



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**CAMILA DE ALMEIDA MILHOMEM**

**RIQUEZA DA REGENERAÇÃO NATURAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS  
INDUZIDAS PELA IDADE E TAMANHO DE CLAREIRAS NA FLORESTA  
AMAZÔNICA**

IMPERATRIZ-MA  
2022

**CAMILA DE ALMEIDA MILHOMEM**

**RIQUEZA DA REGENERAÇÃO NATURAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS  
INDUZIDAS PELA IDADE E TAMANHO DE CLAREIRAS NA FLORESTA  
AMAZÔNICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientador:** Prof. Dr. Luiz Fernandes Silva Dionisio

IMPERATRIZ-MA  
2022

M644r

Milhomem, Camila de Almeida

Riqueza da regeneração natural de espécies arbóreas induzidas pela idade e tamanho de clareiras na floresta amazônica. / Camila de Almeida Milhomem. – Imperatriz, MA, 2022.

56 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2022.

1. Regeneração natural. 2. Exploração florestal. 3. Amazônia oriental. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 630\*231(811.5)

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**

**CAMILA DE ALMEIDA MILHOMEM**

**RIQUEZA DA REGENERAÇÃO NATURAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS  
INDUZIDAS PELA IDADE E TAMANHO DE CLAREIRAS NA FLORESTA  
AMAZÔNICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Florestal.

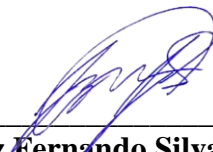
Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA



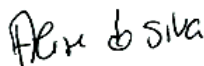
---

**Prof. Dr. Luiz Fernandes Silva Dionisio**  
**Doutor em Ciências Florestais**  
**Universidade Estadual da Região Tocantina - UEMASUL**  
**(Orientador)**



---

**Prof. Dr. Luiz Fernando Silva Magnago**  
**Doutor em Botânica**  
**Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB**



---

**Profa. Dra. Alinne da Silva**  
**Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente**  
**Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL**

## RESUMO

A exploração madeireira em florestas nativas de acordo com as diretrizes da Exploração de Impacto Reduzido (EIR) resulta em impactos, onde os mesmos são minimizados. Embora essa exploração tenha diversas vantagens ainda ocasiona distúrbios quando comparada com as florestas naturais sem exploração. Nesse estudo, foi avaliar o efeito da exploração florestal na resiliência da regeneração natural em clareiras de exploração florestal na Amazônia Oriental. A amostragem conta com áreas exploradas desde o ano de 2000, sendo 14 anos após exploração florestal. No total, foram amostradas 305 clareiras provenientes da exploração florestal, localizada na fazenda Rio Capim, pertencente à empresa Grupo Keilla Ltda, no município de Paragominas. Os dados foram coletados em nove Unidades de Trabalho (UTs) que fazem parte de nove Unidades de Produção Anual (UPA). Para a análise de dados foram utilizados análise de regressão, Escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS), Análise de Componentes Principais (PCA), Análise de gradiente de perturbação, índices de riqueza funcional (FRic) e Modelos mistos lineares. Foi realizado análise de Componentes Principais (PCA) para o gradiente de perturbação florestal com base na área da clareira e na recuperação de atributos florestais dependentes da idade do povoamento. Para as variáveis explicativas quantitativas (idade da floresta, tamanho de clareira e gradiente dentro da clareira (centro-borda) e variáveis respostas quantitativas (crescimento e diversidade), foi realizado análises de regressão para as variáveis explicativas quantitativas e variáveis respostas quantitativas.

**Palavras-chave:** Exploração Florestal. Grupo ecológico. Espécies comerciais. Manejo florestal. Regeneração natural.

## ABSTRACT

Logging in native forests through Reduced Impact Logging (RIL) guidelines results in impacts less intensive impacts. Although its advantages, this kind of logging still causes disturbances when compared to non-logged forests. In this study, we evaluated the effect of logging on the resilience of natural regeneration in logging gaps in the Eastern Amazon. The sampling includes areas logged since the year 2000, 14 years after forest logging. In total, 305 logging gaps were sampled from the forestry logging, located on the Rio Capim farm, belonging to the company Grupo Keilla Ltda., in the municipality of Paragominas, Pará, Brazil. Data were collected in nine Work Units (UTs) that are part of nine Annual Production Units (UPA). For data analysis, regression analysis, non-metric multidimensional scaling (nMDS), Principal Component Analysis (PCA), perturbation gradient analysis, functional richness indices (FRic) and linear mixed models were used. Principal Component Analysis (PCA) was performed for the forest disturbance gradient based on the gap area and on the recovery of forest attributes dependent on the age of the stand. For the quantitative explanatory variables (forest age, gap size and gradient within the gap (center-edge) and quantitative response variables (growth and diversity), regression analyzes were performed for the quantitative explanatory variables and quantitative response variables.

**Keywords:** Forest logging. Ecological group. Commercial species. Forest management. Natural regeneration.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas de manejo executadas via exploração de impacto reduzido (EIR) em florestas naturais na Amazônia brasileira.....	14
Figura 2 - Fluxograma das etapas de manejo executadas via exploração de impacto reduzido (EIR) em florestas naturais na Amazônia brasileira.....	15
Figura 3 - Área de estudo na fazenda Rio Capim, no município de Paragominas .....	25
Figura 4 - Análise de componentes principais (ACP).....	31
Figura 5 - Curvas de rarefação .....	32
Figura 6 - Coeficientes de regressão padronizados de diferentes modelos lineares de efeitos mistos.....	33
Figura 7 - Relações entre os principais preditores e a riqueza de espécies ao longo da sucessão da floresta amazônica. ....	33

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Unidades de Produção Anual (UPAs) e Unidades de Trabalho (UTs) inventariadas entre os anos 2000 e 2014, na fazenda Rio Capim, PA, Brasil .....	26
---	----

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACP	Análise de componentes principais
AIC	Critério de Informação de Akaike
AMF	Área de Manejo Florestal
CIFOR	Centro Internacional de Pesquisa Florestal
CKBV	Cikel Brasil Verde Florestas Ltda
CL	Clareira
DAP	Diâmetro a altura do peito
EC	Exploração Convencional
EIR	Exploração de impacto reduzido
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FFT	Fundação Floresta Tropical
FR	Floresta Referência
FSC	Forest Stewardship Council – Conselho de Manejo Florestal
GAP	Clareira
Imazon	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
LMMs	Modelos Lineares de Efeitos Mistos
nMDS	Escalonamento multidimensional não-métrico
PERMANOVA	Teste de permutação de uma matriz de distância envolvendo uma variável categórica.
RN	Regeneração Natural
STRESS	Standard Residuals Sum of Squares
UPA	Unidade de Produção Anual
UTs	Unidades de Produção Anual
ha	Hectare
m <sup>3</sup>	Metros cubicos
m	Metros
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>10</b>
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Manejo de florestas naturais .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Exploração de Impacto Reduzido (EIR) .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 Dinâmica de clareiras.....</b>	<b>16</b>
<b>3.4 Regeneração Natural.....</b>	<b>17</b>
<b>3.5 Dinâmica de Florestas Tropicas .....</b>	<b>19</b>
<b>3.6 Ecologia de comunidades .....</b>	<b>21</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 Delineamento amostral.....</b>	<b>24</b>
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1 Análises de gradiente.....</b>	<b>29</b>
<b>5.2 Riqueza de espécies e composição da comunidade.....</b>	<b>29</b>
<b>5.3 Efeitos da idade do povoamento e da área das clareiras na riqueza de espécies e composição da comunidade .....</b>	<b>30</b>
<b>6 DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A floresta amazônica é uma das maiores extensões de florestas tropicais contínuas do mundo, abrangendo cerca de 11% das espécies arbóreas do mundo (CARDOSO et al., 2017). No entanto, a biodiversidade da floresta primária amazônica está seriamente ameaçada devido às mudanças no uso da terra. Atualmente o manejo florestal sustentável é uma das principais ferramentas para utilização dos recursos naturais sem degradação. Entretanto, ainda há necessidade de melhorar o entendimento sobre a capacidade de produção futura da floresta e comportamento das espécies em respostas aos fatores externos do ambiente (ABIYU et al., 2018), e como a floresta se recupera após os distúrbios causados pela colheita madeireira.

Na Amazônia brasileira, a atividade de exploração florestal deve ser realizada de acordo com as diretrizes da Exploração de Impacto Reduzido (EIR), onde os impactos negativos são minimizados, pois a adoção de boas práticas de manejo é recomendada para o melhor aproveitamento e rendimento da matéria prima florestal (DIONISIO et al., 2022). Após a exploração de madeira é necessário estudos sobre a dinâmica da floresta com intuito de avaliar os impactos causados pela extração da madeira e realizar o acompanhamento do processo de regeneração da floresta (CASTRO et al., 2014), sendo fundamentais para o manejo das florestas naturais e a conservação do ecossistema.

A hipótese do distúrbio intermediário afirma que a diversidade de espécies é maior quando os distúrbios nos ecossistemas ocorrem longe dos extremos de baixa a alta frequência ou intensidade (CONNELL, 1978). Em florestas manejadas, a colheita de árvores é o principal promotor de clareias (KERN et al., 2017). Distúrbios nos ecossistemas florestais causados pela exploração madeireira podem modificar a trajetória da regeneração natural, crescimento, mortalidade e recrutamento de espécies arbóreas que compõem as comunidades destas florestas (SCHWARTZ et al., 2014; DE AVILA et al., 2017; DIONISIO et al., 2018; DIONISIO et al., 2022).

A regeneração natural (RN) faz parte do processo de sucessão secundária em nível de comunidade e ecossistema, tanto em áreas de floresta com perturbações naturais como as interferências antrópicas com a retirada da vegetação original (CARVALHO et al., 2020). A RN das espécies florestais é fundamental para assegurar renovação das florestas, por meio da troca de indivíduos mais velhos por outros mais novos que vão permitir o equilíbrio e a perpetuação dos ecossistemas (HÜLLER et al., 2019). Neste contexto, conhecer a estrutura e a dinâmica das florestais somados as informações ecológicas das espécies, permitem inferir

sobre comportamento e desenvolvimento a longo prazo da floresta, além de auxiliarem na adoção de boas práticas de manejo sustentável (MACHADO et al., 2017).

A maioria dos estudos sobre sucessão secundária em florestas tropicais abordou as mudanças na diversidade e composição de espécies onde a cobertura florestal foi retirada pela agricultura itinerante (CHAZDON et al., 2014) com base na abordagem da cronossequência, visando estabelecer comparações entre parcelas com diferentes tempos de regeneração (CHAZDON et al., 2007). A resiliência da biodiversidade em floresta secundária pode ser alta porque a riqueza de espécies pode se recuperar rapidamente para florestas maduras durante a sucessão (NORDEN et al., 2009). Por outro lado, a recuperação da composição de espécies pode levar séculos dependendo das condições ambientais locais (DENT et al., 2013).

Estudos comparando floresta primária e floresta secundária sugeriram que áreas em regeneração podem abrigar uma maior diversidade de espécies arbóreas devido à coexistência maximizada de espécies pioneiras de rápido crescimento e espécies de dossel mais competitivas (VILLA et al., 2019). A teoria ecológica sobre os mecanismos de manutenção da diversidade de espécies em relação às intensidades de distúrbio (CONNELL, 1978), apoia essa observação.

A abertura de clareiras decorrente da queda de pequenos galhos ou morte natural de uma ou mais árvore, são distúrbios comuns de pequena escala, formando uma abertura no dossel da floresta. Essas clareiras naturais são a forma mais visível de perturbação em ambientes de floresta natural (SIRI et al., 2019). As clareiras artificiais que são ocasionados pelo corte de árvores tem um grande impacto em relação as clareiras naturais. Modificações na floresta ocasionada pela exploração madeireira alteram diversos fatores, como a regeneração natural, crescimento, mortalidade e recrutamento de indivíduos que integram as comunidades destas florestas (SCHWARTZ et al., 2012; DIONISIO et al., 2018).

Neste estudo, foi analisado as mudanças na riqueza e composição de espécies arbóreas após a colheita madeireira ao longo da sucessão da regeneração natural em clareiras. Assim, foi feito a seguinte pergunta de pesquisa: 1) Qual é a importância relativa da idade do povoamento florestal e do tamanho da clareira na riqueza e composição de espécies arbóreas da regeneração natural? A hipótese é que a idade do povoamento e o tamanho da clareira induzirão a rápida recuperação da riqueza de espécies arbóreas. A hipótese desse estudo é: o distúrbio da exploração madeireira pode causar alta heterogeneidade ambiental dentro da clareira, o que promove maior riqueza de espécies e variabilidade na composição de espécies em floresta secundária em comparação com floresta madura (natural).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o efeito da exploração madeireira na dinâmica da regeneração natural em clareiras de exploração florestal na Amazônia Oriental.

### **2.2 Objetivos específicos**

Avaliar o efeito da exploração madeireira na composição e riqueza das espécies arbóreas da regeneração natural.

Analisar a influência da idade da clareira na composição e riqueza das espécies arbóreas ao longo de 14 anos.

Determinar se existe relação entre o tamanho da clareira e a composição e riqueza das espécies arbóreas.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Manejo de florestas naturais

O Brasil se destaca por ser o país com a maior área de florestas naturais tropicais do mundo abrigando cerca de 11% das espécies arbóreas globais (CARDOSO et al., 2017). Assim, com intuito de preservar a riqueza que essas florestas possuem, faz uso da legislação ambiental para protegê-las (ANDRAE et al., 2018).

A exploração seletiva de madeira é uma das práticas de extração da madeira bastante comum em florestas tropicais naturais em todo mundo. Este é o processo de extração de madeira comerciais selecionadas de florestas de produção natural (OSAZUWA-PETERS et al., 2015). Como um dos sistemas de manejo de florestas tropicais úmidas, a extração seletiva de madeira foi promovida pela primeira vez nas florestas da Malásia, Índia, Birmânia e África Ocidental durante o período dos sistemas coloniais britânico e francês (PUETTMANN et al., 2015).

Conforme dispõe na Lei de Gestão de Florestas (Lei Federal 11.284/2006), em seu artigo 3º, inciso VI, o Manejo florestal é conceituado como a “administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal”.

A região da Amazônia brasileira possui 5.217.423 km<sup>2</sup>. Assim, o manejo de florestas naturais é uma atividade produtiva que gera milhares de empregos, diretos e indiretos, na região. Apesar disso, nos últimos anos o manejo de florestas naturais tropicais foi, injustamente, alvo da mídia, apontado como destruidor potencial das florestas naturais (BRAZ et al., 2015). O desconhecimento sobre o manejo de florestas naturais e seus reais benefícios para a floresta e as populações que dele vivem, e o fato de muita gente ter a concepção que o manejo de florestas naturais é sinônimo de desmatamento, leva parte da sociedade bem como a mídia, disseminar uma visão errada do que é manejo florestal.

A visão de um caminhão de toras saindo da floresta provoca críticas imediatas a um produto que ironicamente é o mais cercado de garantias de sustentabilidade quando se fala de uso do solo. O manejo florestal é monitorado detalhadamente pelos organismos fiscalizadores. Cada árvore passível de manejo é identificada, mensurada e mapeada rigorosamente, tendo

suas coordenadas apresentadas no Plano de Manejo. Portanto, a área é georreferenciada e muitos projetos também já georreferenciam todas as árvores, conforme procedimento previsto pelo MODEFLORA (FIGUEIREDO et al., 2007).

O conceito “manejo de florestas” não se considera completo quando não informa previsões razoáveis do quantitativo que a floresta é capaz de regenerar dentro de um intervalo de tempo (BRAZ, 2010). Já do ponto de vista da legislação, no Brasil, se trata de forma mais simples, apenas como o estabelecimento de taxas de corte fixas, independentemente da floresta manejada (BRASIL, 2008). No entanto, vários pesquisadores têm questionado a capacidade de recuperação da floresta nos ciclos de corte previstos em lei (VAN GARDINGEN, et al., 2006; OSAZUWA-PETERS et al., 2015; DIONISIO et al., 2018a; DIONISIO, 2020).

Para garantir a sustentabilidade no manejo florestal, um fator importante é a eficácia no planejamento da exploração atrelado a capacidade produtiva da floresta. Além dos fatores técnicos, existem normativas legais que regem o manejo de florestas nativas, diante disso se estabelecem critérios para os procedimentos e parâmetros de exploração (BIAZATTI et al., 2019).

