETRAS AMBIENTAIS. Mapeamento alerta para degradação de 40% da vegetação do Brasil em duas décadas. ISSN 2674-760X.

LIMA, P. A. F. *et al.* Indicadores Ecológicos: ferramentas para o monitoramento do processo de restauração ecológica. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2015.

LIMA, R. *et al.* Os indicadores de resultado na restauração da vegetação nativa [livro eletrônico]/ [coordenação Rodrigo Lima]. -- São Paulo : Agroicone, 2020.

LISBOA, T. F. B.; CIELO-FILHO, R.; CÂMARA, C. D. Applicability of monitoring protocols developed for active restoration projects in the evaluation of passive restoration of a subtropical riparian forest in Brazil. *International Society for Tropical Ecology*, 2020.

LONDE, V.*et al.* Reference and comparison values for ecological indicators in assessing restoration areas in the Atlantic Forest. *Ecological Indicators*, v. 110, 2020.

MARTINS, S. V. Recuperação de áreas degradadas: como recuperar áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e áreas de mineração. 3 ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2013.

MARTINS, S. V. Restauração Florestal. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Pró-Reitoria de Extensão e Cultura Divisão de Extensão, 2020.

MENZ, M.H.M.; DIXON, K.W.; HOBBS, R.J. Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration. *Science*, v.339, p. 526-527, 2013.

NBL – Engenharia Ambiental Ltda e The Nature Conservancy (TNC). Manual de Restauração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará. Belém: The Nature Conservancy, 2013.

OBSERVATÓRIO DA RESTAURAÇÃO. Mapeando a restauração, regeneração e reflorestamento no Brasil. 2021. Disponível em: observatoriodarestauracao.org.br.

OLIVEIRA, R. E.; ENGEL, V. L. Indicadores de monitoramento da restauração na Floresta Atlântica e atributos para ecossistemas restaurados. *Scientia Plena*, v. 13, n.12, 2017.

OLIVEIRA-FILHO, A.T. *et al.* Variações estruturais do componente arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada das Perdizes, Carrancas, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 27, n.2, p.291-309, 2004.

PIAIA, B. B. *et al.* Avaliação de indicadores ecológicos na restauração por plantio em núcleo com diferentes idades. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 1512-1534, 2021.

REIS, A. *et al.* Nucleação: concepção biocêntrica para a restauração ecológica. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 509-518, 2014.

RODRIGUES, R. *et al.* On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, v.142, p. 1242–1251, 2009.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. R. (Ed.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2001. p. 235-247.

ROSENFELD, M. F.; MÜLLER, S. C. Ecologia funcional como ferramenta para planejar e monitorar restauração ecológica de ecossistemas. *Oecologia Australis*, v. 24, n.3, p.550-565, 2020.

SAMPAIO, A. B. *et al.* Guia de restauração ecológica para gestores de unidades de conservação. [livro eletrônico]: versão 1. 1 ed. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes, 2021.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Unidade de Coordenação do Projeto de Recuperação das Matas Ciliares. *Restauração ecológica [recurso eletrônico] : sistemas de nucleação*. 1.ed. São Paulo: SMA, 2011.

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

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION - SER - International Science and Policy Working Group. *The SER primer in ecological restoration (Version 2)*. 2004. Disponível em: www.ser.org.

SOUZA, F. M.de; BATISTA, J. L. F. Restoration of seasonal semideciduous forest in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. *Forest Ecology and Management*, v.191, n. 1/3, p.185-200, 2004.

- SUDING, K. N.; HOBBS, R. J. Models of ecosystem dynamics as frameworks for restoration ecology. In: HOBBS, R. J.; SUDING, K. N. New models for ecosystems dynamics and restoration. Washington: Island Press, p.3-21, 2009.
- SUGANUMA M.S.; DURIGAN G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. *Restoration Ecology*, v. 23, n.3, p. 238-251, 2015.
- SUGANUMA, M. S. *et al.* Ecossistemas de Referência para Restauração de Matas Ciliares: existem padrões de biodiversidade, estrutura florestal e atributos funcionais? *Revista Árvore*, v.37, n.5, p.835-847, 2013.
- SUGANUMA, M. S.; ASSIS, G. B. de; DURIGAN, G. Changes in plant species composition and functional traits along the successional trajectory of a restored patch of Atlantic Forest. *Community Ecology*, v. 15, n.1, p. 27–36, 2014.
- VAN STRAALLEN, N. M. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology*, v. 9, n. 1/3, p. 429-437, 1998.
- VIANI, R.A.G. *et al.* Protocol for monitoring tropical forest restoration: perspectives from the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Trop. Conserv. Sci.*, v.10, p.1–8, 2017.
- WHITE, P. S.; WALKER, J. L. Approximating nature's variation: selecting and using reference information in restoration ecology. *Restoration Ecology*, v.5, n.4, p.338-349, 1997.
- WORTLEY, L.; HERO, JM.; HOWES, M. Evaluating Ecological Restoration Success: A Review of the Literature. *Restoration Ecology*, v.21, n. 5, p. 537-543, 2013.

CAPÍTULO 1

PROPOSIÇÃO DE ÍNDICES DE REFERÊNCIA PARA MONITORAMENTO DE ÁREAS RESTAURADAS EM FLORESTAS ESTACIONAIS SEMIDECÍDUAS

Jessica Ferreira da Silva¹; Zefa Valdivina Pereira²

RESUMO: No monitoramento ambiental de áreas restauradas, há uma dificuldade natural de seleção de bons e eficazes indicadores ecológicos no processo de avaliação. Além disso, outra lacuna é a ausência de valores de referência que permitam avaliar o progresso da restauração e tomar medidas de manejo adaptativo. Neste estudo objetivamos formular índices de referência para a fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecídua, para todo o Brasil, no processo de monitoramento ambiental de áreas em processo de restauração ambiental por plantio de mudas. Foram estudados 18 indicadores ecológicos em 307 ecossistemas de referência de Floresta Estacional Semidecídua em 15 estados brasileiros. A área de amostragem nestas florestas somou 62.933.727,25 ha, um dos maiores conjuntos de dados de monitoramento já vistos pelas pesquisas realizadas. Para análise dos dados de indicadores ecológicos numéricos foi utilizada a estatística descritiva (média e intervalo de confiança) e para os indicadores nominais foram avaliados por meio da comparação da proporção de ausentes e presentes para criar os valores de referência e comparação. Com os 183 artigos analisados (que totalizaram 307 áreas), foram definidos os valores de referência e comparação para vários indicadores ecológicos, com eles se pode avaliar as áreas em restauração comparando os resultados de seus monitoramentos com os aqui definidos. Os índices apresentados podem auxiliar também na elaboração e melhoria de políticas públicas voltadas à restauração ecológica.

Palavras-chaves: valores de comparação; indicadores Ecológicos; ecossistema de referência; restauração ecológica.

ABSTRACT: In the environmental monitoring of restored areas, there is a natural difficulty in selecting good and effective ecological indicators in the evaluation process. In addition, another shortcoming is the absence of reference values that allow assessing the progress of restoration and taking adaptive management measures. In this study, we aimed to formulate reference indices for the phytophysionomy of Semideciduous Seasonal Forest, for all of Brazil, in the process of environmental monitoring of areas in the process of environmental restoration by planting seedlings. Eighteen ecological indicators were studied in 307 reference ecosystems of Semideciduous Seasonal Forest in 15 Brazilian states. The sampling area in these forests totaled 62,933,727.25 ha, one of the largest sets of monitoring data ever seen by the surveys carried out. Descriptive statistics (mean and confidence interval) were used for data analysis of numerical ecological indicators and for nominal indicators, they were evaluated by comparing the proportion of absent and present to create reference and comparison values. With the 183 articles analyzed (which totaled 307 areas), the reference and comparison values were

¹ Engenheira Ambiental, Mestre em Recursos Naturais, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Grande Dourados –UFGD, Rodovia Dourados - Itahum, Km 12 - Cidade Universitária, Caixa Postal 533, CEP: 79.804-970, Dourados (MS). jes_ferreira@yahoo.com.br;

² Bióloga, Dra. Em Biologia Vegetal, Professora da Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados –UFGD, Rodovia Dourados - Itahum, Km 12 - Cidade Universitária, Caixa Postal 533, CEP: 79.804-970, Dourados (MS). zefapereira@ufgd.edu.br.

defined for several ecological indicators, with which it is possible to evaluate the areas under restoration, comparing the results of their monitoring with those defined here. The indices presented can also help in the elaboration and improvement of public policies aimed at ecological restoration.

Key-words: comparison values; ecological indicators; reference ecosystem; ecological restoration.

1 INTRODUÇÃO

O funcionamento do ecossistema depende dos processos e funções ecológicas resultantes das interações entre espécies e delas com o ambiente, desde modo, quando um ecossistema está em processo de restauração ecológica, tem como objetivo que ao final deste processo ele consiga restabelecer trajetórias sucessionais intrínsecas as suas características após um certo período das ações de restauração (ROSENFELD & MULLER, 2020).

A restauração ecológica pode ter vários objetivos, envolver ações voltadas a diferentes tipos de ecossistemas e em diferentes escalas, englobar diferentes etapas, desde o planejamento das ações, estratégias e recursos disponíveis, passando pela execução do projeto e monitoramento ao longo do tempo (OVERBECK *et al.* 2016; OLIVEIRA & ENGEL, 2017; ROSENFELD & MULLER, 2020).

A avaliação e o monitoramento das áreas em processo de restauração são processos finais de restauração ecológica, mas uma das etapas mais cruciais para garantir o sucesso das proposições da restauração. Isto porque além de acompanhar se os objetivos da ação de restauração foram ou não atingidos, permitem determinar se há necessidade de novas interferências, da eficiência dos modelos e espécies empregadas, como também caracterizar tendências de evolução de algumas variáveis dos ecossistemas em restauração, o que aprimora os conhecimentos para subsidiar pesquisas futuras de restauração ecológica (RODRIGUES *et al.* 2009; WORTLEY; HERO; HOWES, 2013; DURIGAN; SUGANUMA; DE MELO, 2016; SILVA *et al.* 2016).

Para ser efetivo e atingir seu objetivo, o monitoramento ambiental precisa de parâmetros que possam avaliar se as ações de restauração florestal estão seguindo uma trajetória em direção a ecossistemas de referência, e uma das suas principais ferramentas são os indicadores ecológicos (BRANCALION & HOLL, 2016). A escolha de quais indicadores aplicar já um dos desafios enfrentados no processo de monitoramento, que se

soma as restrições orçamentárias para a realização desta prática como de qualificação/especialização para implementação das ações e acompanhamento do monitoramento ambiental.

Por meio dos indicadores ecológicos é possível avaliar condições ambientais pela categorização numérica ou descritiva dos dados ambientais (VAN STRAALLEN, 1998; LIMA *et al.* 2015). Não é apenas a recuperação visual de uma área em processo de restauração que é avaliada com o uso de indicadores, é usado coleta de dados que demonstrem a reconstrução dos processos ecológicos responsáveis pela dinâmica vegetal (RODRIGUES E GANDOLFI, 2001), é por isso que uma das maiores dificuldades para um monitoramento ambiental de qualidade é justamente a escolha de bons indicadores ecológicos.

Entre as lagunas que ainda são presentes quando se trata de monitoramento ambiental, é a falta de parâmetros para a avaliação do que é recomendado ou não em cada etapa da trajetória sucessional (DURIGAN; SUGANUMA; DE MELO, 2016). Ou seja, por mais que já existam avanços em relação ao monitoramento de ecossistemas em restauração, há ainda um importante aspecto incerto e duvidoso, que é avaliar se o ecossistema em processo de restauração, ao longo da sua trajetória temporal, está cumprindo com o reestabelecimento e resgate das suas funções ecológicas.

Assim o objetivo deste trabalho é formular índices de referência para a fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecídua, para todo o Brasil, como uma proposta de ferramenta de auxílio no processo de monitoramento ambiental das áreas em processo de restauração ambiental.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Levantamento de Dados

A metodologia para a formulação dos índices de referência a serem aplicados em monitoramento de áreas em restauração, foi baseada em uma ampla revisão de literatura científica, de estudos desenvolvidos em áreas em restauração mais antigas e em florestas secundárias e maduras, ou seja, ecossistemas de referência.

Para a seleção dos estudos foram estabelecidos grupos de palavras-chave, e alguns critérios de seleção, que foram: (a) artigos executados na Floresta Estacional Semidecídua apenas; (b) indicação das coordenadas geográficas ou de elementos para a localização do

local de estudo; (c) informação do tamanho da área em hectares e área analisada no fragmento em estudo; e (d) artigos a partir do ano de 2009.

Fez-se buscas na base de dados do Google Acadêmico, Periódicos Capes, Scielo, Lera (Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal) e Web of Science. Usou-se os seguintes grupos de palavra: (a) ‘Fitossociologia e Floresta Estacional Semidecídua’; (b) ‘Estrutura vegetação e Floresta Estacional Semidecídua’; (c) ‘Florística e Floresta Estacional Semidecídua’; (d) ‘Banco de sementes e Floresta Estacional Semidecídua’; (e) ‘Chuva de sementes e Floresta Estacional Semidecídua’ e (f) ‘Serapilheira e Floresta Estacional Semidecídua’. Nas revistas que não possuíam mecanismos de busca, fez-se a revisão em cada volume publicado. A pesquisa foi limitada às línguas portuguesa e inglesa.

Inicialmente, o objetivo era o estudo ser específico apenas ao estado do centro-oeste, mas devido a insuficiência amostral, foi-se necessário expandir a pesquisa para todos os estados brasileiros, respeitando sempre a condição de ser Floresta Estacional Semidecídua.

2.2 Formulação dos Índices de Referência

Os indicadores escolhidos para formulação de índices de referência foram baseados na proposta de Pinã-Rodrigues *et al.* (2015) com adaptações, que faz uso de indicadores baseado no método MESMIS – Marco de Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais Incorporando Indicadores (MASERA *et al.* 1999), considerando também a proposta de Costa (2017) com adaptações. Os indicadores para as Florestas Estacionais Semidecíduas são relacionados a diversidade de espécies, diversidade funcional, desenvolvimento, proteção, solo e ciclagem de nutrientes e controle e manejo, totalizando 18 indicadores ecológicos (Tabela 01).

Tabela 1. Indicadores propostos para florestas estacionais semidecíduas.

