



MESTRADO PROFISSIONAL
USO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS NATURAIS EM REGIÕES
TROPICAIS

MÁRIO LUÍS MAGALHÃES DE OLIVEIRA

**AVALIAR A COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE
RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL NA FLORESTA NACIONAL
DE CARAJÁS E ENTORNO, LOCALIZADA EM CANAÃ DOS
CARAJÁS – PA.**

Belém / PA

2021

MÁRIO LUÍS MAGALHÃES DE OLIVEIRA

**AVALIAR A COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE
RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL NA FLORESTA NACIONAL
DE CARAJÁS E ENTORNO, LOCALIZADA EM CANAÃ DOS
CARAJÁS – PA.**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientadora: Dra. Sâmia do Socorro S. Nunes
Coorientadora: Dra. Rosane Lopes Cavalcante

Belém / PA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O48 Oliveira, Mário Luís Magalhães de

Avaliar a comparação de recomposição florestal na Floresta Nacional de Carajás/PA e entorno, localizada no município de Canaã dos Carajás – PA. / Mário Luís Magalhães de Oliveira - Belém: ITV, 2021.

64 p. : il.

Dissertação (Mestrado em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais) - Instituto Tecnológico Vale, 2021.

Orientadora: Dra. Sâmia do Socorro S. Nunes.

Coorientadora: Dra. Rosane Lopes Cavalcante.

1. Mineração. 2. Pasto abandonado. 3. Regeneração natural. 4. Plantio direto. 5. Recomposição de áreas degradadas. I. Título

CDD 23. 553.098115

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves / CRB 2 – 525

MÁRIO LUÍS MAGALHÃES DE OLIVEIRA

**AVALIAR A COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE
RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL NA FLORESTA NACIONAL
DE CARAJÁS E ENTORNO, LOCALIZADA EM CANAÃ DOS
CARAJÁS – PA.**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Uso
Sustentável de Recursos Naturais em
Regiões Tropicais, área de Ciências
Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale
Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Data da aprovação: 16/11/2021

Banca examinadora:

Dra. Sâmia do Socorro Serra Nunes
Orientadora – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Dr. Markus Gastauer
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Prof. Dr. Rodrigo Silva do Vale
Membro externo – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Dedico essa dissertação a minha família que sempre me apoiou na caminhada para me tornar um profissional qualificado. Principalmente minha esposa e companheira, que junto com nossos três filhos, deu sentido a busca desta grande conquista.

Dedico também aos profissionais da área ambiental, em especial a minha prima e parceira, engenheira Emilene Freitas de Oliveria (in memorian) e o amigo e excelente profissional que tive o prazer de trabalhar e aprender com ele meu “velho”, José Camilo Araújo (in memorian), que estão celebrando comigo essa nossa vitória.

Muito obrigado a todos vocês.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que sempre me abençoou com uma família maravilhosa e pessoas importantes na minha trajetória profissional e a Nossa Senhora de Nazaré que durante as angústias recorria a sua força para ter serenidade e continuar sabendo que não estava sozinho.

A família maravilhosa que sempre me apoiou e acreditaram que conseguiria mais essa conquista. Minha rainha e mãe (Graça Oliveira) que sempre dedicou sua vida à educação dos seus filhos. Ao meu querido pai, Fernando Oliveira, exemplo de homem que me ensinou a ser íntegro e aproveitar as coisas boas da vida.

A minha querida esposa Nádia Brito, nos momentos mais difíceis que fraquejei e tentei desistir ela estava ao meu lado para me incentivar e acreditar que sou capaz de vencer todos os meus desafios. Aos meus três filhos Luís Felipe, Luís Mário e Maria Luísa que representam a melhor parte de mim e mostram diariamente o sentido de toda a trajetória e eles são o meu maior legado.

As minhas avós que estão nesse plano e aos que já foram, mas estão presentes em meu coração. Aos meus irmãos (Fernando, Edmundo e Érica) que fazem parte dessa história. Aos meus sogros, cunhados, cunhadas, tios, tias, primos e primas que sempre me apoiaram e me deram força para prosseguir neste desafio.

Aos amigos da área ambiental, especialmente a Mayla Barbirato, Leonardo Neves, César Carvalho Neto, Maurício Nogueira, Ana Brigida, Anderson Matos e José Camilo Araújo (*in memoriam*) juntos fizemos história em Canaã dos Carajás.

A Vale pela oportunidade, em especial a equipe de meio ambiente de Serra Sul, capitaneada pelo coordenador e amigo Leno Brabo e aos colegas Flávio Pinto, Ricardo Campelo, Jefferson Lima, Melquezedeqe Alencar, Mauro Santos Castro, Michael Silva, Divino Fleury, Valdinar Ferreira “Cariri,” Ivan Faustino Junior, Leandro Nogueira, George Silva, Raphaela Moraes e todos que participaram direta e indiretamente da execução desta dissertação.

As minhas orientadoras, as doutoras Sâmia do Socorro Nunes e Rosane Lopes Cavalcante pela paciência e persistência no direcionamento deste projeto. E aos professores e colaboradores do Instituto Tecnológico Vale – ITV pelo conhecimento adquirido.

Aos engenheiros Walmer Martins, Sabrina Ribeiro, Ana Karyne e Gean Carlos Lima que atuam com restauração florestal e contribuíram significativamente no desenvolvimento do meu trabalho.

Aos amigos e parceiros de trabalho e empresas (Sete e Clam Engenharia) que atuaram em parceria para realização das atividades de campo e levantamento de dados.

Sem ajuda de vocês não seria possível alcançar o êxito neste Projeto. Obrigado a todos por acreditarem em mim.

RESUMO

A recomposição florestal no Brasil possui uma meta desafiadora de 350 milhões de hectares até 2030, havendo a necessidade de se buscar métodos ecológicos eficientes com custo-benefício de implantação e manutenção. Neste estudo as áreas alvo são propriedades rurais degradadas por vários ciclos da pecuária adquiridas como área compensatória do empreendimento do Complexo S11D Eliezer Batista, localizada na zona de amortecimento da Floresta Nacional de Carajás – FLONACA, município de Canaã do Carajás - PA. Na busca por alternativas eficientes de recomposição desses ambientes, a presente dissertação teve por objetivo avaliar o potencial de recomposição florestal por meio de indicadores de monitoramento, considerando o custo-eficiência por meio da comparação das metodologias de plantio de mudas e condução da regeneração natural quanto à estrutura da vegetação em processo de recomposição em propriedades rurais privadas com pasto abandonado, assim como os custos de implantação e manutenção. Para a avaliação, foram implantadas 128 parcelas permanentes de forma aleatória de 100m² e 200m² dispostas em 10 transectos com avaliação de 6 indicadores qualitativos e quantitativos. Os resultados demonstrados são promissores, no qual não houve diferença significativa nos indicadores de densidade, diversidade, regeneração natural, volume e biomassa quando comparado ao plantio de mudas, assim como a prática da proteção ambiental das áreas e o isolamento para indução da regeneração natural, quando possível, favorecendo a formação de corredores ecológicos.

Palavras-chave: Mineração. Pasto abandonado. Regeneração natural. Plantio direto. Recomposição de áreas degradadas.

ABSTRACT

Forest restoration in Brazil has a challenging target of 350 million hectares by 2030, with the need to find efficient ecological methods with cost-effective implementation and maintenance. In this study, the target areas are rural properties, degraded by several livestock cycles, acquired as a compensatory area for the S11D Eliezer Batista Complex, located in the buffer zone of the Carajás National Forest – FLONACA, municipality of Canaã do Carajás - PA. In the search for efficient reforestation alternatives, this dissertation aimed to assess the potential for forest restoration through monitoring indicators, considering cost-efficiency by comparing seedling planting methodologies and conducting natural regeneration as the structure of the vegetation in the process of restoration in private rural properties with abandoned pasture, as well as the costs of implementation and maintenance. For the evaluation, 128 permanent plots of 100m² and 200m² were randomly implanted, arranged in 10 transects with evaluation of 6 qualitative indicators. The results are promising, no significant difference was found in the indicators of density, diversity, natural regeneration, volume and biomass when compared to planting seedlings, as well as the practice of environmental protection of the areas and isolation to induce natural regeneration, when possible, favoring the formation of ecological corridors.

Keywords: Mining. Natural forest. Natural regeneration. Planting of seedlings. Restoration of altered areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área do Complexo S11D no município de Canaã dos Carajás – PA	29
Figura 2 - A e B) Identificação das condições gerais das áreas de regeneração natural e plantio de mudas localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental	32
Figura 3 - Localização das unidades amostrais inseridos em transectos para representar as áreas de regeneração natural e plantios de espécies nativas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental	33
Figura 4 - Esquema ilustrativo representando uma unidade amostral e suas subunidades (níveis)	34
Figura 5 - A) Identificação das unidades amostrais do Nível R2 (1 m x 1 m) e B) Nível S1 (10 m x 20 m) com balizas pintadas localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental	34
Figura 6 - Curva de acumulação das espécies observadas e estimadas pelo método de Jackknife 1 amostradas nas áreas de regeneração natural nos níveis A) – R1, B) – R2 e C) – S1 e para as áreas de plantio nos níveis D) – R1, E) – R2 e F) – S1, todas localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental	41
Figura 7 - Índices de Valor de Importância (IVI) das dez espécies em ordem decrescente para todos os indivíduos amostradas em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas (A) e da condução da regeneração (B) localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental	42
Figura 8 - Média $\pm$ desvio padrão da densidade total (Dt) de todos os indivíduos amostradas em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas e da indução da regeneração localizadas no Complexo S11D, em Canaã dos Carajas-PA. Não houve diferença estatística significativa entre os métodos de acordo com o teste t de Student ($p>0,05$)	43
Figura 9 - Mediana e o intervalo interquartil da densidade dos indivíduos arbustivos e herbáceos regenerantes (Dr) em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas e da indução da regeneração localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA,	

Amazônia Oriental. Não houve diferença estatística significativa entre os métodos de acordo com o teste Man-Whitney ($p>0,05$) 44

Figura 10 - Média $\pm$ desvio padrão da densidade em função do percentual de vegetação secundária adjacente as áreas amostradas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas e da indução da regeneração localizadas no Complexo S11D 45

Figura 11 - Índices de diversidade ecológico para todos os indivíduos amostradas em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas e da indução da regeneração no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental 46

Figura 12 - Média $\pm$ desvio padrão da biomassa vegetal (Bv) de todos os indivíduos amostradas em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas e da indução da regeneração no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental. Não houve diferença estatística significativa entre os métodos de acordo com o teste t de Student ($p>0,05$)47

Figura 13 - Comparação dos custos entre os métodos de recomposição por plantio de mudas e indução da regeneração natural em áreas de pasto abandonado localizadas no Complexo S11D, município de Canaã-PA, Amazônia Oriental 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Número de indivíduos, família, gênero e espécie por nível de vegetação nas áreas de regeneração natural e plantio de mudas localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental	37
Tabela 2. Volume e biomassa das dez principais espécies amostradas em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas (PL) e da indução da regeneração natural (RN) Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental	46
Tabela 3. Lista dos custos por atividade de dos métodos de A) Plantio de mudas e, B) Indução da regeneração natural em áreas de pasto abandonado localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

APP – Área de Preservação Permanente

CAR – Cadastro Ambiental Rural

CFB – Código Florestal Brasileiro

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PDA – Plano de Desenvolvimento da Amazônia

PLANAVEG – Plano Nacional de Vegetação

RAD – Recuperação de Áreas Degradadas

RL – Reserva Legal

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivos específicos.....	17
3. HIPÓTESE DA PESQUISA	17
4. REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1. Métodos de recomposição	17
4.2. Indicadores de recomposição	26
4.3. Recomposição florestal	19
4.4. Técnicas de recomposição florestal.....	21
4.5. Contexto legal da recomposição florestal	24
4.6. Recuperação de áreas degradadas e passivos ambientais.....	25
4.7. Aspectos econômicos da recomposição florestal.....	28
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
5.1. Área de estudo.....	30
5.1.1. Caracterização geral da vegetação	32
5.2. Métodos de estudo	33
5.3. Amostragem	34
5.4. Análise dos dados	38
5.4.1. Inventário florístico.....	38
5.4.2. Estimativa de volume e biomassa	38
5.4.3. Parâmetros fitossociológicos.....	39
5.4.4. Índices de diversidade florística.....	40
5.4.5. Análise estatística.....	40
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1. Esforço amostral	41
6.2. Análise florística	43
6.3. Índices de diversidade	46
6.4. Volume e biomassa	48
6.5. Custos associados às atividades de recomposição	50
7. CONSIDERAÇÕES FINAS	53
8. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	54
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se organizado sob a forma de relatório técnico, como disposto no Regulamento Interno do Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do ITV DS.

RELATÓRIO TÉCNICO:

Avaliar a comparação de métodos de recomposição florestal na Floresta Nacional de Carajás e entorno, localizada no município de Canaã dos Carajás – PA.

Sob autoria de

Mário Luís Magalhães de Oliveira
Sâmia do Socorro Nunes
Rosane Lopes Cavalcante

PROD. TEC. ITV DS – N032/2021
DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2021.32.

1. INTRODUÇÃO

As reservas florestais existentes na Amazônia representam um terço das florestas tropicais mundiais, contêm mais da metade da biodiversidade do planeta e cumprem um papel imprescindível na manutenção dos serviços ecológicos, incluindo a ciclagem de nutrientes, troca de energia, regulação do clima e do ciclo da água (FARLEY, 2005). Hoje, a Amazônia brasileira conta com aproximadamente 20% a menos de sua floresta original (DA CRUZ *et al.*, 2020) e, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2020), no período de 2018 a 2019, ocorreu um aumento de 30% nas taxas de desmatamento na Amazônia, em comparação ao ano anterior, com mudanças na paisagem, uso e ocupação do solo e no ecossistema Amazônico (AMARAL E SILVA *et al.*, 2020). No âmbito da conservação, estudos relacionados à projeções de desmatamento na Amazônia revelam áreas protegidas e terras indígenas serão algo da perda de florestas (JAFFÉ *et al.*, 2021)

O desmatamento na Amazônia é praticado desde as décadas de 1960 e 1970, com incentivos governamentais para a aceleração do desenvolvimento econômico da região por meio de projetos agrícolas e pecuários estabelecidos nos Planos de Desenvolvimento da Amazônia (PDA) (FEARNSIDE, 1997; REYDON, FERNANDES, TELLES, 2015). Nesse mesmo período, também foram criados os projetos de colonização na região, com o objetivo de integrá-la economicamente ao restante do país, atraindo milhares de famílias de pequenos produtores (SANTOS, 2011a). Boa parte deles com estabelecimentos de pequeno e médio porte (agricultura familiar) com até 200 hectares (HURTIENNE, 2005) que ao longo dos anos têm praticado o corte e a queima da vegetação para o estabelecimento de cultivos agrícolas e pastagens. A expansão da agropecuária tem sido considerada a principal causadora do desmatamento na região (CATTANEO, 2002) e preconizavam a adoção de insumos modernos nos sistemas de produção, nos moldes da revolução verde (SANTOS, 2011a).

Nesse contexto, a região sudeste do estado do Pará, incluída no bioma em questão, também sofreu transformações expressivas provocadas pela implantação de grandes projetos agropecuários, promovidos pela Superintendência do

Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), tendo a pecuária como principal vetor de crescimento (SANTOS, 2011). Além de projetos agropecuários, a região vivenciou o ciclo dos garimpos, com Serra Pelada na década de 80, seguido da expansão e consolidação exploração de vários outros minérios existentes na região, tais como: ferro, cobre, manganês e níquel nos anos seguintes, culminando no crescimento populacional e de urbanização, com a criação de novos municípios (SANTOS, 2011).

Canaã dos Carajás foi um dos municípios que surgiu após o “boom” da exploração mineral no qual acentuou o processo migratório na região. Ao final do auge da exploração de ouro em Serra Pelada, do pico das obras do Projeto Grande Carajás (PGC) e da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, iniciou em 1982 a ocupação do território que hoje se constitui no referido município tendo sua emancipação em 1994 (IBGE, 2021). Até 1997 a economia era baseada na pecuária e na agricultura de subsistência, porém neste mesmo ano foi anunciada a existência de grandes reservas de minério de cobre em seu subsolo, com início da implantação do Projeto Sossego em 2002 e S11D em 2013 para exploração de minério de ferro, mudando totalmente o cenário socioeconômico e ambiental da região (CABRAL *et. al.*, 2011; FERNANDES *et. al.*, 2014).