O planejamento das atividades de colheita, reduzem os impactos ambientais negativos, causados durante a derrubada das árvores além de proporcionar a recuperação da floresta em menor tempo, aumentando o sucesso dos empreendimentos florestais na Amazônia (COSTA et al., 2020). Por outro lado, a exploração realizada através de métodos inadequados, podem comprometer a capacidade de recuperação do ecossistema, além de provocar distúrbios no solo, na qualidade da água e na biodiversidade (LOCKS et al., 2019).

Manter a produção contínua de madeira em planos de manejo florestal causando o mínimo de impactos na floresta remanescente é um desafio para os empreendimentos florestais na Amazônia. Assim, a exploração de madeira quando não realizada sob manejo sustentável pode causar impactos negativos ao ambiente (TRAUTENMÜLLER et al., 2019). Desta forma, reduzir os impactos da exploração e conhecer a dinâmica de crescimento das espécies, bem como do potencial de reposição dos estoques extraídos das espécies, constituem-se de pré-requisitos para o manejo sustentável das florestas naturais na Amazônia brasileira.

O monitoramento da floresta ao longo dos anos permite obter informações importantes sobre distribuição das espécies e tamanhos das populações. A partir desses dados, pode-se inferir sobre as características ecológicas, sobre a dinâmica de regeneração do povoamento e suas tendências de desenvolvimento. Esses estudos permitem avaliar as mudanças das

espécies em escala local, no entanto são prejudicados pela ausência de monitoramento a longo prazo. Atualmente o manejo sustentável é uma das principais ferramentas para utilização dos recursos naturais sem degradação. Entretanto, ainda há necessidade de melhorar o entendimento sobre a capacidade de produção futura da floresta e comportamento das espécies em respostas aos fatores externos do ambiente (ABIYU et al., 2018).

### **3.2 Exploração de Impacto Reduzido (EIR)**

A exploração florestal planejada foi aplicada pela primeira vez, em um projeto de manejo florestal na Malásia, quando ainda era denominada de “Exploração Madeireira de Impacto Reduzido” (PUTZ; PINARD, 1993). Após seu estabelecimento, essa técnica se expandiu em várias versões e se tornou conhecida pelo mundo como “Exploração de Impacto Reduzido (EIR)” (DYKSTRA et al., 1996) ou também na sua versão em inglês “Reduced Impact Logging (RIL)”.

Segundo Zarin et al. (2007) a exploração de impacto reduzido é um conjunto de técnica que visam manter a estrutura e funções do povoamento da floresta o mais semelhante possível as condições pré-exploratórias, ao mesmo tempo em que auxilia na diminuição de impactos adversos da atividade madeireira na floresta. Schwartz et al. (2012) enfatiza que houve uma redução bastante significativa nas taxas de desmatamento em diversas florestas tropicais, quando se trata de EIR, sendo considerada uma ferramenta muito importante.

Para promover o uso das práticas de EIR, várias organizações têm desenvolvido diretrizes técnicas adaptadas a regiões específicas, países ou tipologias florestais. No Brasil, em 1999, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em conjunto com o Centro Internacional de Pesquisa Florestal (Cifor), a Fundação Floresta Tropical (FFT), e o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), estabeleceram uma série de diretrizes técnicas para a EIR em florestas de terra firme da Amazônia Brasileira (SABOGAL et al., 2000). E para impulsionar o manejo florestal de forma sustentável a legislação ambiental estabeleceu uma exploração máxima de  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  quando mecanizada e um ciclo de corte de 25 a 35 anos (LIMA et al., 2021).

No Brasil essa técnica vem sendo testada desde 1999, por duas empresas constituintes do projeto Embrapa/Cifor “Manejo sustentável de florestas de produção em escala comercial na Amazônia Brasileira” (Projeto ITTO PD 57/99 Rev 2 (F), Projeto Bom Manejo) (SABOGAL et al., 2009). A Juruá Florestal Ltda. aplicou as técnicas de EIR em 400 ha na Unidade de Produção Anual (UPA) do ano de 2000, passando para 2.000 ha ano de 2001. A outra empresa, Grupo Keilla Ltda. (antiga Cikel Brasil Verde Madeiras Ltda.), aplicou as

diretrizes em 5.000 ha nas UPAs dos anos 2000 e 2001. Após 2 anos de esforços crescentes para melhorar suas operações florestais, ambas as empresas foram certificadas em 2001 pelo Forest Stewardship Council – Conselho de Manejo Florestal (FSC) (SABOGAL et al., 2009).

O Manejo com Exploração de Impacto Reduzido (EIR) é realizado segundo o planejamento de Arraste, Arraste e operações de pátio, onde são definidos sistemas tecnológicos, caminhos e equipamentos que possibilitam a retirada das toras/troncos dos seus locais de corte direcional para locais de armazenamento temporário definidos na etapa Pré-Exploratória (IFT, 2020).

**Figura 1** - Etapas de manejo 100% executadas via exploração de impacto reduzido (EIR) em florestas naturais na Amazônia brasileira (Adaptado de IFT, 2020).



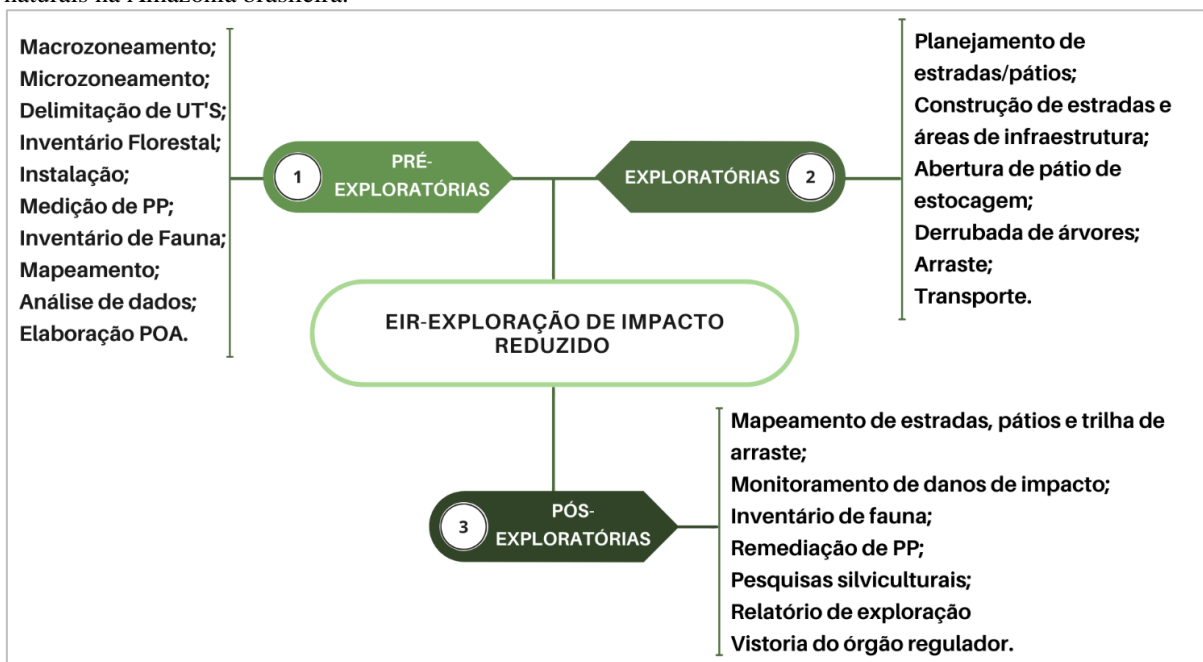
Nas últimas décadas as técnicas de manejo florestal sustentável têm sido um diferencial na manutenção das florestas tropicais. É amplamente reconhecido que práticas de EIR desempenham um papel importante para que se consiga realizar o manejo sustentável de florestas tropicais. A EIR é realizada segundo um planejamento das operações e uso de técnicas de exploração, treinamento dos recursos humanos, uso de novas tecnologias de monitoramento e investimentos no manejo florestal. Atualmente, a EIR é amplamente utilizada por empresas florestais na Amazônia e de forma constante aplicada em planos de manejo florestal, e tem como objetivo a proteção das árvores remanescentes, prevenção de

acidentes de trabalho e manutenção do ecossistema florestal (ESPADA et al., 2015; DIONISIO et al., 2018a; PINHEIRO et al., 2019).

A exploração florestal realizada de forma planejada tem como vantagens: a) redução dos danos ambientais, conservação do estoque de exploração futura e manter os serviços da floresta; b) redução dos custos operacionais da exploração, aumentando a eficácia do trabalho, c) reduz os desperdícios de madeira (DIONISIO et al., 2018a; DIONISIO et al., 2018b; PINHEIRO et al., 2021), d) aumento das taxas de recuperação de estoque de biomassa e volumes de madeira, além de reduzir as emissões de carbono cerca de 50% (VIDAL et al., 2016).

A exploração de impacto reduzido compreende na implementação de uma série de diretrizes pré e pós-exploração, com a finalidade de proteger a regeneração, diminuindo o impacto no solo além de evitar danos futuros as espécies remanescentes, além de manter a estrutura da floresta mais semelhante possível às condições pré-exploratórias (SCHWARTZ et al., 2012) (Figura 2).

**Figura 2** - Fluxograma das etapas de manejo executadas via exploração de impacto reduzido (EIR) em florestas naturais na Amazônia brasileira.



Quando se trata de exploração florestal, a EIR se mostrou mais eficiente em relação a redução de danos ao solo e floresta remanescente e apresentou melhor taxa de regeneração quando comparada com a exploração convencional (EC) (GROGAN et al., 2008). A EC causa mais danos e menor recuperação do estoque de madeira extraídos devido a falta de técnicas para corte, extração e carregamento (WEST et al., 2014). A EIR pode reduzir de 48% custos

em relação ao desperdício de madeira e árvores danificadas (SIST et al., 1998; VIDAL et al., 2002) para 30% quando comparada com a EC (SIST et al., 1998).

### 3.3 Dinâmica de clareiras

As clareiras têm papel fundamental para a regeneração de florestas tropicais além de auxiliar na diversidade florística das mesmas. Estas condições estão ligadas aos fatores ambientais que as clareiras apresentam, em virtude de uma maior intensidade luminosa (BROKAW, 1982). As clareiras são resultado da abertura do dossel florestal (CARVALHO, 1999), e podem ser classificadas em pequenas, médias e grandes, variando de acordo com sua abertura. Algumas espécies florestais apresentam estratégias próprias para se adaptarem de acordo com os distúrbios gerados pelas clareiras, visto que, a entrada de radiação solar ocorre de forma mais intensa e em diferentes quantidades (JARDIM, 2015).

A abertura de clareiras decorrente da queda de pequenos galhos ou morte natural de uma ou mais árvores, são distúrbios comuns de pequena escala, formando uma abertura no dossel da floresta. Essas clareiras naturais são a forma mais visível de perturbação em ambientes de floresta natural (SIRI et al., 2019). As clareiras artificiais que são criadas pelo corte e queda de árvores tem um grande impacto em relação as clareiras naturais. Modificações na floresta ocasionada pela exploração madeireira alteram diversos fatores, como a regeneração natural, crescimento, mortalidade e recrutamento de indivíduos que integram as comunidades destas florestas (DIONISIO et al., 2018a).

A várias formas de regeneração no interior das clareiras, sendo que a primeira fonte de regeneração se dá por meio da germinação, pois auxilia no desenvolvimento das espécies florestais de diversas formas (PAZ; MARTÍNEZ-RAMOS, 2003). A segunda forma de regeneração ocorre através de plântulas jovens na sua fase de estabelecimento, que se beneficiam com a abertura das clareiras (CHAZDON, 2012). Diante desse contexto, compreender a dinâmica de regeneração em florestas manejadas é fundamental para o uso racional dos ecossistemas florestais (CURZON et al., 2017).

Um fator determinante para o comportamento das espécies é a radiação solar. Diante disso, é notório que a ocorrência de clareiras dentro de uma floresta possibilita regular a estrutura da população, permitindo assim que a plântula se estabeleça (MACIEL et al., 2003). Consequentemente a quantidade de luminosidade que chegam até o piso da floresta variam em relação ao tamanho das clareiras, como exemplo as clareiras pequenas, normalmente beneficiam as espécies intermediárias e clímax em detrimento das pioneiras (JARDIM et al., 2007).

A composição florística e a distribuição espacial das espécies no ambiente, são influenciadas pelo tamanho da clareira, ou entre intensidades distintas de exploração, sendo um parâmetro a ser considerado quando se planeja a exploração florestal (CARVALHO, 1999). Dessa forma, as clareiras possuem um papel fundamental na manutenção e regeneração das espécies lenhosas nas florestas tropicais (GUSSON et al., 2017).

O plantio de espécies arbóreas em clareiras de exploração tem um papel importante para floresta, sendo uma das técnicas mais utilizadas para garantir o aumento da densidade de indivíduos e a sustentabilidade do ecossistema. Segundo Keefe et al. (2009), o plantio em clareiras de enriquecimento contribui para o manejo sustentável tornando possível contribuir com estoque de madeira do segundo e terceiro ano de ciclo. Nota-se, com isso, que o enriquecimento de clareiras é uma opção a ser considerada na silvicultura pós-colheita.

### **3.4 Regeneração Natural**

A sucessão natural de espécies florestais, constitui-se de uma sequência de mudanças florísticas e estruturais, após um distúrbio na área, até que a floresta atinja um ponto de equilíbrio. Esses processos naturais de restabelecimento do ecossistema florestal são dados pela regeneração natural das espécies arbóreas. A regeneração florestal faz parte do processo de sucessão secundária em nível de comunidade e ecossistema, tanto em áreas de floresta com perturbações naturais como as interferências antrópicas com a retirada da vegetação original (CARVALHO et al., 2020).

A sustentabilidade de uma floresta está atrelada a garantia da renovação dos recursos extraídos ou sua regeneração. Desse modo a regeneração de espécies naturais em florestas tropicais tem sido apresentada em diversos estudos na literatura científica, tanto em inventários florestais, estudos fitossociológicos e demográficos, ou em termos da dinâmica populacional das espécies ou comunidades (JARDIM, 2015; LIMA, 2007; SARTORI et al., 2002).

A regeneração florestal ocorre por meio do processo de sucessão secundária, onde se inicia a regeneração de uma comunidade após uma perturbação, ou seja, em ambiente que já foi desmatado, no entanto ocupado por uma nova comunidade. Nessa fase sucessional a floresta passa por estágios onde apresentam um enriquecimento gradativo de espécies dando início a uma sequência de comunidade e um aumento em complexidade estrutural e funcional, tornando a sucessão mais rápida (CHAZDON, 2012).

O entendimento dos processos de sucessão florestal é de grande importância para tomadas de decisão das atividades em planos de manejo em florestas naturais. Porém,

conhecer essa dinâmica de regeneração das espécies mostra-se complexo, em função dos fatores ecológicos e fisiológicos das espécies e as condições ambientais (FERNANDES et al., 2019).

O termo regeneração natural (RN) na terminologia florestal possui dois significados, para que sejam compreendidos nas circunstâncias as quais serão aplicados: pode ser referir a RN sendo uma condição atual da vegetação (conceito estático) sendo expresso como "o número de indivíduos jovens de uma população", "número de indivíduos inferior de um determinado tamanho", ou, em termos fisiológicos, "indivíduos que não atingiram a idade reprodutiva "; e 2) RN pode ser compreendida como o processo de renovação de uma população ou povoamento (conceito dinâmico) (JARDIM, 2015).

Segundo Pardos et al. (2005) a regeneração florestal, decorre da introdução de novos indivíduos ou mediante métodos de dispersão, caracterizada pelo aporte de propágulos, que podem ser transportados pelo vento, pássaros, mamíferos, insetos e outros meios. Esses processos estão diretamente ligados ao ambiente em que a floresta está inserida, as características do solo, a incidência direta de luz solar e a competição, visto que, está pode acelerar o processo de regeneração. Durante os estágios de vida do vegetal a fase de plântula tem grande peso, visto que, as plântulas estabelecidas serão as espécies responsáveis pelo reflorestamento da área (TURCHETTO et al., 2015).

A dinâmica estrutural e florística das florestas, são influenciadas por diferentes fatores que provocam heterogeneidade no ambiente. Desta forma, essas florestas podem progredir ou retroceder em função dos distúrbios internos como abertura de clareiras ou externos como exploração seletiva e fogo. Essas mudanças promovem diferentes transições de dominância e tipos funcionais (SOARES et al., 2019) conseqüentemente as espécies podem sofrer redução da população natural decorrente da exploração seletiva, e em algumas situações espécies com baixa densidade podem desaparecer das florestas manejadas, decorrente da falta de regeneração natural (SCHULZE et al., 2008).