Divisão Funcional	Indicadores de Referência
Diversidade de espécies	Diversidade de espécies arbóreas (H') - nats/indivíduo
	Riqueza de espécies nativas (S)
	Densidade de indivíduo (indivíduos.ha ⁻¹)
	Equitabilidade (J')
	Pioneira - PI (%)

Diversidade funcional	Secundária Inicial -SI (%)
	Secundária Tardia - ST (%)
	Zoocoria – Zoo (%)
	Anemocoria – Anemo (%)
	Autocoria – Auto (%)
	Presença Fabacea (nº espécies)
	Diversidade de funções ecológicas (F)
Proteção, solo e ciclagem de nutrientes	Predação
	Herbáceas (%)
	Produção serapilheira (kg. ha ⁻¹)
	Altura Serapilheira (cm)
	Nº sementes
	Densidade sementes (sem.m ⁻²)
Desenvolvimento	Altura média dos indivíduos arbóreos – h (m)
	Epífitas (nº de espécies)
	Cipós e lianas (CL) (%)
Controle e Manejo	Fogo
	Exóticas (nº de espécies)

A análise dos artigos foi realizada por etapas, conforme observado na Figura 01. Na primeira análise, foram excluídos os artigos indisponíveis, as referências duplicadas, resumos publicados em eventos, monografias, dissertações e teses acadêmicas. Após essa prévia seleção, foi realizada a análise de títulos e resumos para obtenção de artigos potencialmente relevantes para a revisão, especialmente quanto ao atendimento do critério “Floresta Estacional Semidecidual” e de informações relevantes ao levantamento. Depois dessa reciclagem, foi realizada uma última análise para definição dos artigos a serem considerados, onde com a leitura dos artigos, foi mantido apenas os que possuíam alguma das informações necessárias para formulação dos valores de referência. Os artigos possuíam de acordo com o grupo de palavras informações distintas, ou seja, os artigos não possuíam todos os indicadores em análise levantados, assim, cada indicador teve variação no volume de dados coletados.



Figura 1. Infográfico apresentando os resultados das análises de dados, com o número de artigos selecionados e/ou excluídos em cada etapa. Fonte: elaborado pela autora.

Foram selecionados com os grupos de palavras 583 artigos. Após todas as seleções foram excluídos 400 artigos e selecionados e utilizados nesse estudo 183 artigos, os quais representaram 307 áreas de estudo.

De cada publicação, foi extraída a localização geográfica das áreas de estudo (coordenadas), a fitofisionomia das florestas e a área dos fragmentos em hectares (ha). Além dessas, a priori as informações a serem extraídas dos artigos foram: grupo sucessional (pioneiras, secundárias iniciais e secundárias tardias), síndrome de dispersão

(zoocoria – zoo, anemocoria – anemo e autocoria – auto), diversidade de Shannon (H), riqueza de espécies arbóreas, equabilidade (J), densidade (ind.ha^{-1}), altura (m), presença da espécie Fabaceae (diversidade funcional), presença de Epífitas (E), Cipós e lianas (CL), incidência de luz, ocorrência de espécies exóticas e invasoras, presença de fogo ou Manejo, predação, presença de Herbáceas, produção serapilheira, % Serapilheira, altura da serapilheira, número de sementes e densidade sementes no banco de sementes do solo. Entretanto, com a análise da base de dados, não foram feitos valores de referência para os seguintes indicadores: incidência de luz, predação, ocorrência de invasoras, % serapilheira e altura serapilheira, por não ter dados em quantia suficiente, devido a não ser fornecido nos artigos analisados. Para os demais indicadores foi possível extrair as informações e assim determinar os índices.

Para determinar os valores de referência, foi calculado a média, o desvio padrão e o intervalo de confiança para os indicadores ecológicos numéricos e para os indicadores nominais foram avaliados por meio da comparação da proporção de ausentes e presentes (quantidade de ausentes e de presentes).

Utilizando-se de gráficos, fez-se estatística descritiva pontuando os indicadores com menor base de dados, como forma de apontar aqueles que necessitam de mais estudos e os que são mais estudados referentes a análise de Florestas Estacionais Semidecíduas.

3 RESULTADOS

3.1 Levantamento de Dados

Foram analisadas 307 áreas de estudo, totalizando em extensão 62.933.727,25 ha de área de amostragem, em áreas de Floresta Estacional Semidecídua. As áreas encontradas nesses trabalhos estão distribuídas em 15 estados do Brasil, abrangendo os estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Goiás, Tocantins, Bahia, Espírito Santo, Paraíba, Sergipe e Pernambuco.

A revisão da literatura, além de ter fornecido as informações para a definição dos valores de referência, também permitiu identificar quais indicadores ecológicos têm sido menos estudados nos estudos no Brasil e os que possuem maior presença nos estudos (Figura 2). Há diversos indicadores ecológicos que se destacaram nos estudos analisados, a Riqueza de espécies nativas (264), Sucessão Ecológica (260), Presença/ausência da

espécie Fabaceae (183) e Diversidade de espécies arbóreas (178) (Figura 2) foram os que apresentaram maior destaque, presentes em grande número de artigos selecionados.

No entanto, não se restringiu a apenas esses quatro, houve outros indicadores que provaram serem avaliados em um número considerável de artigos analisados, como Predação (160), Equitabilidade (159), Produção de Serapilheira (146), Densidade de Indivíduos (123) e Síndrome de Dispersão (121). Houve alguns, no entanto, que estiveram presentes em menor número de artigos, como presença/ausência de cipós e lianas (16) e presença ou não de herbáceas (31).

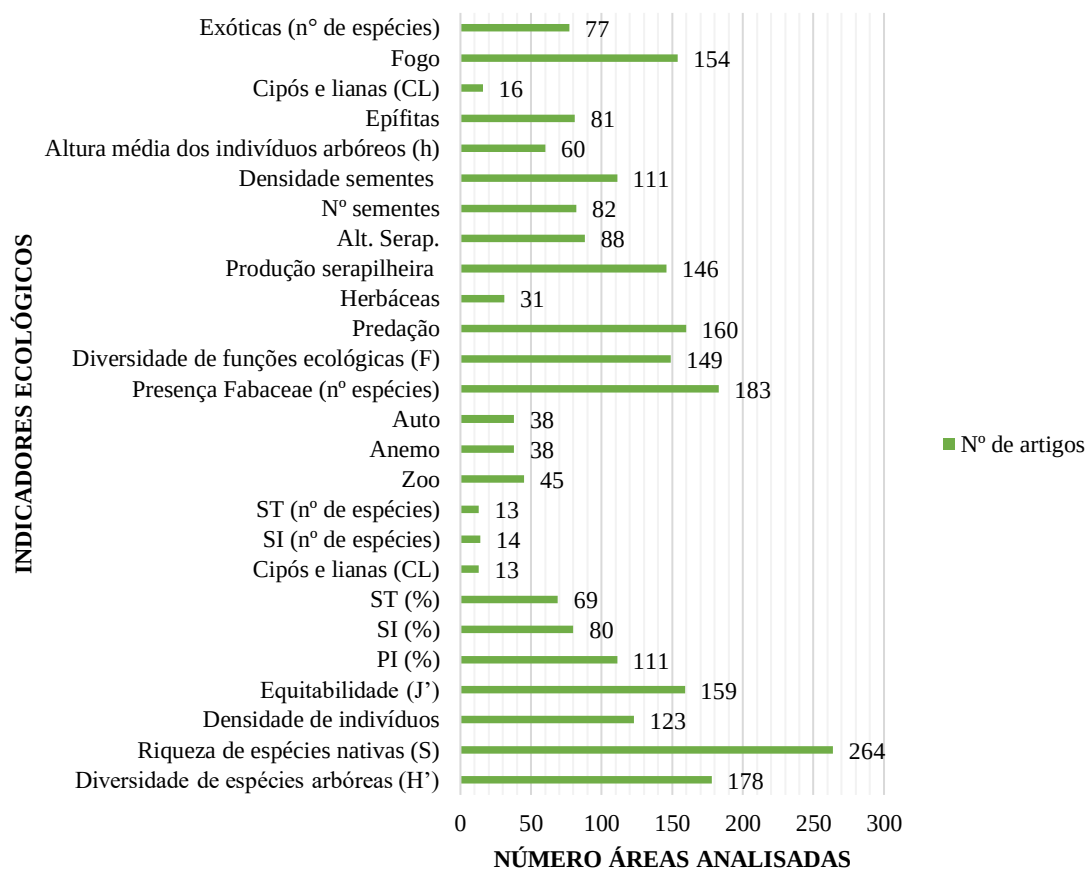


Figura 2. Representação gráfica do número de áreas analisadas que apresentaram informações sobre os indicadores ecológicos selecionados. Fonte: elaborado pela autora.

3.2 Valores de Referência dos Indicadores Ecológicos para Floresta Estacional Semidecídua

Na Tabela 2 apresenta-se os valores de referência encontrados para os indicadores selecionados. Os valores de referência são objetivos a serem alcançados para cada indicador ecológico (GANDOLFI *et al.* 2015), desta maneira podemos por meio das

informações apresentadas na Tabela 2 avaliar as Florestas Estacionais Semidecíduas no Brasil.

Tabela 2. Valores de referência encontrados para os indicadores ecológicos na avaliação para áreas restauradas com a fitofisionomia Floresta Estacional Semidecídua.

Divisão Funcional	Indicadores de referência	Valores de referência	Desvio padrão	Intervalo Confiança
<i>Diversidade de espécies</i>	Diversidade de espécies arbóreas (H')	3,34	0,62	0,09
	Riqueza de espécies nativas (S)	131	52	6,23
	Densidade de indivíduos	1630,6	454,40	80,30
	Equitabilidade (J')	0,78	0,09	0,01
	PI (%)	15,75%	0,18	0,03
	SI (%)	54,09%	0,21	0,05
	ST (%)	25,59%	0,16	0,04
<i>Diversidade funcional</i>	Zoocoria	65,03%	0,15	0,04
	Anemocoria	26%	0,15	0,05
	Autocoria	9%	0,07	0,02
	Presença Fabaceae (nº espécies)	16	9,7	1,41
	Diversidade de funções ecológicas (F)	2	0,49	0,08
<i>Proteção, solo e ciclagem de nutrientes</i>	Predação	Ausente	ausente	ausente
	Herbáceas	22%	0,10	0,03
	Produção serapilheira (kg.ha ⁻¹)	8097,60	3419,82	555
	Altura Serapilheira (cm)	3,45	1,32	0,28
	Nº sementes	1732,95	1284,78	278
	Densidade sementes (sem.m ⁻²)	2373,98	1599,32	269,29
<i>Desenvolvimento</i>	Altura média dos indivíduos arbóreos (h)	8,55	2,32	0,59
	Epífitas (nº de espécies)	3	1,40	0,31
	Cipós e lianas (CL)	12%	0,08	0,04
<i>Controle e Manejo</i>	Fogo	Ausente	ausente	ausente
	Exóticas (nº de espécies)	4	2,88	0,64

Fonte: elaborado pela autora.

No contexto geral pode ser detectado coerência em todos os valores calculados para os indicadores com o que se espera de florestas de referência da fitosionomia estudada. Em relação a cada indicador, os de diversidade de espécies arbóreas ($3,34 \pm 0,09$) e equitabilidade ($0,78 \pm 0,01$), que estão envolvidos com a questão da diversidade de espécies, apresentaram valores altos, o que indica consequentemente alta biodiversidade. Em relação a sucessão ecológica, os valores encontrados, ilustrados pela Figura 3, apresentaram maior porcentagem de espécies não pioneiras ($80\% \pm 0,09$), em relação as pioneiras ($16\% \pm 0,03$).

SUCCESSÃO ECOLÓGICA

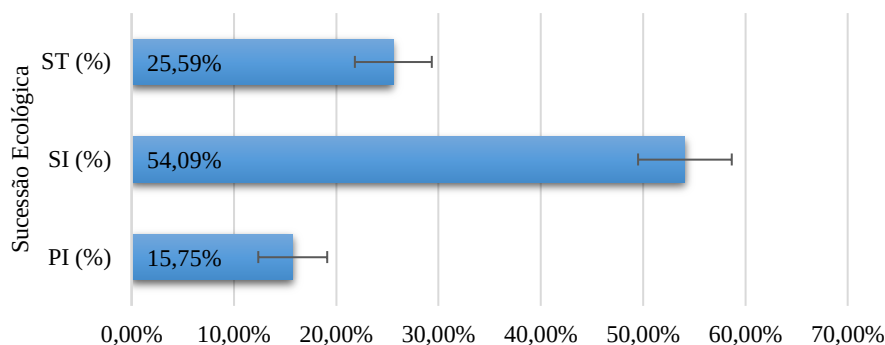


Figura 3. Representação gráfica do valor de referência (%) encontrado para cada grupo sucessional – pioneira (PI), Secundária Inicial (SI) e Secundária Tardia (ST)- nas florestas estacionais semidecídua em estágio avançado de sucessão. O intervalo de confiança está representado por meio da linha presente nas barras. Fonte: elaborado pela autora.

Na diversidade funcional, temos o destaque para o indicador da síndrome de dispersão por zoocoria, onde o valor de referência é superior a 50% (65,03%), o que indica que a floresta que se encontra em monitoramento, deve possuir maior proporção de espécies zoocóricas em relação a anemocóricas e autocóricas (Figura 4). Para o indicador Fabaceae, foi encontrado o valor de referência de $16 \pm 1,41$, apontando a necessidade de ter a presença de tais espécies em ecossistemas de referência.

SÍNDROME DE DISPERSÃO

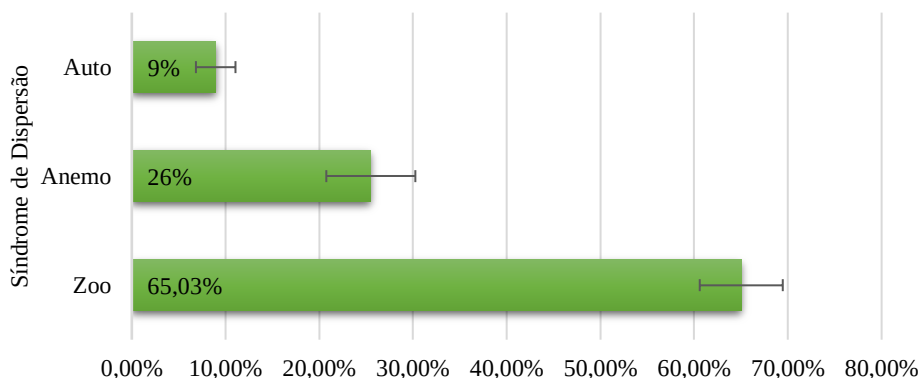


Figura 4. Representação gráfica dos valores de referência (%) encontrados para as síndromes de dispersão nas florestas estacionais semidecíduas – zoocoria (zoo), anemocoria (anemo) e autocoria (auto) - em estágio avançado de sucessão. O intervalo de confiança está representado por meio da linha presente nas barras. Fonte: elaborado pela autora.