Diante de seu histórico de exploração de recursos minerais e ao avanço da agropecuária, estes foram responsáveis pelas mudanças de uso e ocupação do solo resultando na redução da cobertura vegetal e vulnerabilidade ambiental da região, tendo as áreas destinadas a pastagem como o fator antrópico que mais influencia na determinação da fragilidade emergente do município (DE ARAÚJO *et al.*, 2020).

Considerando a necessidade de recomposição florestal dos passivos das propriedades adquiridas para compensação de danos ambientais nas vegetações das bacias hidrográficas localizadas no sudeste do Pará, faz-se necessária a experimentação de metodologias para promover a recomposição florestal, atendendo as demandas legais com uso eficaz dos recursos financeiros.

O presente estudo visa comparar duas metodologias de recuperação (regeneração natural e plantio de mudas) em áreas de pastagem abandonada, considerando a estrutura da vegetação em fase de recomposição e o custo entre os métodos implantados nas áreas de compensação ambiental na região da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas. A recuperação das áreas anteriormente desmatadas, visa o atendimento à legislação vigente (Lei de Proteção da Vegetação Nativa - nº 12.651,

de 25 de maio de 2012), no que tange a recuperação das áreas destinadas a reserva legal e áreas de preservação permanente.

2. OBJETIVOS

Avaliar a eficiência das técnicas de recomposição florestal (plantio de mudas e condução da regeneração natural) em áreas de pasto abandonado por meio de indicadores de monitoramento quali-quantitativos ambientais e avaliação de custo-eficiência dos métodos adotados.

2.1. Objetivos específicos

Comparar metodologias de regeneração natural e plantio total de mudas quanto à estrutura da vegetação em processo de recomposição em propriedades rurais privadas com pasto abandonado;

Comparar metodologias de regeneração natural e plantio de mudas total quanto aos custos de implantação e de manutenção;

3. HIPÓTESE DA PESQUISA

A intensidade da degradação influencia diretamente no custo-eficiência da recomposição florestal de pastagens.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Degradação de ambientes florestais

O processo de desmatamento na Amazônia brasileira foi iniciado na década de 1970 por meio dos incentivos governamentais para o desenvolvimento econômico da região (REYDON; FERNANDES; TELLES, 2015). No período de 1985 a 2018, 65 milhões de hectares de florestas e savanas na Amazônia brasileira foram convertidas em pastagens e terras agrícolas (STABILE *et al.*, 2020), ocasionando grandes impactos como alterações da paisagem, mineração ilegal e incêndios, que resultaram em altas taxas de desmatamento (DA CRUZ *et al.*, 2020).

Sabe-se que a conversão em pastagens e áreas de cultivo é historicamente uma das principais causas da perda florestal e degradação (SOLAR *et al.* 2016), acarretando a perda de biodiversidade (BARLOW *et al.* 2016; WINEMILLER *et al.*

2016), emissões de gases de efeito estufa (SONG et al. 2018), e o declínio das culturas tradicionais (FEARNSIDE 2002), que geram preocupação e conscientização quanto à necessidade do recurso natural (MALHI et al. 2014).

Diante da implantação de grandes empreendimentos minerais houve a necessidade da aquisição de propriedades rurais, na maioria das vezes, com passivos ambientais nas áreas de reserva legal e de preservação permanentes, resultante das atividades agropecuárias, devendo por lei serem recuperadas.

Quando a propriedade rural possui um déficit de reserva legal, o proprietário é obrigado a recompor a floresta dessa área ou compensar através da aquisição de uma área florestal excedente de outro imóvel dentro do mesmo bioma. Para as APPs, a única opção é a recomposição da vegetação dentro do imóvel onde ocorreu o desmatamento ilegal. Nos dois casos, a legislação permite a recomposição por condução da regeneração natural e o plantio de espécies nativas, onde 50% da área pode ser recoberta com espécies exóticas.

Os processos de recomposição florestal para redução dos passivos ambientais precisam estar em consonância os prazos definidos em legislação e considerar os custos associados as metodologias adotadas. Segundo Silva e Nunes (2017), os custos de recomposição podem ser reduzidos ou até superados pelos ganhos econômicos associados aos benefícios financeiros diretos da recomposição como sequestro de carbono, sistema agroflorestais e manejo florestal em área de reserva legal.

A consequência dessa fragilidade se dá pelo cenário de grandes áreas de pastagens degradadas e/ou abandonadas, incapazes de estimular a resiliência necessária para sua recuperação, com ocorrência de espécies forrageiras consolidadas que impedem o desenvolvimento de espécies nativas para sua recomposição e, consequentemente retorno das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Diante disso, estudar iniciativas eficientes para a recomposição de ambientes degradados aliados ao retorno dos serviços ecossistêmicos e retorno das funções ecológicas tem sido um desafio considerando os diferentes níveis de degradação e controle de espécies invasoras.

Em pastagens abandonadas podem ser feitas intervenções na sucessão natural da vegetação secundária a fim de promover o controle de espécies indesejáveis e facilitar o desenvolvimento das plantas de interesse. Outra técnica de recuperação de pastagens é o plantio de espécies com capacidade de crescimento e

acúmulo de biomassa e de nutrientes, ou de maior valor econômico, em sistemas conhecidos, respectivamente, por “melhoramento” ou “enriquecimento” da vegetação secundária (SANCHEZ, 1999).

De acordo Dias-Filho (2006) essas técnicas de manejo são recomendadas como formas de superar as barreiras naturais para a regeneração da floresta, em pastagens abandonadas. Além disso, considerando os benefícios ambientais e sociais da recuperação de pastagens degradadas, é essencial que a recuperação destas áreas na Amazônia esteja pautada no retorno das funções ecológicas e minimização dos custos de implantação e manutenção, assim como a eficiência do processo.

As propriedades adquiridas com passivos decorrentes do desmatamento precisam ser recompostas, setores da indústria como a mineração, adquirem essas propriedades para compensação das áreas necessárias para instalação de novos empreendimentos. São importantes para o desenvolvimento econômico da região e através da compensação ambiental contribuem na recomposição de áreas anteriormente utilizadas na agricultura e pecuária.

4.2. Recomposição florestal

Segundo definição da Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group – SER (2004), a recomposição ecológica é o processo de recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. Para Martins (2010), o entendimento do conceito de recomposição adota dois sentidos: um restrito e outro amplo. No sentido restrito, a recomposição é condicionada a retomar completamente a condição ambiental original (vegetação, fauna, solo, hidrologia, etc), tarefa difícil de ser realizada na prática. No sentido amplo, em virtude da impossibilidade de retorno da área ao estado original, a recomposição deve priorizar a recuperação das condições ecológicas para que a sucessão natural avance até a estabilidade, permitindo uma maior flexibilidade na elaboração e execução de projetos de recomposição ecológica.

No processo de recomposição há de se considerar as alterações ocorridas no sítio e entorno, avaliando-se os fatores que levaram determinada área a se tornar degradada. Tendo como ponto de partida a avaliação inicial, é possível escolher e aplicar técnicas de intervenção para recuperação ambiental que estejam de acordo com o plano preestabelecido para uso futuro do solo (MARTINS, 2010).

Em se tratando dos processos de recomposição florestal para redução dos passivos ambientais, estes precisam estar em consonância os prazos definidos em legislação e considerar os custos associados as metodologias adotadas.

Segundo Da Cruz *et al.* (2020), em um levantamento de iniciativas de restauração na Amazônia Legal no período de 1950 a 2017, dos 405 projetos estabelecidos, 50% destes foram desenvolvidos por empresas, 48 % por agricultores, 1,5% por organizações governamentais e 0,5% por não governamentais, sendo a maioria, cumprimento de licenciamento ambiental necessário para restaurar terras degradadas na Amazônia brasileira. Dentre as metodologias utilizadas, o plantio de mudas foi responsável por 57% de todas as ações, seguido de sistemas agroflorestais (36%), regeneração natural assistida (7%) e regeneração natural (1%) (DA CRUZ *et al.*, 2020).

A técnica de plantio de mudas, mais antiga e com resultados satisfatórios ao longo dos anos, ganha destaque em virtude de oferecer satisfatória cobertura do solo, maior diversidade de espécies e não depende de agentes dispersantes ou fontes de sementes (WALLERTZ *et al.*, 2018).

A técnica de condução da regeneração natural na região amazônica ainda não foi amplamente difundida, necessita ainda de estudos complementares para avaliação da sua eficiência. Enquanto na recomposição florestal através do plantio de mudas existem experiências bem-sucedidas na recuperação de áreas de lavra de bauxita na região amazônica, porém, ainda existe a necessidade de aprimorar o conhecimento a respeito da dinâmica da vegetação em plantios florestais na região (SALOMÃO *et al.*, 2014).

A recomposição florestal contribui na redução da quantidade dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, através da utilização de técnicas para recompor a vegetação nativa e promover a redução dos passivos ambientais gerados pelo desmatamento de qualquer natureza humana. Favorecendo a retenção de carbono na atmosfera e regulando o clima. E deve ser fundamentada em três preocupações:

- Avaliação do potencial de auto-recuperação, considerando o histórico de degradação e as características do entorno;
- Reconstrução de floresta com alta diversidade nativa;
- Planejamento de ações que considerem a proteção ambiental das áreas em recomposição para evitar novas degradações (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004).

Segundo definição do IBAMA, 2019, o conceito de recomposição se assemelha a recuperação quando as intervenções humanas podem alterar determinado ambiente, trazendo consequências como ausência de cobertura vegetal, é necessária aplicação de técnicas que proporcionem o restabelecimento da vegetação original.

Segundo Ferreira (2000), a recomposição florestal ocupa um lugar de destaque no equilíbrio ambiental pela importância das florestas, principalmente no ambiente rural. As ações florestais, ainda que pontuais, são computadas como ganhos ambientais importantes, principalmente devido a produção de biomassa originada de áreas reflorestadas (STASIAK, 2005).

Entretanto, apesar dos custos de recomposição serem elevados, acredita-se que podem ser reduzidos ou até superados pelos ganhos econômicos quando associados aos benefícios financeiros diretos da recomposição tais como sequestro de carbono, implantação de sistemas agroflorestais e manejo florestal em área de reserva legal (NUNES, 2017).

4.3. Técnicas de recomposição florestal

Iniciativas promissoras envolvendo a temática de recomposição vem sendo aprimoradas, tendo como premissa a diversidade funcional dos ecossistemas, para a promoção da sustentabilidade no decorrer do processo, no qual a intervenção recomendada está diretamente relacionada com o potencial de autorrecuperação de cada área, buscando aproveitar o potencial existente e a minimização dos custos (WWF, 2017)

Porém, o tempo de recomposição das áreas em processo de recomposição são inversamente proporcionais ao tamanho e a intensidade do dano e está relacionado diretamente ao potencial de regeneração (TAVARES; BALIEIRO, 2008), no qual está relacionado ao banco de sementes presentes no solo, germinação e dispersão proveniente das áreas do entorno (KAGEYAMA *et al.*, 1989).

Entre as técnicas aplicadas nos processos de recomposição ambiental desenvolveu-se a semelhança do processo natural através de núcleos de sementes, serrapilheira, galhos e material lenhoso em decomposição, distribuídos pela área em recuperação para recompor o mosaico ambiental, foram denominadas como técnicas nucleadoras de restauração (REIS *et al.*, 2006).

A necessidade do controle rápido das espécies invasoras durante o processo de recomposição florestal, requer o plantio de mudas de espécies nativas de acordo com os grupos sucessionais. O mais comum é a alternância do plantio de espécies pioneiras de início de sucessão com crescimento muito rápido e as tardias fase intermediária de sucessão, tolerantes a sombra e climáticas, fase final de sucessão com ciclo de vida muito longo entre linhas de plantio (RODRIGUES, 2009).

Outro método utilizado é o isolamento das áreas a serem recompostas das intervenções antrópicas. Sendo necessário avaliação dos remanescentes florestais que favoreçam o surgimento de propágulos, condições climáticas adequadas e onde os solos não estejam extremamente degradados, contribuindo para o processo de sucessão natural, tendo como característica o baixo custo de implantação quando comparado à outras técnicas utilizadas.

A técnica de indução da regeneração, estimula o resgate da biodiversidade local, pois aproveita uma das características da floresta tropical que é a sua resiliência, expressada, principalmente, pelos bancos de sementes, de raízes e de cepas e a própria matriz do entorno, que nem sempre é favorável na prática. Não obstante, o sucesso dessa expressão tem como fundamento a indução da regeneração natural, por meio da eliminação dos tensores, como as plantas invasoras, os incêndios, a compactação do solo e o os usos indiretos na área, especialmente, tráfego de veículos e pastoreio (JESUS & ROLIM 2005).

Segundo Rodrigues e Gandolfi (2007), para aplicação do método de regeneração natural é necessário um banco de sementes próximo à área a ser recomposta para favorecer a dispersão natural a área de interesse. Desta forma é dispensada a introdução de espécies, mas necessário o manejo das invasoras para favorecer o surgimento das espécies nativas.

Entre os métodos de recomposição florestal o mais comum é o plantio de mudas em área total, sendo uma técnica já consolidada na recuperação de áreas degradadas, por favorecer boa cobertura do solo com diversidade de espécies, sem depender de agentes dispersores ou fontes de sementes nas fases iniciais do plantio (VALERI; SENÔ, 2004).

Para eficiência no resultado deste método é necessário um conhecimento prévio das espécies anteriormente existentes na área a ser recuperada e a diversidade da região. É comum a utilização de espécies nativas, de crescimento rápido e com

facilidade de polinizadores, ou seja, semelhante a existente no passado (ENGEL, 2003).

Conforme preconiza as técnicas de recomposição, citado pelo instituto Bioatlântica (2009), após avaliação das áreas a serem recompostas com vegetação nativa tanto através de indução da regeneração natural quanto no plantio de mudas, utiliza-se como técnica de preenchimento dos espaços sem cobertura vegetal o adensamento (ou enriquecimento), técnica de introdução de indivíduos de espécies nativas variadas em estágio inicial de sucessão com a finalidade de acelerar o recobrimento do solo e suprimir espécies indesejáveis. Pode ser realizado utilizando semeadura direta ou plantio de mudas de espécies de crescimento rápido para melhorar as condições do solo e aumentar a diversidade de espécies das áreas mais isoladas.

Diferente do adensamento que é realizado no estágio inicial de sucessão, o enriquecimento florestal consiste na introdução de espécies em áreas já estabelecidas com estágios finais de sucessão ecológica, favorecendo o aumento da diversidade e se aproximando ao ecossistema de referência. Também pode ser realizado através de sementes ou mudas nativas variadas, técnica importante no processo de recomposição ou recomposição florestal (BELOTTO *et al.*, 2009).

Para se definir o melhor método de recomposição florestal, deve-se realizar um diagnóstico completo da área e de seu entorno, incluindo histórico e intensidade da degradação e, ao longo dos resultados de monitoramento, uma avaliação futura permitirá dizer a necessidade de enriquecimento a fim de garantir a trajetória ecológica (RIBEIRO, 2019).

Do plantio de mudas e sementes à regeneração natural de florestas, o esforço envolve inúmeras técnicas de campo e diferentes cenários ambientais, sociais e econômicos que geram benefícios ambientais, renda, empregos e melhor qualidade de vida nas áreas rurais públicas e privadas. É necessário reduzir o passivo ambiental e favorecer a recomposição. Estudos e análises na economia da recomposição florestal fornecem valiosos subsídios a formulação de políticas públicas e a tomada de decisão por proprietários rurais e empresas.

4.4. Contexto legal da recomposição florestal

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), mais conhecida como Código Florestal Brasileiro, é o principal instrumento que regulamenta o uso e proteção das florestas em áreas privadas. As áreas de conservação definidas nos imóveis rurais se dividem em duas principais categorias: áreas de preservação permanente (APPs), criadas para proteger áreas sensíveis, como faixas ao redor de rios, nascentes e corpos d'água, áreas com declividade superior a 45°, manguezais e topos de morros. As faixas de proteção para cada área são estabelecidas no Art. 4º do Código Florestal. E a reserva legal (RL), criada para assegurar o uso econômico sustentável dos recursos naturais dentro de um imóvel rural, considerando as atividades de manejo florestal sustentável, sem a possibilidade de corte raso.