A variação de tamanho da clareira tem influência nas condições microclimáticas dentro das clareiras, e o início da sucessão ocorre pelo aumento da radiação solar, ocasionando a germinação de sementes existentes naquele solo. Um fator preocupante é a ausência da regeneração natural de espécies comerciais, havendo mudanças de espécies com valor comercial para espécies sem valor de mercado se tornando um risco a sustentabilidade do manejo de florestal (OLIVEIRA et al., 2006).

A exploração madeireira de forma predatória ou sem planejamento e abertura de estradas são fatores que ocasionam mudanças na dinâmica de crescimento e regeneração das

espécies florestais dificultando a manutenção da floresta (MOJENA et al., 2018). No entanto, intervenções planejadas na floresta e aplicação de tratamentos silviculturais como enriquecimento de clareiras podem aumentar a densidade e conservação de espécies de interesse comercial (SCHWARTZ et al., 2017; NEVES et al., 2019).

A regeneração natural das espécies florestais é fundamental para assegurar renovação das florestas, por meio da troca de indivíduos mais velhos por outros mais novos que vão permitir o equilíbrio e a perpetuação dos ecossistemas (HÜLLER et al., 2019). Neste contexto, conhecer a estrutura e a dinâmica das florestais somados as informações ecológicas das espécies, permitem inferir sobre comportamento e desenvolvimento a longo prazo da floresta, além de auxiliarem na adoção de boas práticas de manejo (MACHADO et al., 2017).

A condução da regeneração natural é uma estratégia potencial a ser analisada em planos de manejo florestal de florestas naturais. A técnica de condução da regeneração natural está prevista na Legislação Florestal Brasileira como uma das possíveis formas de recompor a vegetação nativa, podendo ser aplicada de forma isolada ou conjuntamente com outros métodos, como plantio de mudas por exemplo (BRASIL, 2012).

### **3.5 Dinâmica de Florestas Tropicais**

A uma alta diversidade florística em florestas tropicais, apresentando uma dinâmica florestal que é o recrutamento, crescimento, sobrevivência e mortalidade, isso influencia a sua estrutura horizontal e vertical, ou seja, sua abundância, frequência, volume e distribuição diamétrica (CARNEIRO et al., 2019).

Após a exploração de madeira é necessário estudos sobre a dinâmica da floresta com intuito de avaliar os impactos causados pela extração da madeira e realizar o acompanhamento do processo de recuperação da floresta (CASTRO et al., 2014), sendo fundamentais para embasar qualquer iniciativa de preservação e conservação do ecossistema.

Apesar da Exploração de Impacto Reduzido (EIR) ter uma significativa vantagem na conservação dos sistemas ecossistêmicos, ainda há um expressivo aumento da taxa de mortalidade pós-exploração (DIONISIO et al., 2018a). A exploração florestal ocasiona o impacto de florestas remanescentes além de gerar resíduos de madeira (Silva et al., 2018). As operações de colheita florestal geram um impacto negativo de 30%, sendo 7% de exploração, 3% de troncos de árvores, 4% de árvores danificadas, 6,6% de trilha para arraste e 9,4% de clareiras (PINTO et al., 2002).

A preocupação entre os manejadores florestais está relacionada ao volume de madeira de espécies exploradas, pois entre a primeira e segunda exploração a floresta pode não se

recuperar. Deste modo o crescimento do estoque comercial deve ser tal que o volume perdido durante a operação de exploração seja substituído dentro de um ciclo de corte. Isso não diz respeito apenas ao volume explorado e partes das árvores que não podem ser aproveitadas devido a defeitos e com isso ficam na floresta, mas também o volume das árvores que morrem durante e após a exploração florestal (DIONISIO, 2020).

Diante da falta de regeneração natural de muitas espécies comerciais em florestas tropicais manejadas (SCHWARTZ et al., 2017) os futuros ciclos de cortes ficam comprometidos. Além disso, o volume retirado por exploração e o volume de madeira perdido devido ao aumento nas taxas de mortalidade pós-colheita. A união desses fatores gera uma baixa produtividade em futuros ciclos de corte, tornando-se inviável a exploração florestal (DIONISIO, 2020).

Para equilibrar perdas em volume de madeira em florestas tropicais manejadas devido à exploração, práticas silviculturais pós-colheita devem ser adotadas para aumentar as taxas de crescimento e recrutamento das espécies arbóreas comerciais, assim como diminuir suas taxas de mortalidade. O enriquecimento de clareiras criadas pela exploração florestal com espécies de valor comercial e o aproveitamento do volume perdido por mortalidade tornam-se fundamentais para o equilíbrio do volume explorado de madeira em florestas manejadas (SCHWARTZ et al., 2017).

Segundo Silva et al. (2015) quanto mais estudos relacionados a dinâmica e riqueza biológica da floresta amazônica, mais eficaz se tornará as ações de manejo, conservação e restauração deste ecossistema. Sendo assim, o aumento dos ciclos de corte tem sido a solução sugerida, com a justificativa que mais tempo possibilitaria a recuperação tanto do volume de madeira explorado, como da estrutura e diversidade de espécies presentes na área pré-exploração (LACERDA et al., 2013; DIONISIO et al., 2018a; DIONISIO, 2020). No entanto, alternativas como o manejo florestal por espécie, podem tornar o manejo mais sustentável e economicamente mais atrativo para as empresas florestais na Amazônia brasileira.

As pesquisas sobre dinâmica de florestas tropicais em sua maioria são baseadas na compreensão da estrutura de comunidade das populações (CASTRO e CARVALHO, 2014). Com esses percentuais pode ser realizada uma avaliação sobre as taxas de crescimento, recrutamento e mortalidade, que são imprescindíveis para o planejamento da produção e também da determinação dos ciclos de corte (VATRAZ et al., 2012). Através desses estudos de dinâmica é possível estabelecer as melhores estratégias para restauração do ecossistema ou

até mesmo de uma área degradada além de criar um plano de manejo eficiente (WATZLAWICK et al., 2010).

É necessário estudar a dinâmica das espécies, tanto na parte ecológica quanto econômica, com ênfase nas espécies mais exploradas e comercializadas pois esses indivíduos têm suas populações mais alteradas (CASTRO et al., 2014). Por meio do monitoramento em parcelas permanentes é possível obter dados no que concerne a composição florística e a dinâmica de florestas (JARDIM et al., 2016). Há inúmeras pesquisas sobre a dinâmica das espécies florestais e arbóreas em florestas naturais (JARDIM; SOARES, 2010), assim como as florestas de maneira geral, gerando informações para decisões silviculturais no manejo.

### **3.6 Ecologia de comunidades**

O termo ecologia foi utilizado a primeira vez em 1869, por Ernest Haeckel, onde se definiu ecologia como “o estudo científico das interações entre os organismos e seu ambiente”. Após essa definição, em 1972, Krebs definiu ecologia como “o estudo científico das interações que determinam a distribuição e abundância dos organismos”. Embora a palavra ambiente não esteja incluída nessa definição a ideia faz parte das interações, já que o ambiente consiste nas influências externas exercidas sobre o organismo, podendo ser por fatores abióticos e bióticos. De acordo com Begon et al. (2009), um conceito atual de ecologia remete ao “estudo científico da distribuição e abundância dos organismos e das interações que determinam a distribuição e abundância”. Diante desse contexto, temos o estudo da ecologia de populações e comunidades, que tem como objetivo uma abordagem funcional das interações existentes entre os organismos em nível de populações e a totalidade dos fatores físicos e biológicos que os afetam e que por eles são afetados em nível de comunidades (PERONI; HERNÁNDEZ 2011). Por exemplo, prever impactos ecológicos do aquecimento global, além de compreender como as comunidades são de fato afetadas pelo ambiente.

É de grande interesse dos ecologistas entender como as comunidades funcionam em diferentes tipos de ecossistemas, a velocidade e a direção das mudanças na comunidade, bem como os fatores bióticos e abióticos que os conduzem (VALLEND, 2016).

A ecologia abrange diversas áreas, sendo uma ciência multidisciplinar que contempla a biologia vegetal, taxonomia, fisiologia, genética, química etc. Um dos objetivos centrais da ecologia de comunidades é encontrar explicações precisas para os padrões observados de abundância de espécies no espaço e no tempo, e entre escalas (CHASE; LEIBOLD 2009).

Atualmente de forma acelerada a biodiversidade vem sofrendo com os impactos consequentes da exploração, o que gera perda de habitat naturais e mudanças climáticas, e

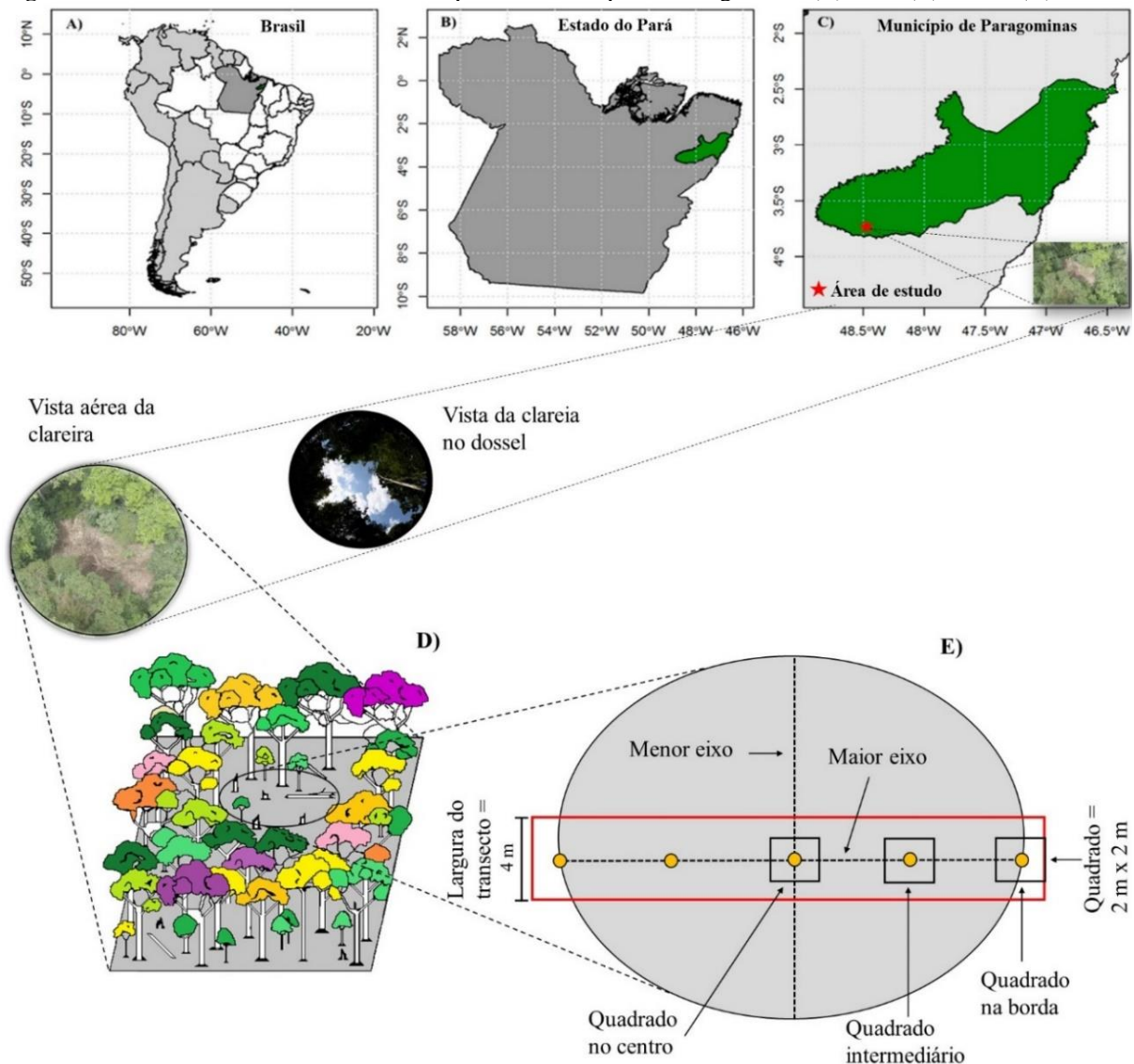
consequentemente perdas nos processos ecossistêmicos. Desse modo é essencial estudos sobre ecologia aplicada para compreender como os organismos são afetados pelas alterações antrópicas, além de criar medidas de preservação de espécies e prever os impactos negativos que uma determinada ação humana pode gerar (SEIBOLD et al., 2018).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na fazenda Rio Capim, pertencente à empresa CKBV Florestal Ltda., no município de Paragominas (03°39'28,16" S e 48°49'59,73" W), estado do Pará, Brasil (Figura 3). A fazenda Rio Capim tem área total de 140.000 ha, onde 121.000 ha estão sob manejo florestal certificado pelo Forest Stewardship Council (FSC) desde 2001.

**Figura 3** - Área de estudo na fazenda Rio Capim, no município de Paragominas (C), Pará (B), Brasil (A).



Fonte: Autora (2022). Legenda: Posicionamento das parcelas (E) de 2x2 m (4 m<sup>2</sup>) para amostragem da regeneração natural em clareiras de exploração florestal com a retirada de resíduos da copa. Apenas o quadrado central tem posição definida, os outros dois são dispostos ao acaso em qualquer ponto intermediário entre o centro e a borda e na borda da clareira.

O ecossistema florestal característico da região é do tipo Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme (IBGE, 2012). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do

tipo “Awi”, isto é, tropical chuvoso, com precipitação pluviométrica média anual de 1.800 mm, temperatura média anual de 26,3 °C e umidade relativa do ar de 81% (ALVARES et al., 2013). A altitude da área de estudo é de 20 m em relevo plano a levemente ondulado (IBGE, 2004; SIST; FERREIRA, 2007). Sendo que, principais tipos de solos da região são os Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos, Plintossolos, Gleissolos e Neossolos (RODRIGUES et al., 2003).

#### 4.2 Delineamento amostral

Foram selecionadas 242 clareiras criadas por exploração florestal em oito áreas exploradas entre 2000 e 2014 (intervalo de 14 anos). Em cada clareira foram instaladas três parcelas de 4 m<sup>2</sup> (2 m x 2 m) em um transecto com 4 metros de largura. O comprimento do transecto seguiu ao longo do eixo maior da clareira e variou conforme o tamanho da clareira. Nas parcelas de 4 m<sup>2</sup> foram identificadas em nível de espécie e medidos todos os indivíduos arbóreos com altura  $\geq 30$  cm e DAP  $< 5$  cm e no transecto todos os indivíduos com DAP  $\geq 5$  cm (Figura 1).

Os dados foram coletados em 18 Unidades de Trabalho (UTs) que fazem parte de oito Unidades de Produção Anual (UPA) exploradas em diferentes anos (2000 a 2014). Todas as áreas amostradas possuem as mesmas características de solo e clima descritas acima. O esforço amostral e as principais características de cada área amostrada são descritas na tabela 1.

**Tabela 1** - Unidades de Produção Anual (UPAs) e Unidades de Trabalho (UTs) inventariadas entre os anos 2000 e 2014, na fazenda Rio Capim, PA, Brasil.

Ano de exploração	Anos após a exploração	UPA/UT	Número de parcelas	Área total (m <sup>2</sup> )	Densidade de indivíduos (ind. m <sup>-2</sup> )	Densidade de espécies (spp m <sup>-2</sup> )
2014	0	14/(18-19)	32	384	7,1	0,78
2012	2	13/40	30	360	7,7	1,09
2010	4	11/(39-40)	30	360	8,0	0,81
2008	6	9/(1-11-71)	30	360	7,4	0,83
2006	8	8/(6-7)	30	360	9,1	0,93
2004	10	7/14	30	360	7,9	0,84
2002	12	6/(81-84-86)	30	360	7,7	0,94
2000	14	4/(3-4)	30	360	9,5	0,85

### 4.3 Análise de dados

#### 4.3.1. Análise de regressão

Foi realizada análise de regressão para as variáveis explicativas quantitativas (idade do povoamento e tamanho de clareira) e variáveis respostas quantitativas (crescimento, densidade, riqueza de espécies arbóreas).

#### 4.3.2 Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS)

O Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) é uma análise multivariada de ordenação, cujo objetivo é avaliar a dissimilaridade da composição de espécies, com base na distância entre matrizes, ou seja, verificar se há distinção entre comunidades analisadas ou não (HOLLAND, 2008).