Dos indicadores de proteção, solo e ciclagem de nutrientes, Predação foi o único que se apresentou como ausente, ou seja, não é recomendado em áreas consideradas restauradas indícios de predação. Quanto a Herbáceas, foi determinado o valor de

22%±0,03, Produção de Serapilheira, 8098 ± 555 kg.ha⁻¹, Altura de serapilheira, 3,45±0,28 cm, Número de sementes, 1733±278 e Densidade de Sementes o valor de referência de 2374±269 sem.m⁻².

Os indicadores ecológicos de desenvolvimento e controle e manejo, apresentou resultantes coerentes com o esperado. Pode ser encontrada espécies exóticas em áreas restauradas, mas sob um limite, que segundo os valores encontrados foi de 4±0,6 espécies, não pode, contudo, ter presença de fogo nas Florestas Estacionais Semidecíduas restauradas. A altura média recomendado para os indivíduos arbóreos é de 8,6±0,6 m, e a presença controlada de espécies epífitas (3±0,3) e de cipós e lianas (12%±0,04).

4 DISCUSSÃO

A definição de valores de referência é, atualmente, um dos tópicos mais importantes na restauração ecológica (LONDE *et al.* 2020). Há alguns estudos publicados com objetivo semelhante a esse estudo, no entanto, tais valores referem-se às fitofisionomias da Mata Atlântica referentes apenas às matas ripícolas e uma área de amostragem reduzida (SUGANUMA *et al.* 2013; SUGANUMA & DURIGAN, 2015; DURIGAN; SUGANUMA; DE MELO, 2016; LONDE *et al.* 2020). Os valores de referência aqui definidos são para quase toda região do Brasil (vários estados) que se classificam como Floresta Estacional Semidecídua, além disso selecionou-se uma gama maior de indicadores ecológicos calculados a partir de mais de cinquenta milhões de hectares de área de amostragem.

Os indicadores que apresentaram maior base de dados (Riqueza de espécies nativas, Sucessão Ecológica, Presença/ausência da espécie Fabaceae e Diversidade de espécies arbóreas), os tornando de maior uso e discussão nos estudos, condiz com os estudos de Lima *et al.* (2015), no sentido que apontam estes indicadores como simples, de fácil e rápida medição em campo, e eficientes para avaliar o grau de retorno dos processos ecológicos, sendo considerados bons indicadores a serem empregados no monitoramento ambiental, já que representam parâmetros ecológicos relevantes e indicam a qualidade da área em restauração. Aos indicadores que ainda não possuem uma ampla aplicação, com uma base de dados baixa, é recomendado que estudos futuros os utilizem e divulguem as informações para o aprimoramento dos valores de referência aqui formulados.

Os valores de referência determinados aos indicadores diversidade de espécies arbóreas e equitabilidade apresentaram alta biodiversidade, seguindo, portanto, o que se espera de áreas em estados avançados de restauração (MELO; SILVA; DIAS, 2008). A baixa presença de espécies secundárias tardias indica em um processo de sucessão ecológica que a comunidade estudada não está progredindo nas condições esperadas de acordo com o tempo de regeneração (OLIVEIRA-FILHO *et al.* 2004; BRITO & CARVALHO, 2014), isto porque alta presença de pioneiras, indicam estágios iniciais de sucessão (com maior entrada de luz), ou seja, reestabelecimento da comunidade vegetativa em áreas em processos de restauração (GANDOLFI, 2000; CHAZDON, 2008; CÔRREA *et al.* 2014). Os valores encontrados no trabalho confirmam o que indica a literatura, já que os indicadores assumiram maior porcentagem de espécies não pioneiras em relação as pioneiras.

Algo importante ainda a ser pontuado ao analisar os indicadores ecológicos e os valores de referência, é a questão da diversidade de funções ecológicas. A síndrome de dispersão possui relevância significativa no ciclo de vida da maioria das plantas em ambientes tropicais, com a função de proteger assementes da competição com a planta-mãe, além de promover sua disseminação para microssítios mais adequados a sua germinação e aumentando sua chance de sobrevivência (MARTINS, 2012). O mecanismo de dispersão por animais (zoocoria) é comumente predominante em Floresta Estacional Semidecídua em estágio sucessional avançado (KINOSHITA *et al.* 2006; DIAS-NETO *et al.* 2009), tanto como em outras fitofisionomias maduras da Floresta Mata Atlântica (LIEBSCH; MARQUES; GOLDENBERG, 2008; CÔRREA *et al.* 2014), estando nossos resultados condizentes com o esperado da literatura.

Atributos funcionais podem e devem ser utilizados como indicadores de processos/funções ecossistêmicas no processo de monitoramento das áreas restauradas (ROSENFELD E MÜLLER, 2020), assim utilizar atributos como síndrome de dispersão como indicadores, como usou-se nesta pesquisa, são em geral uma excelente ferramenta para o monitoramento do desenvolvimento da comunidade de plantas em si (SUGANUMA; ASSIS; DURIGAN, 2014; ROSENFELD E MÜLLER 2019; ROSENFELD E MÜLLER, 2020). A presença ou ausência das espécies de Fabaceae, são, assim como a síndrome de dispersão, um monitoramento das funções ecológicas dos ecossistemas das Florestas Estacionais Semidecíduas, isto porque como apontam Meira *et al.* (2015) e Melo, Daronco, Durigan (2015), plantas fixadoras de nitrogênio podem

gerar efeitos em nível ecossistêmico, afetando a produção de biomassa e a ciclagem de nutrientes.

Quanto ao indicador produção de serapilheira, referente a divisão de indicadores de proteção, solo e ciclagem de nutrientes, nos estudos de Vital *et al.* (2004) a produção de serapilheira foi estimada em 10.646,1 kg.ha⁻¹ para o ecossistema de Mata Ciliar, do tipo Floresta Estacional Semidecidual, na região centro-sul do Estado de São Paulo, valor este próximo a referência (8098 ± 555 kg.ha⁻¹), sendo o estudo citado com valores superiores, justamente por se tratarem de mata ciliar, diferentemente das florestas analisadas na pesquisa. A geração de informações sobre a deposição de serapilheira são ferramentas essenciais para a compreensão, conservação e manutenção natural dos ecossistemas, bem como suas inter-relações com o meio (COSTA *et al.* 2010; Holanda *et al.* 2017).

A produção de serapilheira está diretamente ligada a espessura da camada de serapilheira de uma área e à velocidade de decomposição, fatores que influenciam o acúmulo desta sobre o solo da floresta (SANTOS NETO *et al.* 2015). O valor de referência de altura determinado neste estudo (3,45±0,28 cm) condiz com a espessura de serapilheira no interior do fragmento da Reserva Estadual do Morro Grande, coberta por Floresta Secundária Estacional Semidecídua e protegida há cerca de 80 anos, que foi de 3,5 cm (PORTELA E SANTOS, 2007). A produção e acúmulo de serapilheira dependem das características e da dinâmica de cada floresta (PORTELA E SANTOS, 2007).

Ainda sobre a proteção, solo e ciclagem de nutrientes, temos um indicador importante, a presença ou ausência de Herbáceas. Nos resultados, foi apresentado a recomendação para a presença de herbáceas, e isso como apresenta Kozera, Santos e Alves (2019), permite um melhor conhecimento do ambiente, e consequentemente a tomada de decisões, uma vez que são plantas que fornecem benefícios para a instalação de novas espécies arbóreas, arbustivas e para as lianas que necessitam das anteriores como suporte para crescer. No entanto, a presença de herbáceas é característica de uma área em estágio inicial de sucessão, assim em um ecossistema já restaurada, a presença das herbáceas não podem ser elevadas. Outras espécies que não podem aparecer em abundância são as lianas/cipós, onde segundo Kupas (2016), interfere na regeneração ou no estabelecimento de novos indivíduos da floresta, devendo assim ter presença

controlada, retratando de forma coerente o índice encontrado para esse indicador (presença de 12% de lianas/cipós).

Quando se trata do indicador fogo, no controle e manejo, Camargos *et al.* (2010) expõe que a resposta das plantas a esse fator varia conforme o regime do fogo, caracterizado pela frequência, época de ocorrência (estação do ano) e duração dos incêndios, e ao estágio de sucessão e a formação vegetacional atingida. Formações, como o cerrado, resistem à ocorrência do fogo ou são até mesmo favorecidas por ele, uma vez que as altas temperaturas ajudam a quebrar a dormência de algumas espécies (COUTINHO, 1978, 1990; COCHRANE & SCHULZE, 1999; GERWING, 2002).

Por outro lado, formações florestais são bem mais sensíveis aos efeitos do fogo (UHL *et al.* 1990; COCHRANE, 2003). Dentre os maiores impactos causados pelos incêndios nas florestas podem ser incluídas a ação sobre a fauna, a emissão de gases e a desestruturação dos solos (BARBOSA E FEARNSTIDE, 2000; SILVA *et al.* 2005). Em estudos comparativos feitos por Silva *et al.* (2005) em regiões de encosta na Floresta Estacional Semidecídua no Estado de Minas Gerais, de inventários pré- e pós-fogo, foi detectado reduções líquidas em torno de 42% tanto na densidade como na área basal de árvores. O recomendado no estudo em questão, é a ausência do fogo, concordante, portanto, com estudos na área.

A introdução de espécies exóticas, é outro indicador que deve ter atenção nas áreas em processos de restauração ou restauradas. A introdução de espécies em ambientes onde não ocorrem naturalmente representa uma ameaça potencial à integridade dos ecossistemas, devido ao risco de que essas espécies se tornem invasoras (MACK *et al.* 2000; REJMANEK, RICHARDSON, PYSEK, 2005). Entretanto, as espécies exóticas que têm sido utilizadas podem também não se tornarem invasoras nas áreas em que foram introduzidas (WILLIAMSON E FITTER, 1996), podendo certas espécies inclusive desempenhar papéis positivos nos ecossistemas, como, por exemplo, o de facilitadoras no estabelecimento de outras espécies ou na estruturação das comunidades (D'ANTONIO E MEYERSON, 2002; EWEL E PUTZ, 2004; MARTÍNEZ, 2010; SCHLAEPFER, SAX, OLDEN, 2011; ASSIS *et al.* 2013).

Neste sentido, como se trata de formular índices de referência para áreas consideradas restauradas, a extinção generalizada de espécies já plantadas, simplesmente pelo fato de não serem nativas, não é recomendada, e conforme o valor de referência

encontrado, nota-se que é tolerável a presença de espécies exóticas, desde que com adequado controle e manejo, para não se tornar invasoras.

5 CONCLUSÕES

Aas análises dos periódicos do ano de 2009 a 2022, resultou em 187 periódicos analisados, no qual pode-se extrair informações das condições ambientais avaliadas de mais de 50 milhões de hectares das florestas estacionais semidecíduas de referência (sucessão ecológica mais avançada), uma grande porção territorial, um dos pioneiros trabalhos a abranger esta proporção de área analisada.

Os artigos analisados englobaram várias áreas dessa fitofisionomia, fornecendo informações de indicadores de forma substancial, tendo alguns destaques quando se trata de maior presença na base de dados, como riqueza de espécies nativas (264), sucessão ecológica (260), presença/ausência da espécie Fabaceae (183) e diversidade de espécies arbóreas (178), demonstrando a facilidade de aplicação e interpretação dos indicadores, e portanto, de difusão nos trabalhos de monitoramento de áreas em processo de restauração.

Conseguiu com o trabalho definir os valores de referência e de comparação para vários indicadores ecológicos usados no monitoramento e avaliação de áreas em restauração na Floresta Estacional Semidecídua. Tal definição é de extrema necessidade e aplicação na restauração ecológica. Esses índices apresentados podem auxiliar na comparação de resultados de monitoramentos e avaliações futuras, bem como na elaboração e melhoria de políticas públicas voltadas à restauração.

Os valores de referência aqui estipulados deverão passar por atualização regularmente e aprimorados à medida que mais estudos forem desenvolvidos na área, principalmente nos indicadores que tiveram maiores déficits de coleta de dados.

. Os artigos analisados englobaram várias áreas dessa fitofisionomia, fornecendo infoquando se trata das discussões e conhecimento consolidado de alguns indicadores, principalmente a presença/ausência de cipós, lianas e herbáceas e cobertura de gramíneas agressivas e cobertura de dossel das florestas de referência, ainda faltam maiores estudos.

6 REFERÊNCIAS

- ASSIS, G. B. *et al.* Uso de espécies nativas e exóticas na restauração de matas ciliares no estado de São Paulo (1957 - 2008). *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.599-609, 2013.
- BARBOSA, R.I.; FEARNSIDE, P.M. As lições do fogo: O grande incêndio de Roraima. *Ciência Hoje*, v. 27, p.27-43, 2000.
- Bonn Challenge. (2023). The Challenge: a global effort. Retrieved January 19, 2023, from <http://www.bonnchallenge.org/>.
- BRANCALION, P. H. S., *et al.* How to organize a large-scale ecological restoration program? The framework developed by the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Journal of Sustainable Forestry*, v. 32, p. 728–744, 2013.
- BRANCALION, P. H. S.; HOLL, K. D. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Suganuma, Durigan, and Reid. *Restoration Ecology*, v. 24, n.1, p. 1–3, 2016.
- BREWER, J. S.; MENZEL, T. A method for evaluating outcomes of restoration when no reference sites exist. *Restoration Ecology*, v.17, n.1, p.4-11, 2009.
- BRITO, P. S.; CARVALHO, F. A. Estrutura e diversidade arbórea da Floresta Estacional Semidecidual secundária no Jardim Botânico da Universidade Federal de Juiz de Fora. *Rodriguésia*, v.65, n.4, p. 817-830, 2014.
- CAMARGOS, V. L. *et al.* Avaliação do impacto do fogo no estrato de regeneração em um trecho de Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, MG. *Revista Árvore*, v.34, n.6, p.1055 -1063, 2010.
- CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, v. 320, p.1458–1460, 2008.
- COCHRANE, M.; SCHULZE, M. D. Fire as a recurrent event in tropical forest of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. *Biotropica*, v.31, n.1, p.2-16, 1999.
- COCHRANE, M.A. Fire science for rainforests. *Nature*, v.42, p.913-919, 2003.
- CÔRREA, L. S. *et al.* Estrutura, composição florística e caracterização sucessional em remanescente de floresta estacional semidecidual no sudeste do Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.38, n.5, p.799-809, 2014.
- COSTA, C. C. A. *et al.* Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na flona de Açu-RN. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 259-265, 2010.
- COSTA, P. F. *et al.* Regeneração natural em três áreas de restauração florestal no Mato Grosso do Sul, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 42, p. 1-14, 2022.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. (Ed.).

- COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, v.1, n.1, p.17-23, 1978.
- D'ANTONIO, C. M.; MEYERSON, L. A. Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. *Restoration Ecology*, v.10, n.4, p.703-713, 2002.
- DIAS NETO, O. C. *et al.* Estrutura fitossociológica e grupos ecológicos em fragmento de floresta estacional semidecidual, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, v.60, n.4, p. 1087-1100, 2009.
- DURIGAN, G.; SUGANUMA, M.S.; DE MELO, A.C.G. Valores esperados para atributos de florestas ripárias em restauração em diferentes idades. *Sci. For.*, v.44, 2016.
- EWEL, J. J.; PUTZ, F. E. A place for alien species in ecosystem restoration. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v.2., p.354-360, 2004.
- Fire in the tropical biota – Ecosystem process and global challenge. Berlim, Springer-Verlag, 1990. p.82-105.
- GANDOLFI, S. *et al.* Restauração ecológica de florestas tropicais: estágio atual. In L. M. Barbosa (Ed.), *Restauração ecológica: novos rumos e perspectivas* (pp. 13–22). São Paulo: Instituto de Botânica de São Paulo, 2015.
- GANDOLFI, S. História natural de uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Campinas (São Paulo, Brasil). 2000. 520f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, SP.
- GERWING, J. J. Degradation of forest through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, v.157, n.1/3, p.131-141, 2002.
- HOLANDA, A. C. *et al.* Aporte de serapilheira e nutrientes em uma área de Caatinga. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 621-633, abr.-jun., 2017.
- KINOSHITA, L. S. *et al.* Composição florística e síndromes de polinização e de dispersão da mata do Sítio São Francisco, Campinas, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v.20, n.2, p.313-327, 2006.
- KOZERA, C.; SANTOS, A. L. R.; ALVES, V. A. Espécies herbáceas de uma Floresta Estacional Semidecidual do oeste do Paraná, Brasil. *Acta Biológica Paranaense*, v.48, n.1-2, p. 21-37, 2019.
- KUPAS, F.M. 2016. Estrutura da sinúsia herbácea e efeitos da sazonalidade em um fragmento urbano de Floresta Estacional Semidecidual do Oeste do Paraná. 49p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Paraná, Palotina, PR.
- LIEBSCH, D.; MARQUES, M. C. M.; GOLDENBERG, R. How long does the Atlantic Rainforest take to recover after a disturbance? Changes in species composition and ecological features during secondary succession. *Biological Conservation*, Essex, v. 141, p. 1717-1725, 2008.
- LIMA, P. A. F. *et al.* Indicadores Ecológicos: ferramentas para o monitoramento do processo de restauração ecológica. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2015.

- LONDE, V. *et al.* Reference and comparison values for ecological indicators in assessing restoration areas in the Atlantic Forest. *Ecological Indicators*, v. 110, 2020.
- MACK, R.N. *et al.* Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. *Ecological Applications*, v.10, p.689-710, 2000.
- MARTINS, S. V. (Org.). *Restauração ecológica de ecossistemas degradados*. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. v. 1. 293p.
- MEIRA, M. *et al.* Potential species for recovery areas semideciduous forest in iron exploration in the Serra Espinhaco. *Bioscience Journal*, v.31, n.1, p.283–295, 2015.
- MELO, A.; DARONCO, C.; RE, D.; DURIGAN, G. Tree species attributes and facilitation of natural regeneration in heterogeneous planting of riparian vegetation. *Scientia Forestalis*, v. 43, n.106, p.333–344, 2015.
- MELO, L.C.A.; SILVA, C.A.; DIAS, B.O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, n. 32, p. 101-110, 2008.
- OLIVEIRA, R. E.; ENGEL, V. L. Indicadores de monitoramento da restauração na Floresta Atlântica e atributos para ecossistemas restaurados. *Scientia Plena*, v. 13, n.12, 2017.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T. *et al.* Variações estruturais do componente arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada das Perdizes, Carrancas, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 27, n.2, p.291-309, 2004.
- OVERBECK, G. E. *et al.* Princípios e desafios da restauração ecológica em ecossistemas brasileiros. In: A. L. Peixoto, J. R. P. Luz, & M. A. de Brito (Eds.), *Conhecendo a biodiversidade*. p. 141–155. Brasília: MCTIC, CNPq, PPBio, 2016.
- PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. *et al.* Protocolo de monitoramento da funcionalidade ecológica de áreas de restauração. 2015.
- PORTELA, A. C. Q.; SANTOS, F. A. M. Produção e espessura da serapilheira na borda e interior de fragmentos florestais de Mata Atlântica de diferentes tamanhos. *Revista Brasileira de Botânica*, v.30, n.2, p.271-280, abr.-jun. 2007.
- REJMANEK, M.; RICHARDSON, D.M.; PYSEK, P. Plant invasions and invasibility of plant communities. In: van der MAAREL, E. (Ed.). *Vegetation ecology*. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. p.332-355.
- RIOS, F; P. Periódicos: critérios de indexação. Florianópolis: UDESC, 2018.
- RODRIGUES, R. *et al.* On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, v.142, p. 1242–1251, 2009.
- RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. R. (Ed.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2001.
- ROSENFELD, M. F.; MÜLLER, S. C. Assessing ecosystem functioning in forests undergoing restoration. *Restoration Ecology*, v. 27, n.1, p. 158–167, 2019.

- ROSENFELD, M. F.; MÜLLER, S. C. Ecologia funcional como ferramenta para planejar e monitorar restauração ecológica de ecossistemas. *Oecologia Australis*, v. 24, n.3, p.550-565, 2020.
- SANTOS NETO, A. P. *et al.* Produção de Serapilheira em Floresta Estacional Semidecidual e em Plantios de *Pterogyne nitens* Tul. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no sudoeste da Bahia. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 633-643, jul.-set., 2015.
- SCHLAEPFER, M. A.; SAX, D. F.; OLDEN, J. D. The potential conservation value of non-native species. *Conservation Biology*, v.25, p.428-437, 2011.
- SILVA, K. A. *et al.* Restauração Florestal de uma Mina de Bauxita: Avaliação do Desenvolvimento das Espécies Arbóreas Plantadas. *Floresta e Ambiente*, v. 23, n.3, p. 309-319, 2016.
- SILVA, V. F.*et al.* Impacto do fogo no componente arbóreo de uma floresta estacional semidecídua no município de Ibituruna, MG, Brasil. *Acta Biológica Paranaense*, v. 19, n.4, p.701-716, 2005.
- SUGANUMA M.S.; DURIGAN G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. *Restoration Ecology*, v. 23, n.3, p. 238-251, 2015.
- SUGANUMA, M. S. *et al.* Ecossistemas de Referência para Restauração de Matas Ciliares: existem padrões de biodiversidade, estrutura florestal e atributos funcionais? *Revista Árvore*, v.37, n.5, p.835-847, 2013.
- SUGANUMA, M. S.; ASSIS, G. B. de; DURIGAN, G. Changes in plant species composition and functional traits along the successional trajectory of a restored patch of Atlantic Forest. *Community Ecology*, v. 15, n.1, p. 27–36, 2014.
- UHL, C. *et al.* Os caminhos do fogo na Amazônia. *Ciência Hoje*, v. 11, n. 65, p. 24-32, 1990.
- VAN STRAALLEN, N. M. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology*, v. 9, n. 1/3, p. 429-437, 1998.
- VITAL, A. R. T. *et al.* Produto de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em zona ripária. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.793-800, 2004.
- WILLIAMSON, M.; FITTER, A. The varying success of invaders. *Ecology*, v.77, p.1661–1666, 1996.
- WORTLEY, L.; HERO, JM.; HOWES, M. Evaluating Ecological Restoration Success: A Review of the Literature. *Restoration Ecology*, v.21, n. 5, p. 537-543, 2013.
- YAMAMOTO, L.F.; KINOSHITA, L.S.; MARTINS, F.R. 2007. Síndromes de polinização e de dispersão em fragmentos da Floresta Estacional Semidecídua Montana, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v.21, n.3, p.553-573.

CAPÍTULO 2

FUNCIONALIDADE ECOLÓGICA DE ÁREAS RESTAURADAS NO MATO GROSSO DO SUL

Jessica Ferreira da Silva¹; Zefa Valdivina Pereira²

RESUMO: Este trabalho objetivou avaliar os processos ecológicos em áreas de restauração ecológica por meio indicadores que avaliem diversos aspectos da sua funcionalidade ecológica em três áreas que se encontram em processo de restauração no Estado do Mato Grosso do Sul. Os projetos de restauração analisados têm idades de 13, 14 e 17 anos respectivamente, encontram-se nos municípios de Ivinhema, Jateí e Caarapó, nas coordenadas 22°22'10.69" S e 53°55'09.58" O; 22°28'55" S e 54°18'09" O; 22°38'02" S. e 54°49'19" O. Para a avaliação das áreas, utilizou-se de indicadores baseado no método MESMIS – Marco de Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais Incorporando Indicadores, sendo avaliados os processos ecológicos geradores de estabilidade (capacidade do sistema de manter o equilíbrio ecológico), de resiliência (resposta a distúrbios do sistema) e de confiabilidade (capacidade do sistema de manter sua produtividade com o surgimento de alterações a longo prazo) com base em valores de referência. Os resultados demonstram que a área de Caarapó após 17 anos de implantação da restauração tem evoluído positivamente direcionando-se para os parâmetros ecológicos de uma área restaurada uma vez que apresenta condições próximas à área de referência, em relação aos atributos de estabilidade, resiliência e confiabilidade do sistema. No entanto, Jateí após 14 de implantação da restauração, apresenta condições relativamente próximas a Caarapó, estando em um estágio intermediário de área restaurada. A área de Ivinhema mesmo após 13 anos de implantação da restauração ainda apresenta baixa resiliência. Medidas de intervenção são necessárias em Jateí, mas principalmente na área de Ivinhema a qual encontra-se adjacente a uma matriz predominantemente agrícola.

Palavras-chave: Processos ecológicos; MESMIS, Indicadores.

ABSTRACT: This work aimed to evaluate the ecological processes in areas of ecological restoration through indicators that evaluate different aspects of its ecological functionality in three areas that are in the process of restoration in the State of Mato Grosso do Sul. The restoration projects analyzed are 13, 14 and 17 years old respectively, located in the municipalities of Ivinhema, Jateí and Caarapó, at coordinates 22°22'10.69" S and 53°55'09.58" W; 22°28'55" S and 54°18'09" W; 22°38'02" S. and 54°49'19" W. For the evaluation of the areas, indicators based on the MESMIS method were used – Framework for the Evaluation of Natural Resource Management Systems Incorporating Indicators, evaluating the ecological processes that generate stability (the system's ability to maintain ecological balance), resilience (response to system disturbances) and reliability (the system's ability to maintain its productivity in the face of long-term changes) based on reference values. The results show that the Caarapó area, after 17 years of implementation

¹ Engenheira Ambiental, Mestre em Recursos Naturais, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Grande Dourados –UFGD, Rodovia Dourados - Itahum, Km 12 - Cidade Universitária, Caixa Postal 533, CEP: 79.804-970, Dourados (MS). jes_ferreira@yahoo.com.br;

² Bióloga, Dra. Em Biologia Vegetal, Professora da Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados –UFGD, Rodovia Dourados - Itahum, Km 12 - Cidade Universitária, Caixa Postal 533, CEP: 79.804-970, Dourados (MS). zefapereira@ufgd.edu.br.

of the restoration, is the closest to a restored area since it presents conditions close to the reference area, in relation to the attributes of stability, resilience and reliability of the system. However, Jatei, after 14 years of implementation of the restoration, presents conditions relatively close to Caarapó, being in an intermediate stage of restored area. The Ivinhema area, even after 13 years of implantation of the restoration, still did not present the necessary stability for the functionality of the system. Intervention measures are necessary in Jatei, but mainly in the Ivinhema area, which is predominantly agricultural.

Keywords: Ecological processes; MESMIS, Indicators.

1. INTRODUÇÃO

A restauração ecológica é entendida como o processo de assistência à recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído, visando a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos (SER, 2004). Neste contexto, a restauração não se restringe apenas ao resgate da diversidade biológica local, mas da funcionalidade ecológica do ecossistema (AERTS E HONNAY, 2011; ALTIVO E PIÑA-RODRIGUES, 2017) e sua capacidade de se manter ao longo do tempo (GANDOLFI E RODRIGUES, 2007; CHAZDON *et al.* 2016).

A restauração da funcionalidade ecológica está ligada aos fatores que afetam as comunidades bióticas expressos em seus indicadores de diversidade (riqueza, composição, equitabilidade) e na presença de interações bióticas, interferindo no funcionamento dos ecossistemas (HOOPER *et al.* 2004; AERTS E HONNAY, 2011). Bem como, condições abióticas adequadas que permitem a recolonização (passiva) de espécies, como a produção primária, fluxos de energia e ciclos de nutrientes (AERTS E HONNAY, 2011; PIÑA-RODRIGUES, *et al.* 2015).

Nessa nova abordagem, muitos estudos com restauração tem dado maior importância à diversidade funcional das espécies e não apenas ao número e taxonomia de espécies implantadas, visando promover o retorno dos processos ecológicos fundamentais, muitas vezes não contemplados nos projetos de restauração florestal (LAVOREL E GARNIER, 2002; RUSCH *et al.* 2003; GANDOLFI E RODRIGUES, 2007; FRANKS, YATES; HOBBS, 2009; RODRIGUES, BRANCALION, ISERNHAGEN, 2009; ENGEL, 2011; ARONSON, DARONCO, BRANCALION, 2011;

CLEWEL E ARONSON, 2013; LISTOPAD *et al.* 2015; BRANCALION, GANDOLFI, RODRIGUES, 2015).

Para avaliar a funcionalidade do ecossistema restaurado deve-se realizar o monitoramento, ou seja, deve-se analisar a trajetória do projeto de restauração da área e avaliar a necessidade ou não de manejo adaptativo (ARONSON, DARONCO, BRANCALION, 2011; SALOMÃO *et al.* 2019). Geralmente se utilizam características de ecossistema de referência do sistema degradado como base para determinar o quanto a área em restauração está se modificando e em qual trajetória. E como ferramenta utiliza-se os indicadores ecológicos, sendo uma busca contínua, sujeita a intensas discussões (REID, 2015; SUGANUMA E DURIGAN, 2015; BRANCALION E HOLL 2016; ROSENFELD E MULLER, 2020).

Desse modo, a funcionalidade do novo ecossistema deve ser monitorada por indicadores que capturem a complexidade do ecossistema, enquanto permanecem simples o suficiente para serem obtidos de forma fácil e rotineira e que estão relacionados à composição, estrutura e função ecológica do ecossistema (RODRIGUES, BRANCALION, ISERNHAGEN, 2009; LISTOPAD *et al.* 2015; BRANCALION, GANDOLFI, RODRIGUES, 2015; PIAIA *et al.* 2021). Os indicadores devem ser selecionados visando critérios que apontem a estabilidade do ecossistema futuramente (MUMMEY, STAHL, BUYER, 2002).

