



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

SABRINA SANTOS RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL POR MEIO DE INDICADORES
DE MONITORAMENTO EM ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE
BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.**

BELÉM
2016



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

SABRINA SANTOS RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL POR MEIO DE INDICADORES
DE MONITORAMENTO EM ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE
BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais (MsC).

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Oliveira.

BELÉM
2016



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

SABRINA SANTOS RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL POR MEIO DE INDICADORES
DE MONITORAMENTO EM ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE
BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, nível de Mestrado, área de concentração Manejo de Ecossistemas de Florestas Nativas, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 09 de agosto de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco de Assis Oliveira – Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof^ª. Dr^ª. Roberta de Fátima Rodrigues Coelho – 1^º Examinadora
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Castanhal - PA

Prof. Dr. Paulo Luiz Contente de Barros – 2^a Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. Dra. Selma Toyoko Ohashi – 3^º Examinadora
Universidade Federal Rural da Amazônia

Esta dissertação é dedicada aos meus pais Iaci e Diam por terem sido essenciais em minha vida, incentivadores fundamentais em minhas escolhas, meu amparo em todos os momentos.

Muito obrigada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, antes de tudo: Pela vida, por me proporcionar a fé e com ela a possibilidade de acreditar em novas oportunidades. Pela força e determinação alcançada a cada dia. Pela minha saúde. Por me fazer aceitar e entender que tudo é no Seu tempo e que sabendo esperar, tudo chega perfeitamente de acordo com nossas reais necessidades. Agradeço a Deus, antes de tudo, pois sem Ele, não seria possível fazer os demais agradecimentos.

Aos que amamos, família: Pela lealdade nos momentos em que a persistência se tornara o maior desafio. Por acreditarem que todo meu esforço, teria um retorno incomparável e um evidente progresso em minha vida. Pela dedicação e amor incondicional de minha mãe Iaci, que esteve segurando minhas mãos em todos os momentos, pela serenidade e confiança do meu pai Diam, pelo amor e amizade do meu esposo Mauro e minha irmã Daniela por sempre estar ao meu lado. Aos meus filhos de coração, Beatriz e João Pedro que amo infinitamente, Maurício e Letícia que, mesmo sem ainda saberem, foram o real motivo de todo o esforço. A Neila, por compartilhar dessa caminhada comigo, me incentivando e cuidando dos meus filhos para que eu pudesse dar continuidade e aprimoramento aos estudos.

Aos mestres: Que com sua sabedoria, amizade e parceria, me incentivaram, fomentando com qualidade meus conhecimentos, possibilitando a realização deste projeto. Em especial, ao orientador Francisco de Assis, pela orientação e confiança, minha amiga e orientadora Gracialda Ferreira incentivadora inicial, que me inscreveu no processo seletivo, me deu a notícia da aprovação e está ao meu lado sempre, me encorajando à efetivação desse sonho. À Mineração Paragominas, por permitir a utilização dos dados para a elaboração desta dissertação.

Aos amigos: Daniel Estumano que, se não fosse pelo esforço e dedicação em me ajudar e orientar, não conseguiria ter finalizado esse mestrado. Denis Conrado pela parceria e auxílio na reta final da dissertação. Aos colegas da UFRA e do projeto Biodiversidade pela coleta de dados e enriquecimento de informações (em especial, Rodrigo Barbosa, Raimundo Goulart e José Marques). À empresa Eco Florestal e seus profissionais, pela parceria em campo e processamento dos dados (em especial, Alexandre Mesquita e Fábio Marques). Anna Karyne e Walmer, por acreditarem no meu potencial e estenderem suas mãos, compartilhando seus conhecimentos, para que meu sonho pudesse se concretizar.

Agradeço a todos, não somente por terem entrado na minha vida e sim, por permanecerem nela com lealdade e confiança, nos momentos em que mais precisei.

“A verdadeira teoria do conhecimento não está em minhas conquistas grandiosas, e sim no que faço e no que me define”.