O nMDS permite utilizar qualquer coeficiente de distância para construir a matriz de similaridade e aceitar valores ausentes e duplas ausências. O nMDS é uma técnica iterativa que visa minimizar o STRESS (Standard Residuals Sum of Squares), uma medida do quanto as posições de objetos em uma configuração tridimensional desviam-se das distâncias originais ou similaridades após o escalonamento. A análise procede pela atribuição de escores aleatórios aos eixos de ordenação escolhidos pelo usuário. Posteriormente, uma matriz de distância é calculada entre as unidades amostrais. Essa matriz é então correlacionada com a matriz de distância construída a partir dos dados originais. Os escores dos eixos de ordenação são aleatorizados até que a correlação entre a matriz de distância obtida com a aleatorização dos escores e a matriz de distância dos dados originais seja a maior possível e o valor de STRESS é então calculado. Este valor varia de 0 a 1. Um bom ajuste é produzido quando o STRESS se aproxima de 0. Logo, o STRESS pode ser utilizado como uma medida do quão adequada foi a análise. Uma “regra de polegar” (CLARKE, 1993) sugere que:

- Stress <0,05 representação excelente;
- Stress <0,10 boa ordenação. Improvável de produzir algo melhor aumentando-se as dimensões do diagrama de Shepard;
- Stress <0,20 ordenação razoável. Não é possível discutir detalhes minuciosos, mas o aumento das dimensões do diagrama Shepar pode melhorar a representação;
- Stress >0,20 ordenação inviável e a interpretação pode ficar comprometida. Com valores de stress entre 0.35 e 0.4 as amostras estão posicionadas aleatoriamente, mantendo pouca ou nenhuma relação com a similaridade original.

### 4.3.3 Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica de análise multivariada que pode ser usada para analisar inter-relações entre muitas variáveis e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes (componentes). O objetivo é encontrar um meio de condensar a informação contida em várias variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (componentes) com uma perda mínima de informação (RAHMER & VIDAL, 2022).

Neste estudo foi realizado Análise de Componentes Principais para o gradiente de perturbação florestal com base na área da clareira e na recuperação de atributos florestais dependentes da idade do povoamento (ou seja, riqueza e composição de espécies). Os níveis de significância são baseados em coeficientes de correlação de Spearman entre variáveis e componentes principais da PCA.

Para desenhar a ilustração dos gráficos neste estudo, foi usado o pacote ‘ggplot2’ (HADLEY 2015). Testamos a distribuição normal das variáveis de resposta (riqueza e composição de espécies) usando o teste de Shapiro-Wilk e o gráfico Q-Q, e avaliamos a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett (CRAWLEY, 2013).

### 4.3.4 Análise de gradiente de perturbação: distribuição do dossel da clareira

Definir o gradiente de perturbação florestal com base na área da clareira como um *proxy* da intensificação do manejo florestal e descrever a recuperação de atributos florestais dependentes da idade do povoamento (riqueza e composição de espécies) ao longo do gradiente de perturbação por meio de uma análise de componentes principais na matriz de correlação foi utilizado o pacote “FactoMineR” (HUSSON et al., 2017). Além disso, a correlação de Pearson entre as variáveis (idade do povoamento, riqueza de espécies, composição da comunidade e área da clareira) e os eixos do nMDS foi avaliada (SCHMITZ et al. 2020) para conhecer a contribuição relativa das variáveis que explicam o distúrbio florestal e o gradiente de recuperação.

### 4.3.5 Riqueza de espécies arbóreas e composição da comunidade

A riqueza de espécies de árvores entre fragmentos florestais amostrados (floresta secundária “clareiras” e floresta antiga de referência “floresta sem manejo”) usando uma abordagem baseada em amostra (COLWELL et al., 2012) para construir as curvas de rarefação e extrapolação com base na primeira ( $q = 0$ ) número de Hill (CHAO et al., 2014,

COLWELL et al., 2012). Rarefação/extrapolações baseadas em amostras com intervalos de confiança de 95% foram calculadas (100 execuções de bootstrap replicadas) usando o pacote 'iNEXT' (HSIEH et al., 2016). Sempre que os intervalos de confiança de 95% não se sobrepõem, os números de espécies diferiram significativamente em  $P < 0,05$  (COLWELL et al., 2012). A recuperação da riqueza de espécies foi expressa como porcentagem da riqueza rarefeita média em parcelas de floresta de referência no mesmo local.

Uma análise de escala multidimensional não métrica (NMDS) foi realizada usando a função 'metaMDS' com base nas diferenças de Bray-Curtis (CLARKE, 1993; OKSANEN et al., 2018) para comparar a variabilidade da composição da comunidade arbórea entre florestas secundárias e florestas naturais sem exploração. Assim, corroboramos o ajuste não métrico com base na tensão usando regressão linear (Figura S1 - apêndice). Em seguida, uma análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA, 9999 permutações) foi usada para testar as diferenças na composição de espécies lenhosas usando a função 'adonis', seguida por um teste de Adonis pareado posterior (MARTINEZ-ARBIZU, 2019) (Tabela S1- apêndice). Finalmente, extraímos as pontuações no eixo NMDS 1 ponderado pela frequência como proxy da variabilidade da composição da comunidade (FOTIS et al., 2018; VILLA et al., 2018). Todas as diferentes funções do NMDS estão disponíveis no pacote “vegano” (OKSANEN et al., 2018).

#### **4.3.6 Modelos lineares de efeito mistos: efeitos do tamanho de clareiras e idade do povoamento em comunidades arbóreas**

Foi usado os modelos lineares de efeitos mistos (LMMs, com efeitos aleatórios e fixos) para testar os principais efeitos da idade do povoamento e a área da clareira na riqueza de espécies. A idade do povoamento e a área da clareira foram consideradas como um efeito fixo e aleatório, respectivamente, em todos os modelos (ROZENDAAL et al., 2019).

A distribuição de erro gaussiana foi testada (Figura S2 – apêndice), depois que as distribuições de resíduos foram verificadas visualmente e a distribuição e função de ligação mais adequada (ou seja, a normalidade foi confirmada pelo gráfico Q-Q e teste de Shapiro-Wilk) foi avaliada (ZUUR et al., 2009; CRAWLEY, 2013). Avaliamos a colinearidade entre as variáveis preditoras selecionadas por meio da análise de correlação de Spearman; quando duas variáveis foram fortemente correlacionadas ( $r \geq 0,7$ ), foram incluídas em modelos univariados (Figura S3 - apêndice). Todos os modelos foram calculados usando o pacote “lme4” (BATES et al., 2019).

Foi comparado o modelo mais parcimonioso (modelo nulo) com todas as combinações ecologicamente significativas de variáveis fixas. Para isso aplicamos uma abordagem de inferência multi-modelo com a função Dredge do pacote “MuMIn” (BARTON, 2017), para avaliar os melhores modelos (LMMs) testados. O ajuste geral de todos os modelos foi utilizando a abordagem teórica da informação baseada no Critério de Informação de Akaike (AIC), considerando todos os modelos com  $AIC < 2,0$  igualmente plausíveis (BURNHAM; ANDERSON, 2002, BURNHAM et al., 2011).

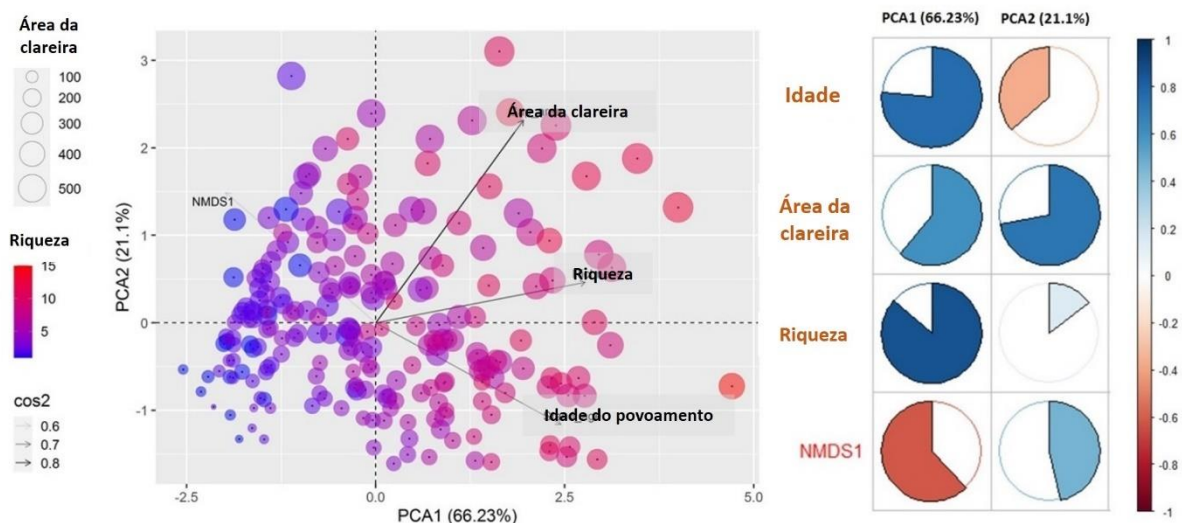
Também foi usado as estimativas dos coeficientes dos preditores para interpretar as estimativas dos parâmetros em uma escala comparável usando o pacote “jtools” (LONG, 2020). Para ilustração dos gráficos neste estudo, utilizamos o pacote “ggplot2” (HADLEY, 2015). Todas as análises foram realizadas usando o programa R versão 4.0.2 (R Development Core Team, 2020).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Análises de gradiente

Os dois primeiros eixos do PCA explicaram 87% da variação na área da clareira como *proxy* da intensificação do manejo florestal e a recuperação dos atributos florestais em função da idade do povoamento, ou seja, riqueza e composição de espécies (Figura 4). O primeiro eixo (PCA1) explicou 66,23% da variação dos dados e foi positivamente correlacionado com a área da clareira ( $R^2 = 0,60$ ,  $p < 0,05$ ), riqueza de espécies ( $R^2 = 0,86$ ,  $p < 0,05$ ) e idade do povoamento ( $R^2 = 0,76$ ,  $p < 0,05$ ) e negativamente com NMDS1 ( $R^2 = -0,61$ ,  $p < 0,05$ ). O segundo eixo (PCA2) explicou 21,1% da variação dos dados e correlacionou-se positivamente com a área da clareira ( $R^2 = 0,72$ ,  $p < 0,05$ ) (Figura 4).

**Figura 4** - Análise de componentes principais (ACP) para o gradiente de perturbação florestal com base na área da clareira e na recuperação de atributos florestais dependentes da idade do povoamento (riqueza e composição de espécies) ao longo de diferentes clareiras florestais. Os níveis de significância são baseados nos coeficientes de correlação de Spearman entre as variáveis e os componentes principais da PCA a partir de 242 parcelas de diferentes fragmentos florestais.



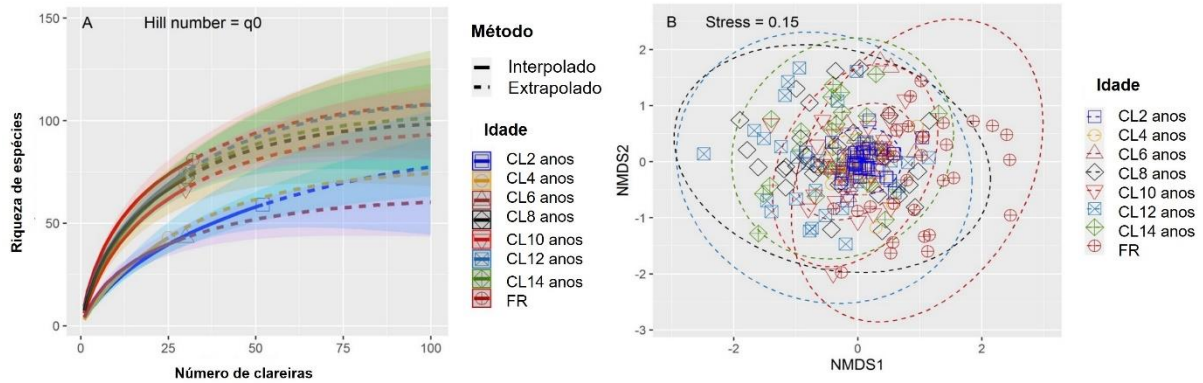
Fonte: Autora (2022). \* Cos2 significa a contribuição relativa das variáveis representadas pelos vetores.

### 5.2 Riqueza de espécies e composição da comunidade

As curvas de extrapolação de rarefação com base na abordagem amostral indicam diferenças significativas entre dois grupos marcadamente separados (Figura 5A). O primeiro grupo correspondendo às cronossequências de estágios sucessionais iniciais (2, 4, 6 anos) com 45 espécies arbóreas, e um segundo grupo com cronossequências avançadas avaliadas (8, 10, 12, 14 anos) e floresta antiga apresentando aproximadamente duas vezes o número de espécies observadas nos estágios iniciais (Figura 5B). No geral, a composição da comunidade arbórea mostrou diferenças marginais entre florestas secundárias e a floresta referência

(Permanova:  $F_{7,251} = 3,01$ ;  $p < 0,001$ ), mas com uma sobreposição marcada entre cronossequências (Figura 5B, Tabela S1 - apêndice).

**Figura 5** - Curvas de rarefação (linhas sólidas) e extrapolação (linhas tracejadas) da diversidade de espécies arbóreas com base nos primeiros números de Hill ( $q = 0$ ) em diferentes estágios sucessionais e em uma floresta referência (FR) (A). Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) baseado na composição de espécies arbóreas de diferentes florestas secundárias em diferentes idades e em uma floresta referência (B). Nota: CL = clareira e FR = Floresta de referência.



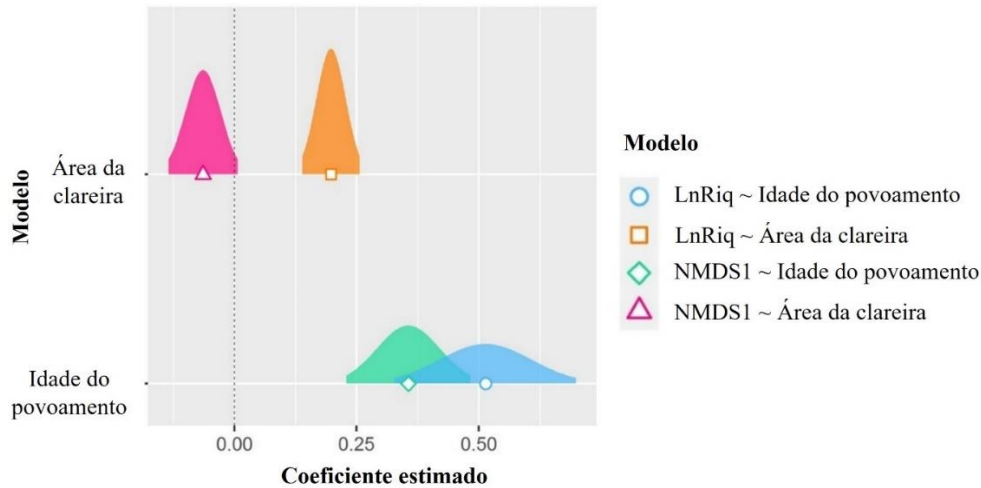
Fonte: Autora (2022).

### 5.3 Efeitos da idade do povoamento e da área das clareiras na riqueza de espécies e composição da comunidade

A idade do povoamento e tamanho de clareira, explicaram 90% da variação da riqueza de espécies (Tabela S1 - apêndice). Assim, a idade do povoamento teve o efeito positivo mais forte na riqueza de espécies (Figura 6, Est. = 0,01,  $t = 5,4$ ,  $p < 0,001$ ) e explicou 60% de sua variação (Tabela S1 - apêndice), e com modelo linear significativo (Figura 7).