Dessa forma, este trabalho objetiva analisar os processos ecológicos em áreas de restauração ecológica por meio indicadores que avaliem diversos aspectos da sua funcionalidade ecológica em três áreas que se encontram em processo de restauração no Estado do Mato Grosso do Sul.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Foram analisadas três áreas localizadas nos municípios de Ivinhema, Jateí e Caarapó (Figura 1), com idades de 13, 14 e 17 anos, respectivamente, no ano de 2019.

A área 1 trata-se de um plantio de mudas de 12 anos e é denominada de Reserva Florestal Recanto Verde, localizada na Escola Municipal Benedita Figueiró de Oliveira, município de Ivinhema (Latitude: 53°55'09.58" O e Longitude: 22°22'10.69" S). A reserva abrange 4,68 hectares disposta adjacente a uma matriz predominantemente agrícola.

A área 2 trata-se de um plantio de mudas de 13 anos, implantado no ano de 2003 e está localizada no Sítio Ecológico Gerson Pereira Dias, município de Jateí (Latitude 22°28'55" sul e Longitude 54°18'09" oeste). O histórico antecedente à restauração é baseado na utilização para pastagem e cultivos agrícolas. Em vista da proximidade do Parque Estadual das Várzeas do Rio Ivinhema e importância dada as questões ambientais no município, atividades como a restauração ambiental do Sítio Ecológico também foram incentivadas (FROES, 2019). A área de restauração abrange 4,71 hectares e é privilegiada por estar conectada a uma área de preservação permanente. Nas proximidades, do outro lado da rodovia, existe um fragmento florestal de aproximadamente 13 hectares (FROES, 2019).

A área 3 trata-se de um plantio de mudas de 17 anos, realizado no ano de 2000 e está situado na Escola Municipal Indígena Nandejara - Aldeia Tey'kuê, município de Caarapó – MS (Latitude de 22°38'02" Sul e longitude de 54°49'19" Oeste). A área de restauração contempla 1,5 hectares e continuamente a ela existe um remanescente florestal de 8,9 hectares.

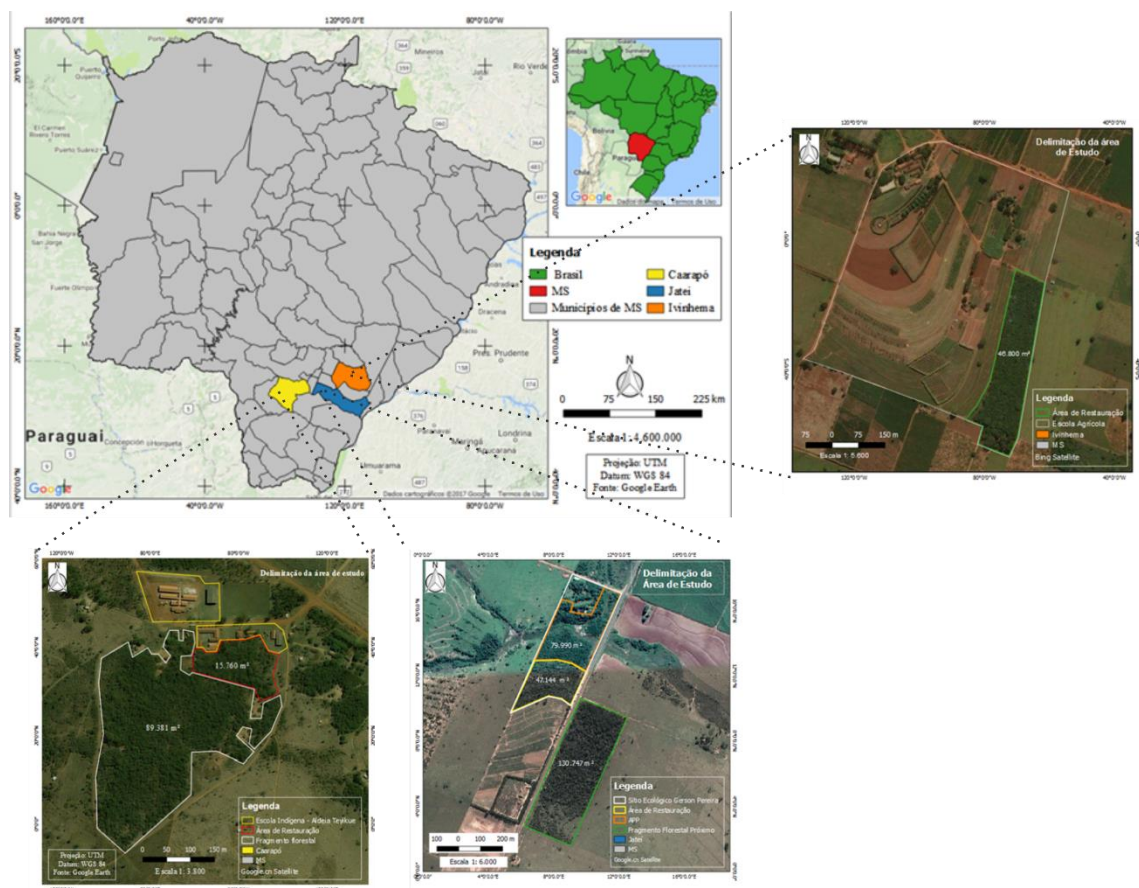


Figura 1. Localização dos projetos de restauração nos municípios de Jateí (amarelo), Caarapó (Azul) e Ivinhema (Laranja), Mato Grosso do Sul. (modificado de Costa, 2017).

2.2 Avaliação do monitoramento das áreas restauradas

Para a avaliação das áreas, utilizou-se a metodologia proposta por Piña-Rodrigues *et al.* (2015), que faz uso de indicadores baseado no método MESMIS – Marco de Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais Incorporando Indicadores (MASSERA, ASTIER, LÓPEZ, 1999), sendo avaliados os processos ecológicos geradores de estabilidade (capacidade do sistema de manter o equilíbrio ecológico), de resiliência (resposta a distúrbios do sistema) e de confiabilidade (capacidade do sistema de manter sua produtividade com o surgimento de alterações a longo prazo).

Os descritores foram elaborados de acordo com os valores de referência formulados por Silva (2023) no Capítulo 1, definindo-se para cada indicador cenários positivos e seus respectivos parâmetros (Tabela 1). Para cada um deles (estabilidade, resiliência e confiabilidade), foram atribuídas notas variando de zero a 1 (grau crítico ou distinto do cenário positivo - baixo), 2 (grau aceitável) e 3 (grau desejado de sustentabilidade, similar ao cenário positivo).

Tabela 1. Atributos, descritores, indicadores, cenários referenciais e parâmetros na avaliação para áreas restauradas no Mato Grosso do Sul (adaptada de PIÑA-RODRIGUES et al. 2015 com valores de referência e intervalos de confiança de SILVA, 2023 – Capítulo 1).

Indicadores	Descrição	Referência ¹	Parâmetros ²
ESTABILIDADE E RESILIÊNCIA			
<i>Diversidade de espécies</i>			
Diversidade de espécies arbóreas (H')	Número de espécies Arbóreas presentes no sistema, e a abundância relativa entre elas (ODUM, 1988)	H' = 3,3 nats/indivíduo±0,09 (SILVA, 2023).	H' ≥ 3,3 = alto = 3 3,0 < H' < 3,3 = alto=3 1,0 < H' < 3,3 = médio = 2 H' ≤ 1,0 = baixo = 1
Riqueza de espécies nativas (S)	Número total de espécies nativas presentes no sistema	S=131±6 (SILVA, 2023).	S > 131 = 3 75 < S ≤ 131 = 2 S ≤ 75 = 1
Densidade de indivíduos	Número de indivíduos vivos por hectare do sistema	Densidade=1631 ind. ha ⁻¹ ± 80 (SILVA, 2023).	Nº indivíduos > 1631 = alto = 3 1100 < Nº indivíduos ≤ 1631 = médio = 2 500 < Nº indivíduos ≤ 1100 = 1 Nº indivíduos ≤ 500 = 0

Indicadores	Descrição	Referência ¹	Parâmetros ²
Número de indivíduos por grupo sucessional (Es)	% de distribuição dos indivíduos em cada grupo sucessional (pioneiras – P; não-pioneiras – NP)	Desejável: atende ao valor de referência encontrado para fragmentos de referência das florestas estacionais semidecíduas. P: 16%; NP:80% (SILVA, 2023) Indesejável: não atende ao valor de referência (SILVA, 2023).	NP ≥ 80% e P ≤ 16% = alto = 3 NP ≥ 43% e 16% < P ≤ 34% = médio = 2 NP = P = médio = 2 NP < 43% e P > 34% = baixo = 1
Equitabilidade (J')	Demonstra o quão uniformemente estão distribuídos os indivíduos nas espécies componentes do sistema (Pielou, 1966)	J' = 0.8±0,01 (SILVA, 2023).	J' ≥ 0,8 = alto = 3 0,5 < J' < 0,8 = médio = 2 J' ≤ 0,5 = baixo=1
<i>Diversidade funcional</i>			
Diversidade de Funções ecológicas (F)	Quantidade de funções ecológicas atuando no sistema	Alta diversidade de funções ecológicas atuantes no sistema, contribui para a rápida restauração da estabilidade e resiliência (TRINDADE- FILHO & LOYOLA, 2010). F=2±0,08 (SILVA, 2023).	F > 2 = alto =3 1 < F ≤ 2 = médio= 2 F = 1 (mínimo)= baixo=1 F = 0 (ausentes) = crítico=0
Fabaceae (F)	Número de espécies da família Fabaceae	A família Fabaceae tem importância de fertilização, já que suas raízes fazem simbiose com as bactérias fixadoras de nitrogênio.	16 ≤ F ≤ 30 =alto=3 6 ≤ F < 16 = médio=2 F < 6 = baixo = 1
F=16±1,41			
Síndrome de dispersão (SD)	% de distribuição síndrome de dispersão das espécies- Zoocórica(Zoo); Anemocórica (Anemo) e Autocórica (Auto)	Zoo: 65%±0,04; Anemo: 26%±0,05; Auto: 9%±0,02 (SILVA, 2023).	Zoo ≥ 65%; 26% ≤ Anemo ≤ 31%; 9% ≤ Auto ≤ 15% =alto=3
			Zoo ≥ 65%; Anemo ≤ 26%; Auto ≤ 9% =alto=3
			45% ≤ Zoo < 65%; 31% < Anemo < 45%; 11% < Auto ≤ 20% =médio=2
			35% ≤ Zoo < 45%; 26% < Anemo < 55%; 11% < Auto ≤ 25% =médio=2
			Zoo < 35%; Anemo ≥ 55%; 0% < Auto ≤ 4% = baixo=1
			Zoo < 35%; Anemo ≥ 45%; Auto > 25% = baixo=1

Indicadores	Descrição	Referência ¹	Parâmetros ²
			Zoo < 35%; Anemo < 26%; Auto > 25% = crítico=0
<i>Desenvolvimento</i>			
Altura média dos Indivíduos arbóreos (h)	Medição da altura total (m) dos indivíduos desde o solo até a gema apical	$h = 8,6 \pm 0,6$ (SILVA, 2023).	$h \geq 8,6$ = alto =3 $5,0 < h < 8,6$ = médio=2 $0,5 < h \leq 5,0$ =baixo= 1 $h \leq 0,5$ = crítico=0
Epífitas (E)	Número de espécies epífitas presente	A presença indica a aproximação do sistema a uma mata secundária, pois tais espécies são importantes na ciclagem da água e nutrientes (NADKARNI, 1988) e na atração de fauna, seja como recurso ou como habitat (BENZING, 1990). Nº de espécies = $3 \pm 0,3$ (SILVA, 2023).	$E \geq 3$ = alto=3 $E = 2$ = médio=2 $E = 1$ = baixo=1 $E = 0$ (ausentes) = crítico=0
Cipós e lianas (CL)	Presença ou ausência de Cipós e Lianas	O sistema que apresenta tais formas de vida, desde que em equilíbrio com o restante do sistema, é aquele que se sustenta (PUTZ, 2012), pois tais espécies podem limitar o crescimento e o desenvolvimento de indivíduos arbóreos (INSERNHAGEN et al. 2009). $CL = 12\% \pm 0,04$ (SILVA, 2023).	$12\% < CL \leq 30\%$ (equilíbrio) = alto= 3 $10\% < CL \leq 12\%$ (equilíbrio) = alto= 3 $0\% < CL \leq 12\%$ (presentes) = médio =2 $CL = 0\%$ (ausentes) ou $CL > 30\%$ (abundantes) = baixo= 1
CONFIABILIDADE			
<i>Controle e manejo</i>			
Presença de espécies exóticas (Ex)	Número de indivíduos de espécies exóticas por hectare	Espécies nativas não-regionais podem competir com aqueles naturais à área. $Ex = 4 \pm 0,6$ (SILVA, 2023).	$0 \leq Ex \leq 4$ = alto= 3 $4 < Ex \leq 7$ = médio =2 $7 < Ex \leq 10$ =baixo= 1 $Ex > 10$ =crítico= 0
Fogo	Sinais de fogo na área	Em restaurações do Bioma Mata Atlântica, o fogo é tido como prejudicial ao desenvolvimento das mudas e à regeneração natural. Deve ser ausente. (SILVA, 2023).	Ausência de fogo = alto= 3 Presença recente de fogo = crítico = 0
<i>Proteção, solo e ciclagem de nutrientes</i>			

Indicadores	Descrição	Referência ¹	Parâmetros ²
Produção serapilheira (kg.ha-1)	% serapilheira	Serapilheira= 8098 kg.ha-1 ± 555 (SILVA, 2023).	$Sp \geq 8098 = \text{alto} = 3$ $4678 < Sp < 8098 = \text{médio} = 2$ $1500 < Sp \leq 4678 = \text{baixo} = 1$ $0 \leq Sp \leq 1500 = \text{crítico} = 0$
Cobertura do solo com regenerantes – Presença de Herbáceas (Hb)	Presença de indivíduos regenerantes na área amostrada	A presença de indivíduos regenerantes, incluindo herbáceas, indica que a área restaurada apresenta condições que permitem a formação de novos estratos de regeneração. % Hb= 22%±0,03 (SILVA, 2023).	$22\% \leq Hb \leq 50\% = \text{alto} = 3$ $10\% < Hb < 22\% = \text{médio} = 2$ $50\% < Hb \leq 80\% = \text{baixo} = 1$ $Hb > 80\% = \text{crítico} = 0$ $0\% < Hb \leq 22\% = \text{crítico} = 0$
Chuva de Sementes	Densidade de Sementes - DS (sem.m ⁻²)	DS = 2374±269 (SILVA, 2023)	$2374 \leq DS \leq 3975 = \text{alto} = 3$ $775 < DS < 2374 = \text{médio} = 2$ $350 < DS \leq 775 = \text{baixo} = 1$ $DS > 3975 = \text{baixo}$ $0 \leq DS \leq 350 = \text{crítico} = 0$

¹Os valores de referência foram encontrados para fragmentos de Florestas Estacionais Semidecíduais – FES conforme SILVA (2023). ² Os parâmetros foram determinados pós análise em ampla literatura sobre o assunto, ou seja, a relação dos indicadores e os valores comumente encontrados para as situações consideradas para Florestas Estacionais Semidecíduais.