As regras que definem o percentual do imóvel destinado à RL (Art. 12), são baseadas no bioma onde se encontra o imóvel e no tipo de vegetação. Em relação a Amazônia a regra geral é que 80% do imóvel rural deve ser protegido sob forma de RL. Várias regras foram definidas na última atualização da lei em outubro de 2012 para restaurar ou compensar o desmatamento ilegal em APP (Art. 61) e RL (Art. 66-68; Art. 66, § 5º).

Diante do desafio sobre a proteção da vegetação nativa, o Governo Federal instituiu a Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa, conhecida como Proveg, por meio do Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017. A política integra ações e programas para recuperação de florestas e demais tipos de vegetação nativa e promover a regularização ambiental das propriedades rurais (MMA, 2019).

O desenvolvimento da política foi baseado na criação da portaria interministerial nº230 de 14 de novembro de 2017, incluindo meio ambiente, educação, agricultura e abastecimento e casa civil da presidência da república, através do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg). A elaboração do Plano foi coordenada pelo MMA com equipe multidisciplinar, onde foi definido prazos para recomposição ambiental, 30 anos em áreas de reserva legal e 10 anos em APP (MMA, 2019).

Cabe ressaltar que, quando se fala em Amazônia, com extensas áreas de florestas, com extensas áreas degradadas em diferentes tipos de uso do solo, os desafios a serem enfrentados são enormes, havendo a necessidade do desenvolvimento metodologias eficientes, recursos financeiros viáveis, políticas públicas e instrumentos

de monitoramento que possam avaliar a eficácia dos projetos de recomposição (NUNES et al., 2020).

4.5. Recuperação de áreas degradadas e passivos ambientais

Vários são os conceitos pertinentes às áreas degradadas, demonstrando dessa forma, a complexidade do tema e até mesmo, a diversidade de conceitos dos autores. De modo geral, considera-se como área degradada aquela que teve eliminado, junto com a vegetação, os seus mecanismos bióticos de regeneração, bem como as características mínimas de fertilidade do solo local, que permitam o desenvolvimento e estabelecimento de uma nova vegetação. De acordo com IBAMA (2019), a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas, a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada e a qualidade e o regime da vazão do sistema hídrico forem alterados.

A sucessão ecológica se dá quando uma comunidade vegetal natural sofre algum tipo de impacto, seja ele natural ou antrópico, e a depender da intensidade de alteração morfológica do terreno, a comunidade vegetal tende a se recuperar. Esse processo vem sendo conhecido como sucessão ecológica, ou melhor, neste caso particular, uma sucessão secundária, iniciando-se através de espécies colonizadoras (primárias). Essas primeiras espécies caracterizam-se por produzir uma grande quantidade de sementes (ligada à estratégia de colonizar novas áreas), por crescer, reproduzir e morrer rapidamente. Desta forma, a sucessão se faz por substituição de uma comunidade por outra, até atingir um nível onde muito mais espécies podem se expressar, no seu tamanho máximo, e onde a biodiversidade também se torna máxima (REIS et al., 1999). Contudo, existem situações que ocorrem naturalmente em ambientes de floresta tropicais, em que sob condições adversas de solo, oferecem restrições ao desenvolvimento das comunidades. Nestes casos particulares, o processo sucessional, já em etapa avançada, atinge o chamado clímax edáfico, que mesmo apresentando clima favorável o ambiente oferece resistência ao estabelecimento de uma vegetação e de uma fauna associada, com maior diversidade biológica. As espécies vegetais, que surgem na fase inicial da sucessão nestes ambientes, são chamadas de pioneiras edáficas.

De acordo com Campos (2006), a velocidade do estabelecimento de uma comunidade arbórea (sucessão florestal) em uma área degradada, dependerá de uma série de fatores, tais como:

- Proximidade ou não de outras florestas em estágio sucessional mais avançado do que a área em recuperação (que pode suprir os propágulos);
- Existência de animais capazes de transportar sementes;
- Existência de plantas mantenedoras de flores e frutos durante todo o ano, que evitam a migração de animais na busca de alimentos.

O processo da sucessão em uma área, normalmente ocorre de forma natural, pela colonização das plantas pioneiras e posteriormente pelo estabelecimento das outras plantas pertencentes aos outros grupos sucessionais. Durante a fase de regeneração natural são inúmeros os fatores bióticos e abióticos que interagem, determinando a composição florística em diferentes idades e o grau de recobrimento estrutural e funcional da vegetação (VIEIRA, 1995). No entanto, este processo natural pode ser potencializado ou direcionado através de técnicas de plantio direto.

4.6. Indicadores de recomposição

A determinação de indicadores qualiquantitativos para avaliação da trajetória de recuperação é indispensável para se determinar a melhor condução de um ecossistema restaurado (RIBEIRO *et al.*, 2019). Para avaliar a eficiência da metodologia utilizada na recuperação das áreas mineradas é necessária uma avaliação contínua do desenvolvimento e dinâmica dos povoamentos vegetais por meio de indicadores, para que se possa realizar, caso necessário, intervenções que possibilitem o retorno à direção estabelecida inicialmente ou uma mudança de diretrizes que viabilizem a conclusão do processo de recuperação (HOWELL *et al.*, 2012).

A escolha da técnica a ser utilizada não deve estar pautada somente na redução de custos, mas sim em uma avaliação a partir do monitoramento com base em indicadores de recomposição dos processos ecológicos do ecossistema degradado (RIBEIRO *et al.*, 2019).

A premissa é que a utilização de indicadores seja capaz de avaliar e fornecer informações sobre determinado aspecto do ecossistema, indicando anomalias no

processo de recuperação da cobertura vegetal, fertilidade do solo, retorno da fauna, erosão, entre outros. Necessariamente estes indicadores devem ser facilmente mensuráveis, replicáveis, de fácil compreensão e interpretação e passíveis de serem obtidos a baixo custo, porém, cabe ressaltar que não existem indicadores que podem ser usados de maneira generalizada em todas as situações (ANDRADE, 2014).

Para a definição dos objetivos do PRAD (Plano de Recuperação de Área Degradada), se faz necessário a elaboração de um plano, seguindo etapas para facilitar a objetividade da avaliação: a) fixação de metas mensuráveis e com prazo de execução; b) escolha de indicadores ou variáveis com a finalidade de medir alterações em um fenômeno ou processo ao longo do tempo; c) monitoramento de indicadores ou variáveis; d) avaliação do sucesso da recomposição e e) execução de ações corretivas, avaliando etapas, tais como i) escolha de indicadores; ii) definição de critérios de avaliação de cada indicador; iii) estabelecimento da metodologia de medição de indicadores (método de amostragem, coleta e análise de dados); iv) definição de metas para avaliação de sucesso e; v) definição de cronograma de monitoramento (BRANCALIO *et al.*, 2015).

No entanto, a escolha deve também ser pautada em critérios qualitativos e quantitativos, devendo-se considerar os qualitativos os que expressam a subjetivamente a partir do julgamento do avaliador e quantitativos que se baseiam na mensuração de um determinado parâmetro (altura dos indivíduos, abundância da regeneração, diversidade de espécies etc.) (BRANCALION *et al.*, 2012).

Os indicadores de monitoramento devem estar correlacionados também com os objetivos em larga escala, como é o caso das compensações por empreendimentos, como a mineração, buscando oportunizar a mitigação de impactos nas mudanças climáticas, favorecimento dos serviços ecossistêmicos, proteção dos recursos hídricos e boqueio de erosão, manutenção da biodiversidade, ganhos indiretos do reflorestamento como inserção em programas de REDD e diretos, relacionados a redução de custos com a implantação de metodologias combinadas (regeneração natural, plantio de mudas, nucleação, semeadura, entre outras), obedecendo o cumprimento das normas regulamentadoras e proteção da vegetação (NUNES *et al.*, 2020).

4.7. Aspectos econômicos da recomposição florestal

Os riscos inerentes a redução de matérias-primas e recursos vitais, como a água, gerados pelos atuais padrões de produção e consumo, colocaram o tema da recomposição florestal no centro do debate ambiental, com expressivos reflexos na agenda social e econômica. O tema também passou a preocupar o setor produtivo, que assim como os seres vivos, depende dos serviços ecossistêmicos para sua sustentabilidade (BENINI, 2017).

Na avaliação de custo-benefício, utiliza-se análises econômicas para avaliar as vantagens e desvantagens de investimento, comparando os custos versus os benefícios esperados. Nos custos da recomposição devem ser considerados os gastos com a implantação em diferentes métodos, como plantio e indução da regeneração natural, perda da produção e de oportunidade de negócio, em contrapartida os benefícios podem ser contabilizados pelo sequestro de carbono, exploração de madeira, através de manejo florestal e principalmente pela manutenção dos serviços ecossistêmicos (NUNES, 2017), que devem ser avaliados de acordo com o nível de degradação, objetivo da recomposição (conservação e/ou manejo) e recurso financeiro disponível.

Do plantio de mudas e sementes a regeneração natural de florestas, o esforço envolve inúmeras técnicas operacionais em diferentes cenários ambientais, sociais e econômicos que geram benefícios ambientais, renda, empregos e melhor qualidade de vida no campo (RODRIGUES *et al.*, 2017).

De acordo com NBL & TNC (2013), os custos operacionais de recomposição em propriedades rurais na metodologia de plantio de mudas, em sua maioria torna-se inviável ao pequeno produtor, podendo ser proposta alternativas como o isolamento da área, evitando custos iniciais, pelo fato de interromper a continuidade do fator de degradação (trânsito de animais, veículos, máquinas e implementos agrícolas), o qual favorece a indução da regeneração natural, contribuindo para o sucesso da recomposição e potencializando a capacidade de autorecuperação da comunidade florestal, com avaliação da trajetória por meio dos indicadores e, caso necessário, posterior intervenção com enriquecimento florestal,

Por outro lado, alternativas buscando a redução de fragmentos florestais no contexto de conectividade mostra-se promissora para esses casos (AMARAL, 2010). A implantação dos sistemas agroflorestais (SAF's) como alternativa à promoção do

restabelecimento da conectividade estão ganhando maior visibilidade como alternativa promissora, não especificamente pelo custo da implantação, mas pela possibilidade de retorno financeiro no manejo das culturas agrícolas e florestais utilizadas, de forma a atrair o interesse do produtor e possibilitando uma renda em diferentes ciclos de produção (NUNES, 2017).

A relação custo-benefício na escolha da metodologia a ser aplicada deve ser condicionada a retomada completa à condição ambiental original, situação que na prática é difícil de ocorrer (SER, 2004), a ser dimensionada de acordo com o nível de degradação, redução dos passivos ambientais, incentivo a conectividade e em atendimento a legislação ambiental vigente.

As ações variam da proteção à incêndios florestais, por meio da implantação de aceiros manuais e/ou mecanizados, cercamento das áreas a serem recuperadas, com o objetivo de impedir o acesso de animais que porventura possam prejudicar o processo de recomposição, controle manual e químico de espécies exóticas invasoras, entre outros. Conforme Isernhagen *et al.* (2009), independente do grau de degradação, a necessidade do isolamento contribui na redução dos custos e na efetividade das ações de recomposição.

Em estudo aplicado em áreas restauradas com passivo ambiental em áreas de preservação permanente no estado do Pará, foi evidenciado que o custo-benefício apresentou variação de R\$ 2,3 mil a R\$ 11,2 mil o valor do hectare (NUNES, 2017). A variação foi atribuída de acordo com o método adotado e relacionado aos ganhos potenciais que validaram o investimento de implantação e manutenção. No caso do pequeno produtor, o objetivo da recomposição das áreas deve ser aliado ao retorno financeiro que, na maioria das vezes, serve para a subsistência familiar. Esta prática reduz as barreiras da recomposição em larga escala, favorece o manejo florestal e contribui na aplicação de estudos para ampliação de conhecimento sobre as espécies nativas da Amazônia, principalmente das espécies protegidas e de interesse para conservação.

No caso dos grandes empreendimentos busca-se metodologias eficientes que apresentem melhor retorno em termos de quantidade de área recuperada por ano, processos mais rápidos, aliado a menores custos de implantação e operacionalização de acordo com a realidade local e recomposição dos processos ecológicos do ecossistema degradado (RIBEIRO, 2019).

Cabe ressaltar que, os projetos desenvolvidos antes da década de 1980 preocupavam-se em reproduzir ecossistemas maduros, sem cumprir as etapas de sucessão florestal e aplicando técnicas silviculturais, sem se preocupar com as funções ecológicas, porém a partir dessa década, exemplos de reflorestamentos heterogêneos, com grande diversidade de espécies nativas, nos diferentes estágios sucessionais foram desenvolvidos, preocupando-se também com a diminuição dos custos de implantação e manutenção (MARTINS *et al.*, 2012).

Nesse sentido, a escolha da metodologia e a redução de custos devem ser pautados na avaliação a partir do monitoramento com base em indicadores de recomposição dos processos ecológicos do ecossistema degradado.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área de estudo

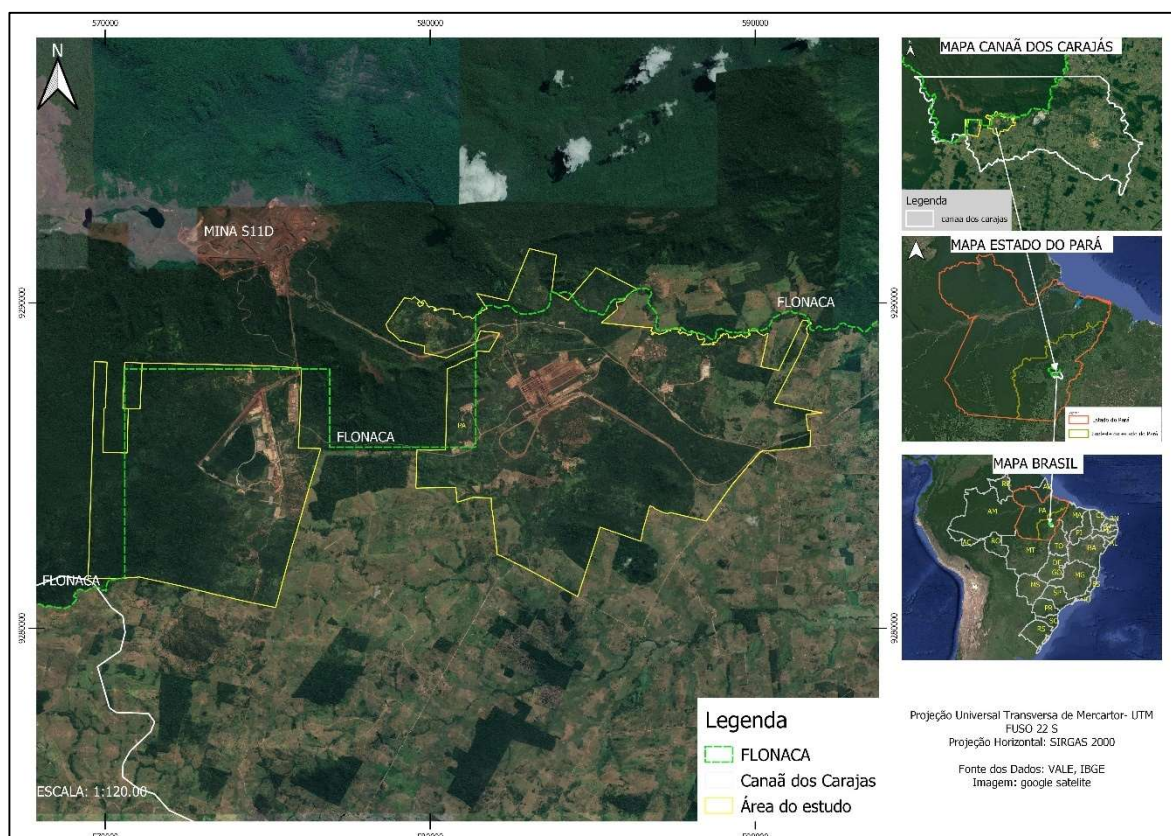
O desenvolvimento socioeconômico da região do sudeste do Pará teve início a partir da exploração madeireira, que em virtude da sua quase exaustão, cedeu lugar à agricultura e finalmente à pecuária bovina extensiva, fortemente incrementada após a criação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), atualmente uma das atividades de maior expressão regional, em consonância com a mineração. O município se encontra sob forte pressão antrópica, contribuindo com as altas taxas de desmatamento no estado do Pará nos últimos quarenta anos (INPE, 2018). Sua população, estimada em 2018, é de 36.050 habitantes, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2018. É um município com expressiva indústria de extração mineral, tendo acumulado em função dela uma considerável renda per capita R\$ 67.238,81 (IBGE, 2016) e o índice de desenvolvimento humano 0,673 (IBGE, 2010).