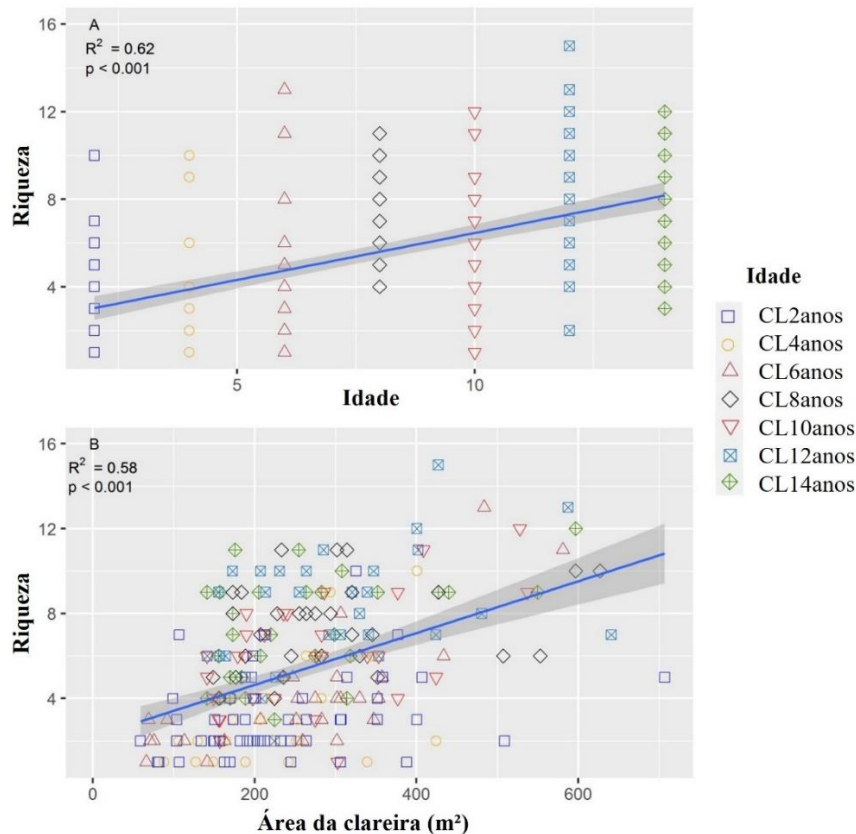
A idade do povoamento também afeta significativamente a variabilidade da composição de espécies (Est. = 0,01,  $t = 5,4$ ,  $p < 0,001$ ). Além disso, a área da clareira teve um efeito significativo na riqueza de espécies (Figuras 6 e 7, Est. = 0,02,  $t = 6,60$ ,  $p < 0,001$ ), explicando 33% da variação (Tabela S1 - apêndice). Por outro lado, a área da clareira não afetou significativamente o NMDS1 (Figura 6, Tabela S1 - apêndice).

**Figura 6** - Coeficientes de regressão padronizados de diferentes modelos lineares de efeitos mistos (LMMs, com efeitos aleatórios e fixos) para testar os principais efeitos de preditores na riqueza de espécies e variabilidade da composição da comunidade como NMDS1. As estimativas dos parâmetros médios (coeficientes de regressão padronizados) dos preditores do modelo, os intervalos de confiança de 95% associados e a importância relativa dos preditores são indicados.



Fonte: Autora (2022).

**Figura 7** - Relações entre os principais preditores e a riqueza de espécies ao longo da sucessão da floresta amazônica. As linhas contínuas representam os valores ajustados (previstos) dos modelos, e os polígonos sombreados os 95% associados às previsões modeladas.



Fonte: Autora (2022).

## 6 DISCUSSÃO

Nosso estudo testou a hipótese de que as condições de perturbação da exploração madeireira promovem aumentos na riqueza de espécies e variabilidade da composição da comunidade ao longo da Floresta Amazônica secundária. Assim, o principal padrão observado neste estudo foi a relação positiva entre as condições das clareiras e a idade do povoamento como preditor da biodiversidade taxonômica (riqueza de espécies e composição da comunidade). Este estudo mostrou um resultado relevante, que evidencia a contribuição relativa desses preditores (ou seja, área da clareira e idade do povoamento) para recuperar a riqueza de espécies. Esses resultados foram relatados em estudos anteriores, mas avaliando separadamente os efeitos da idade do povoamento e da área da clareira (BONGERS et al., 2009). No geral, a riqueza de espécies arbóreas pode se recuperar rapidamente após distúrbios em florestas tropicais (ou seja, extração de madeira, cultivo itinerante), por exemplo, em 20 anos pode recuperar mais de 80% da riqueza de espécies em relação às florestas antigas de referência (ROZENDAAL et al., 2019). Por outro lado, a recuperação da composição da comunidade pode levar muito tempo com base nas condições dependentes do contexto ou no nível de degradação da floresta (ROZENDAAL et al., 2019; VILLA et al., 2020).

O mecanismo diferente pelo qual o distúrbio das clareiras de queda de árvores também pode manter a diversidade é fornecer locais de colonização para várias estratégias de regeneração (ou seja, espécies arbóreas pioneiras e intolerantes à sombra e tolerantes à sombra). Por exemplo, essa abertura do dossel permite a disponibilidade de luz, que estimula a germinação das sementes, e a chegada de novas sementes por dispersão dentro de uma clareira (SCHNITZER e CARSON, 2001; CAYUELA et al., 2009; CARVALHO et al., 2017; DAMPTEY et al. al., 2021). No entanto, um estudo clássico em Barro Colorado demonstrou que não encontrou diferença na diversidade de espécies arbóreas entre clareiras de 2 anos e locais sem clareiras por indivíduo (per capita) para mudas (1–4 cm DAP) concluindo que o aumento da diversidade foi apenas um efeito transitório do aumento da densidade (HUBBELL et al., 1999). Além disso, a diversidade de espécies arbóreas da regeneração natural pode ser maior onde os distúrbios foram de intensidade intermediária, enquanto as espécies arbóreas pioneiras proliferaram nas áreas mais fortemente perturbadas (CARVALHO et al., 2017). Provavelmente, com base na hipótese de perturbação intermediária, cria maior variação espaço-temporal entre as lacunas que induzem maior coexistência de espécies, levando à máxima diversidade de espécies (CONNELL 1978).

Assim, nossos modelos testados mostram que o uso da área de clareira como proxy da intensidade de exploração pode ter implicações importantes para a recuperação da floresta. O impacto dos distúrbios da exploração madeireira na regeneração das árvores variou com a intensidade e o tamanho do distúrbio (CARVALHO et al., 2017) e, portanto, podem ter implicações para o manejo e conservação florestal. Assim, assumimos que é provável que a extração de indivíduos de espécies madeireiras abundantes ou monodominantes em escala fina, possa induzir uma perturbação intermediária com abertura do dossel que promova um aumento na diversidade de espécies arbóreas por meio de diferentes mecanismos (germinação do banco de sementes, colonização por dispersão de sementes, recrutamento de espécies e enriquecimento de espécies do sub-bosque). As diferenças entre as espécies arbóreas no estabelecimento, germinação, desenvolvimento, sobrevivência, crescimento e recrutamento do dossel dentro das clareiras explicam o papel crucial das clareiras na formação da composição da comunidade (FELDMANN et al., 2020; HAMMOND et al., 2020). As mudanças na riqueza de espécies arbóreas e abertura do dossel devido à exploração madeireira podem ser pequenas e principalmente recuperadas para condições de floresta não perturbada dentro de oito anos após as colheitas (CARVALHO et al., 2017). Neste estudo, um padrão semelhante foi observado onde até 8 anos após a exploração houve uma recuperação de 80% da riqueza total de espécies.

Embora a abordagem principal do estudo tenha sido sobre a riqueza e composição de espécies, também propomos como importante critério de conservação proibir o corte de espécies hiperdominantes, que tem um papel importante nos serviços ecossistêmicos em escala local e global (BASTIN et al., 2015; FAUSET et al., 2015; POULSEN et al., 2020). Por exemplo, a regeneração natural bem-sucedida de florestas exploradas em Gana é atribuída à capacidade de semeadura de árvores remanescentes mais antigas e dominantes que não foram colhidas durante o corte (DAMPTEY et al., 2021). A hiperdominância tem sido um fenômeno amplamente observado, onde poucas espécies dominantes e identidade taxonômica, em vez de riqueza de espécies, explicam a variação na função do ecossistema (GRIME 1998; RODRIGUES et al., 2019). No entanto, para que a riqueza de espécies seja aprimorada nas florestas, é necessária diferenciação ou especialização de nicho (OBIRI et al., 2004; CARVALHO et al., 2017). de recursos que favorece a coexistência de espécies e o aumento da diversidade.

Diante da alta diversidade biológica em florestas tropicais, é importante reconhecer que qualquer tipo de manejo na floresta implica mudanças na riqueza de espécies e biodiversidade e pode ter possíveis consequências em escala regional. Portanto, é necessário

entender completamente os efeitos da exploração madeireira na composição, estrutura e diversidade da floresta (DING et al., 2017).

A formação de clareiras com diferentes tamanhos serve para analisar melhor os regimes de perturbações natural que ocorre na floresta (SEYMOUR et al., 2002), além de contribuir com a regeneração de algumas espécies arbóreas que são intolerantes à sombra e tolerantes ao meio e, promove a proliferação e coexistência de diferentes espécies, melhorando assim a diversidade geral de espécies na floresta (HAMMOND et al., 2020).

Os resultados do presente estudo evidenciam que os efeitos de clareiras com diferentes idades (Figura 7A) e tamanhos (Figura 7B) contribuíram para o aumento da riqueza de espécies, à medida que a clareira se expande proporcionalmente a riqueza aumenta. O tamanho das aberturas das clareiras é diferente sendo decorrente tanto da queda natural de uma árvore quanto de fatores antrópicos como a colheita madeireira, que resultam em uma maior incidência de queda de árvores. Essa observação é semelhante com o sistema de seleção de grupo descrito no estudo de Hammond e Pokorny (2020) que derrubaram muitas árvores para criar grandes clareiras.

Estudos pontam o potencial das clareiras como fator importante para a regeneração de inúmeras espécies (MUSCOLO et al., 2011; HAMMOND et al., 2020). No processo de sucessão florestal, a composição da regeneração natural pode muitas vezes diferir entre clareiras com diferentes tamanhos, formas, orientações e aspectos devido às respostas variadas das espécies à perturbação e grupo ecológico das espécies (de CARVALHO et al., 2017; HAMMOND et al., 2020).

Entender a composição de espécies é um instrumento fundamental para avaliar a, diversidade, riqueza, conservação de espécies e o manejo dos ecossistemas florestais (KACHOLI, 2014). A longo prazo, a composição de espécies, riqueza e características da vegetação depende da conservação da biodiversidade (IFO et al., 2016).

## **7 CONCLUSÕES**

Clareiras abertas pela exploração florestal afetam a riqueza de espécies da regeneração natural em florestas tropicais.

A idade do povoamento influencia na riqueza de espécies. Oito anos após a exploração madeireira, as clareiras apresentam riqueza de espécies semelhantes a uma floresta madura.

O tamanho de clareiras influencia positivamente a riqueza de espécies arbóreas. Maiores clareiras apresentam maior riqueza de espécies.

## REFERÊNCIAS

- ABIYU, A., MOKRIA, M.; GEBREKIRSTOS, A.; BRÄUNING, A. Tree-ring record in Ethiopian church forests reveals successive generation differences in growth rates and disturbance events. **Forest Ecology and Management**, v. 409, p. 835-844, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112717312501?via%3Dihub>. Acesso em: 02 nov. 2021.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013.
- ANDRAE, F. H.; SCHNEIDER, P. R.; DURLO, M. A. Importância do manejo de florestas nativas para a renda da propriedade e abastecimento do mercado madeireiro. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1293-1302, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509832579>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/p5zTzMXqtw8fg5v655bQRWn/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 02 nov. 2021.
- BARTON, K.; 2017. ‘MuMIn’: Multi-Model Inference. R package version 1.40.0. <https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/MuMIn.pdf>. (15 June 2021, date last accessed).
- BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S.; RH, B. C.; SINGMANN, H.; DAI, B. R package ‘lme4’: linear mixed-effects models using “Eigen” and S4. **Version**, v. 1, p. 21, 2019.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. Artmed Editora, 2009.
- BIAZATTI, S. C.; MORA, R.; SCCOTI, M. S. V.; DE BRITO JÚNIOR, J. F.; DE SOUZA, L. A., DE SOUZA, L. Planejamento e produção florestal em área de concessão na Amazônia Ocidental. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 8938-8953, 2019. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n7-097>. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/2317>. Acesso em: 02 nov. 2021.

BONGERS, F.; POORTER, L.; HAWTHORNE, W. D.; SHEIL, D. The intermediate disturbance hypothesis applies to tropical forests, but disturbance contributes little to tree diversity. **Ecology letters**, v. 12, n. 8, p. 798-805, 2009.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 maio. 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato20112014/2012/Lei/L12651.htm#art83](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20112014/2012/Lei/L12651.htm#art83)>. Acesso em 16 mar. 2021.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P. Manejo de produção em florestas naturais da Amazônia: mitos e verdades. **Nativa**, v. 03, n. 04, p. 292-295, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v03n04a12>. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1032729>. Acesso em: 20 Jun. 2021

BROKAW, V. L. The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics. **Biotropica**, p. 158-160, 1982. DOI: <https://doi.org/10.2307/2387750>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2387750>. Acesso em: 16 Jun. 2021.

BURNHAM K. P.; ANDERSON, D. R. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. **Springer, New York Burnham KP, Anderson DR, Huyvaert KP (2011) AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. Behav Ecol Sociobiol**, v. 65, p. 2335Cardoso, 2002.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; HUYVAERT, K. P. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. **Behavioral ecology and sociobiology**, v. 65, n. 1, p. 23-35, 2011.

CANNON, C. H.; PEART, D. R.; LEIGHTON, M. Tree species diversity in commercially logged Bornean rainforest. **Science**, v. 281, n. 5381, p. 1366-1368, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.281.5381.1366>. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.281.5381.1366>. Acesso em: 02 ago. 2022.

CARNEIRO, F. S.; RUSCHEL, A. R.; FREITAS, L. J. M.; PINHEIRO, K. A. O.; D'ARACE, L. M. B.; MAESTRI, M. P. Resiliência do volume de madeira de espécies comerciais em diferentes áreas experimentais na Amazônia Oriental. **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2019. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0003.

Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1125271>. Acesso em: 03 mar. 2021.

CARVALHO, A. L.; OLIVEIRA, M. D.; de OLIVEIRA, L. C. Avaliação da regeneração natural após exploração florestal na Floresta Estadual do Antimary, Acre. **Embrapa Acre-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124623>. Acesso em: 23 mar. 2021.

CARVALHO, J. O. P. de. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: contribuições do Projeto Embrapa/DFID. **Resumos** [...]. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU: DFID, 1999. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/394985/1/Doc123p164179.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

CASTRO, T. C.; CARVALHO, J. O. P. Dinâmica da população de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. durante 26 anos após a exploração florestal em uma área de terra firme na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v.24, p.161-169, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509813333>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/ft4SCDN6DcvFdRJ6TfrtH4S/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 09 abr. 2021.

CAYUELA L.; MURCIA C.; HAWK A. A.; FERNÁNDEZ-VEGA J, OVIEDO-BRENES F. 2009. Tree Responses to Edge Effects and Canopy Openness in a Tropical Montane Forest Fragment in Southern Costa Rica. *Tropical Conservation Science*. 425-436. doi:10.1177/194008290900200404.

CHAO, A.; GOTELLI, N. J.; HSIEH, T. C.; SANDER, E. L.; M. A.; K. H.; COLWELL, R. K.; ELLISON, A. M. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. **Ecological monographs**, v. 84, n. 1, p. 45-67, 2014.

CHASE, J. M.; LEIBOLD, M. A. **Ecological niches**. University of Chicago Press, 2009. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.7208/9780226101811/html>. Acesso em 25 mar. 2021.

CHAZDON, R. L. Synthesis: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation. In: **Second Growth**. University of Chicago Press, 2014. p. 304-316.

CHAZDON, R. L.; LETCHER, S. G.; VAN BREUGEL, M.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; BONGERS, F.; FINEGAN, B. Rates of change in tree communities of secondary Neotropical forests following major disturbances. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, n. 1478, p. 273-289, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1990>. Disponível em: [https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2006.1990?casa\\_token=2Td3XH5R51wAAAAA:G6vegZJ9lFJglA1M57H5JPgr5nsOooJGKNWrH-MCXee1yVKaDKzqmeQunH\\_973u-jq-JSPtQDVYj\\_t1F](https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2006.1990?casa_token=2Td3XH5R51wAAAAA:G6vegZJ9lFJglA1M57H5JPgr5nsOooJGKNWrH-MCXee1yVKaDKzqmeQunH_973u-jq-JSPtQDVYj_t1F). Acesso em: 27 mar. 2021.

CHAZDON, ROBIN. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 7, n. 3, pág. 195-218, 2012. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v7i3.587>. Disponível em: <https://boletimcn.museu-goeldi.br/bcnaturais/article/view/587>. Acesso em: 25 mar. 2021.

CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. **Australian Journal of Ecology**, v. 18, n. 1, p. 117-143, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>.

CONNELL, J. H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs: high diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state. **Science**, v. 199, n. 4335, p. 1302-1310, 1978.