Os dados de Diversidade, Riqueza, Equabilidade, Densidade, Altura, Grupos sucessionais, Espécies Exóticas e Cobertura do solo com regenerantes (herbáceas) (Hb) das áreas monitoradas foram obtidos a partir dos trabalhos realizados por Costa *et al.* (2017) e Costa (2017), e a chuva de sementes por Froés *et al.* (2020). A presença de epífitas, cipós e lianas foi anotada para cada indivíduo amostrado. A presença do fogo, foi a partir da observação direta e consulta aos moradores. Para a diversidade de função ecológicas, utilizou-se como parâmetro a presença de espécies adubadoras ou fertilizadoras (com interação com micro-organismos para fixação de nitrogênio) e atração de fauna (número de espécies zoocóricas).

Com base na soma dos pontos (0 a 3) considerando a Tabela 1, elaborou-se uma escala que resuma o estado de resiliência das áreas após a distribuição dos pesos para cada indicador, sendo baixa resiliência (0 a 16 pontos), média resiliência (17 a 31 pontos) e alta resiliência (32 a 48 pontos). A base para essa escolha foi que considerando a maior nota dada a todos os indicadores (valor 3, que é grau desejado de sustentabilidade, similar ao cenário positivo), a pontuação máxima seria 48.

Utilizou-se na discussão dos resultados, os indicadores ecológicos e valores de referência estipulados por Silva (2023) frente a funcionalidade ecológica, no qual foram apresentados no capítulo 1.

Posteriormente, plotou graficamente os resultados para facilitar sua interpretação. Com os valores de referência definidos (médias e intervalos de confiança), pode-se verificar, a partir de qual momento da restauração ecológica, o grau desejado de sustentabilidade aumentou, alcançando valores similares às referências.

3. RESULTADOS

Os indicadores avaliados com seus respectivos pesos encontram-se na Tabela 2. De modo geral, quando comparados todos os indicadores juntos observa-se uma boa funcionalidade ecológica para as três áreas avaliadas. Os valores totais para as três áreas encontram-se próximo aos valores de referência apresentados no Capítulo 1 (SILVA, 2023).

Tabela 2. Resultados dos indicadores aplicados para avaliação nas três áreas estudadas.

Indicador	Parâmetros			Peso		
	Jatei	Ivinhema	Caarapó	Jatei	Ivinhema	Caarapó
ESTABILIDADE E RESILIÊNCIA						
Diversidade espécies arbóreas (H')	3,99	2,40	3,23	3	2	3
Riqueza de espécies nativas (S)	106	46	77	2	1	2
Densidade de indivíduos (Den)	1988 ind. ha ⁻¹	1651 ind. ha ⁻¹	1990 ind. ha ⁻¹	3	3	3
Equitabilidade (J')	0,86	0,62	0,74	3	2	2
Diversidade de Estados sucessionais (Es)	42% Pioneira	39% Pioneira	34% Pioneira	1	1	2
Diversidade de Funções ecológicas (Fe)	2	2	2	3	3	3
Fabaceae (F)	20	7	10	3	2	2
Síndrome de Dispersão (SD) - Zoocoria (Zoo)	52%	48%	68%	2	2	3
Anemocoria (Anemo)	33%	28%	19%			
Autocoria (Auto)	15%	24%	13%			
Altura média dos Indivíduos arbóreos (h)	4,32m	3,45m	5,46m	1	1	2

Epífitas (E)	0	0	0	0	0	0
Cipós e lianas (CL)	10%	45%	29%	2	1	3
CONFIABILIDADE						
Presença de espécies exóticas (Ex)	1	2	0	3	3	3
Fogo (F)	Ausente	Ausente	Ausente	3	3	3
Cobertura do solo com regenerantes (herbáceas) (Hb)	1%	0%	0%	1	1	1
	14221.4					
Produção de serapilheira (Sp)	0 Kg.ha ⁻¹	8289.84 kg.ha ⁻¹	14126.71 Kg.ha ⁻¹	3	3	3
	839,1	1.281,7	2.815,9			
Chuva de sementes (Ds)	s.m ⁻²	s.m ⁻²	s.m ⁻²	2	2	3
TOTAL				35	30	38

Com base na pontuação das áreas, Jateí (35), Ivinhema (30) e Caarapó (38), verifica-se que pela escala estipulada neste trabalho, as áreas de Caarapó e Jateí são as áreas que apresentam alta resiliência, estando apenas Ivinhema na faixa de média resiliência.

Na Figura 2, encontra-se os valores atribuídos por peso para cada indicador. Observa-se que das três áreas analisadas, Caarapó é a que apresenta os melhores resultados, sendo que dos indicadores analisados somente a presença de epífitas foi o ponto mais crítico.

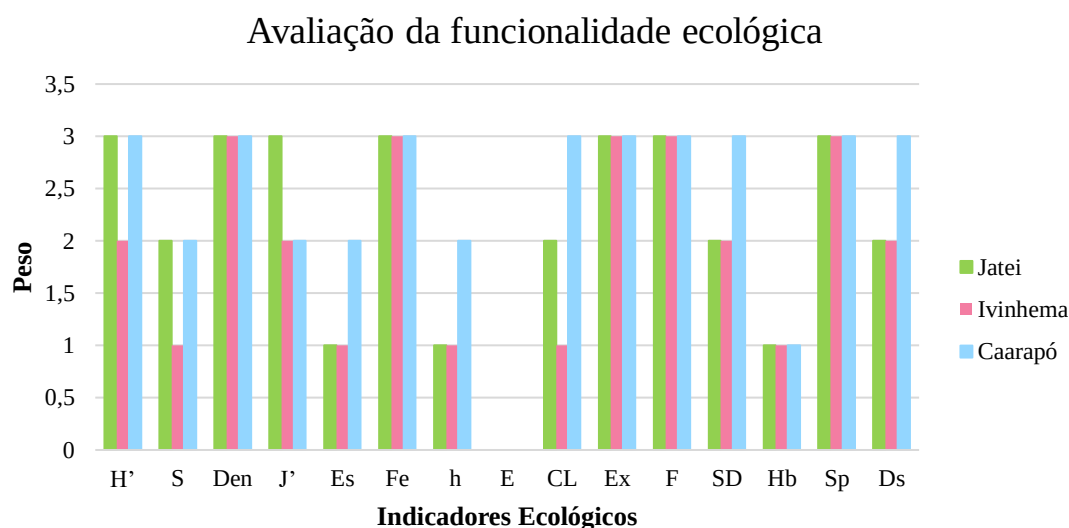


Figura 2. Valores atribuídos (pesos de 1 a 3) pela metodologia MESMIS para os indicadores ecológicos nas três áreas avaliadas, Jateí (verde), Ivinhema (rosa) e Caarapó (azul). H'= Diversidade espécies arbóreas. S=Riqueza de espécies nativas. De=Densidade de indivíduos (ind. ha⁻¹). J'=Equitabilidade. Es=Diversidade de Estados Sucessionais. Fe=Diversidade de funções ecológicas. h=aAltura dos indivíduos arbóreas. E=Epífitas. CL=Cipós e Lianas. Ex=Presença de espécies exóticas. F=Fabaceae. SD=Síndrome de dispersão. Hb=Herbáceas. Sp=Produção serapilheira (Kg.ha⁻¹). Ds=Chuva de sementes (s.m⁻²).

Para os indicadores de estabilidade e resiliência Caarapó é o que apresenta maior capacidade tanto a estabilidade como a resiliência do ecossistema, por apresentar os indicadores com os valores mais próximos a referência, Jateí não apresenta valores tão distantes dos valores de referência, no entanto, ainda apresentou indicadores com grau baixo, ou seja, distinto do cenário positivo, como diversidade de estados sucessionais, altura média dos indivíduos arbóreos e a presença de epífitas. Ivinhema apresentou os menores valores referentes a tais indicadores, sendo a região mais distante de uma área considerada restaurada.

Todas as áreas analisadas não apresentaram os valores recomendados por Silva (2023) em relação a riqueza de espécie (131 ± 6), mas valores altos para diversidade de espécies, nas áreas de Jateí (3,99) e Caarapó (3,23). Apesar dos valores abaixo da referência, Jateí (106) e Caarapó (77) apresentaram valores considerados aceitáveis e que caminham para uma proximidade de áreas restauradas acerca da riqueza de espécies, estando apenas Ivinhema com valor muito abaixo para ser considerado uma área restaurada (baseando-se no valor de referência usado neste estudo). Ainda sobre a biodiversidade, a densidade de indivíduos mostrou-se dentro dos padrões de referência para as três áreas, e a equitabilidade dentro dos valores aceitáveis, exceto Jateí que apresentou valor baixo frente as outras áreas.

Em relação ao indicador de diversidade de estados sucessionais (Es) Jateí e Ivinhema apresentaram mais de 34% de indivíduos pioneiros, não correspondendo ao valor de referência de 16%, com a área de Caarapó se destacando com 34%, estando no grau aceitável.

Para o indicador de funcionalidade ecológica, foi dado o peso 3 para as três regiões. Foi considerado a síndrome de dispersão e a presença de espécies da família Fabaceae (fixadoras de nitrogênio). Desde modo, Caarapó, Ivinhema e Jateí, tiveram bons resultados (com alta presença de espécies zoocóricas). A Tabela 3 apresenta os valores apresentados por Costa (2017), referente aos indicadores considerados na funcionalidade ecológica.

Tabela 3. Valores da quantidade de espécies da família Fabaceae (%) e quantidade de indivíduos zoocóricos, anemocóricos e autocóricos. Fonte: Costa, 2017.

Áreas	Quantidade de espécies (%)	Quantidade de espécies (%)		
	Fabaceae	Zoocoria	Anemocoria	Autocoria
Jatei	19%	52%	33%	15%
Ivinhema	24%	48%	28%	24%
Caarapó	13%	68%	19%	13%

As florestas em restauração tiveram a presença de epífitas (indicador mais crítico avaliado) ausentes e a presença de cipós e lianas em todas, alternando apenas que na área de Ivinhema (45%) há uma presença elevada, considerada fora do estado desejado, e Jatei (10%) e Caarapó (29%) com valores aceitáveis e dentro dos valores recomendados.

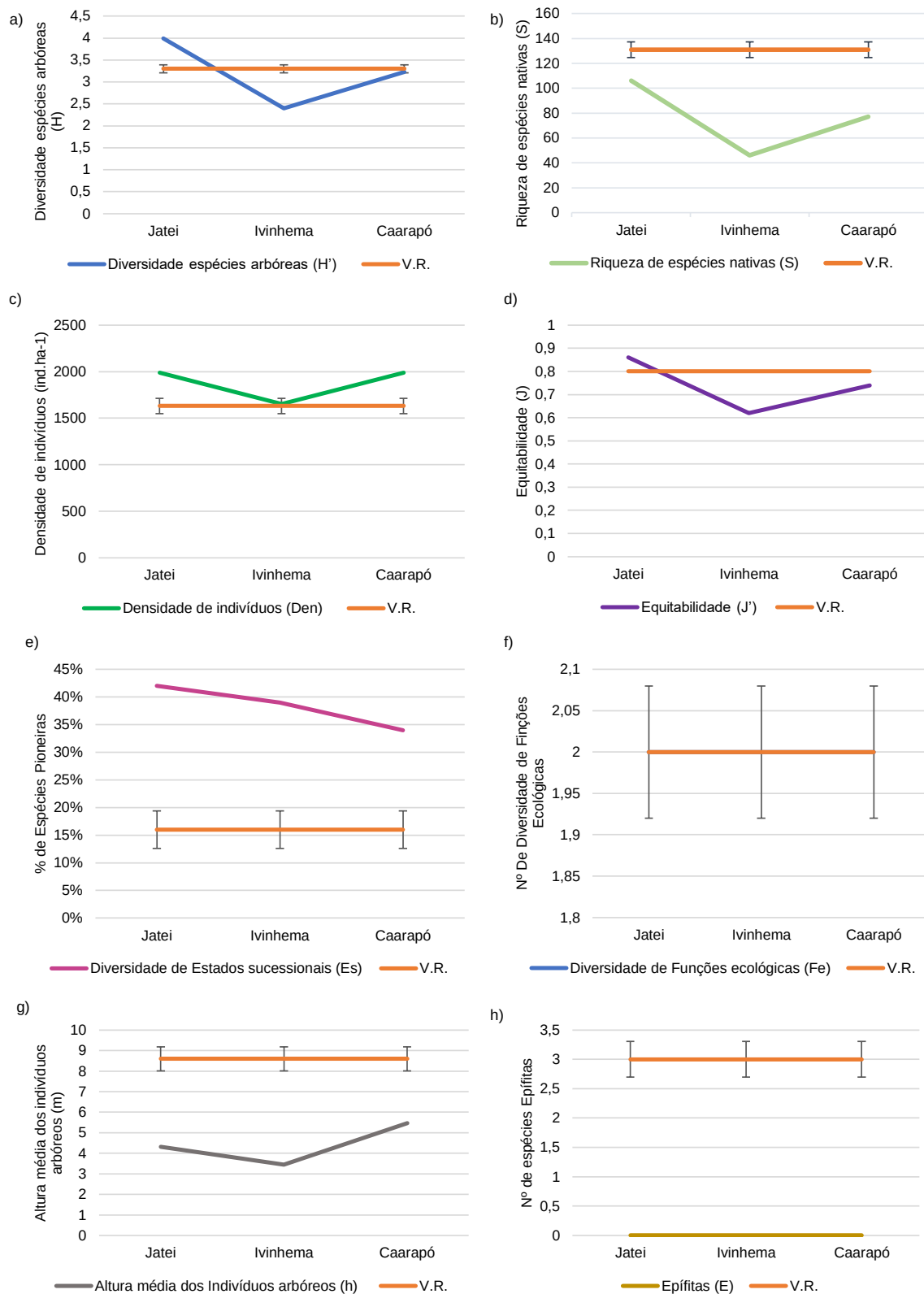
Para os indicadores de confiabilidade da funcionalidade do sistema, ambas as áreas, Ivinhema e Jatei, encontram-se no contexto geral, em estágios intermediários se comparado a Caarapó, mesmo após 12 e 13 anos de restauração, respectivamente. Únicos indicadores que se destacaram e estão na faixa de referência, é a presença de espécies exóticas e o fogo, primeiro dentro dos limites e o segundo ausente, conforme o indicado.