O município de Canaã está inserido na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas e possui vários rios, entre os mais importantes estão os rios Sossego e o Parauapebas, que delimitam o limite da FLONA de Carajás na região e abastecem várias comunidades ao longo do seu percurso.

O projeto foi desenvolvido nas áreas de influência direta do empreendimento de extração mineral denominado Complexo S11D Eliezer Batista, pertencente a mineradora Vale S.A. e está localizado no entorno da parte sul da Floresta Nacional de Carajás (FLONA Carajás), unidade de conservação federal de uso sustentável gerida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), localizada no município de Canaã dos Carajás, no Pará (Figura 1).

Figura 1. Localização da área do Complexo S11D no município de Canaã dos Carajás – PA.

Fonte: Vale SA, 2019.



As parcelas definidas neste estudo estão distribuídas na parte sul da FLONA de Carajás e estão inseridas em propriedades rurais adquiridas pela mineradora Vale com finalidade de compensação ambiental em decorrência da instalação do Complexo S11D, empreendimento para extração de minério de ferro. Estas propriedades são parte integrante do Plano de Recuperação Ambiental que diz respeito ao cumprimento de condicionantes ajustadas entre a empresa, o IBAMA e o ICMBio, destinados a recuperação e recomposição florestal.

As áreas de interesse específicas para este estudo foram selecionadas considerando as características da vegetação, a utilização do solo e a proximidade dos fragmentos florestais existentes. As áreas em processo de recomposição estão inseridas em pastagens abandonadas a 03 anos.

De acordo com as curvas ombrotérmicas de GAUSSEN (BAGNOULS; GAUSSEN, 1957), o clima regional enquadra-se na classificação tipicamente tropical. Define-se por um pequeno período seco (3 a 4 meses) e outro úmido bem acentuado, marcado por chuvas torrenciais na estação quente (verão).

A precipitação média anual obtida nas estações meteorológicas do projeto S11D entre 2015 e 2018 correspondeu a 2878 mm, com médias mensais variando de 2 mm em julho a 739 mm em fevereiro.

Regionalmente, nas áreas mais elevadas, os solos dominantes pertencem a classe dos Neossolos Litólicos, tendo como característica principal a presença de afloramentos rochosos e ausência de horizontes bem definidos. Ao mesmo tempo, complementam essas classes de solos dominantes, razoáveis extensões de terra constituída de Latossolos Vermelho-Amarelo, textura argilosa, com predomínio de floresta densa (JORDY FILHO; TRIGUEIRO, 2006).

No entorno da serra de Carajás (menores altitudes), a dominância pedológica total recai sobre o Argissolo Vermelho-Amarelo, quase sempre associado aos Neossolos Litólicos e, em menor escala, ao Latossolo Vermelho-Amarelo. Não obstante, várias outras classes de solo encontram-se associadas às dominantes, entretanto, sem determinar qualquer alteração significativa na descrição da paisagem. Registra-se ainda, sob influência aluvial dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, a ocorrência de Gleissolos e Neossolos Flúvicos (RADAM, 1974).

5.1.1. Caracterização geral da vegetação

De acordo com o Sistema Ecológico de Classificação da Vegetação Brasileira, proposto por VELOSO *et al.* (1991), as áreas de estudo localizadas no interior e em torno da FLONA de Carajás eram cobertas por Floresta Densa Montana (Serra dos Carajás) e Submontana (Depressões Sul Carajás), sendo que esta última, atualmente representada por alguns poucos remanescentes de vegetação, quase sempre de caráter em estágio secundário, após a ocorrência de desmatamento. Em decorrência da forte atividade de pecuária na década de 1980, aliado a exploração madeireira, grande parte das florestas sofreram cortes sistemáticos e/ou seletivos. A atual paisagem da região sofre forte ação antrópica, com extensos campos de pastagem, destinados à pecuária.

A característica original de floresta densa define-se pelo sistema perenifólio da folhagem, pequena existência de períodos biologicamente secos, alta densidade das copas, onde as mesmas se tocam e presença de indivíduos arbóreos emergentes, destacando-se entre eles: angelim-pedra (*Dinizia excelsa*), jutaí-açu (*Hymenaea courbaril*), pau-marfim (*Agonandra brasiliensis*), mogno (*Swietenia macrophylla*),

maçaranduba (*Manilkara huberi*), sapucaia (*Lecythis usitata*), sucupira (*Bowdichia virgilioides*) e breus (*Protium* spp.), embora hoje a dominância é de vegetação secundária.

Outra ocorrência florestal, diz respeito às Florestas Abertas, comuns nas áreas de encostas, caracterizadas pela forte presença de palmeiras e cipós, registradas pelo Projeto RADAM (1974). Fisionomicamente apresenta árvores espaçadas, de altura média (em torno de 10 a 25 metros), com indivíduos como inajá (*Maximiliana regia*) nas partes mais elevadas e babaçu (*Orbignya martiana*), nas grandes depressões periféricas da Serra dos Carajás.

5.2. Métodos de estudo

O Subprograma de Restabelecimento da Conectividade Florestal da Vale, visa a criação de corredores ecológicos em áreas alteradas, abrangendo as áreas de entorno do empreendimento minerário, que incluem desde pastagens até o limite dos fragmentos. Tais áreas estão localizadas tanto dentro dos limites da Floresta Nacional (Flona) de Carajás, no entorno do Projeto S11D, quanto fora, em propriedades adquiridas pela empresa contíguas e próximas ao sul da Unidade de Conservação referida.

Foi adotado o método de amostragem permanente ou fixas instaladas em 2019, para a avaliação e monitoramento do componente arbóreo das áreas de pastagem, em processo de recuperação, no entorno do Projeto Ferro Carajás S11D, seja no interior da Floresta Nacional (Flona) de Carajás ou em propriedades da Vale ao sul da Unidade de Conservação aludida, em Canãa dos Carajás/PA, nas áreas de entorno do empreendimento definidas como área de reserva legal de preservação permanente com o intuito de redução de passivo ambiental na região da bacia do rio Itacaiúnas em atendimento a legislação vigente e de redução dos fragmentos florestais próximo a unidade de conservação. Foram monitoradas e avaliadas, através de levantamento florestal, áreas de regeneração natural espontânea e áreas de recuperação por meio do plantio de mudas arbustivo-arbóreas nativas, com elevada diversidade.

As características das áreas de instalação das parcelas dos métodos amostrados são similares com a mesma condição inicial, pois correspondem antigas

propriedades rurais com pasto abandonado no mesmo período de aquisição, conforme demonstrado na figura 2.

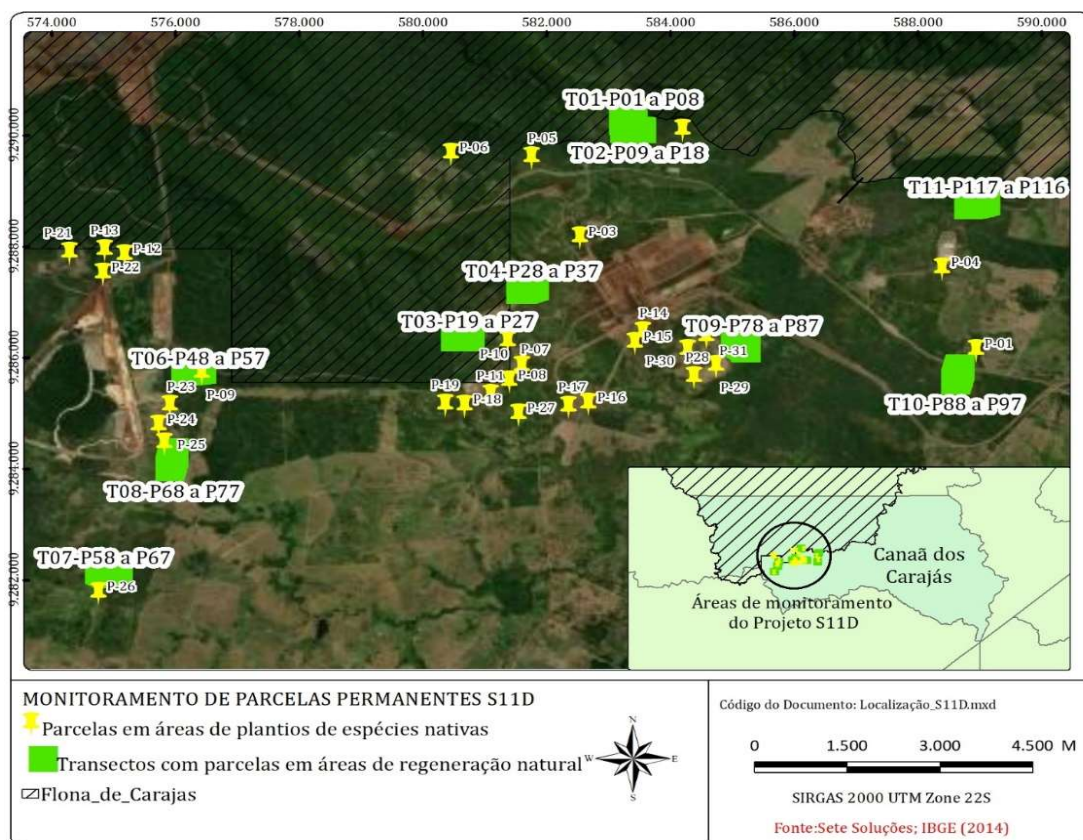
Figura 2. A e B) Identificação das condições gerais das áreas de regeneração natural e plantio de mudas localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental.



5.3. Amostragem

Os dados primários foram levantados durante uma campanha de campo executada entre os dias 26 de setembro a 14 de novembro 2020. Para avaliação das áreas de regeneração natural espontânea, foram levantados dados dendrométricos e florísticos de 97 parcelas amostrais distribuídos em 10 transectos. As parcelas foram instaladas com dimensão de 10 m x 10 m (Transectos 01 a 05) e 10 m x 20 m (Transectos 07 a 10 e Transecto 12), distribuídas em intervalos de aproximadamente 25 m, dispostas ao longo de cada transecto. Os transectos foram distribuídos aleatoriamente sobre as referidas áreas alvo. Para efeito de cálculos do inventário florestal (diversidade, riqueza, volume, biomassa, etc.), as parcelas do transecto 01 ao transecto 06, foram convertidas em dimensões compatíveis às parcelas de 10 x 20 m (200 m²), dos transectos de 07 a 12. Para avaliação e monitoramento das áreas de recuperação com plantios de espécies nativas, também foram adotadas método de parcelas permanentes, por meio de alocação aleatória de 31 unidades amostrais com dimensão de 10 x 20 m (200 m²). A localização das parcelas em transecto, para amostragem das áreas de regeneração natural e as parcelas para amostragem das áreas de recuperação por plantio total estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3. Localização das unidades amostrais inseridos em transectos para representar as áreas de regeneração natural e plantios de espécies nativas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental.



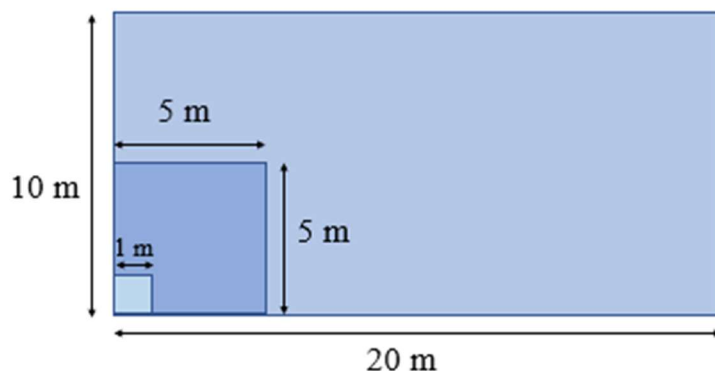
As unidades amostrais, tanto nas áreas de regeneração natural quanto nas áreas de recuperação por plantio, foram constituídas por três subunidades sobrepostas, as quais correspondem um nível de amostragem arbóreo, um nível para amostragem da regeneração natural e um nível para amostragem de indivíduos herbáceos e subarbustivos. Os três níveis de abordagens correspondem aos seguintes limites (Figura 4 e 5):

Nível S1 (arbóreo) – para levantamento das árvores, com unidades amostrais de 10 m x 20 m, onde foram mensurados todos os indivíduos com CAP maior ou igual a 15 cm e identificados a nível de espécie;

Nível R1 (regeneração natural) – para levantamento de árvores jovens, arvoretas de pequeno porte e arbustos, com unidades amostrais de 5 m x 5 m, onde foram mensurados todos os indivíduos com CAP menor 15 cm e identificados a nível de espécie;

Nível R2 (herbáceo e subarbustivo) – para o levantamento de indivíduos de hábito herbáceo e subarbustivo, com parcelas de 1 m x 1 m, onde foram contabilizados e identificados a nível de espécie.

Figura 4. Esquema ilustrativo representando uma unidade amostral e suas subunidades (níveis).



Para o estrato arbóreo, todos os indivíduos foram mensurados e marcados com placas de alumínio numeradas. Para o estrato de regeneração natural e estrato herbáceo/subarbustivo foi realizada a contagem do número de indivíduos, por espécie (sendo as touceiras consideradas como um único indivíduo), conforme Pereira e Araújo (1995).

Para o estrato arbóreo, todos os indivíduos foram identificados, mensurados e numerados com placas de alumínio. Para o estrato de regeneração natural e estrato herbáceo/subarbustivo foi realizada a contagem do número de indivíduos, por espécie (sendo as touceiras consideradas como um único indivíduo), conforme Pereira e Araújo, (1995).

Figura 5. **A)** Identificação das unidades amostrais do Nível R2 (1 m x 1 m) e **B)** Nível S1 (10 m x 20 m) com balizas pintadas localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental.



Para ilustrar o esforço amostral foi elaborada a curva de rarefação baseada em amostras para a comunidade arbórea na área de estudo. Para avaliar a riqueza de espécies foram utilizados estimadores de riqueza não paramétricos. Esses estimadores apresentam o número estimado de espécies acumuladas em uma curva de acumulação de espécies construída em função do número de indivíduos amostrados e foram calculados utilizando o programa EstimateSTM Versão 9.1.0. A curva de riqueza estimada é apresentada em forma gráfica, onde o eixo X representa o esforço despendido e o eixo Y representa a riqueza estimada de espécies. Para a análise da comunidade florestal foi utilizado o estimador Jackknife 1 por ter apresentado o maior valor de riqueza. A estabilidade da curva é observada pela diminuição da inclinação, caracterizando que o esforço amostral foi satisfatório.

5.4. Escolha de Indicadores de Avaliação da Recuperação

Os indicadores foram escolhidos com objetivo de identificar a condição atual da trajetória do processo de recomposição florestal, para determinação ou não da necessidade de ações corretivas, buscando reconduzir, se necessário, o projeto aos objetivos e metas estabelecidas inicialmente ou adotar projeto alternativo.

Neste sentido, foram selecionados 5 indicadores seguindo princípios de avaliação da formação da cobertura florestal na área e a dinâmica da regeneração dentro da trajetória desejada e esperada.

Para avaliação da trajetória, foram escolhidos os seguintes indicadores de monitoramento:

1. **Densidade de plantas:** Avaliar a quantidade de indivíduos de espécies arbustivas e arbóreas;
2. **Diversidade:** Avaliar a proporção de distribuição dos indivíduos entre as espécies, calculada pelo índice de diversidade de Shannon (H');
3. **Riqueza:** Registro do número de espécies;
4. **Biomassa:** mensuração por método não-destrutivo, com utilização de equações alométricas selecionadas na literatura para as áreas de regeneração natural que mais se aproximam da realidade da área de estudo;

5. **Recrutamento:** foi considerado como recrutamento as comunidades de plântulas acima de 10 cm de altura identificadas nas subparcelas de 5m x 5m.
6. **Custo:** foram levantados os custos diretos de implantação e manutenção das atividades florestais, exceto custos relacionados a contratação e logística.

5.5. Análise dos dados

5.5.1. Inventário florístico

O inventário florestal foi realizado de acordo com o processo de amostragem aleatório. Este processo se constitui no melhor método para apresentação da teoria da amostragem, pois permite estimar o erro de amostragem sem tendências. Para o cálculo da precisão do inventário foram utilizadas as expressões e definições descritas por Péllico Neto e Brena (1997).