Beatriz Ribeiro Guerra

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ONDE FOI REALIZADO O ESTUDO, PROPRIEDADE DA EMPRESA MINERAÇÃO PARAGOMINAS S.A., PARAGOMINAS, PARÁ.	26
FIGURA 2: ÁREA DE DESMATAMENTO NA PROPRIEDADE DA MINERAÇÃO PARAGOMINAS S.A. ATÉ O ANO DE 2003.	27
FIGURA 3: ÁREA DE DESMATAMENTO NA PROPRIEDADE DA MINERAÇÃO PARAGOMINAS S.A. ATÉ O ANO DE 2003.	28
FIGURA 4 - CROQUI DAS PARCELAS PERMANENTES INSTALADAS PARA A COLETA DE DADOS NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DO PRAD DA MINERAÇÃO PARAGOMINAS S.A., PARAGOMINAS, PARÁ. A- PARCELAS NAS ÁREAS DE PLANTIO; B- PARCELAS NAS ÁREAS DE REGENERAÇÃO NATURAL.....	30
FIGURA 5: VALOR DE IMPORTÂNCIA DAS FAMÍLIAS BOTÂNICAS NAS UNIDADES AMOSTRAIS INSTALADAS PARA O MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA, EM MAIO DE 2015.	41
FIGURA 6: VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O ÍNDICE DE SHANNON ENTRE AS TÉCNICAS DE PLANTIO DE MUDAS E REGENERAÇÃO NATURAL, , UTILIZANDO-SE DADOS DE MONITORAMENTO DE MAIO DE 2015 E CONSIDERANDO TODOS OS INDIVÍDUOS PRESENTES NAS UNIDADES DE AMOSTRA NAS ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL DA MINERAÇÃO BAUXITA PARAGOMINAS, PARAGOMINAS-PA.....	44
FIGURA 7: DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DO NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR HECTARE NAS TÉCNICAS PLANTIO DE MUDAS E REGENERAÇÃO NATURAL, UTILIZANDO DADOS DE MONITORAMENTO DE MAIO DE 2015 E, CONSIDERANDO OS INDIVÍDUOS COM ALTURA TOTAL MAIOR OU IGUAL A 50CM NAS ÁREAS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.	46
FIGURA 8: COMPARAÇÃO DA MÉDIA PARA A ÁREA BASAL POR HECTARE NAS TÉCNICAS DE PLANTIO DE MUDAS E REGENERAÇÃO NATURAL, UTILIZANDO-SE DADOS DE MONITORAMENTO DE MAIO DE 2015 E, CONSIDERANDO TODOS OS INDIVÍDUOS COM DIÂMETRO MAIOR OU IGUAL A 5CM NAS ÁREAS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.....	47
FIGURA 9: VALORES DE ALTURA MÉDIA NAS TÉCNICAS DE PLANTIO DE MUDAS E REGENERAÇÃO NATURAL, UTILIZANDO-SE DADOS DE MONITORAMENTO DE MAIO DE 2015 E CONSIDERANDO TODOS OS INDIVÍDUOS COM DIÂMETRO MAIOR OU IGUAL A 5CM NAS ÁREAS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.	48
FIGURA 10: VALORES MÉDIOS PARA O GRAU DE COBERTURA NAS TÉCNICAS DE PLANTIO DE MUDAS E REGENERAÇÃO NATURAL, UTILIZANDO-SE DADOS DE MONITORAMENTO DE MAIO DE 2015 E CONSIDERANDO TODOS OS INDIVÍDUOS COM DIÂMETRO MAIOR OU IGUAL A 5CM NAS ÁREAS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.	48
FIGURA 11: VALORES MÉDIOS DA QUANTIDADE DE SERRAPILHEIRA CONTIDA NO SOLO DURANTE O MONITORAMENTO DE MAIO DE 2015 NAS TÉCNICAS DE PLANTIO DE MUDAS E REGENERAÇÃO NATURAL, COMPARADAS COM A QUANTIDADE ENCONTRADA EM UMA FLORESTA NATIVA DO ENTORNO NAS ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.....	51
FIGURA 12: PRESENÇA DE EROÇÃO EVIDENCIADA NA UNIDADE DE AMOSTRA 01 NO PLANTIO DE MUDAS DURANTE O MONITORAMENTO REALIZADO EM MAIO DE 2015 NAS ÁREAS EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.....	52