COSTA, N. S. L.; JARDIM, F. C. S.; GOMES, J. M.; DIONISIO, L. F. S.; SCHWARTZ, G. Responses in growth and dynamics of the shade-tolerant species *Theobroma subincanum* to logging gaps in the Eastern Amazon. **Forest Systems**, 29: e003. 2020. <https://doi.org/10.5424/fs/2020291-15832>. DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2020291-15832>. Disponível em: <https://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/15832>. Acesso em: 25 mar. 2021.

CRAWLEY M. \_ 2013. O Livro R (Segunda Edição). **Chichester: Wiley**.

CURZON, M. T.; D'AMATO, A. W.; PALIK, B. Early regeneration response to aggregated overstory and harvest residue retention in *Populus tremuloides* (Michx.)-dominated forests. **New Forests**, v. 48, p. 719– 734. 2017. DOI: [10.5424/fs/2020291-15832](https://doi.org/10.5424/fs/2020291-15832). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-017-9585-5>. Acesso em: 13 ago. 2022.

DA SILVA, K. E.; DE SOUZA, C. R.; DE AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B. Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta densa de terra-firme na Amazônia Central. **Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1016281/1/cap19.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2021.

DE CAMINO, R; MARIELOS, A. Certification in Latin America: experience to date. **Network Paper-Rural Development Forestry Network (United Kingdom)**, 1998. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GB1999000480>. Acesso em: 12 abr. 2021.

DE CARVALHO, A. L.; D'OLIVEIRA, M. V. N.; PUTZ, F. E.; DE OLIVEIRA, L. C. Natural regeneration of trees in selectively logged forest in western Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 392, p. 36-44, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.049>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716311410?casa\\_token=Yg5oqAazxecAAAAA:beb1k3ihC2x7-cXKId66RsMZWL5h7gbgTyuF18G3VDZ6Rnn-QPRCgeS3n7wjgC8yfRr8B528S2cRsQ](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716311410?casa_token=Yg5oqAazxecAAAAA:beb1k3ihC2x7-cXKId66RsMZWL5h7gbgTyuF18G3VDZ6Rnn-QPRCgeS3n7wjgC8yfRr8B528S2cRsQ). Acesso em: 03 ago. 2022.

DENT, D. H.; DEWALT, S. J.; DENSLOW, J. S. Secondary forests of central Panama increase in similarity to old-growth forest over time in shade tolerance but not species composition. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, n. 3, p. 530-542, 2013.

DING, Y.; ZANG, R.; LU, X.; HUANG, J. The impacts of selective logging and clear-cutting on woody plant diversity after 40 years of natural recovery in a tropical montane rain forest, south China. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 1683-1691, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.185>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716326511?casa\\_token=ZavqMcqrLBsAAAAA:KVk2MuhjSI7Y8hrF7gf1PEovK63L74v1AoSXADmfemiXQ6jcpkENdTIWN7NZxHCRqlpfDRMHPjTjB](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716326511?casa_token=ZavqMcqrLBsAAAAA:KVk2MuhjSI7Y8hrF7gf1PEovK63L74v1AoSXADmfemiXQ6jcpkENdTIWN7NZxHCRqlpfDRMHPjTjB). Acesso em: 01 ago. 2022.

DIONISIO, L. F. S. Efeitos a médio prazo da exploração seletiva no crescimento, mortalidade e recrutamento de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. em uma Floresta Amazônica. **Scientia Forestalis**, v. 48, p. 1-17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.21>. Disponível em: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/scientia/nr125/2318-1222-scifor-48-125-e3154.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2021.

DIONISIO, L. F. S.; CARVALHO, J. O. P.; SCHWARTZ, G.; LEÃO, F. M.; CASTRO, T. C. Incremento, recrutamento e mortalidade pós-colheita de *Duguetia* spp. na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. **Scientia Forestalis**, 46, 119, 2018b. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n119.05>. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr119/cap05.pdf>. Acesso em: 04 maio. 2021.

DIONISIO, L. F. S.; SCHWARTZ, G.; LOPES, J. C.; SANTOS, G. G. A.; OLIVEIRA, F. A. Mortality of stocking commercial trees after reduced impact logging in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 401, p. 1-7, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.036>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112717308125?casa\\_token=OfyXhFAINCoAAAAA:Vfmtxw2wF8oNra7usVxEBdwT2niIAqgpcFiiqSsY24iD5EwuqEeMeX8YILRu0SiB0JOSujBaUH0](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112717308125?casa_token=OfyXhFAINCoAAAAA:Vfmtxw2wF8oNra7usVxEBdwT2niIAqgpcFiiqSsY24iD5EwuqEeMeX8YILRu0SiB0JOSujBaUH0). Acesso em: 04 maio. 2021.

DYKSTRA, D. P. and R. HEINRICH. 1996. FAO Model Code of Forest Harvesting Practice. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**, Rome Italy. 85 p. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19986772113>. Acesso em: 09 jun. 2021.

ESPADA, A. L. V. et al. Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção da Amazônia. **Informativo Técnico I IFT. Belém, IFT**, 2015.

FAUSET, S.; JOHNSON, M.; GLOOR, M.; PHILLIPS, O. L.; 2015. Hyperdominance in Amazonian Forest carbon cycling. *Nature Communications*, 6, 6857 <https://doi.org/10.1038/ncomms7857>.

FERNANDES, M. M.; SILVA, T. R., PINTO, A. S.; SOUZA, I. B. A.; FERNANDES, M. R. M. Regeneração natural em fragmento de Floresta Ombrófila Semidecidual em Sergipe, Brasil. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 7, e02, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/2316980X28813>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/enflo/article/view/28813>. Acesso em: 04 julh. 2021.

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N. Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal. Rio Branco: **Embrapa Acre**, 2007. 183p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Global Forest Resources Assesment**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i1757e/i1757e.pdf>. Acesso em: 22 julh.2021.

FREDERICKSEN, T.S.; PARIONA, W. Effect of skidder disturbance on commercial tree regeneration in logging gaps in a Bolivian tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 171, n. 3, p. 223-230, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00767-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00767-8). Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112701007678?casa\\_token=Lt8NjIMirXwAAAAA:8M\\_uzq3DcGdLozWAuu6Q8qJs9I71BZYEpp9MmV4TkTd9rOG7UijU4p91-XJQzFRXUbBqDx8iszSTmw](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112701007678?casa_token=Lt8NjIMirXwAAAAA:8M_uzq3DcGdLozWAuu6Q8qJs9I71BZYEpp9MmV4TkTd9rOG7UijU4p91-XJQzFRXUbBqDx8iszSTmw).

GAMA, J. R. V.; BOTELHO, S. A.; BENTESGAMA, M. M. Composição florística e Estrutura da regeneração natural de floresta secundária de Várzea Baixa no Estuário Amazônico. **Revista Árvore**, v.26, n.5, p.559-566, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00767-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00767-8). Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112701007678?casa\\_token=-Ndb83RVrywAAAAA:1gSTY89teEIHSTPWwgL6-Fu6VYMPsUFC3L8N-2gDJFWBWvSJh9IcsiHV9f2lqta3aBW\\_tJOi-sk](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112701007678?casa_token=-Ndb83RVrywAAAAA:1gSTY89teEIHSTPWwgL6-Fu6VYMPsUFC3L8N-2gDJFWBWvSJh9IcsiHV9f2lqta3aBW_tJOi-sk). Acesso em: 22 jun. 2021

GAYOT, M.; SIST, P. Vulnérabilité des espèces de maçaranduba face à l'exploitation em Amazonie brésilienne: nouvelles normes d'exploitation à définir. **Bois et Forêts des tropiques**, v.280, n.2, p.75-90, 2004. Disponível em: [https://agritrop.cirad.fr/519379/1/document\\_519379.pdf](https://agritrop.cirad.fr/519379/1/document_519379.pdf). Acesso em: 10 ago. 2021.

GROGAN, J.; JENNINGS, S.B.; LANDIS, R.M.; SCHULZE, M.; BAIMA, A. M. V.; LOPES, J. DO C. A.; NORGHAUER, J. M.; OLIVEIRA, L. R.; PANTOJA, F.; PINTO, D.; SILVA, J. N. M.; VIDAL, E.; ZIMMERMAN, B. L.; 2008. What loggers leave behind: Impacts on big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) commercial populations and potential for post-logging recovery in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**. 255, 269– 281. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.048>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112707007177?casa\\_token=8b8i1tz8JKQAAAAA:oHWwoakxm5DaYOAcfw0n90BtZdaMLkBxuXAvqCI\\_BP6zqCQGxpzTUa9\\_Dgv1T4bq8GiPXk0Hg2hcmg](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112707007177?casa_token=8b8i1tz8JKQAAAAA:oHWwoakxm5DaYOAcfw0n90BtZdaMLkBxuXAvqCI_BP6zqCQGxpzTUa9_Dgv1T4bq8GiPXk0Hg2hcmg). Acesso em: 10 ago. 2021.

GUSSON, A. E.; NASCIMENTO, A. R. T.; ARAÚJO, G. M.; SILVA, P. P. F. Efeitos da cobertura do bambu *Actinocladum verticillatum* (Nees) McClure ex Soderstr na regeneração de espécies lenhosas. **Unimontes Científica**, v. 19, n. 2, p. 87-95, 2017. Disponível em: <http://www.ruc.unimontes.br/index.php/unicientifica/article/view/345>. Acesso em: 10 ago. 2022.

- HADLEY, W., 2015. R ggplot2 package: An implementation of the grammar of graphics.
- HAMMOND, M. E., & POKORNÝ, R. Diversity of Tree Species in Gap Regeneration under Tropical Moist Semi-Deciduous Forest: An Example from Bia Tano Forest Reserve. **Diversity**, v. 12, n. 8, p. 301, 2020.
- HIGUCHI, N. et al. Bacia 3 - Inventário diagnóstico da regeneração natural. **Acta Amazonica**, v. 15, n. 1/2, p. 199- 233, 1985.
- HOLLAND, S. M. Non-metric multidimensional scaling (MDS). **Department of Geology, University of Georgia, Athens, Tech. Rep. GA**, p. 30602-2501, 2008.
- HSIEH, T. C.; MA, K. H.; CHAO, A. iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity. 2016.
- HÜLLER, A.; RAUBER, A.; WOLSKI, M. S.; ALMEIDA, N. L.; WOLSKI, S. R. S. Regeneração natural do componente arbóreo e arbustivo do parque natural municipal de Santo Ângelo-RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 1, 25-35. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v6i1.66387>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/66387>.
- HUSSON, F.; JOSSE, J.; L. E, S.; MAZET, J. e HUSSON, M. F. Package ‘FactoMineR’. Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining, 2018.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Manual técnico da vegetação brasileira. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=263011>.
- IFO, S. A.; MOUTSAMBOTE, J. M.; KOUBOUANA, F.; YOKA, J.; NDZAI, S. F.; BOUETOU-KADILAMIO, L. N. O.; JOEL, L. J. Tree species diversity, richness, and similarity in intact and degraded forest in the tropical rainforest of the Congo Basin: case of the forest of Likouala in the Republic of Congo. **International Journal of Forestry Research**, v. 2016, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/7593681>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ijfr/2016/7593681/>. Acesso em: 01 ago. 2022.
- JARDIM F. C. S.; SENA J. R. C.; MIRANDA I. S. Dinâmica e estrutura da vegetação com DAP e” 5 cm em torno de clareiras da exploração florestal seletiva, em Moju Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 49, n. 1, p. 41-52, 2008. Disponível em: <http://200.129.150.26/index.php/ajaes/article/view/223>. Acesso em: 11 ago. 2021.

JARDIM F. C. S.; SOARES M. S. Comportamento de *Sterculia pruriens* (Aubl.) Schum. em floresta tropical manejada em Moju-PA. **Acta Amazônica**, 40:535-542. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000300012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/S7CL99WTQMjzq3kQj4DcTky/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 11 ago. 2021.

JARDIM, F. C. D. S.; QUADROS, L. C. L. Estrutura de uma floresta tropical dez anos após exploração de madeira em Moju, Pará. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 427-435, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663040001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/5WZq47TY3DRms43rYHxGRXM/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 17 set. 2021.

JARDIM, F. C. S. Natural re generation in tropical forests. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 1, p. 105-113, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1676>. Disponível em: <http://btcc.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/1676/603>. Acesso em 17 set. 2021.

JARDIM, F. C. S.; SERRÃO, D. R.; NEMER, T. C. Efeito de diferentes tamanhos de clareiras, sobre o crescimento e mortalidade de espécies arbóreas, em Moju-PA. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 1, p. 37-48, jan./mar. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/tbyM99rKVXBZrn9brVq87Kz/?lang=pt&format=html>. Acesso em 17 set. 2021.

KACHOLI, D. S. Edge-interior disparities in tree species and structural composition of the Kilengwe forest in Morogoro region, Tanzania. **International Scholarly Research Notices**, v. 2014, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/873174>. Disponível em: <https://downloads.hindawi.com/archive/2014/873174.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2022.

KEEFE, K.; SCHULZE, M. D.; PINHEIRO, C.; ZWEEDE, J. C.; ZARIN, D. Enrichment planting as a silvicultural option in the eastern Amazon: case study of Fazenda Cauaxi. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1950-1959, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.037>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112709005155?casa\\_token=k8\\_OEbVGjEsAAAAA:qMWq9mftVbSx8BUk\\_A1devXPxkIn0CZehsKO02Hssppcg5d4tIRA8xjLplq2ww4kSyzBR8977j1low](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112709005155?casa_token=k8_OEbVGjEsAAAAA:qMWq9mftVbSx8BUk_A1devXPxkIn0CZehsKO02Hssppcg5d4tIRA8xjLplq2ww4kSyzBR8977j1low). Acesso em: 18 set. 2021.

KERN, C. C.; BURTON, J. I.; RAYMOND, P.; D'AMATO, A.W.; KEETON, W.S.; ROYO, A. A.; WALTERS, M. B.; WEBSTER, C. R.; WILLIS, J. L. Challenges facing gap-based silviculture and possible solutions for mesic northern forests in North America. **Forestry: An International Journal of Forest Research**, v. 90, n. 1, p. 4-17, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-84041997000100006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/dhJqpCPPpHj5mLrwRWyKqNd/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 ago. 2022.

LACERDA, A. E. B.; ROBERTA NIMMO, E.; SEBBENN, A. M. Modeling the long-term impacts of logging on genetic diversity and demography of *Hymenaea courbaril*. **Forest Science**, v.59, n.1, p.15-26, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5849/forsci.10-118>. Disponível em: <https://academic.oup.com/forestscience/article/59/1/15/4583666?login=false>. Acesso em: 10 ago. 2022.

LIMA, R. A. F. Regime de distúrbio e dinâmica da regeneração natural na Floresta Pluvial Atlântica Submontana. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo.

LOCKS, C. J.; MATRICARDI, E. A. T. Estimativa de impactos da extração seletiva de madeiras na Amazônia utilizando dados LIDAR. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 481-495, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509826007>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/26007>. Acesso em: 18 set. 2021.

LONG, J.A (2020) “Jtools” package: analysis and presentation of social scientific data. <https://cran.rproject.org/web/packages/jtools/index.html>.

MACHADO, S.; CYSNEIROS, V.; NASCIMENTO, R. G.; MARTINS, A.; SCHMIDT, L. Projeção da Estrutura Diamétrica de Grupos Ecológicos em uma Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 24. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/21798087.001216>. Disponível em: <http://www.floram.periodikos.com.br/article/doi/10.1590/2179-8087.001216>. Acesso em: 18 set. 2021.

MACIEL, M. D. N. M.; WATZLAWICK, L. F.; SCHOENINGER, E. R.; YAMAJI, F. M. Classificação ecológica das espécies arbóreas. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 1, n. 2, p. 69-78, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v1i2.14922>. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/14922>. Acesso em: 13 ago. 2022.

MOJENA, P. A.; DALL'AGUA, A. C.; FREESE, C. R.; MOJENA, A. A. S. Evaluation of natural regeneration in a fragment of secondary forest in Feliz Natal-MT. **Scientific**

**Electronic Archives**, v. 11, n. 2, p. 16-26, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/1122018497>. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=497>. Acesso em: 18 set. 2021.

MUSCOLO, A.; MALLAMACI, C.; SIDARI, M.; MERCURIO, R. Effects of gap size and soil chemical properties on the natural regeneration in black pine (*Pinus nigra* Arn.) stands. **Tree and Forestry Science and Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 65-71, 2011.