Na Figura 3 mostra os resultados individuais para cada indicador ecológico em relação ao valor de referência formulado por Silva (2023). De forma individualizada, há uma oscilação nas áreas analisadas dos valores encontrados para cada indicador e seu respectivo valor de referência. Por mais que houve sobreposição dos intervalos de confiança das referências finais em poucos indicadores, caso sejam analisados separadamente, é perceptível que caminham para os valores de referência, sendo apenas Ivinhema a região que apresentou maior distanciamento dos valores de referência no âmbito geral.

Os indicadores que tiveram sobreposição dos intervalos de confiança em Caarapó foram diversidade de espécies arbóreas, diversidade de funções ecológicas e chuva de sementes. Mesmo não havendo sobreposição com o indicador cipós e lianas, o valor encontrado (29%) está dentro da referência, conforme a metodologia aplicada - Figura 3.

i. Para a região de Jatei a sobreposição de indicadores foram diversidade de espécies, equitabilidade, diversidade de funções ecológicas e presença de cipós e lianas. A área de Ivinhema apresentou três sobreposições, nos indicadores densidade de indivíduos, diversidade de funções ecológicas e produção de serapilheira.

A Figura 3 demonstra bem como Ivinhema foi a região que apresentou os valores mais distantes da referência, tendo alguns indicadores mais críticos, como o caso da presença de cipós e lianas, representando uma situação bem distinta do cenário positivo. Em contrapartida, avaliando pontualmente, sem a avaliação por pesos (MESMIS), se vê o quanto a restauração em Jatei está desenvolvendo positivamente, com valores muito próximos aos índices de referência, e mesmo tendo menos anos de restauração está muito próxima as condições encontradas em Caarapó, que é a considerada mais próxima ao grau desejado de sustentabilidade do ecossistema.



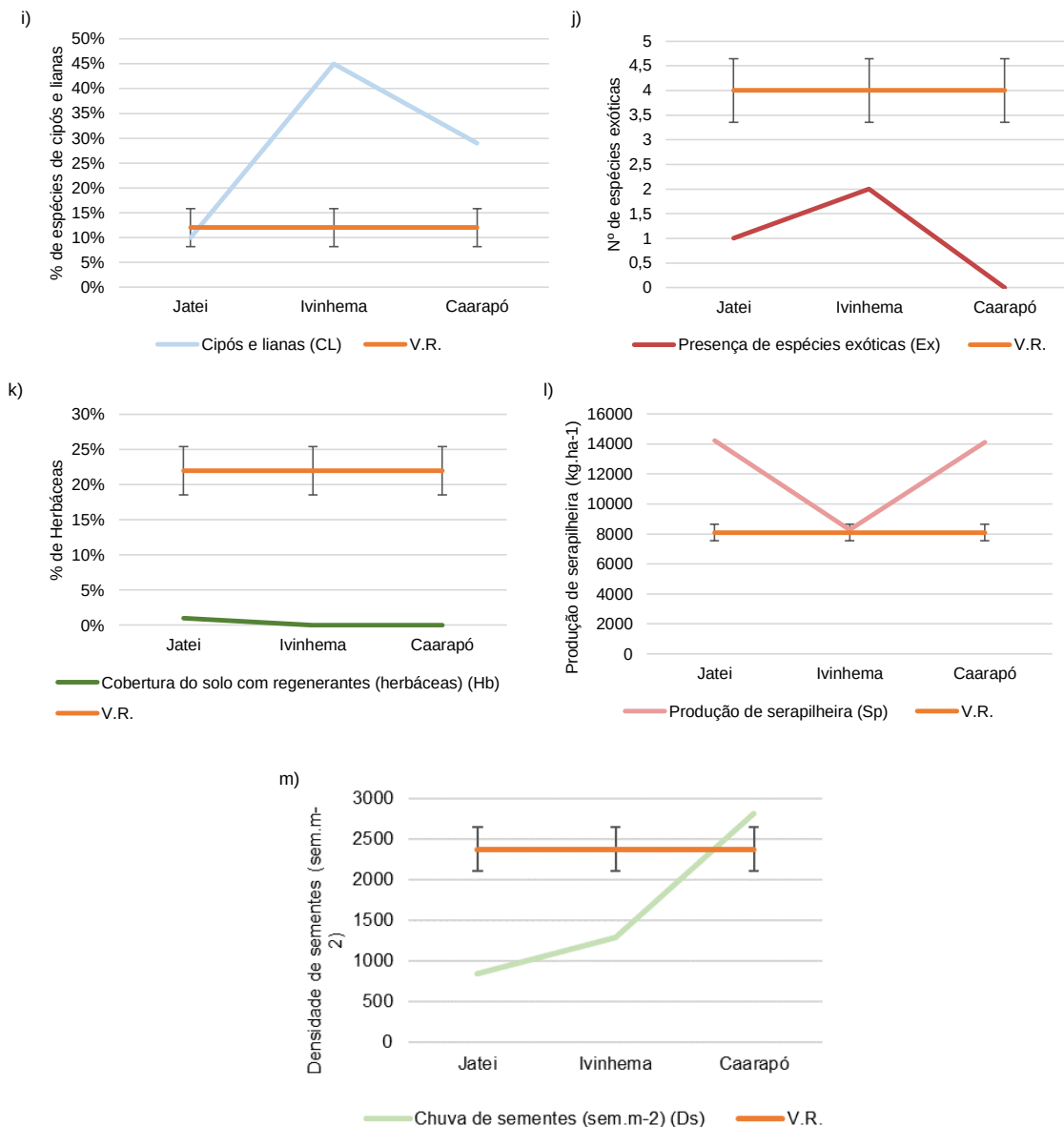


Figura 3. Valor de referência final (linha horizontal laranja) para cada indicador ecológico de monitoramento. As linhas finas verticais pretas representam o intervalo de confiança em torno da média. V.R.= valor de referência.

4. DISCUSSÃO

Em nosso estudo, constatou-se que os valores de referência foram semelhantes para muitos indicadores ecológicos avaliados, indicando que as florestas em restauração analisadas já são semelhantes à um ecossistema de referência da Floresta Estacional Semidecídua.

A alta capacidade tanto a estabilidade como a resiliência do ecossistema de Caarapó e Jatei, indica uma maior facilidade, frente a Ivinhema, do sistema manter o

equilíbrio dinâmico estável e da capacidade para regressar ao estado de equilíbrio ou manter seu potencial produtivo, mesmo após distúrbio (PINÃ-RODRIGUES *et al.* 2015).

O índice de diversidade de espécies de Shannon e Wiener normalmente apresenta valores entre 1,5 a 3,5, raramente ultrapassando 4,5. Quanto maior for o valor de H' , maior será a diversidade florística da população em estudo (MARGALEF, 1972). O índice de Equabilidade é derivado do índice de diversidade de Shannon. Ambos possibilitam avaliar a biodiversidade que a área está apresentando, demonstrando o quanto as áreas restauradas em estudo estão conseguindo reestabelecer tais padrões ecológicos recomendados.

O valor de riqueza de Ivinhema foi um dos indicadores que apresentaram valores bem discrepantes dos valores referenciais. Fonseca *et al.* (2017), em estudo realizado em área de Floresta Estacional Semidecídua, encontraram 51 espécies, valor relativamente próximo a Ivinhema (46), sendo reflexo do estado sucessional da floresta, considerado intermediário, o que pode ser um indicativo do estágio sucessional da área em questão, uma vez que se associarmos ao indicador de diversidade de estados sucessionais, há diversas espécies pioneiras que compõem o sistema (39%).

Os indivíduos pioneiros colonizam rapidamente a área conferindo boa cobertura, mas têm ciclos de vida geralmente curtos (10 a 20 anos), levando ao declínio das populações e da diversidade a longo prazo (BARBOSA *et al.* 2003; BARBOSA *et al.* 2007). Conforme declaram Brancalion *et al.* (2009) uma densidade elevada de espécies pioneiras pode comprometer os processos ecológicos futuros da área em restauração, principalmente se estiver distante de fontes de propágulos (fragmentos florestais) ou desprovidas de sementes armazenadas no solo, o que impossibilitaria o processo de sucessão florestal.

A área de Ivinhema devido aos menores valores encontrados para os indicadores de estabilidade e resiliência pode estar comprometida em relação a baixa uniformidade na distribuição das espécies na área e ocorrência de dominância ecológica por uma ou poucas espécies.

A maior porcentagem de espécies zoocóricas nas regiões avaliadas demonstram que os núcleos estão servindo de poleiros para a avifauna e facilitando a dispersão e desenvolvimento dessas espécies, o que consequentemente favorece o aumento de conectividade e, consequentemente, de resiliência da paisagem, demonstrando assim o potencial das áreas em suportar diferentes grupos de animais, fornecendo abundantes recursos para a manutenção da fauna local (LOPES *et al.* 2011; PIAIA *et al.* 2021). As

maiores proporções de espécies zoocóricas seguiram o padrão encontrado para florestas tropicais estacionais semidecíduais (NUNES *et al.* 2003; YAMAMOTO, KINOSHITA, MARTINS, 2007; VALE *et al.* 2009), onde mais de 50% das espécies produzem frutos adaptados ao consumo de aves e mamíferos, confirmando a importância dos agentes bióticos no fluxo genético dos habitats da floresta (HOWE; SMALLWOOD, 1982).

Quanto a presença da família Fabaceae, essas famílias são pontuadas em outros estudos de restauração ambiental como as mais representativas, sendo notório que a sua presença seja relevante no processo de restauração (MIRANDA NETO *et al.* 2012; PEREIRA *et al.* 2012; SOUZA ALTIVO, 2015; SILVA *et al.* 2016). Além disso, a presença da Fabaceae é um indicador de funcionalidade ecológica, por serem plantas fixadoras de nitrogênio, auxiliando na produção de biomassa e a ciclagem de nutrientes (MELO, DARONCO, DURIGAN, 2015).

Segundo a Resolução CONAMA nº 01/1994 (BRASIL, 1994), a presença de epífitas é um dos critérios para definição dos estágios sucessionais mais tardios da vegetação secundária. Estudos mostram que, mesmo em florestas em restauração há mais de 50 anos, a riqueza de epífitas presente é apenas metade daquela de ecossistema de referência (GARCIA *et al.* 2011). Neste sentido, o fato de não ter sido encontrado nas áreas em restauração, é um indicativo, que por mais que estejam dentro do esperado em áreas restauradas, de ainda não poderem ser consideradas áreas restauradas.

A detecção de formas de vida que vão além da arbórea, é um bom indicativo de sucesso na restauração. Por exemplo, a presença de lianas, sendo um recurso alimentar a mais disponibilizado, produzindo flores e frutos em diversas vezes do ano, o que garante uma gama de benefícios, como manutenção dos processos ecológicos apresentando uma estrutura com características bem similares a florestas naturais (RODRIGUES, BRANCALION, ISERNHAGEN, 2009; FRÓES *et al.* 2020). No entanto, o excesso é um problema, já que uma abundância pode atingir níveis onde os mecanismos de autorregulação ou homeostase do ecossistema sejam comprometidos (ENGEL, FONSECA; OLIVEIRA, 1998).

Os indicadores de confiabilidade da funcionalidade do sistema, avaliam a capacidade de manter a produtividade em níveis próximos ao seu equilíbrio de longo prazo). Assim o indicador cobertura do solo é de grande importância, pois mostra a perpetuação das espécies ao longo do tempo, sua capacidade de regeneração e formação do banco de sementes e a capacidade de resiliência de um ecossistema degradado ou dos

estágios sucessionais das florestas (MAGNAGO *et al.* 2012). A cobertura do solo por vegetação e serapilheira propicia condições adequadas para o estabelecimento e perpetuação das espécies, uma vez que o solo fica recoberto e protegido, inibe a mato-competição, permanece úmido e com boa quantidade de nutrientes (DAVIDSON *et al.* 2004).

É comum considerar desfavorável a presença de espécies exóticas em áreas em restauração, devido a muitas se tornarem espécies invasoras (RODRIGUES, MONTEIRO, CULLEN, 2010). Espera-se uma tendência de substituição das poucas espécies exóticas ocorrentes por espécies nativas nas áreas de Jatei e Ivinhema, mesmo o número de espécies encontradas estarem dentro dos valores estabelecidos (SILVA *et al.* 2016). No entanto, é importante mencionar que as espécies exóticas além de poderem não se tornarem invasoras nas áreas (com controle e manejo adequado), algumas podem desempenhar papéis positivos nos ecossistemas, desempenhando funções como facilitadoras no estabelecimento de outras espécies (D'ANTONIO & MEYERSON, 2002; EWEL & PUTZ, 2004; MARTÍNEZ, 2010; SCHLAEPFER *et al.* 2011; ASSIS *et al.* 2013). Somando a isso, em casos de decisão da retirada das espécies exóticas já estabelecidas, as iniciativas devem ser sempre acompanhadas de estudos ecológicos específicos que demonstrem que a permanência dessas espécies pode colocar em risco o ecossistema em restauração ou até mesmo ecossistemas naturais vizinhos (ASSIS *et al.* 2013).

Para a SER (2004) uma área é considerada recuperada – e restaurada - quando contar com recursos bióticos suficientes para continuar seu desenvolvimento sem assistência ou subsídio, assim, a recuperação em termos de composição de espécies e estrutura da comunidade, de processos ecológicos e serviços ecossistêmicos são considerados critérios de sucesso, concebidos em grande medida, baseando-se na compreensão do ecossistema de referência. Nesse sentido, dentre as áreas, a área com 17 anos – Caarapó, é que se encontra mais próxima do grau desejado de sustentabilidade, mesmo sendo necessário, como nas demais áreas de ações de intervenção.

Mesmo que se considere Caarapó a área mais próxima de uma região considerada restaurada, Jatei apresentou valores de indicadores satisfatórios, e em muitos bem próximos aos valores de referência, sendo aceitáveis e que indicam que a região se encaminha para uma área restaurada. Desde modo, é importante destacar que não se está afirmando que as áreas só serão restauradas se alcançarem os valores exatos estabelecidos

e apresentados neste trabalho, há outros estados alternativos que podem ser alcançados e eles também são aceitáveis, irá depender apenas dos objetivos de cada projeto de restauração.

5. CONCLUSÕES

Caarapó após 17 anos de implantação da restauração pode ser considerada a área mais próxima ao grau desejado de sustentabilidade, uma vez que apresenta condições próximas à área de referência, em relação aos atributos de estabilidade, resiliência e confiabilidade do sistema.

No entanto, Jatei não se encontra tão distante de Caarapó, analisando, por exemplo, a diversidade e riqueza de espécies, as áreas de Jatei e Caarapó são as mais abundantes, realidade que pode estar relacionado ao estado de conservação e avanço sucessional nestes locais, se comparado a área de Ivinhema. Para a área de Jatei sugere-se apenas o controle das gramíneas exóticas.