5.5.2. Estimativa de volume e biomassa

Para estimativa de volume, foi utilizado equação de volume de Schumacher-Hall ajustado por Rolim *et al* (2007), para dados coletados na Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí na Serra dos Carajás (Eq.1 & Eq.2). Sendo, dentre os modelos testados, o mais eficaz para estimativa de volume.

Modelo volumétrico de Schumacher-Hall:

$$V = \beta_0 \cdot d^{\beta_1} \cdot h^{\beta_2} + \varepsilon$$

Eq.1

Equação ajustada:

$$V(m^3) = 1,3332(d)^{2,0836} \cdot (h)^{0,7320}$$

Eq.2

Para estimativa da biomassa, foi utilizada a densidade média da madeira de **0,642 g/cm³**, atualizada por Fearnside (1997) e citado por Nogueira (2008). Este valor de densidade média é recomendado para toda Amazônia brasileira de floresta não-densa.

$$Biomassa (ton) = V(m^3) * 0,642$$

5.5.3. Parâmetros fitossociológicos

Os índices fitossociológicos foram estimados segundo Elleberg & Müller-Dombois (1974), de acordo com as seguintes fórmulas:

- a) Densidade absoluta (D_i) e relativa (Dr_i) (Eq. 3 e 4);
- b) Dominância absoluta (Do_i) e relativa (Dor_i) (Eq. 5 e 6);
- c) Frequência absoluta (Fa_i) e relativa (Fr_i) (Eq. 7 e 8);
- d) Índice de Valor de Importância (Eq. 9).

$$D_i (\text{Ind. ha}^{-1}) = n^{\circ} \text{ de arv.} \cdot \text{ha}^{-1}$$

Eq.3

$$Dr_i(\%) = \frac{Aa_i}{\sum_{i=1}^S Aa_i} \times 100$$

Eq.4

$$Do_i (\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}) = \sum_{i=1}^S g_i \quad \text{Eq.5}$$

$$Dor_i (\%) = \frac{Da_i}{\sum_{i=1}^S Da_i} \times 100 \quad \text{Eq.6}$$

$$Fa_i(\%) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de unidades em que a espécie } i \text{ ocorre}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de unidades de amostra}} \times 100 \quad \text{Eq.7}$$

$$Fr_i(\%) = \frac{Fa_i}{\sum_{i=1}^S Fa_i} \quad \text{Eq.8}$$

$$IVI_i(\%) = \frac{Ar_i + Dr_i + Fr_i}{3} \quad \text{Eq.9}$$

Onde = D_i (Ind. ha⁻¹): Densidade absoluta para *i*-ésima espécie; Dr_i (%): Densidade relativa para *i*-ésima espécie; Do_i (m² ha⁻¹): Dominância absoluta para *i*-ésima espécie; Dor_i (%): Dominância relativa para *i*-ésima espécie; g (m² ha⁻¹): Área transversal; Fa_i (%): Frequência absoluta para *i*-ésima espécie; Fr_i (%): Frequência relativa para *i*-ésima espécie; IVI_i (%): Índice de Valor de Importância *i*-ésima espécie.

5.5.4. Índices de diversidade florística

Avaliamos a diversidade florística para cada método de recomposição por meio do Índice de Shannon-Weaver (H'), Índice de diversidade de Simpson ($1-D$), Índice de Equabilidade de Pielou (J) e Coeficiente de Mistura de Jentsch (QM) (Eq. 10, 11, 12 e 13).

$$H' = \frac{[Dt \cdot \ln(Dt) - \sum_{i=1}^S D_i \cdot \ln(D_i)]}{Dt} \quad \text{Eq.10}$$

$$(1 - D) = 1 - \frac{[\sum_{i=1}^S D_i \cdot (D_i - 1)]}{Dt \cdot (Dt - 1)} \quad \text{Eq.11}$$

$$E = \frac{H'}{H'_{\max}} \quad \text{onde} \quad H'_{\max} = \ln(S) \quad \text{Eq.12}$$

$$QM = \frac{\text{Nº Total de Espécies}}{\text{Nº Total de Indivíduos Amostrados}} \quad \text{Eq.13}$$

Onde = H' : Índice de diversidade de Shannon-Weaver; $(1-D)$: Índice de diversidade de Simpson; E : Equabilidade de Pielou; $H'_{\max}$: Máxima diversidade de Shannon-Weaver; QM : Coeficiente de Mistura de Jentsch; Dt : densidade total; D_i : densidade absoluta da i -ésima espécie; $\ln$: logaritmo neperiano; S : número total de espécies amostradas.

5.5.5. Análise estatística

Para análise estatística, as variáveis de densidade total (Dt) dos indivíduos com $DAP \geq 4,77$ cm, densidade de espécies arbustivas e herbáceas regenerantes (Dr), densidade em função do tipo de vegetação adjacente a área amostrada (Dv) e a biomassa vegetal (Bv) foram submetidas à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) e ao teste de homocedasticidade de variância de Levene (LEVENE, 1960). As variáveis que não apresentaram normalidade foram submetidas a transformação de Box-Cox (BOX; COX, 1964), a qual indicou o melhor tipo de transformação. A Dt , Bv e Dv atenderam aos pressupostos de normalidade e homoscedasticidade de variância, sendo que, para as duas primeiras foi utilizado o teste t de Student ($p < 0,05$) (STUDENT, 1908) para comparação entre as médias dos métodos de recomposição florestal utilizando o plantio e a condução da regeneração natural e, no caso do Dv , foi realizada uma análise de variância (ANOVA) e em caso

de diferença significativa ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (TUKEY, 1953). Os dados da Dr apresentaram uma distribuição não normal e por isso, foi utilizado um teste não paramétrico de Mann-Whitney ($p < 0,05$) (MANN & WHITNEY, 1947) para relação entre as medianas dos métodos de recomposição utilizando o plantio e o outro a condução da regeneração natural. Para todas as análises estatísticas foi utilizado o software R, versão 4.0.1 (R Core Team, 2020).

5.5.6 Avaliação dos custos

A avaliação dos custos das metodologias de recomposição florestal (indução da regeneração natural e plantio de mudas) foram realizadas através da utilização dos valores unitários das atividades necessárias, através das linhas de serviço dos quadros de quantidades e preços praticados dos contratos vigentes de empresas prestadoras de serviço que atuam no setor mineral na região do sudeste do Pará. Para execução destes contratos são considerados os atendimentos legais de saúde, segurança e meio ambiente, além das exigências internas da empresa que incidem sobre o valor de serviço contratado. Foram considerados apenas os custos diretos, sem incluir os custos indiretos, como direitos trabalhistas, alimentação, hospedagem, transporte entre outros.

Foram comparados os custos de implantação e manutenção nas duas metodologias de recomposição florestal em um hectare de área.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Esforço amostral

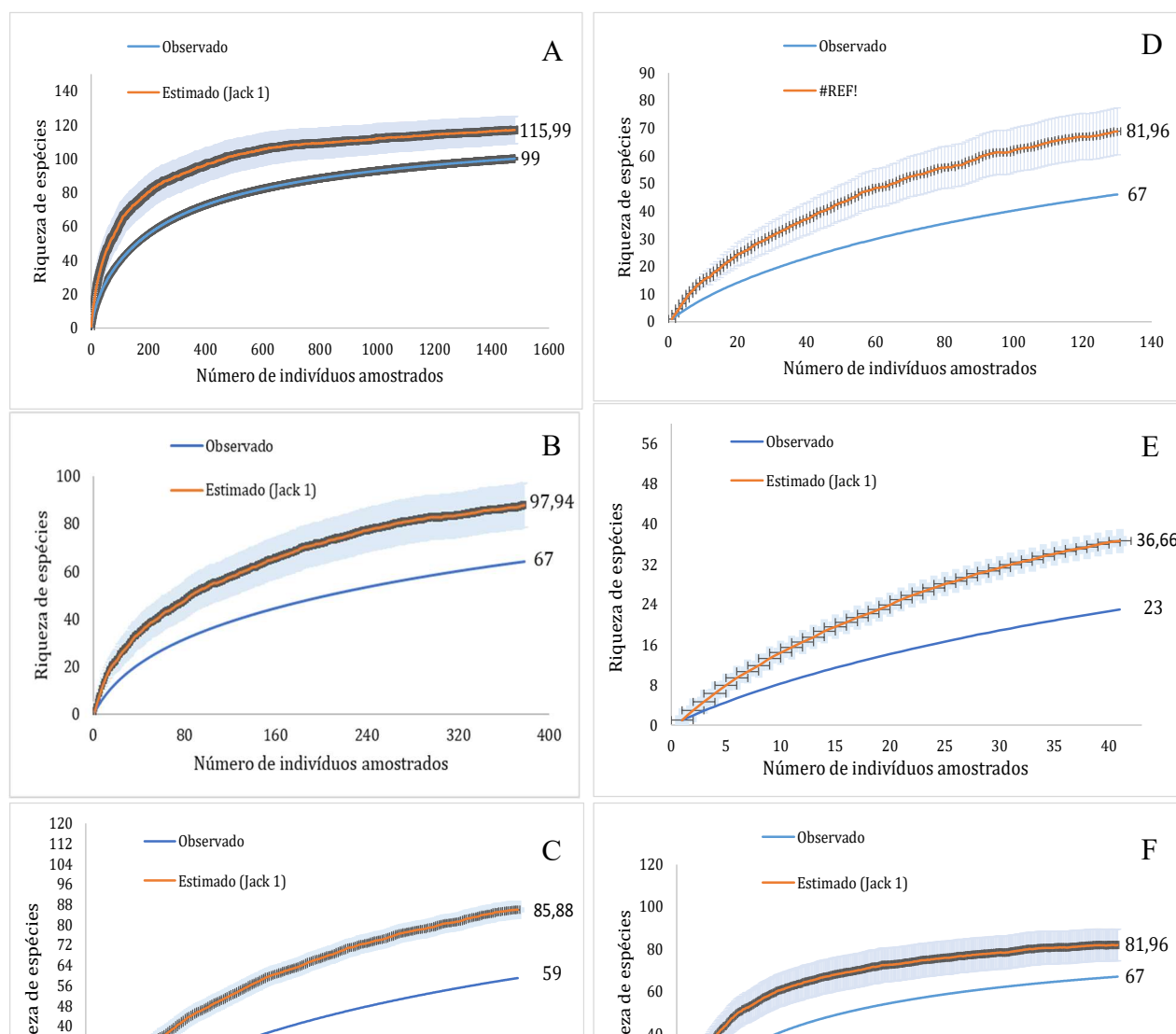
Foram alocadas 97 parcelas, distribuídos em 10 transectos, para avaliação das áreas de regeneração natural; e 31 parcelas aleatórias, para avaliação das áreas de recuperação por plantio. Na tabela 1, observa-se o número de indivíduos, espécies e famílias que foram encontradas nas áreas de estudo.

Tabela 1. Número de indivíduos, família, gênero e espécie por nível de vegetação nas áreas de regeneração natural e plantio de mudas localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental.

Áreas alvo	Extratos	Nº de indivíduos	Família	Espécie
Regeneração Natural	Nível R1	348	29	64
	Nível R2	214	31	59
	Nível S1	1476	35	99
Recuperação por plantio	Nível R1	130	23	46
	Nível R2	41	17	23
	Nível S1	427	28	67

Tanto para as áreas de regeneração natural e recuperação por plantio, as curvas de acumulação de espécies para os Níveis S1, R1 e R2, apresentaram-se estabilizadas (Figura 6), ou seja, suas inclinações apresentaram diminuição de sua inclinação, indicando que a inclusão de novos indivíduos na amostragem resultaria em pouco aumento do número de novas espécies na amostragem.

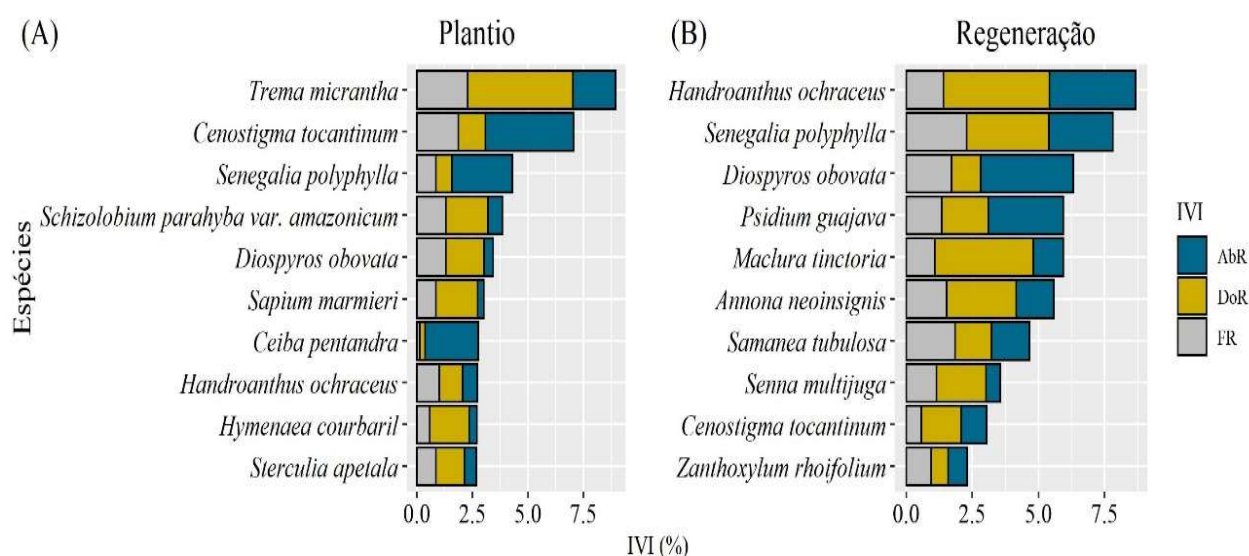
Figura 6. Curva de acumulação das espécies observadas e estimadas pelo método de Jackknife 1 amostradas nas áreas de regeneração natural nos níveis **A)** – R1, **B)** – R2 e **C)** – S1 e para as áreas de plantio nos níveis **D)** – R1, **E)** – R2 e **F)** – S1, todas localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental.



6.2. Análise florística

Nas áreas de plantio de mudas foram encontrados 2.445,00 ind. ha⁻¹ arbóreos e arbustivos distribuídos em 80 espécies, das quais *Trema micrantha* (Periquiteira), *Cenostigma tocanthum* (Pau-Preto), *Diospyros obovata* (Olho-de-Boi), *Senegalia polyphylla* (Espinheiro-Preto) e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Paricá) tiveram o maior Valor de Importância (Figura 6). Enquanto isso, nas áreas de regeneração natural, foram contabilizados 2.627,71 ind. ha⁻¹ arbóreos e arbustivos pertencentes a 114 espécies, das quais, *Handroanthus ochraceus* (Ipê-Amarelo), *Senegalia polyphylla* (Espinheiro-Preto), *Diospyros obovata* (Olho-de-Boi), *Psidium guajava* (Goiaba), *Maclura tinctoria* (Moreira) (Figura 7).

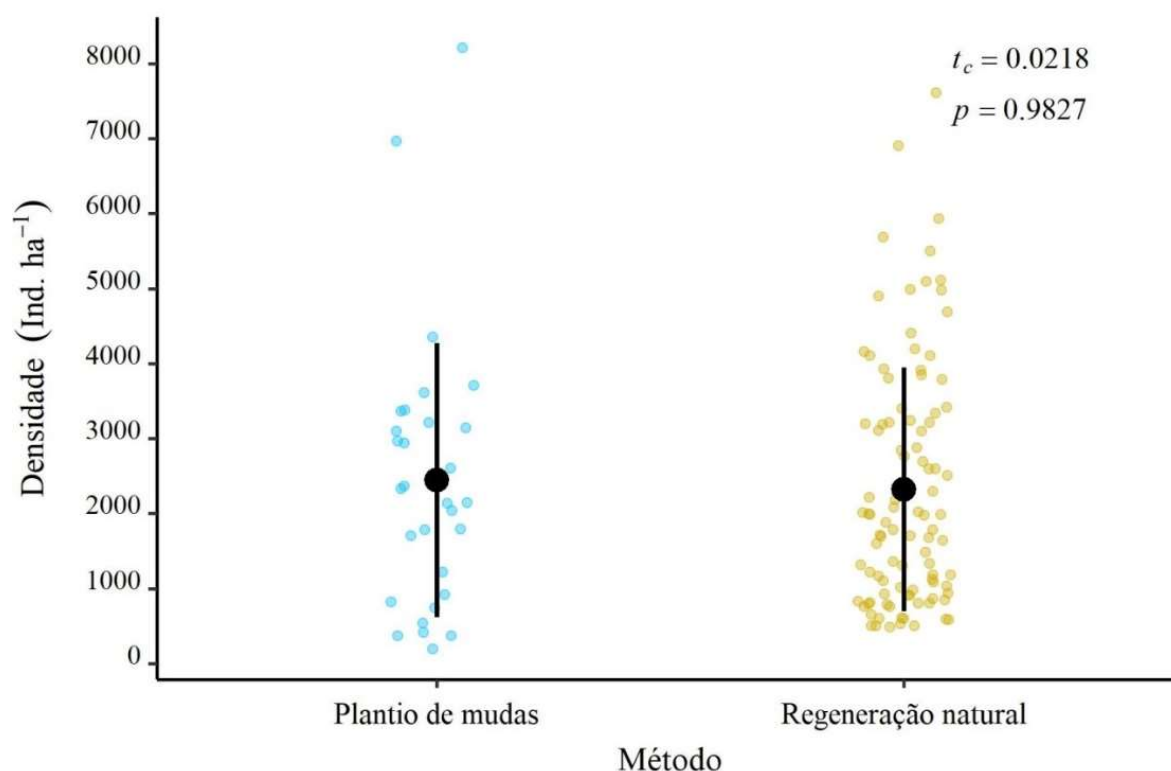
Figura 7. Índices de Valor de Importância (IVI) das dez espécies em ordem decrescente para todos os indivíduos amostradas em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas (A) e da condução da regeneração (B) localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental.