MUTIA, T. M. Conservação da Biodiversidade. **Curso de curta duração IV sobre Exploração de Recursos Geotérmicos**, p. 1-22, 2009.

NEVES, R. L. P.; SCHWARTZ, G., LOPES, J. C. A.; LEÃO, F. M. Post-harvesting silvicultural treatments in canopy logging gaps: Medium-term responses of commercial tree species under tending and enrichment planting. **Forest Ecology and Management**, v. 451, p. 117521, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117521>. Acesso em: 11 ago. 2021.

OKSANEN, J.; GUILLAUME BLANCHET, F.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P., MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; HENRY, M.; STEVENS, H.; SZOECES, E.; WAGNER, H. Vegan: Community Ecology Package. R Package Version 2.5-2. 2018. Retrieved from: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>.

OSAZUWA-PETERS, O. L.; JIMÉNEZ, I.; OBERLE, B.; CHAPMAN, C. A.; ZANNE, A. E. Selective logging: Do rates of forest turnover in stems, species composition and functional traits decrease with time since disturbance? – A 45 years perspective. **Forest Ecology and Management**, v.357, p.10-21, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.08.002>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112715004181?casa\\_token=Fde9ibeQnM0AAAAA:p5Dcz6tZy8R6MfjgsVpkO2Xg0t\\_ZK\\_UABzD1Z3x9kb4\\_KExWG1Dif6409ZfnOj7-tV7sqyZoXY2-\\_w](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112715004181?casa_token=Fde9ibeQnM0AAAAA:p5Dcz6tZy8R6MfjgsVpkO2Xg0t_ZK_UABzD1Z3x9kb4_KExWG1Dif6409ZfnOj7-tV7sqyZoXY2-_w). Acesso em: 19 ago. 2021.

PARDOS, M.; JIMÉNEZ, M. D, ARANDA, I.; PUÉRTOLAS, J.; PARDOS, J. A. Water relations of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings in response to shading and moderate drought. **Annals of Forest Science**, v. 62, n. 5, p. 377-384, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2005033>. Disponível em: <https://www.afs-journal.org/articles/forest/abs/2005/05/F5043/F5043.html?mb=0>. Acesso em: 19 set. 2021.

- PAZ, H.; MARTÍNEZ-RAMOS, M. Seed mass and seedling performance within eight species of Psychotria (Rubiaceae). **Ecology**, v. 84, n. 2, p. 439-450, 2003.
- PEARSON, T. R. H.; BURSLEM, D. F. R. P.; GOERIZ, R. E.; DALLING, J. W. Interactions of gap size and herbivory on establishment, growth and survival of three species of neotropical pioneer trees. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 5, p. 785-796, 2003.
- PERONI, N.; HERNÁNDEZ, M. I. M. **Ecologia de populações e comunidades**. Universidade Aberta do Brasil, 2011.
- PINHEIRO, K. A. O.; RUSCHEL, A. R.; DA SILVA CARNEIRO, F.; DA SILVA FRAZÃO, A.; DE SOUZA, M. F. S.; D'ARACE, L. M. B.; AMORIM, M. B. Potencial de espécies comerciais analisado pelo índice de valor de importância em área de exploração de impacto reduzido. **Research, society and development**, v. 10, n. 2, p. e16610212292-e16610212292, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12292>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12292>. Acesso em: 19 set. 2021.
- PINHEIRO, K. A. O.; RUSCHEL, A. R.; OLIVEIRA, F. A.; CARNEIRO, F. S.; D'ARACE, L. M. B.; SILVA, F. L.; FRAZÃO, A. S. Tratamentos silviculturais e volume de madeira em uma área experimental de floresta nativa na Jari, Amapá. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.6, p.50-66, 2019. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0006. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1125268/1/Tratamentos-silviculturais.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.
- PINTO, A. C. M.; SOUZA, A. L.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; VALE, A. B. Análise de danos de colheita de madeira em Floresta Tropical Úmida sob regime de manejo florestal sustentado na Amazônia Ocidental. **Revista Árvore**, v. 26, p. 459-466, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000400008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/F34SgyB5PNcnVwKqPJfRzVC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 set. 2021.
- PUETTMANN, K. J.; WILSON, S. M.; BAKER, S. C.; DONOSO, P. J.; DRÖSSLER, L.; AMENTE, G.; BAUHUS, J. Silvicultural alternatives to conventional even-aged forest management-what limits global adoption?. **Forest Ecosystems**, v. 2, n. 1, p. 1-16, 2015.
- PUTZ, F. E.; PINARD, M. A. Reduced-impact logging as a carbon-offset method. **Conservation Biology**, v. 7, n. 4, p. 755-757, 1993. DOI:

<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.7407551.x>. Disponível em: [https://www.jstor.org/stable/2386806?casa\\_token=pYZCQX5MVOgAAAAA%3Ag-ORhDPVL\\_RqTZTzAb3kfwavZ60yZGKJMpKYjGhfJ\\_aaSnW6zBJrBA6BDt0YJqZPMJ15obZLcNS3-4XUVMGNZCvpgJOCDGM86QR3zl6dkmIsyWIGNpl3PA](https://www.jstor.org/stable/2386806?casa_token=pYZCQX5MVOgAAAAA%3Ag-ORhDPVL_RqTZTzAb3kfwavZ60yZGKJMpKYjGhfJ_aaSnW6zBJrBA6BDt0YJqZPMJ15obZLcNS3-4XUVMGNZCvpgJOCDGM86QR3zl6dkmIsyWIGNpl3PA). Acesso em: 22 fev. 2022.

PUTZ, F. E.; VIANA, V. Biological challenges for certification of tropical timber. **Biotropica** v. 28, p. 323-330, 1996. DOI: <https://doi.org/10.2307/2389196>. Disponível em: [https://www.jstor.org/stable/2389196?casa\\_token=bUTrhpDonZkAAAAA%3AJu6DduTOUUiSPjUeLAEUZKvryYcOYdJPPPDWOzdBgoZGXXYuqXW\\_MnXXmMt4Oq6TOiVI\\_GfZYmo7iVjmAypc8N7LVLdK5KLQ-aJxoDrgGfAsqHHKkKdeuQ#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/2389196?casa_token=bUTrhpDonZkAAAAA%3AJu6DduTOUUiSPjUeLAEUZKvryYcOYdJPPPDWOzdBgoZGXXYuqXW_MnXXmMt4Oq6TOiVI_GfZYmo7iVjmAypc8N7LVLdK5KLQ-aJxoDrgGfAsqHHKkKdeuQ#metadata_info_tab_contents). Acesso em: 20 set. 2021.

RAHMER, J. B.; VIDAL, G. H. Principal component analysis applied to the statistical control of multivariate processes. **Investigación e Innovación en Ingenierías**, v. 10, n. 1, 2022.

REISS, J.; BRIDLE, J. R.; MONTOYA, J. M.; WOODWARD, G. Emerging horizons in biodiversity and ecosystem functioning research. **Trends in ecology & evolution**, v. 24, n. 9, p. 505-514, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.018>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534709001803?casa\\_token=1vgMMVSMR90AAAAA:YTBRmwTV5M3swLv8CmF6ANdjRkmwifj5a0Y1tL6fMR\\_10mI5-\\_gNip6DMKVYU4WblPXyFI7VdSGGWg](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534709001803?casa_token=1vgMMVSMR90AAAAA:YTBRmwTV5M3swLv8CmF6ANdjRkmwifj5a0Y1tL6fMR_10mI5-_gNip6DMKVYU4WblPXyFI7VdSGGWg). Acesso em: 22 fev. 2022.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.; SILVA, J. M. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. **Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. Documentos 162, p. 51, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/408067>. Acesso em: 27 out. 2021.

ROZENDAAL, D.M.A.; BONGERS, F.; AIDE, T.M.; ALVAREZ-DÁVILA, E.; ASCARRUNZ, N.; BALVANERA, P.; BECKNELL, J.M.; BENTOS, T. V, BRANCALION, P.H.S.; CABRAL, G.A.L.; CALVO-RODRIGUEZ, S.; CHAVE, J.; CÉSAR, R.G.; CHAZDON, R.L.; CONDIT, R.; DALLINGA, J.S.; DE ALMEIDA-CORTEZ, J.S.; DE JONG, B.; DE OLIVEIRA, A., DENSLOW, J.S.; DENT, D.H.; DEWALT, S.J.; DUPUY, J.M.; DURÁN, S.M.; DUTRIEUX, L.P.; ESPÍRITO-SANTO, M.M.; FANDINO, M.C.; FERNANDES, G.W.; FINEGAN, B.; GARCÍA, H.; GONZALEZ, N. MOSER, V.G.,

HALL, J.S.; HERNÁNDEZ-STEFANONI, J.L.; HUBBELL, S.; JAKOVAC, C.C.; HERNÁNDEZ, A.J.; JUNQUEIRA, A.B.; KENNARD, D.; LARPIN, D.; LETCHER, S.G.; LICONA, J.C.; LEBRIJA-TREJOS, E.; MARÍN-SPIOTTA, E.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; MASSOCA, P.E.S. MEAVE, J.A.; MESQUITA, R.C.G.; MORA, F.; MÜLLER, S.C.; MUÑOZ, R.; DE OLIVEIRA NETO, S.N.; NORDEN, N.; NUNES, Y.R.F.; OCHOAGAONA, S.; ORTIZ-MALAVASSI, E.; OSTERTAG, R.; PEÑA-CLAROS, M.; PÉREZ-GARCÍA, E.A.; PIOTTO, D.; POWERS, J.S.; AGUILAR-CANO, J.; RODRIGUEZ-BURITICA, S.; RODRÍGUEZ-VELÁZQUEZ, J.; ROMERO-ROMERO, M.A.; RUÍZ, J.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A.; DE ALMEIDA, A.S.; SILVER, W.L.; SCHWARTZ, N.B.; THOMAS, W.W.; TOLEDO, M.; URIARTE, M.; DE SÁ SAMPAIO, E.V.; VAN BREUGEL, M.; VAN DER WAL, H.; MARTINS, S.V.; VELOSO, M.D.M.; VESTER, H.F.M.; VICENTINI, A.; VIEIRA, I.C.G.; VILLA, P.; WILLIAMSON, G.B.; ZANINI, K.J.; ZIMMERMAN, J.; POORTER, L. **Biodiversity recovery of Neotropical secondary forests**. *Science advances*, v. 5, n. 3, p. eaau3114, 2019.

SABOGAL, C.; POKORNY, B.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; ZWEEDE, J.; PUERTA, R. Diretrizes técnicas de manejo para produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia brasileira. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2009. 217p.

SABOGAL, C.; SILVA, J. N. M.; ZWEEDE, J.; JUNIOR, R. P.; BARRETO, P.; GUERREIRO, C. A. Diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de Terra Firme na Amazônia Brasileira. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 52 f. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/389669/1/OrientalDoc64.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2021.

SARTORI, M. S.; POGGIANI, F.; ENGEL, V. L. Regeneração da vegetação arbórea nativa no sub-bosque de um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith. localizado no Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, n. 62, p. 86-103, dez. 2002. ISSN 1413-9324. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/67115/2-s2.0-0037850725.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 06 jun. 2022.

SCHMITZ D.; SCHAEFER C.; PUTZKE J.; FRANCELINO M. R.; FERRARI F.R.; CORREA G. R.; VILLA P. M. 2020. How does the pedoenvironmental gradient shape non-

vascular species assemblages and community structures in Maritime Antarctica? *Ecol Indic* 108: 105726. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105726>.

SCHNITZER.; CARSON 2001. Treefall Gaps and the Maintenance of Species Diversity in a **Tropical Forest**. *Ecology*, 82(4), 913-919.

SCHULZE, M.; GROGAN, J.; LANDIS, R.M.; VIDAL, E. How rare is too rare to harvest?: management challenges posed by timber species occurring at low densities in the Brazilian Amazon. **Forest ecology and management**, v. 256, n. 7, p. 1443-1457, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.051>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112708002302?casa\\_token=SB004crQwCkAAAAA:NpNINcACIZtl8u37KxTASgZMrH0gmuKy9-KvD1hhjmlR69-eWibpQPf\\_8n9aTMfg0vEtN66cVMj0yA](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112708002302?casa_token=SB004crQwCkAAAAA:NpNINcACIZtl8u37KxTASgZMrH0gmuKy9-KvD1hhjmlR69-eWibpQPf_8n9aTMfg0vEtN66cVMj0yA). Acesso em: 07 jun. 2022.

SCHWARTZ, G.; LOPES, J. C.; KANASHIRO, M.; MOHREN, G. M.; PEÑA-CLAROS, M. Disturbance level determines the regeneration of commercial tree species in the eastern Amazon. **Biotropica**, v. 46, n. 2, p. 148-156, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12096>. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/btp.12096?casa\\_token=90x2a6Mj9psAAAAA:-\\_R3UPyIJ5KjPP6HtG7ohMnabp2q\\_mJvQZCL6ySlGfXlvTrl8i1H5sPe5pSnS1a8dV8jOSPH93M1smkJ](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/btp.12096?casa_token=90x2a6Mj9psAAAAA:-_R3UPyIJ5KjPP6HtG7ohMnabp2q_mJvQZCL6ySlGfXlvTrl8i1H5sPe5pSnS1a8dV8jOSPH93M1smkJ). Acesso em: 09 jun. 2022.

SCHWARTZ, G.; PEÑA-CLAROS, M.; LOPES, J. C. A.; MOHREN, G. M. J.; KANASHIRO, M. Mid-term effects of reduced-impact logging on the regeneration of seven tree commercial species in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v.274, p.116-125, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.02.028>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112712001041?casa\\_token=cuJRyUKKeZYAAAAA:mMmdpPBD-yaGG4pTBhOyPTEoWIMc3aekfNbGS7Rd7wUCpWenLjeOcReANt3IC2LgoPF63sUhAyBkRw](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112712001041?casa_token=cuJRyUKKeZYAAAAA:mMmdpPBD-yaGG4pTBhOyPTEoWIMc3aekfNbGS7Rd7wUCpWenLjeOcReANt3IC2LgoPF63sUhAyBkRw). Acesso em: 07 jun. 2022.

SCHWARTZ, G.; PEREIRA, P. C, SIVIERO, M. A.; PEREIRA, J. F.; RUSCHEL, A. R.; YARED, J. A. Enrichment planting in logging gaps with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Bameby: A financially profitable alternative for degraded tropical forests in the Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 390, p. 166-172, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.031>. Disponível em:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716311380?casa\\_token=dAJM\\_8ktr1cAAAAA:CF-joaTShW0xC6m5oY8Keoqen4G5JIp7z5iHn3GAbDAuiJHesocs\\_IOVNIwuiYOP8uyD89nm34Ge1A](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716311380?casa_token=dAJM_8ktr1cAAAAA:CF-joaTShW0xC6m5oY8Keoqen4G5JIp7z5iHn3GAbDAuiJHesocs_IOVNIwuiYOP8uyD89nm34Ge1A). Acesso em: 09 mai. 2022.

SCHWARTZ, G.; PEREIRA, P. C.; SIVIERO, M. A.; PEREIRA, J. F.; RUSCHEL, A. R.; YARED, J. A. Enrichment planting in logging gaps with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby: a financially profitable alternative for degraded tropical forests in the Amazon. *Forest Ecology and Management*, 274, 116-125, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.02.028>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716311380?casa\\_token=dAJM\\_8ktr1cAAAAA:CF-joaTShW0xC6m5oY8Keoqen4G5JIp7z5iHn3GAbDAuiJHesocs\\_IOVNIwuiYOP8uyD89nm34Ge1A](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716311380?casa_token=dAJM_8ktr1cAAAAA:CF-joaTShW0xC6m5oY8Keoqen4G5JIp7z5iHn3GAbDAuiJHesocs_IOVNIwuiYOP8uyD89nm34Ge1A). Acesso em: 09 mai. 2022.

SEIBOLD, S.; CADOTTE, M. W.; MACIVOR, J. S.; THORN, S.; MÜLLER, J. The necessity of multitrophic approaches in community ecology. **Trends in ecology & evolution**, v. 33, n. 10, p. 754-764, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.07.001>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534718301472?casa\\_token=zuN74\\_Cx4oMAAAAA:rWwyW8nU5D0T1nTV7UZzdiiGHfYC8oioebuXw\\_WjiHaNUSXME3-ExfJL3loQgQ-15Q0\\_INCYGVYcA](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534718301472?casa_token=zuN74_Cx4oMAAAAA:rWwyW8nU5D0T1nTV7UZzdiiGHfYC8oioebuXw_WjiHaNUSXME3-ExfJL3loQgQ-15Q0_INCYGVYcA). Acesso em: 09 mai. 2022.