FIGURA 13: PERCENTUAL DE OCORRÊNCIA NAS UNIDADES DE AMOSTRAS PARA O INDICADOR PRESENÇA DE EROÇÃO NO SOLO E INDIVÍDUOS DA REGENERAÇÃO NATURAL NAS ÁREAS DE PLANTIO DE MUDAS E REGENERAÇÃO NATURAL DURANTE O MONITORAMENTO REALIZADO EM MAIO DE 2015 NAS ÁREAS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.	53
FIGURA 14: TAXA DE MORTALIDADE REGISTRADA NAS TÉCNICAS DE PLANTIO DE MUDAS E REGENERAÇÃO NATURAL, CONSIDERANDO TODOS OS INDIVÍDUOS COM DIÂMETRO MAIOR OU IGUAL A 5CM NAS ÁREAS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.	54
FIGURA 15: VALORES DE INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL (2013-2015) EM DIÂMETRO NAS TÉCNICAS PLANTIO DE MUDAS E REGENERAÇÃO NATURAL, CONSIDERANDO OS INDIVÍDUOS COM CINCO MEDIÇÕES DE DIÂMETRO EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.....	60
FIGURA 16: NÚMERO DE ESPÉCIES NATIVAS E EXÓTICAS ENCONTRADAS NO PLANTIO DE MUDAS E REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREAS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.....	64
FIGURA 17: VESTÍGIOS DE RETORNO DA FAUNA SILVESTRE NAS ÁREAS DE PLANTIO DE MUDAS. A – FEZES DE <i>MAZAMA AMERICANA</i> ; B – FEZES DE <i>TAPIRUS TERRESTRIS LINNAEUS</i>	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: RELAÇÃO DAS PARCELAS IMPLANTADAS NAS ÁREAS QUE COMPÕEM O PRAD DA MINERAÇÃO PARAGOMINAS S.A., INCLUINDO O ANO DE IMPLANTAÇÃO, A METODOLOGIA DE RECUPERAÇÃO, NÚMERO E COORDENADA UTM ¹ DE LOCALIZAÇÃO DE CADA UNIDADE AMOSTRAL.	30
TABELA 2: CRITÉRIOS E INDICADORES UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL NAS TÉCNICAS DE PLANTIO DE MUDAS E CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREAS PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA, ADAPTADO DE BRANCALION ET AL (2015) E RODRIGUES ET AL (2009).....	31
TABELA 3: CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DO GRAU DE IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES AVALIADOS.	37
TABELA 4: PONTUAÇÕES POSSÍVEIS DE CADA PARÂMETRO AVALIADO, COM BASE EM CRITÉRIOS RECOMENDADOS PARA ÁREAS RESTAURADAS COM PLANTIO DE MUDAS E CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL.....	38
TABELA 5: COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA EM MAIO DE 2015 NAS UNIDADES AMOSTRAIS INSTALADAS PARA O MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.	39
TABELA 6: ANÁLISE FITOSSOCIOLÓGICA DAS ESPÉCIES PRESENTES NA ÁREA DE PLANTIO DE MUDAS EM ORDEM DECRESCENTE PARA O ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTÂNCIA (IVI%) E DEMAIS PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS: DR% = DENSIDADE RELATIVA; FR%= FREQUÊNCIA RELATIVA; DoR%= DOMINÂNCIA RELATIVA, COM MEDIÇÃO EM MAIO DE 2015 NA MINERAÇÃO PARAGOMINAS, PARAGOMINAS-PA.....	42
TABELA 7: ANÁLISE FITOSSOCIOLÓGICA DAS ESPÉCIES PRESENTES NA ÁREA DE CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL EM ORDEM DECRESCENTE PARA O ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTÂNCIA (IVI%) E DEMAIS PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS: DR% = DENSIDADE RELATIVA; FR%= FREQUÊNCIA RELATIVA; DoR%= DOMINÂNCIA RELATIVA, COM MEDIÇÃO EM MAIO DE 2015 NA MINERAÇÃO PARAGOMINAS, PARAGOMINAS-PA.	43

TABELA 8: ESPÉCIES COM MAIORES VALORES DE TAXA DE MORTALIDADE EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA PELA TÉCNICA DE PLANTIO DE MUDAS EM PARAGOMINAS-PA.	54
TABELA 9: ESPÉCIES COM MAIORES VALORES DE TAXA DE MORTALIDADE EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA PELA TÉCNICA DE CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL EM PARAGOMINAS-PA.	58
TABELA 10: MÉDIA DE CRESCIMENTO ANUAL EM DIÂMETRO POR ESPÉCIE EM UMA ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA PELA TÉCNICA DE PLANTIO DE MUDAS EM PARAGOMINAS-PA.	61
TABELA 11: MÉDIA DE CRESCIMENTO ANUAL EM DIÂMETRO POR ESPÉCIE EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA PELA TÉCNICA DE CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL EM PARAGOMINAS-PA.	63
TABELA 12: LISTA DE ESPÉCIES AMEAÇADAS DE EXTINÇÃO NO PLANTIO DE MUDAS NAS ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL DA MINERAÇÃO PARAGOMINAS, PARAGOMINAS - PA.	65
TABELA 13: : LISTA DE ESPÉCIES AMEAÇADAS DE EXTINÇÃO NA REGENERAÇÃO NATURAL NAS ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL DA MINERAÇÃO PARAGOMINAS, PARAGOMINAS - PA.	66
TABELA 14: AVALIAÇÃO GLOBAL DOS INDICADORES ANALISADOS PARA AS TÉCNICA DE PLANTIO DE MUDAS E INDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL PÓS LAVRA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.	68