Das dez espécies mais representativas, *C. tocanthum*, *S. polyphylla*, *D. obovata* e *H. ochraceus*, são comuns em ambos os métodos de recomposição florestal, demonstrando ser adaptadas as condições bioedafoclimáticas da região, o que lhes permite uma dispersão de sementes bem-sucedida (ESQUIVEL et al. 2008). *S. polyphylla* tem sido uma das espécies promissoras das áreas de plantio de ecossistemas em processo de recomposição florestal pós-mineração de bauxita no Pará (MARTINS et al., 2020; 2021), mas que segundo observações *in situ* percebeu-se a ausência de espécies regenerantes sob a sua copa (MARTINS et al. 2020), o que pode ser um indicativo de alelopátia, afetando negativamente o processo de sucessão ecológica.

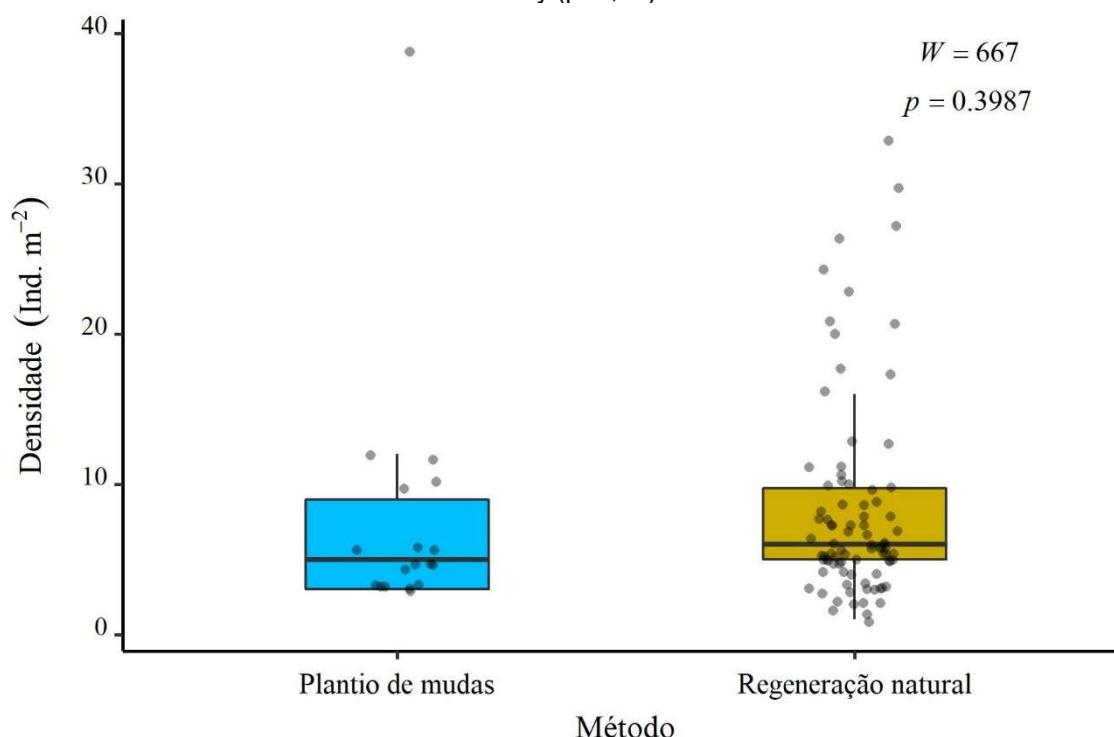
A densidade total (Dt) de plantas apresentou uma elevada variabilidade entre as parcelas amostradas, tanto para o método de recomposição por meio do plantio, quanto pela condução da regeneração natural e não apresentaram diferença estatística significativa ($p>0,05$; Figura 8).

Figura 8. Média $\pm$ desvio padrão da densidade total (Dt) de todos os indivíduos amostrados em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas e da indução da regeneração localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental. Não houve diferença estatística significativa entre os métodos de acordo com o teste t de Student ($p>0,05$).



Não houve diferença da densidade de espécies arbustivas e herbáceas que regeneraram naturalmente nas áreas em que se utilizou o plantio de mudas e a condução da regeneração natural ($p>0,05$), sendo que, a mediana para o plantio e a condução da regeneração natural foi de 5 e 6 indivíduos m⁻², com intervalo interquartil de 6 e 4,75 indivíduos m⁻², respectivamente (Figura 9).

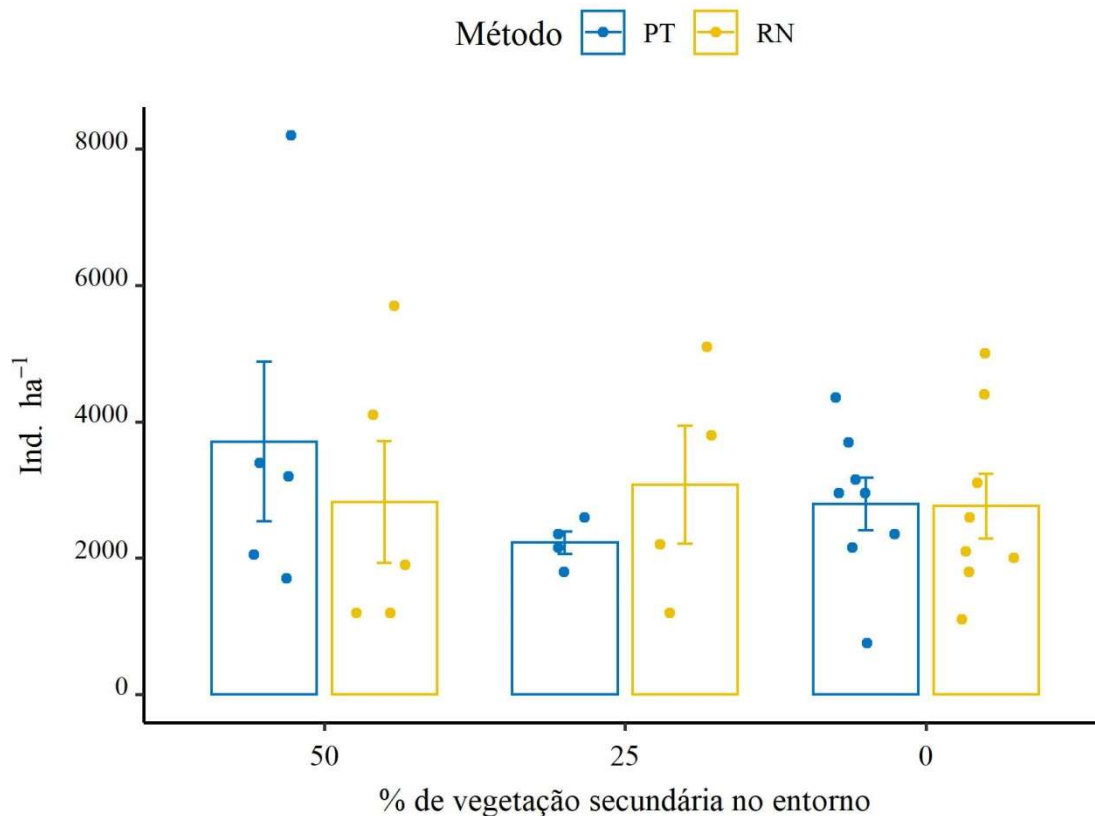
Figura 9. Mediana e o intervalo interquartil da densidade dos indivíduos arbustivos e herbáceos regenerantes (Dr) em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas e da indução da regeneração localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental. Não houve diferença estatística significativa entre os métodos de acordo com o teste Man-Whitney ($p > 0,05$).



As medidas de densidade sejam elas dos indivíduos arbóreos, arbustivos e herbáceos apresentaram elevada variabilidade entre as unidades amostrais e, isso está relacionado aos fatores bióticos e abióticos que proporcionam microhabitats favoráveis a determinadas populações com característica ecológicas peculiares de reprodução e dispersão de sementes (CHAZDON, 2012; 2014). O histórico de intensidade e duração da atividade pecuária, o gradiente altitudinal e, sobretudo a proximidade das parcelas com os remanescentes florestais nativos são exemplos dos fatores que podem ter gerado a variabilidade da medida de densidade e a não diferença estatística.

No que diz respeito aos remanescentes florestais, constatamos que o aumento percentual de vegetação secundária no entorno das áreas amostradas não afetou a densidade de plantas ($p > 0,05$; Figura 9), por mais que, a média do número de indivíduos encontrada nas parcelas de plantio com a presença de 50% de vegetação secundária tenha sido de $3.710,00 \pm 2.313,04$ plantas ha⁻¹, esta não diferiu significativa da indução da regeneração natural que foi de $2.820,00 \pm 2.001,75$ plantas ha⁻¹ ($p > 0,05$; Figura 10).

Figura 10. Média $\pm$ desvio padrão da densidade em função do percentual de vegetação secundária adjacente as áreas amostradas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas e da indução da regeneração localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental. Não houve diferença estatística significativa entre os métodos de recomposição para cada percentual de vegetação secundária de acordo com o teste t de Student ($p>0,05$) e entre os percentuais de vegetação para o mesmo método de acordo com o teste de Tukey ($p>0,05$). PT: Plantio de mudas e, RN: Indução da regeneração Natural.



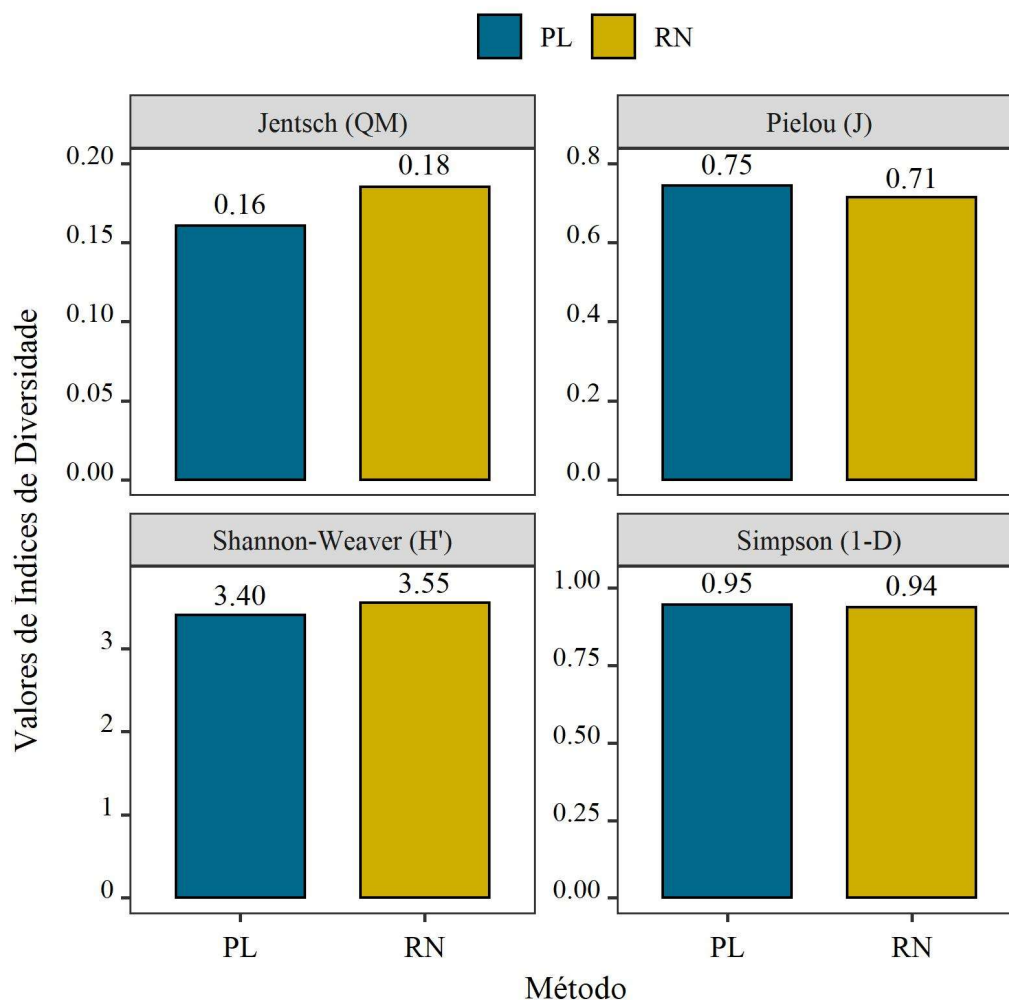
Esses resultados não eram esperados, pois há dois meios de propágulos atuantes na regeneração natural, um provém do banco de sementes e o outro de fontes externas que neste caso é facilitada pela proximidade dos remanescentes ou fragmentos florestas. Esquivel et al. (2008) em áreas de pastagem encontraram diferenças significativas da densidade e riqueza de espécies em função da proximidade com a floresta nativa na porção central da Nicarágua.

6.3. Índices de diversidade

Os índices de diversidade demonstraram-nos que não ocorreu discrepâncias entre os valores (Figura 10), mesmo para os índices de Shannon-Weaver (H') e Jentsch (QM) que, em sua base de cálculos proporcionam um maior peso a riqueza de espécies em relação a equabilidade, ou seja, distribuição dos indivíduos por espécie. Em relação aos índices de Simpson e Pielou, que enfatizam a equabilidade

e variam de zero a um, ambos foram considerados satisfatórios tanto para o método de plantio quando para condução da regeneração natural (Figura 11).

Figura 11. Índices de diversidade ecológico para todos os indivíduos amostrados em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas e da indução da regeneração no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental.