SEYMOUR, R. S.; WHITE, A. S.; PHILIP, G. D. Natural disturbance regimes in northeastern North America—evaluating silvicultural systems using natural scales and frequencies. **Forest Ecology and Management**, v. 155, n. 1-3, p. 357-367, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00572-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00572-2). Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112701005722?casa\\_token=MFG9ZL8qUBwAAAAA:9AHxqk\\_0EGNyP6NuLOtNRGMGydbTrTQGfsZkS5BDMY3tthSueLffOWZ7mj7WJ2qlBJnydebgKoziMw](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112701005722?casa_token=MFG9ZL8qUBwAAAAA:9AHxqk_0EGNyP6NuLOtNRGMGydbTrTQGfsZkS5BDMY3tthSueLffOWZ7mj7WJ2qlBJnydebgKoziMw). Acesso em: 03 ago. 2022.

SIRI, S.; PONPITUK, Y.; SAFOOWONG, M.; MAROD, D.; DUENGKAE, P. The natural forest gaps maintenance diversity of understory birds in Mae Sa - Kog Ma Biosphere Reserve, northern Thailand. **Biodiversitas**, v. 20, p. 191-189. DOI: 10.13057/biodiv/d20012, 2019. Disponível em: <https://www.smujo.id/biodiv/article/view/3404>. Acesso em: 09 mai. 2022.

SIST, P.; FERREIRA, F. N. Sustainability of reduced-impact logging in the Easter Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 243, n.2-3, p. 199-209, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.02.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112707001582?via%3Dihub>. Acesso em: 09 mai. 2022.

SIST, P.; NOLAN, T.; BERTAULT, J.; DYKSTRA, D. Harvesting intensity versus sustainability in Indonesia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, p. 251-260, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00228-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00228-X). Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811279800228X?casa\\_token=2qJDOPdI74AAAAAA:VzD2czsgcSornQuyIJtS\\_w2jDE\\_Ko7uzGM\\_jE9g7mcf8PW2F5pvswRhDIER8W0Yke9bUa5G50lhY-Q](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811279800228X?casa_token=2qJDOPdI74AAAAAA:VzD2czsgcSornQuyIJtS_w2jDE_Ko7uzGM_jE9g7mcf8PW2F5pvswRhDIER8W0Yke9bUa5G50lhY-Q). Acesso em: 09 ago. 2022.

SOARES, N. M.; FERREIRA, R. A.; VIREIRA, H. S.; JESUS, J. B. de; OLIVEIRA, D. G. de; SILVA, A. C. C. Regeneração natural em área de Caatinga no Baixo São Francisco sergipano: composição, diversidade, similaridade florística de espécies florestais. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 3, 711-716. 2019. DOI: <https://doi.org/10.34062/afs.v6i3.7563>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/7563>. Acesso em: 09 ago. 2022.

TRAUTENMÜLLER, J. W.; NETTO, S. P.; BALBINOT, R.; CORTE, A. P. D.; VENDRUSCOLO, R. Modelagem da estrutura diamétrica em ecótono de Floresta Ombrófila Mista e Estacional Decidual submetida a manejo florestal sustentado. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 1, 26-34, 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v4i1.62627>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/62627>. Acesso em: 09 ago. 2022.

TURCHETTO, F.; TABALDI, F. A.; RORATO, D. G.; GOMES, D. R. Aspectos ecofisiológicos limitantes da regeneração natural. **Ecology and Forest Nutrition**, v.3, n.1. 2015. <https://doi.org/10.5902/2316980X17129>. Acesso em: 11 ago. 2022.

VAN BREUGEL, M.; HALL, J. S.; CRAVEN, D.; BAILON, M.; HERNANDEZ, A.; ABBENE, M.; VAN BREUGEL, P. Succession of ephemeral secondary forests and their limited role for the conservation of floristic diversity in a human-modified tropical landscape. **PloS one**, v. 8, n. 12, p. e82433, 2013.

VAN GARDINGEN, P. R.; VALLE, D.; THOMPSON, I. Evaluation of yield regulation options for primary forest in Tapajós National Forest, Brazil. **Forest Ecology and**

**Management**, v.231, n.1-3, p.184-195, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.047>. Disponível:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112706003562?casa\\_token=qEfOlwoJsLAAAAAA:0vN59mZdOytS7RFp61ZVkU0IgzMujArWlu6CFJGreY2UgKOLxQeAGjSBnmt7\\_qy07OVaoFEQNhjLYQ](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112706003562?casa_token=qEfOlwoJsLAAAAAA:0vN59mZdOytS7RFp61ZVkU0IgzMujArWlu6CFJGreY2UgKOLxQeAGjSBnmt7_qy07OVaoFEQNhjLYQ). Acesso em: 12 ago. 2022.

VATRAZ, S. 2012. Dinâmica de uma área de floresta ombrófila densa no período de oito anos após a colheita de madeira, no Município de Paragominas, PA, Amazônia brasileira.

**Dissertação de Mestrado** em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, Belém. 114p.

VELLEND, M. The theory of ecological communities. **Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 2016.**

VIDAL, E.; VIANA, M.; FERREIRA B. J. Crescimento de floresta tropical três anos após colheita de madeira com e sem manejo florestal na Amazônia oriental. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 61, p. 133-143, 2002.

VIDAL, E.; WEST, T. A. P.; PUTZ, F. E. Recovery of biomass and merchantable timber volumes twenty years after conventional and reduced-impact logging in Amazonian Brazil.

**Forest Ecology and Management**, v. 376, p. 1-8, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.003>. Disponível em:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716303000?casa\\_token=\\_qbdR\\_M1aTYAAAAA:RXe7exELEM3Pw2ORd0-75ny4a4BjzxlNlxVbCrNcrw1RvDmsMhBcYEueq0Rh4Nmtwzy\\_7wy0O1PzfA](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716303000?casa_token=_qbdR_M1aTYAAAAA:RXe7exELEM3Pw2ORd0-75ny4a4BjzxlNlxVbCrNcrw1RvDmsMhBcYEueq0Rh4Nmtwzy_7wy0O1PzfA). Acesso em: 12 ago. 2022.

VILLA, P. M.; CARDINELLI, L. D. S.; MAGNAGO, L. F.; HERINGER, G.; VENÂNCIO MARTINS, S.; VIANA CAMPOS, P.; ALVES MEIRA-NETO, J. A. Relación especie-área y distribución de la abundancia de especies en una comunidad vegetal de un inselberg tropical: efecto del tamaño de los parches. **Revista de Biología Tropical**, v. 66, n. 2, p. 937-951, 2018.

VILLA, P. M.; MARTINS, S. V.; RODRIGUES, A. C.; SAFAR, N. V. H.; BONILLA, M. A. C.; ALI, A. Testing species abundance distribution models in tropical forest successions: implications for fine-scale passive restoration. **Ecological Engineering**, v. 135, p. 28-35, 2019.

VILLA, P.M.; MARTINS, S. V.; OLIVEIRA, S. N.; RODRIGUES, A. C.; HERNÁNDEZ, E. P.; KIM, D-G. (2020). Policy forum: Shifting cultivation and agroforestry in the Amazon: Premises for REDD+. *Forest Policy and Economics*, 118, 102217. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102217>.

WATZLAWICK, L. F.; LONGHI, S. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, R. V. 2010. Caracterização e dinâmica da vegetação de uma savana estépica no Parque, Barra do Quaraí, RS. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.30, n.64, p.363-368. DOI: <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.363>. Disponível: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/107>. Acesso em: 12 ago. 2022.

WEST, T. A.; VIDAL, E.; PUTZ, F. E. Forest biomass recovery after conventional and reduced-impact logging in Amazonian Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 314, p. 59-63, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.11.022>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713007779?casa\\_token=UgenrEZYPGAAAAAA:DHMzyakGLtaKWPIhvqOcTyqS4ky4WGhUOtFRDIZq31OhqY9I-v4lrr1\\_mwW6PDFClPH23uBWa0EQg](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713007779?casa_token=UgenrEZYPGAAAAAA:DHMzyakGLtaKWPIhvqOcTyqS4ky4WGhUOtFRDIZq31OhqY9I-v4lrr1_mwW6PDFClPH23uBWa0EQg). Acesso em: 12 ago. 2022.

ZARIN, D. J.; SCHULZE, M. D.; VIDAL, E.; LENTINI, M.; 2007. Beyond reaping the first harvest: management objectives for timber production in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology* 21, 916–925. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00670.x>. Disponível em: [https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1523-1739.2007.00670.x?casa\\_token=uznX873fU7EAAAAA:A3O6W5\\_rp-QJs17V6ab1kf2BAHBz\\_RRS5KWYsx7IQrxJfpstpKlZ06\\_ljTG9mNBb56WKqB7F\\_miPSay](https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1523-1739.2007.00670.x?casa_token=uznX873fU7EAAAAA:A3O6W5_rp-QJs17V6ab1kf2BAHBz_RRS5KWYsx7IQrxJfpstpKlZ06_ljTG9mNBb56WKqB7F_miPSay) u. Acesso em: 12 ago. 2022.

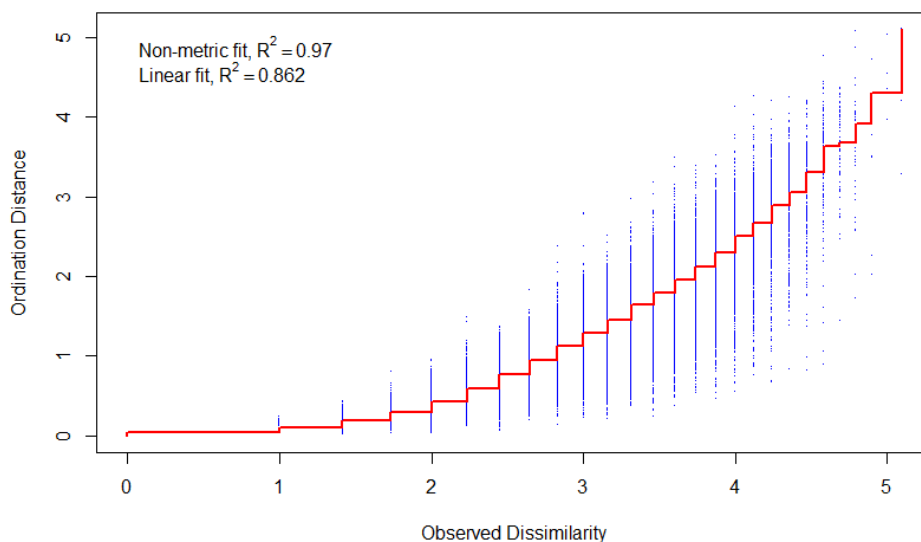
ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; WALKER, N. J.; SAVELIEV, A. A.; SMITH, G. M. Modelos de efeitos mistos e extensões em ecologia com R. Nova York: Springer, 2009.

## Appendix: Supplementary data

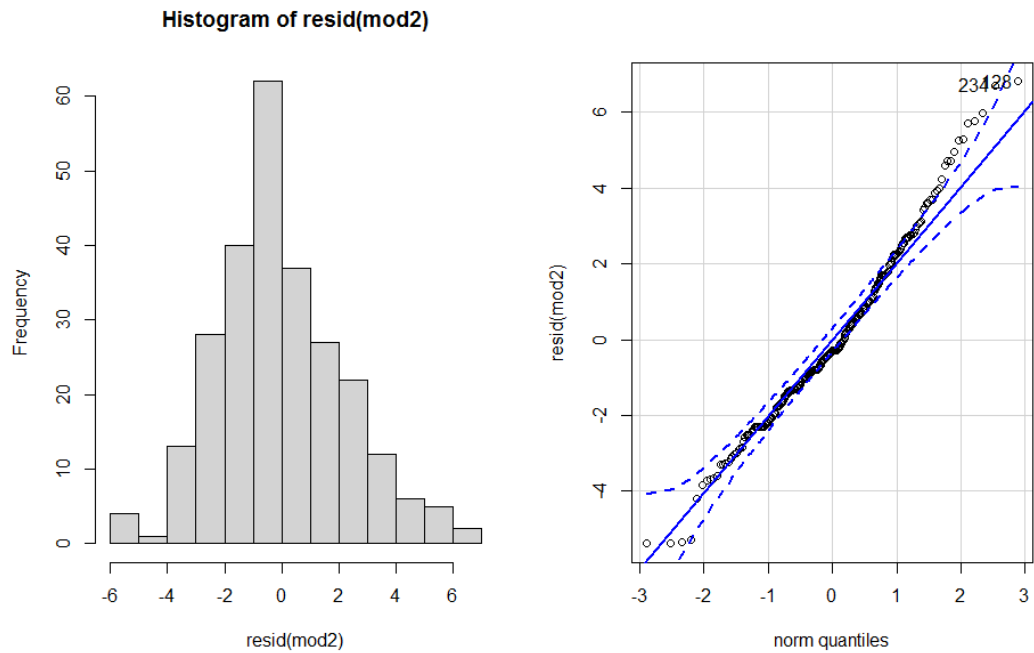
**Table S1** – Differences in tree species composition between forest patches using a posterior pairwise Adonis test (Martinez-Arbizu, 2019). The second growth (SG) forest patches sampled at different successional stages (2, 4, 6, 8, 10, 12 and 14 years old) and old-growth forests (OG, 100 years old) are indicated.

```
> adonis.pair(vegdist(species_pa), as.factor(dados$Group))
  combination SumsOfSqs MeanSqs F.Model R2
1    OG <-> SG10yr 1.3387727 1.3387727 3.938833 0.06160314
2    OG <-> SG12yr 2.1275577 2.1275577 6.841103 0.10234874
3    OG <-> SG14yr 1.6426728 1.6426728 5.126192 0.07871168
4    OG <-> SG2yr  1.7718063 1.7718063 4.767341 0.05494396
5    OG <-> SG4yr  1.5893220 1.5893220 4.344764 0.07321225
6    OG <-> SG6yr  1.8813525 1.8813525 5.351977 0.08189465
7    OG <-> SG8y   1.8655300 1.8655300 5.674496 0.08640335
8  SG10yr <-> SG12yr 0.9421055 0.9421055 2.721217 0.04481493
9  SG10yr <-> SG14yr 0.3895683 0.3895683 1.094342 0.01851856
10 SG10yr <-> SG2yr 1.2819260 1.2819260 3.215268 0.03863796
11 SG10yr <-> SG4yr 0.5719770 0.5719770 1.407414 0.02586806
12 SG10yr <-> SG6yr 0.8063358 0.8063358 2.077471 0.03457987
13 SG10yr <-> SG8y  0.7885622 0.7885622 2.162930 0.03595121
14 SG12yr <-> SG14yr 0.7673045 0.7673045 2.353022 0.03898764
15 SG12yr <-> SG2yr 2.5813247 2.5813247 6.846494 0.07883443
16 SG12yr <-> SG4yr 1.4959194 1.4959194 4.003080 0.07022569
17 SG12yr <-> SG6yr 1.2258496 1.2258496 3.421842 0.05571051
18 SG12yr <-> SG8y  0.6005030 0.6005030 1.794208 0.03000639
19 SG14yr <-> SG2yr 1.9961528 1.9961528 5.196735 0.06099688
20 SG14yr <-> SG4yr 1.1288098 1.1288098 2.936619 0.05249904
21 SG14yr <-> SG6yr 1.1898543 1.1898543 3.233131 0.05280036
22 SG14yr <-> SG8y  0.7285552 0.7285552 2.115026 0.03518299
23 SG2yr  <-> SG4yr 0.7947071 0.7947071 1.884883 0.02451565
24 SG2yr  <-> SG6yr 0.8040143 0.8040143 1.973404 0.02407371
25 SG2yr  <-> SG8y  2.0449487 2.0449487 5.238768 0.06145992
26 SG4yr  <-> SG6yr 0.7056434 0.7056434 1.681812 0.03075633
27 SG4yr  <-> SG8y  1.1111524 1.1111524 2.821627 0.05054721
28 SG6yr  <-> SG8y  1.0491512 1.0491512 2.785734 0.04582875
```

**Figure S1** - Shepard plot showing the nonmetric fit based on stress using linear regression between Jaccard distance in reduced space and observed dissimilarity (original dissimilarities).



**Figure S2** - Example to test the most suitable distribution and link function using histogram and Q-Q considering the bests models with  $AIC < 2.0$ .



**Figure S3** - Spearman correlation among all individual variables measured along forest patches. For analysis stand-age-dependent forest attributes such as ad species richness (Ric) and community composition variability as NMDS1), stand age, and gap area were used.