RESUMO

O estado do Pará ocupa a segunda posição no ranque nacional de produção mineral, sendo esse setor um dos mais significantes na economia do Estado. Dentre os diversos minérios explorados, a bauxita contribui com 84% da extração nacional utilizada na produção do alumínio. O processo de extração demanda a abertura de vasta área florestal, gerando impactos negativos para o meio ambiente e, por esse motivo há necessidade de aprimoramento de técnicas e metodologias eficientes para a recuperação dos ambientes degradados, levando em consideração os diferentes ecossistemas. É imprescindível a determinação de objetivos e metas com a utilização de indicadores como ferramenta de avaliação, a fim de identificar se a trajetória atual está levando a uma condução de ecossistema restaurado. Nesse sentido, o presente estudo tem por objetivo avaliar a eficiência das técnicas de restauração florestal (plantio de mudas e condução da regeneração natural) por meio de indicadores de monitoramento quali-quantitativos ambientais, em área pós mineração de bauxita em Paragominas, com a escolha de 13 indicadores com critérios pré estabelecidos: grau de cobertura / sombreamento, presença de regeneração natural, presença de erosão, serrapilheira; densidade de plantas, diversidade, altura média, área basal, mortalidade, incremento em diâmetro, presença de espécies exóticas não invasoras, presença de espécies ameaçadas de extinção e presença de vestígios de retorno da fauna. Para a análise dos dados foram implantadas parcelas permanentes nas áreas de plantio de mudas e condução da regeneração natural para coleta de dados quali-quantitativos e posterior análise estatística. O estudo identificou que ambas as técnicas são eficientes na recuperação das áreas pós lavra de bauxita, sendo que a regeneração natural apresentou maior nota na avaliação global, devendo ser incentivada, entretanto não deve ser a única a ser utilizada em processos de restauração do ecossistema, pois em alguns indicadores o plantio de mudas mostrou-se mais eficiente.

Palavra-chave: Regeneração natural, Plantio de mudas, Sucessão florestal, Lavra e *Top soil*.

ABSTRACT

The state of Pará holds the second position in the ranking mineral production, and this sector one of the most significant in the state's economy. Among the various exploited ores, bauxite contributes with 84% of national extraction used in the production of aluminum. The extraction process requires the opening of vast forest area, generating negative impacts for the environment and, for this reason is need to improve techniques and methodologies for efficient recovery of degraded environments, taking into account the different ecosystems. It is essential to determine of objectives and targets with the use of indicators as an evaluation tool in order to identify if the current trajectory is leading to an ecosystem driving restored. In this sense, the present study aimed to evaluate the efficiency of forest restoration techniques (planting seedlings and conduction of natural regeneration) is more effective in the recovery process in post-mining areas of bauxite in Paragominas - PA, through environmental quantitative and qualitative monitoring indicators in post bauxite mining area in Paragominas, with choosing of 13 indicators with pre-established criteria: degree of coverage / shading, presence of natural regeneration, presence of erosion, litter; plant density, diversity, average height, basal area, mortality, increase in diameter, presence of exotic species non-invasive, presence of endangered species and presence of fauna return remains. For the analysis of data were implemented permanent plots in the areas of planting seedlings and conduction of natural regeneration to collect quantitative and qualitativa data for the further statistical analysis. The study found that both techniques are efficient in the recovery of post bauxite mining areas, whereas natural regeneration showed the highest score in the overall assessment, should be encouraged, however it should not be the one to be used in the ecosystem restoration processes, because in some indicators planting of seedlings was more efficient.

Keyword: : Natural regeneration, Planting seedling, Forest sucesion, Minig e *Top soil*.