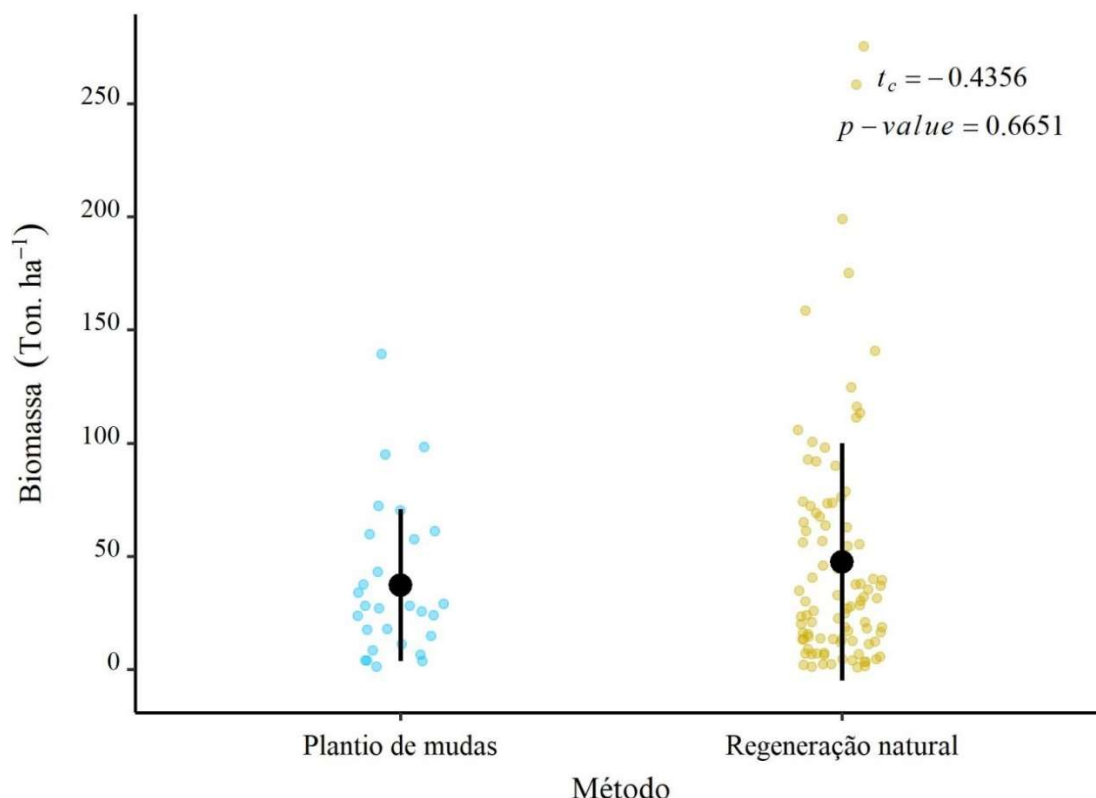
Os valores dos índices de diversidade, de maneira geral, foram semelhantes entre os métodos de recomposição florestal, sobretudo aquelas que levam em consideração os valores da equabilidade, ou seja, o número de indivíduos por espécie, como o Índice de Simpson, Pielou e Jentsch. Apesar do índice de Shannon ter apresentado maior valor para a regeneração natural, ressaltamos que esse índice torna-se é influenciado pelo tamanho da área amostral e por isso o seu uso é recomendável quando se pretende relacionar áreas com o esforço amostral semelhante, ou usar outro método de medida da diversidade, como a estimativa de extrapolação (MAGURRAN, 2003; MELO, 2008), o que infelizmente não ocorreu neste estudo, onde houve um número maior de unidade de amostra na condução da

regeneração natural em detrimento do plantio. Mesmo assim, de maneira geral, os índices de diversidade foram considerados satisfatórios para áreas com histórico de pasto abandonado com apenas três anos de recomposição. Além disso, a diversidade possivelmente irá aumentar com o tempo (BARROS *et al.*, 2020), caso não haja nenhuma ação antrópica.

6.4. Volume e biomassa

Os valores médios estimados de volume e biomassa para as áreas de plantio de mudas foram de 57,2026 m³ ha⁻¹ e 36,7241 ton. ha⁻¹, respectivamente, enquanto para as áreas de regeneração natural, esses valores foram de 76,1767 m³ ha⁻¹ e 48,9054 ton. ha⁻¹. Verificamos que ocorreu uma grande variabilidade dos dados e isso fez com que não houvesse diferença estatisticamente significativa entre as médias de acordo com o teste t de Student (Figura 12).

Figura 12. Média $\pm$ desvio padrão da biomassa vegetal (Bv) de todos os indivíduos amostrados em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas e da indução da regeneração no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental. Não houve diferença estatística significativa entre os métodos de acordo com o teste t de Student ($p > 0,05$).



As estimativas de biomassa tem se mostrado um indicador de recomposição importante, não somente por reestabelecer a estrutura de um ecossistema, mas também pela captação de carbono, que na última década tem recebido ainda mais

importância em virtude das nítidas mudanças climáticas decorrentes do aumento do efeito estufa proporcionado pela emissão de gás carbônico (LENNOX *et al.*, 2018). Neste sentido, uma das ações nacionais foi a criação do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANEGEV), criado em 2017 e com a meta de recupera mais de 4,8 milhões de hectares até 2030 (BRASIL, 2017).

Dentre as espécies, as mais representativas foram *Trema micrantha* (Piriquiteira), *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Paricá), *Sterculia apetala* (Axixá-Grande), *Inga cylindrica* (Ingá-Mirim) e *Senegalia polyphylla* (Espinheiro-Preto) (Tabela 2), onde juntas contribuíram com aproximadamente 43% do volume e biomassa total das áreas de recomposição de pastagens com a utilização do plantio de mudas. Em relação as espécies das áreas de regeneração natural, *Handroanthus ochraceus* (Ipê-Amarelo), *Maclura tinctoria* (Moreira), *Senegalia polyphylla* (Espinheiro-Preto), *Annona neoinsignis* (Envira-Mole) e *Senna multijuga* (Pau-Cigarra), foram as mais representativas e juntas contribuíram com 51% do volume e biomassa total da comunidade (Tabela 2).

Tabela 2. Volume e biomassa das dez principais espécies amostradas em áreas de pasto abandonado submetidas a recomposição florestal por meio do plantio total de mudas (PL) e da indução da regeneração natural (RN) Complexo S11D, município de Canaã dos Carajás-PA, Amazônia Oriental.

Espécie	Volume (m ³ ha ⁻¹)	Biomassa (ton. ha ⁻¹)	Método
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	9,5011	6,0997	PL
<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby	4,1382	2,6567	PL
<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H. Karst.	4,0114	2,5753	PL
<i>Inga cylindrica</i> (Vell.) Mart.	3,5905	2,3051	PL
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton	3,1038	1,9926	PL
<i>Attalea maripa</i> (Aubl.) Mart.	2,9278	1,8796	PL
<i>Triplaris surinamensis</i> Cham.	2,4105	1,5476	PL
<i>Sapium marmieri</i> Huber	2,3366	1,5001	PL
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	1,6932	1,0871	PL
<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	1,6056	1,0308	PL
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	10,0542	6,4548	RN
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	9,2133	5,9149	RN
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton	8,3995	5,3925	RN
<i>Annona neoinsignis</i> H. Rainer	6,1784	3,9665	RN
<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S. Irwin & Barneby	5,0470	3,2402	RN
<i>Psidium guajava</i> L.	2,7805	1,7851	RN
<i>Cenostigma tocanthum</i> Ducke	2,7714	1,7792	RN
<i>Samanea tubulosa</i> (Benth.) Barneby & J.W. Grimes	2,5956	1,6664	RN
<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby	2,5238	1,6203	RN
<i>Diospyros obovata</i> Jacq.	1,5752	1,0113	RN

Das espécies com maior contribuição volumétrica e biomassa, a maioria é considerada do grupo ecológico das pioneiras ou secundária inicial, as quais são típicas de estágios iniciais de sucessão florestal. Essas espécies crescem rapidamente e, apresentam um ciclo de vida curto, mas com tempo suficiente para o estabelecimento de populações vindouras, denominadas espécies secundárias tardias (CHAZDON, 2012).

6.5. Custos associados às atividades de recomposição

As áreas adquiridas pela Vale no entorno da FLONA de Carajás, em virtude da paralisação da atividade pecuária anteriormente desenvolvida, foram definidas nos programas de recomposição florestal. Mudanças de espécies arbóreas nativas da Amazônia foram plantadas nesses locais, juntamente com o controle das espécies exóticas invasoras, em especial as espécies do gênero *Brachiaria*, considerada as mais agressivas ao processo de recuperação florestal.

A realização da recuperação através do plantio de mudas é um processo trabalhoso e de custo elevado, principalmente na etapa de implantação até os dois primeiros anos de manutenção, onde os indivíduos plantados necessitam de suporte externo para se estabelecerem.

Em relação às áreas de regeneração natural os custos apesar de significativamente inferiores, pois se atua principalmente na proteção ambiental da área considerando a construção/manutenção dos aceiros mecanizados, cercamento e monitoramento periódico, também tem representatividade e precisa ser considerado para promover a proteção ambiental da área em recomposição florestal.

As atividades de implantação para as áreas com plantio direto incluem a construção de aceiros, roçada, preparo de área para plantio, produção de mudas de nativas, plantio e capina química. O plantio foi realizado com espaçamento 3m x 2m, resultando em 1.666 plantas por hectare. As atividades de manutenção consideradas foram a capina química, a adubação e a manutenção dos aceiros, realizadas anualmente (Tabela 3).

Por último, observa-se que as áreas onde foram instaladas as parcelas nas propriedades adquiridas pela Vale, em virtude da paralisação das atividades de pecuária, já apresentaram um início de sucessão ecológica de vegetação secundária

inicial, o que demonstra a possibilidade de êxito de futuros programas com base nessas assertivas.

Tabela 3. Lista dos custos por atividade de dos métodos de **A)** Plantio de mudas e, **B)** Indução da regeneração natural em áreas de pasto abandonado localizadas no Complexo S11D, município de Canaã dos Carajas-PA, Amazônia Oriental.

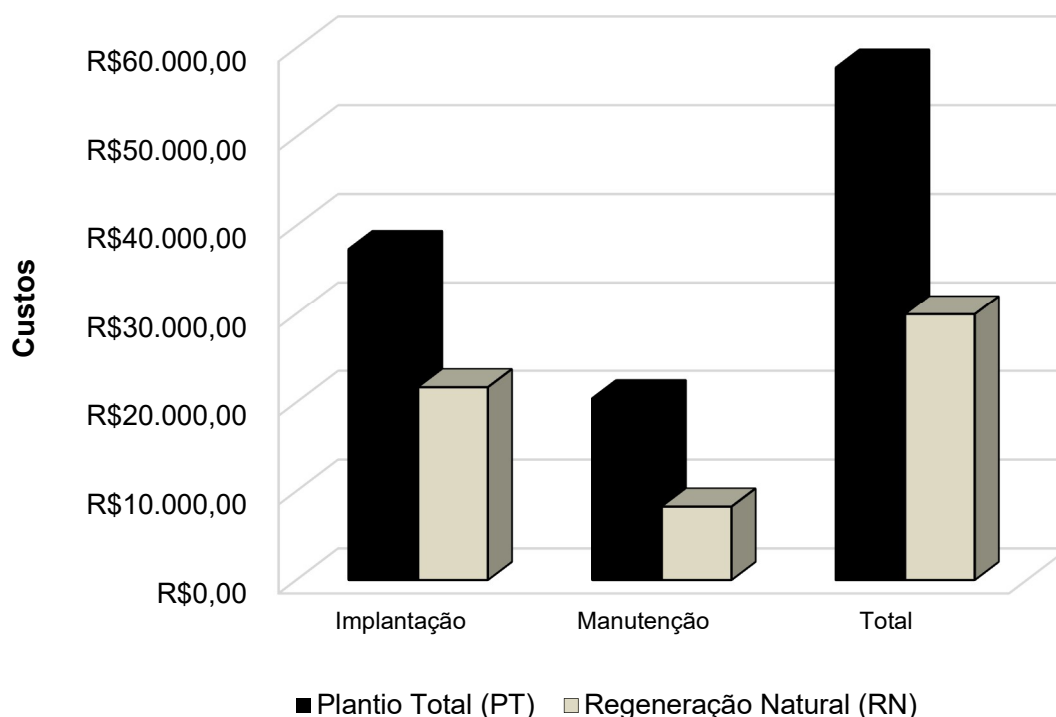
A) Custo do plantio mudas	Unidade	Valor (R\$)	Custo /ha
Implantação			
Implantação de Aceiro Mecanizado	Distância (km)	5.493,85	2.472,24
Roçada	Área (m²)	0,43	4.300,00
Preparo da área (Alinhamento, coroamento, coveamento)	Unidade	3,47	5.552,00
Produção de mudas de espécies florestais nativas	Unidade	5,56	9.262,96
Plantio	Unidade	0,68	1.132,88
Capina química	Área (ha)	6.100,00	6.100,00
Sub-total		11.603,99	28.820,08
Manutenção			
Manutenção da área	Área (ha)	1.138,14	2.276,28
Capina química	Área (ha)	6.100,00	6.100,00
Adubação de Cobertura	Unidade	1,38	2.208,00
Manutenção dos Aceiros	Distância (km)	5.493,85	2.472,24
Sub-total		12.733,37	13.056,52
Total		24.337,36	41.876,06
B) Custo da condução da regeneração natural	Unidade	Valor (R\$)	Custo /ha
Implantação			
Implantação de Aceiro Mecanizado	Distância (km)	5.493,85	2.472,24
Implantação de aceiro manual	Área (ha)	1.138,14	1.138,14
Instalação de cercas com insumos incluso	Distância (km)	33.616,65	13.446,66
Capina química	Área (ha)	6.100,00	6.100,00
Total		44.898,37	23.157,04

Os custos apresentados na Tabela 3 refletem o conjunto dos valores das atividades necessárias ao plantio direto, totalizando o desembolso de R\$ 41.876,06 por hectare plantado. Considerando a produção anual em aproximadamente 50 hectares nesta unidade operacional, obtêm-se um investimento direto de R\$ 2.093.803,00, sem incluir os custos indiretos, como direitos trabalhistas, alimentação, hospedagem, transporte entre outros. De todas as atividades, a produção de mudas florestais nativas é a atividade mais onerosa, pois a aquisição de sementes e mudas nativas em quantidade e qualidade é um problema atual para recomposição (SCHMIDT *et al.*, 2019). Em todo o norte do Brasil há uma carência de viveiros florestais legalizados que produzem mudas de espécies florestais nativas (SILVA *et al.*, 2017), o que se torna uma contradição em função da elevada diversidade de

espécies existente no bioma. Por esse motivo, algumas empresas passam a plantar espécies desconhecidas e até mesmo de outros biomas para atendimento das condicionantes legais e mesmo assim ocorre elevadas taxas de mortalidade para aquelas espécies que não se adaptam as condições edafoclimáticas (MARTINS *et al.*, 2020).

Nos cálculos de desembolso referente a proteção ambiental para as áreas de indução da regeneração foram considerados o custo de implantação de aceiros (manual e mecanizado com largura de 4,5 m), cercamento e capina química, representando um custo total de R\$ 23.157,04 por hectare. Em relação aos dois métodos utilizados para recomposição florestal, o plantio foi cerca de 50% mais caro do que a indução da regeneração natural (Figura 13).

Figura 13. Comparação dos custos entre os métodos de recomposição por plantio de mudas e indução da regeneração natural em áreas de pasto abandonado localizadas no Complexo S11D, município de Canaã-PA, Amazônia Oriental.



Neste sentido, o método de indução da regeneração natural tem se tornado mais interessante para essas condições de pastagem abandonada, com menores custos e indiferença estatística em relação as variáveis florísticas que foram avaliadas (densidade, volume, biomassa, diversidade e regeneração natural). A regeneração espontânea apresenta uma baixa relação de custo-eficiência, sobretudo para grandes áreas (PIAIA *et al.*, 2020) como é o caso do bioma Amazônia, no entanto, para ecossistemas onde a intensidade do impacto eliminou as fontes de propágulos do

solo, a recomposição ativa é necessária (HOLL; AIDE, 2011; TRUJILLO-MIRANDA *et al.*, 2018).

Cabe ressaltar que, a utilização da regeneração natural em um projeto de recomposição florestal é afetada por fatores relacionados à resiliência local ou da paisagem, determinando quais ações serão adotadas no sentido de induzir a regeneração natural de forma passiva ou conduzi-la visando aumentar os processos de regeneração com menores custos possíveis.

7. CONCLUSÃO

Áreas de pastagens abandonas localizadas no Complexo S11D no município de Canã dos Carajás-PA, com a recomposição espontânea da vegetação nativa mostrou-se indiferente para as variáveis de densidade de plantas, diversidade florística, regeneração natural, volume e biomassa em relação ao plantio de mudas. Além disso, recomenda-se o monitoramento contínuo, identificando as porções deficitárias em relação a densidade e diversidade de plantas para que posteriormente seja realizado o plantio de enriquecimento com a utilização de espécies adaptadas e atrativas a fauna silvestre. Para a continuidade da avaliação da trajetória de recomposição, sugere-se a inclusão de variáveis físico-químicas e biológicas do solo para correlação com o desempenho vegetal possibilitará maior entendimento da presença e frequência de algumas populações e servirá de alicerce para o plantio de determinadas espécies.

Considerando os custos de implantação praticados pela empresa Vale SA no estudo apresentado para realização do processo de recomposição florestal através da comparação entre as metodologias adotadas e com a semelhança nos indicadores ambientais avaliados é possível concluir que a prática da proteção ambiental das áreas e o isolamento para indução da regeneração natural quando possível de realização são a melhor opção pelo custo inferior ao plantio de mudas, tanto para recomposição das áreas de reserva legal ou de APP ou na redução dos fragmentos florestais, através da formação de corredores ecológicos para atendimento dos passivos florestais da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas no sudeste do Pará.

8. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

ATIVIDADES	2019			2020												2021							
	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	MAI	JUN	JUL	AGO	
Projeto de pesquisa Seminário I																							
Revisão da literatura e redação inicial dos capítulos.																							
Última campanha de monitoramento																							
Análise dos dados coletados																							
Redação da versão final da Metodologia																							
Redação dos Resultados e Discussão																							
Redação final da Introdução da Conclusão																							
Envio da versão final da dissertação para a avaliação do orientador																							
Incorporação das sugestões do(a) orientador(a) e submissão da versão final junto a secretaria do Mestrado Profissional do ITV																							
Entrega da versão final da dissertação para a banca avaliadora																							

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL; SILVA, A. et al. Anthropic activities and the Legal Amazon: Estimative of impacts on forest and regional climate for 2030. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100304, abr. 2020.

AMARAL, A. C. Z., MIGOTTO, A. E., TURRA, A.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Araçá: biodiversidade, impactos e ameaças. **Biota Neotropica**, v. 10, p. 219-264. 2010

ANDRADE, G. F. **Proposta Metodológica de Indicadores para Recuperação de Áreas Degradada**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola Politécnica e Escola de Química, Rio de Janeiro, 2014.

BAGNOULS, F.; GAUSSEN, F. Lês climats biologiques et leur classification. **Ann. Géogr. Paris**, v. 66, n. 335, p. 193-222. 1957.

BARROS, T. C. et al. Natural recovery of plant species diversity in secondary forests in Eastern Amazonia: contributions to passive forest restoration. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 43, n. 1, p. 165–175, 2020.

BARLOW, J., et al. 2016. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535. n. 7610, p. 144-147. 2016

BELLOTTO, A., VIANI, R.A.G., GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R.R. Inserção de outras formas de vida no processo de restauração. In: R.R. Rodrigues, P.H.S. Brancalion & I. Isernhagen (eds.). Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. Instituto BioAtlântica, São Paulo, pp. 55-61. 2009

BENINI R de M, ADEODATO S. O desafio econômico de recobrir o Brasil. In: Economia da Restauração Florestal. Benini, R de M & Adeodato, S, editors. **The Nature Conservancy**, São Paulo. 2017.

BOX, G. E. P., COX, D. R. An analysis of transformations, **Journal of the Royal Statistical Society**, Series B, 26, 211-252. <https://www.jstor.org/stable/2984418>. 1964

BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G; RODRIGUES, R. R. ; GANDOLFI, S. **Avaliação e Monitoramento de Áreas em Processo de Restauração**. In: MARTINS, S.V. (Org.). Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados. Viçosa: Editora UFV, 2012, cap. 9, p. 262-293.

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S., RODRIGUES, R. R. **Restauração Florestal**. Editoria Oficina de Textos. São Paulo. 2015.

BRASIL. PLANAVEG: **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa**. Brasília: MMA., p. 73p., 2017.

CABRAL, E. R.; ENRÍQUEZ, M. A.; SANTOS, D. V. **Canaã dos Carajás – do leite ao cobre: transformações estruturais do município após a implantação de uma grande mina**. In: FERNANDES, F. R. C.; ENRÍQUEZ, M. A.; ALAMINO, R. C. J. Recursos Minerais e Sustentabilidade Territorial. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. Volume I, 343p.

CAMPOS, L.F. **Plano de recuperação de áreas degradadas – Parque Municipal de Paragominas (PA)**. Instituto Ambiental Vale do Rio Doce, São Luís, Maranhão. 37p. 2006.

CATTANEO, A. Balancing Agricultural Development and Deforestation in the Brazilian Amazon. **Research Report** 129, International Food Policy Research Institute, 2002.

CHAZDON, R. L. **Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation**. 2014.

CHAZDON, R. Regeneração de florestas tropicais. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.**, n. 2013, p. 195–218, 2012.

DA CRUZ, D. C. et al. An overview of forest loss and restoration in the Brazilian Amazon. **New Forests**, n. 0123456789, 3 fev. 2020.

DE ARAÚJO, K. V., DE ANDRADE, A. M.; DOBBSS, L. B. Análise da fragilidade potencial e emergente do município de Canaã dos Carajás, sudeste do Estado do Pará. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 24, n. 28. 2020.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Deinindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: P.Y. Kageyama, R.E. Oliveira, L.F.D. Moraes, V.L. Engel, F.B.; Gandara (eds.). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. FEPAF, Botucatu, SP. 340 p. 2003

ESQUIVEL, M. J. et al. Effects of pasture management on the natural regeneration of neotropical trees. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 1, p. 371–380, 2008.

FARLEY, K.A.; JOBBÁGY, E.G.; JACKSON, R.B. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**. 11, p. 1565- 1576. 2005.

FEARNSIDE, P. M. **Avanca Brasil: environmental and social consequences of Brazil's planned infra-structure in Amazonia**. Environ Manage 30:0735–0747. 2002. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2788-2>.

FEARNSIDE, P. M. Limiting Factors for Development of Agriculture and Ranching in Brazilian Amazonia. **Revista Brasileira de Biologia**, v.57, p.531-549, 1997.

FERNANDES, F. R. C.; ALAMINO, R. de C. J.; ARAÚJO, E. (eds.). **Recursos minerais e comunidade: impactos humanos, socioambientais e econômicos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. 392p.

FERREIRA, R. A. et al. Semeadura direta com espécies arbóreas para recuperação de ecossistemas florestais. **Cerne**, v.13, n.3, p.21-279, 2000.

HOWELL, E. A.; HARRINGTON, J. A.; GLASS, S. B. **Introduction to Restoration Ecology**. Washington: Island Press, 418 p. 2012.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. **When and where to actively restore ecosystems?** Forest Ecology and Management, v. 261, n. 10, p. 1558–1563, 2011.

HURTIENNE, T. P. (2005). **Agricultura familiar e desenvolvimento rural sustentável na Amazônia**.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Paragominas, Pará**. Contagem da população 2007. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 20 julho. 2019. **Cidades: Canaã dos Carajás, Pará**. Informações estatísticas: síntese das informações: produto interno bruto dos municípios 2016. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 20 julho. 2019.

IBGE. **Documentação do Censo Demográfico de 2000**. 2000.

IBGE. **Documentação do Censo Demográfico de 2010**. 2010.

IBGE. **Microdados da Amostra do Censo Demográfico de 2000**. 2000.

IBGE. **Microdados da Amostra do Censo Demográfico de 2010**. 2010.

IBGE. **História e Fotos**. 2021. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/canaa-dos-carajas/historico>

INPE. **A estimativa da taxa de desmatamento por corte raso para a Amazônia Legal em 2019 é de 9.762Km²**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 11, 2020.

INSTITUTO BIOATLÂNTICA. Plano de manejo: APA da bacia do rio Macacu: proposta. In :**Projeto entre Serras e Águas**. Rio de Janeiro: 2009.

ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: ESALQ; Instituto BioAtlântica, 2009. cap. 1, p. 37-54.

JAFFÉ, R. et al. Forecasting deforestation in the Brazilian Amazon to prioritize conservation efforts. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 8, 084034. 2021.

JESUS, R.M.; ROLIM, S. G. Experiências Relevantes na Restauração da Mata Atlântica. In: Galvão, A.P.M.; Porfírio da Silva, W. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Embrapa, 2005, p.59-86., 19p.

JORDY FILHO, S.; TRIGUEIRO, R. M. **Projeto de recuperação de áreas degradadas (Projeto Serra Leste) – Província Mineral de Carajás**. Instituto Ambiental Vale do

Rio Doce. Serra dos Carajás, PA. 65p. 2006.

KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A.; CARPANEZZI, A. A. Implantação de matas ciliares: estratégias para auxiliar a sucessão secundária. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, Campinas, **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989.

LENNOX, G. D. et al. Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p. 5680–5694, 2018.

LEVENE, H., 1960. Robust tests for equality of variances, in: I. Olkin, S.G. Ghurye, W. Hoeffding, W.G. Madow, H.B.M. (Ed.). **Contributions to Probability and Statistics**. Stanford Univ. Press, Stanford.

MAGURRAN, E. A. **Measurement Biological Diversity**. Wiley-Blackwell. 266 p. 2003.

MALHI Y, GARDNER TA, GOLDSMITH GR, SILMAN MR, ZELAZOWSKI P. Tropical forests in the Anthro-pocene. **Annu Rev Env Resour**, v. 39, p.125–159. 2014. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-030713-155141>.

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. **On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other**. Annals of Mathematical Statistics, v. 18, p. 50-60. 1947. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>.

MARTINS, W.B.R.; SCHWARTZ, G.; RIBEIRO, S.S.; FERREIRA, G.C.; DE SOUZA BARBOSA, R.; DE PAULA, M.T.; BARBOSA, V.M., OLIVEIRA, F.A., 2021. **Ecosystem restoration after bauxite mining: favorable indicators for Technosols construction and soil management using liming and subsoiling**. New For. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09834-5>.

MARTINS WBR, LIMA MDR, BARROS Jr. UO, et al (2020) Ecological methods and indicators for recovering and monitoring ecosystems after mining: A global literature review. **Ecol Eng** v.145:105707. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105707>.

MARTINS, S. V. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados** – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. 2 ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil Editora, v. 1., 268 p. 2010

MELO, A. S. What do we win “confounding” species richness and evenness in a diversity index? **Biota Neotropica**, v. 8, n. 3, p. 21–27, 2008.

NBL – Engenharia Ambiental Ltda e The Nature Conservancy (TNC). **Manual de Restauração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará**. The Nature Conservancy, Belém, PA. 128 p. 2013.

NOGUEIRA, E. M. (2008). **Densidade de madeira e alometria de árvores em florestas do arco do desmatamento:** implicações para biomassa e emissão de carbono a partir de mudanças de uso da terra na Amazônia brasileira.

NUNES, S. et al. **Challenges and opportunities for large-scale reforestation in the Eastern Amazon using native species.** Forest Ecology and Management, v. 466, n. December 2019, p. 118120, jun. 2020.

NUNES, S., GATTI, G., DIEDERICHSEN, A., SILVA, D.; PINTO, A. (2017). **Oportunidades para restauração florestal no Estado do Pará.** Belém, PA: Imazon. 2017.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. **Inventário florestal.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997, 316 p.

PEREIRA, I. M.; ARAÚJO, E. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. **Composição florística fitossociológica de três áreas de Caatinga de Pernambuco.** Revista Brasileira de Biologia, Rio de Janeiro, v. 55, n. 4, p. 595-607, 1995.

PIAIA, C.P. **Avaliação da qualidade da estratégia de controle da invasão de Pinus ssp em áreas licenciadas (e suas áreas adjacentes) no Rio Grande do Sul.** 2020.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020.

RADAM. Projeto RADAM: Departamento Nacional da Produção Mineral. **Levantamento dos recursos naturais.** Vol. 5, Rio de Janeiro, 1974.

REIS, A. et al. Técnicas para a restauração através da nucleação. In: REIS, Ademir (org.). **Novos Aspectos na Restauração de Áreas degradadas. Apostila do Minicurso de Restauração Ambiental em Áreas Degradadas,** realizado em Florianópolis, nos dias 15 a 19 maio de 2006. PET Biologia: Universidade Federal de Santa Catarina. p. 40-54, p. 42. 2006.

REIS, E., MELO, P., ANDRADE, R.; CALAPEZ, T. **Estatística aplicada.** Lisboa: Edições Sílabo. 1999.

REYDON, B. P.; FERNANDES, V. B.; TELLES, T. S. **Land tenure in Brazil: The question of regulation and governance.** Land Use Policy, v. 42, p. 509–516, jan. 2015.

RIBEIRO, S. S. et al. **Forest restoration evaluation through indicators in areas of bauxite mining.** Floresta e Ambiente, v. 26, n. 3, p. 1–11, 2019.

RODRIGUES, R.R.; MARTINS, S.V., GANDOLFI, S. (Ed.). **High Diversity Forest Restoration in Degraded Areas: Methods and Projects in Brazil.** 1st. ed. New York, USA: Nova Science Publishers, INC. v. 1, 286 p. 2017.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. **On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the**

Brazilian Atlantic Forest. Biological Conservation, v.142, p.1242-1251, 2009.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares.** In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. Matas ciliares: conservação e recuperação. 3. ed. São Paulo: EDUSP: FAPESP, 2004. p. 235-247.

ROLIM, S.G.; JESUS, R.M. **Pesquisa ecológica em restauração para o Projeto Vale Florestar na Amazônia oriental.** Instituto Ambiental Vale do Rio Doce. Dom Eliseu, PA. 25p. 2007.

SALOMÃO, R. P.; JÚNIOR, S. B.; ROSA, N. A. **Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia.** Revista Árvore, v. 38, n. 1, p. 1-24, 2014.

SÁNCHEZ, F. **Políticas urbanas em renovação: uma leitura crítica dos modelos emergentes.** Revista brasileira de estudos urbanos e regionais, v. 1, p. 115-115. 1999.

SANTOS, M. B. **Enriquecimento de uma floresta em restauração através da transferência de plântulas da regeneração natural e da introdução de plântulas e mudas.** Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2011

SANTOS, D. M V. **Grande mineração e desenvolvimento de comunidades: uma leitura a partir de Canaã dos Carajás, Pará.** Dissertação de mestrado, Belém, UNAMA, 2011 (a)

SER - SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL E POLICY WORKING GROUP. **The SER International Primer on Ecological Restoration.** www.ser.org e Tucson: Society for Ecological Restoration International. 2004.

SCHMIDT, I. B. et al. **Community-based native seed production for restoration in Brazil – the role of science and policy.** Plant Biology, v. 21, n. 3, p. 389–397, 2019.

SHAPIRO, S.S., WILK, M.B., 1965. **An analysis of variance test for normality** (complete samples). **Biometrika** v. 52, p. 591–611. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>.

SILVA, A. P. M. et al. **Can current native tree seedling production and infrastructure meet an increasing forest restoration demand in Brazil?** Restoration Ecology, v. 25, n. 4, p. 509–515, 2017.

SOLAR, R. R. DE C. et al. **Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities.** Biological Conservation, v. 197, p. 98–107, maio 2016.

SONG XP, HANSEN MC, STEHMAN SV, POTAPOV PV, TYUKAVINA A, VERMOTE EF, TOWNSHEND JR (2018) **Global land change from 1982 to 2016.** Nature 560:639–643. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018->

STABILE, M. C. C. et al. **Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation.** Land Use Policy, v. 91, n. May, p. 104362, fev. 2020.

STASIAK, D., LUCCA, L. M. S., GLOWACKI, L. A., DE MATTOS, N. C. M., MARQUETTO, R. M. F., & DE OLIVEIRA, J. H. R. (2005). **Custo da recomposição florestal através da responsabilidade ambiental: estudo de caso do município de Santa Maria-RS.** In Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC.

STUDENT, 1908. **The probable error of a mean.** Biometrika 6, 1.
<https://doi.org/10.2307/2331554>.

TAVARES, SR de L. & BALIEIRO, F. de C.. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação.** Embrapa Solos. Série documento. 2008.

TRUJILLO-MIRANDA, A. L. et al. **Active versus passive restoration: Recovery of cloud forest structure, diversity and soil condition in abandoned pastures.** Ecological Engineering, v. 117, n. January, p. 50–61, 2018.

TUKEY, J. W. **The problem of multiple comparisons.** Unpublished manuscript, Princeton University. 1953.

VALERI, S. V. E.; SENÔ, K. C. A. **Manejo e recuperação Florestal.** Legislação, uso da água e sistema agroflorestais. 2. ed. Jaboticabal: Funep, v. 180 p. 2004.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, L. R.; LIMA, J. C. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal.** IBGE, Rio de Janeiro. 1991.

VIEIRA, G. **Dynamics of the remaining plant population in gaps after logging in the amazon.** Conf. on the forestry and forest products researche, 54-67. 1995

WALLERTZ K, BJÖRKLUND N, HJELM K, PETERSSON M, SUNDBLAD LG **Comparison of different site prepara-tion techniques: quality of planting spots, seedling growth and pine weevil damage.** New For, v. 49, p. 705–722. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9634-8>

WINEMILLER K.O. et al. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. Science, v. 35, p. 128–129. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aac7082>.

WWF - **Restauração Ecológica no Brasil: Desafios e Oportunidades.** Relatório BR. 2017. Disponível em:
https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/restauracao_ecologica_1.pdf