A área de Ivinhema, após 13 anos de implantação da restauração, ainda não apresenta a estabilidade necessária para a funcionalidade do sistema, assim, medidas de intervenção são necessárias principalmente para a área de Ivinhema a qual encontra-se numa matriz predominantemente agrícola. Sugere-se intervenção no controle de gramíneas exóticas e lianas, bem como o enriquecimento com espécies finais de sucessão para a área de Ivinhema.

Foi observado, no entanto, que as três áreas possuem a mesma densidade de espécies e diversidade de funcionalidade ecológica, uma boa heterogeneidade de espécies quanto aos estágios sucessionais, ausência de fogo, e presença dentro do valor de referência de espécies exóticas. Isto leva a concluir, que apesar de Jatei e Ivinhema estarem mais distantes dos valores referenciais do que a área de Caarapó, todas apresentaram, de modo geral, valores aceitáveis para áreas de restauração, demonstrando progresso no desenvolvimento da restauração nos locais.

6. REFERÊNCIAS

AERTS, R.; HONNAY, O. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. *BMC Ecology*, v. 11, 2011.

ALTIVO, F.S. PIÑA-RODRIGUES, F.C.M. Funcionalidade ecológica da restauração de áreas degradadas no bioma Mata Atlântica, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Impressa)*, v. 1, p. 17-31, 2017.

ARONSON, J.; DARONCO, C.; BRANCALION, P.H.S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. IF Série Registros, n. 44 p. 1-38. 2011.

BARBOSA, L.M.; BARBOSA, J.M.; BARBOSA, K.C.; POTOMATI, A.; MARTINS, S.E.; ASPERTI, L.M.; MELO, A.C.G.; CARRASCO, P.G.; CASTANHEIRA, S.A.; PILIACKAS, J.M.; CONTIERI, W.A.; MATTIOLI, D.S.; GUEDES, D.C.; SANTOSJÚNIOR, N.A.; SILVA, P.M.S.; PLAZA, A.P. Recuperação florestal com espécies nativas no Estado de São Paulo: pesquisas apontam mudanças necessárias. Florestar Estatístico, v. 6, n. 14, p. 28-34. 2003.

BARBOSA, L.M.; BARBOSA, K.C.; BARBOSA, J.M.; FIDALGO, A.; RONDON, J.; NEVES JUNIOR, N.; MARTINS, S.; CASAGRANDE, J. C.; CARLONE, N. P. Estabelecimento de Políticas Públicas para Recuperação de Áreas Degradadas no Estado de São Paulo: o Papel das Instituições de Pesquisa e Ensino. Revista Brasileira de Biociências, v. 5, p. 162-164. 2007.

BENZING, D.H. Vascular epiphytes – General biology and related biota. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Fase 2: plantio de árvores nativas brasileiras fundamentada na sucessão florestal. In: Rodrigues RR, Brancalion PHS, Isernhagen I, editores. Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: Instituto BioAtlântica; 2009.

BRANCALION, P. H. S.; HOLL, K. D. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Suganuma, Durigan, and Reid. Restoration Ecology, v. 24, n.1, p. 1-3, 2016.

BRANCALION, P.H.S; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R.R.. Restauração Florestal. Oficinas de Texto, São Paulo. 432 p. 2015.

CHAZDON, R. L.; BRANCALION, P. H. S.; LAESTADIUS, L.; BENNETT-CURRY, A.; BUCKINGHAM, K.; KUMAR, C.; MOLLROCEK, J.; VIEIRA, I. C. G.; WILSON, S. J. When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. Ambio, v. 45, n. 5, p. 538-550, 2016.

CLEWEL, A. F.; ARONSON, J. Ecological restoration: principles, values, structure of na emerging profession. Washington: Island Press. 2013.

COSTA, P. F.; PEREIRA, Z. V.; FERNANDES, S. S. L.; FROES, C. Q.; SCHMIDT, C. A. P. Composição Florística e Estrutura Fitossociológica de Três Áreas de Restauração Florestal localizadas no Estado do Mato Grosso do Sul, MS. In: Descobertas das ciências agrárias e ambientais 3.1 ed. Ponta Grossa: Atena, p. 107-145, 2017.

COSTA, P.F. Indicadores ecológicos no monitoramento de áreas em processo de restauração florestal localizadas no sul do estado do Mato Grosso do Sul – MS . Tese. 2017, 138p. (Doutorado em Ciências e Tecnologia Ambiental), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017.

DALE, V.H. & BEYELER, S.C. Changes in the development and use of ecological indicators. Ecological Indicators, v. 1 p. 3-10, 2001.

DANIEL, O.; ARRUDA, L. Fitossociologia de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial às margens do Rio Dourados, MS. Scientia Forestalis. n. 68, p.69-86, 2005.

DAVIDSON E. A. C.; CARVALHO, C. J. R.; VIEIRA I. C. G.; FIGEUIREDO, R.O.; MOURTINHO, P.; ISHIDA, F.Y.; SANTOS, M.T.P.; GUERRERO, J. B.; KALIF, K.; SABÁ, R. T. Nitrogen and phosphorus limitation of biomass growth in a tropical secondary forest. *Ecological Applications*, v. 14, n. 4, p. 150-163, 2004.

ENGEL, V. L. Abordagem BEF: Um novo paradigma na restauração de ecossistemas? *Anais IV Simpósio de Restauração Ecológica Desafios Atuais e Futuros*. São Paulo, p. 155-165, 2011.

ENGEL, V. L. Abordagem BEF: Um novo paradigma na restauração de ecossistemas? *Anais IV Simpósio de Restauração Ecológica Desafios Atuais e Futuros*. São Paulo, p. 155-165, 2011.

ENGEL, V. L.; FONSECA, R. C. B.; OLIVEIRA, R. E. Ecologia de lianas e o manejo de fragmentos florestais. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, v. 12, n. 32, p. 43-64, 1998.

FERNANDES, S. S. L. Estrutura e dinâmica de um fragmento de mata de galeria do córrego Canguiri no Município de Amambai, Mato Grosso do Sul, para fins de restauração. 2013. 113f. Dissertação (Mestrado em Biologia Geral). Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2013.

FONSECA, D. A. Avaliação da regeneração natural em área de restauração ecológica e mata ciliar de referência. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 521-534, abr.-jun., 2017.

FRANKS, A.J.; YATES, C. J.; HOBBS, R. J. Defining plant functional groups to guide rare plant management. *Plant Ecology*, v. 204, p. 207-216, 2009.

FRÓES, C. Q. *et al.* Chuva de sementes como indicador ambiental de áreas em processo de restauração ecológica do Mato Grosso do Sul. *Ciência Florestal*, v. 30, n. 4, p. 1032-1047, 2020.

FRÓES, C. Q. Monitoramento de áreas em processo de restauração ecológica do Mato Grosso do Sul. 2019. 116 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2019.

GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Metodologias de restauração florestal. In: FUNDAÇÃO CARGILL. Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas. São Paulo, p. 109-143. 2007.

GARCIA, L.C.; HOBBS, R.J.; RIBEIRO, D.B.; TAMASHIRO, J.Y.; SANTOS, F.A.M.; RODRIGUES, R.R. Changes in vegetation along restoration time: Influence of composition and diversity of planted trees on natural regeneration. In: WORLD CONFERENCE ON ECOLOGICAL RESTORATION, 4., 2011, Mérida. Book of abstracts... Mérida: Society for Ecological Restoration, 2011. 320p.

HOWE, H. F.; SMALLWOOD, J. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, v. 13, p. 201-228, 1982.

HOWE, H.F. and SMALLWOOD, J., 1982. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 13, p. 201-228. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.001221>.

- INSERNHAGEN, I. *et al.* Diagnóstico ambiental das áreas a serem restauradas visando a definição de metodologias de restauração florestal. In: Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. Organização por Rodrigues et al. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto Bioatlântica, 2009.
- LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* 16, 2002.
- LISTOPAD, C.M.C.S.; MASTERS, R.E.; DRAKE, J.; WEISHAMPEL, J.; BRANQUINHO, C. Structural diversity indices based on airborne LiDAR as ecological indicators for managing highly dynamic landscapes. *Ecological Indicators*, v. 57, p. 268-279, 2015.
- LOPES, S. F. *et al.* Caracterização ecológica e distribuição diamétrica da vegetação arbórea em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual, na fazenda experimental Do Glória, Uberlândia, Mg. *Bioscience Journal*, v. 27, n. 2, p. 322-335, 2011.
- MAGNAGO, L. F. S.; MARTINS, S. V.; VENKKE, T. S.; IVANAUSKAS, N. M. Os processos e estágios sucessionais da mata atlântica como referência para a restauração florestal. In: MARTINS, S. V. Restauração ecológica de ecossistemas degradados. Viçosa: Ed. UFV, 2012, 376 p.
- MARGALEF, R. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. *Trans. Connect. Acad. Sci. Arts*, v.14, p.211-235, 1972.
- MASSERA, O. R.; ASTIER, M.; LÓPEZ, S. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El Marco de evaluación MESMIS. México: Mundiprensa, Gira, UNAM, 1999.
- MELO, A.; DARONCO, C.; RE, D.; DURIGAN, G. Tree species attributes and facilitation of natural regeneration in heterogeneous planting of riparian vegetation. *Scientia Forestalis*, v. 43, n.106, p.333–344, 2015.
- MIRANDA NETO, A. *et al.* Florística e estrutura do estrato arbustivo-arbóreo de uma floresta restaurada com 40 anos, Viçosa, MG. *Revista Árvore*, v. 36, n.5, p.869-878, 2012.
- MUMMEY, D.L.; STAHL, P.D.; BUYER, J.S. Microbial biomarkers as an indicator of ecosystem recovery following surface mine reclamation. *Applied Soil Ecology*, v.21, p. 251-259, 2002.
- NADKARNI, N. M. Tropical rainforest ecology from a canopy perspective. In: Tropical rainforests: diversity and conservation. San Francisco: California Academy of Science and Pacific Division. American Association for the Advancement of Science, 1988.
- NUNES, Y. R. F. *et al.* Variações da fisionomia, diversidade e composição de guildas da comunidade arbórea em um fragmento de floresta semidecidual em Lavras, MG. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 213-229, 2003.
- PEREIRA, J.S. *et al.* Avaliação do índice de sobrevivência e crescimento de espécies arbóreas utilizadas na recuperação de área degradada. *Revista Geonorte*, v. 1, n.4, p.138-148, 2012.

PIAIA, B. B. *et al.* Avaliação de indicadores ecológicos na restauração por plantio em núcleo com diferentes idades. *Ciência Florestal.*, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 1512-1534, 2021.

PIÑA-RODRIGUES, F.C. M.; SILVA, J.M.S.; PIOTROWISKI, I.; LOPES, G.G.; GALETTI, G.; FRANCO, F.S.; ALVARES, S.M.R. *Protocolo de monitoramento da funcionalidade ecológica de áreas de restauração*. 2015. Disponível em: <<https://www.putz.fecv.ufpr.br/vine-ecology>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

PUTZ, F. E. Vine Ecology. *Ecology.Info* 24. 2012. Disponível em: <http://www.ecology.info/vines.htm>. Acesso em: 19 jun. 2021.

REID, J. L. Indicators of success should be sensitive to compositional failures: reply to [researchgate.net/publication/283355875_PROTOCOLO_DE_MONITORAMENTO_D_A_FUNCIONALIDADE_ECOLGICA_DE_REAS_DE_RESTAURAO](https://www.researchgate.net/publication/283355875_PROTOCOLO_DE_MONITORAMENTO_D_A_FUNCIONALIDADE_ECOLGICA_DE_REAS_DE_RESTAURAO)>. Acesso em: 06 agosto. 2018.

RODRIGUES, E.R., MONTEIRO, R., CULLEN, L. JR. Dinâmica inicial da composição florística de uma área restaurada na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. *Revista Árvore*, v.34, n.5, p.853-861, 2010.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: Instituto BioAtlântica, 1. ed. 2009, 260 p.

RODRIGUES, R.R. Restoration actions. In: RODRIGUES, R.R.; MARTINS, S.V.; GANDOLFI, S. (Ed.). *High diversity forest restoration in degraded areas: methods and projects in Brazil*. New York: Nova Sciences, 2007. chap. 2.2, p. 77-102.

ROSENFELD, M. F.; MÜLLER, S. C. Ecologia funcional como ferramenta para planejar e monitorar restauração ecológica de ecossistemas. *Oecologia Australis*, v. 24, n.3, p.550-565, 2020.

RUSCH, G.M.; PAUSAS, J.G.; LEPSŠ, J. Plant functional types in relation to disturbance and land use: introduction. *Journal of Vegetation Science*, v.14, p.307-310, 2003.

SALOMÃO, R. P. *et al.* Indicadores de sustentabilidade da restauração florestal em áreas mineradas na Amazônia. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 2, p. 1251-1259, 2019.

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

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

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. *SER international primer on ecological restoration: Society for Ecological Restoration, Science & Policy Working Group*. Version 2. Tucson, 2004.

SOUZA ALTIVO, F. 2015. Avaliação da funcionalidade ecológica de uma área em processo de restauração florestal no bioma Mata Atlântica, Rio de Janeiro: 20 f. Artigo. (Mestrado em Diversidade Biológica e Conservação) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

Suganuma and Durigan. *Restoration Ecology*, v.23, n.5, p.519–520, 2015.

SUGANUMA M.S.; DURIGAN G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. *Restoration Ecology*, v. 23, n.3, p. 238-251, 2015.

TRINDADE-FILHO, J.; LOYOLA, R. D. O uso de grupos indicadores como atalho para a conservação da biodiversidade. *Revista de Biologia Neotropical*. v. 7, n. 2, p. 27-38, 2010.

VALE, V. S. *et al.* Composição florística e estrutura do componente arbóreo em um remanescente primário de floresta estacional semidecídua em Araguari, Minas Gerais, Brasil. *Hoehnea*, v. 36, n. 3, p. 417-429, 2009.

CONCLUSÃO GERAL

Foi possível com a base de 307 áreas analisadas formular os índices de referência para aplicar no monitoramento de áreas em restauração.

A área com melhores resultados comparado aos valores de referência dos indicadores utilizados, demonstrando maior funcionalidade ecológica foi a área de Caarapó, e a área mais distante do cenário de sustentabilidade e consequentemente maior necessidade de intervenção foi Ivinhema.

A realização de estudos fitossociológicos, de estrutura e vegetação, e de banco e chuva de sementes, como de serapilheira em mais áreas de Floresta Estacional Semidecídua consideradas ecossistemas de referência, são necessários para dar aperfeiçoamento aos valores de referência para monitoramento das áreas de restauração aqui apresentados.