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.1	REVISÃO DE LITERATURA	16
2	AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL POR MEIO DE INDICADORES DE MONITORAMENTO EM ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.....	24
2.1	INTRODUÇÃO	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
3.2	UNIDADES DE AMOSTRA	28
3.3	ESCOLHA DE INDICADORES DE AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO.....	31
3.4	COLETA DE INFORMAÇÕES	32
3.5	PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO	34
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	36
3.7	CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DOS INDICADORES.	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1	FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLOGIA	39
4.2	RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO	44
4.3	MANUTENÇÃO DA ÁREA EM RECUPERAÇÃO	53
4.4	AVALIAÇÃO GLOBAL DAS DUAS TÉCNICAS A PARTIR DOS INDICADORES	68
5	CONCLUSÃO.....	69
6	BIBLIOGRAFIA	71

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Atualmente a mineração é um dos principais fornecedores de matéria-prima para o processo industrial, estando presentes no cotidiano em diversos aspectos, desde um complexo instrumento científico até cabos transmissores de energia elétrica, automóveis, geladeira, telefones celulares, tablets, computadores, monitores, tudo tem origem no minério que a natureza coloca à disposição do homem (IBRAM, 2015a).

O setor de mineração representa um dos pilares da economia brasileira, na última década foi responsável por gerar uma receita de 232 bilhões de dólares ao conjunto de reservas cambiais do Brasil e, no ano de 2015 o valor da produção mineral foi de US\$ 26 bilhões, e a previsão para 2016 é que alcance US\$ 30 bilhões, gerando, segundo informações do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), 214.070 empregos diretos (IBRAM, 2015a).

O estado do Pará ocupa a segunda posição no ranque nacional de produção mineral com 22%, perdendo apenas para o estado de Minas Gerais com 70% da produção (IBRAM, 2015b). No ano de 2012, a mineração contribuiu com aproximadamente 22,1% do PIB do estado do Pará (SEDEME, 2012).

No Pará, a produção mineral está dividida principalmente entre oito substâncias: minério de ferro, minério de cobre, bauxita, minério de manganês, ouro, caulim, calcário e água mineral (FIPE, 2009).

No caso da bauxita, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial, sendo que o estado do Pará contribui com 84% da extração nacional, representando um papel importante na agregação de valor nas etapas seguintes da cadeia do alumínio (ABAL, 2014) com três empreendimentos em operação, sendo a Mineração Bauxita Paragominas com reservas estimadas em 2 bilhões de toneladas, a Mineração Rio do Norte com reservas estimadas em 200 milhões de toneladas e a Alcoa Juruti com 780 milhões de toneladas estimadas (FIPE, 2009; ALCOA, 2016).

Embora a mineração seja de grande relevância na economia brasileira e paraense, sendo base de vários produtos utilizados no dia a dia da população, sua extração tem impactos negativos ao meio ambiente, necessitando de ações mitigadoras para minimizar os efeitos da atividade. Os efeitos negativos sobre o meio ambiente dependem da constituição da jazida mineral e, principalmente, do planejamento e execução da atividade de lavra (MMA, 2001).

O método de lavra é designado como a técnica de extração do mineral, dividida em superficial ou a céu aberto e lavra subterrânea, sendo que o tipo e a espessura do capeamento sobre o minério influenciam na decisão de que técnica utilizar (MACEDO et al., 2001). No

caso da bauxita, a extração ocorre pela técnica a céu aberto com extração em faixas, com a escavação de grandes volumes de solo e geração de toneladas de resíduos, com significativo impacto visual, alterações na topografia, deposição de resíduos ou rejeitos decorrente do processo de beneficiamento, deposição do material estéril ou inerte não aproveitável, proveniente do decapeamento superficial e a poluição visual ou estética do local (GUIMARÃES, 2012).

Neste cenário, para que seja viabilizada a exploração mineral, a Constituição Federal Brasileira estabelece que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei” (BRASIL, 1988). Todo o empreendimento de mineração tem a obrigatoriedade de elaborar planos de recuperação de forma criteriosa, com utilização de mão de obra qualificada tecnicamente, com conteúdo em atendimento às premissas do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e concatenado com os demais planos do Programa de Controle Ambiental (PCA), que são partes do processo de licenciamento do empreendimento. Além disso, a recuperação deve ser baseada em estudos específicos a cada situação de sítio (MMA, 2001).

Para o caso específico das áreas mineradas por bauxita, a recuperação envolve diversas atividades que são facilitadores do processo de recuperação e cabe ressaltar que, na mineração de bauxita o material de capeamento removido para dar acesso ao minério é reposicionado logo em seguida no trecho que fora previamente minerado (extração em faixas), tornando mais rápido o processo de recuperação ambiental, sem geração de rejeitos contaminados por produtos químicos (BRANDT, 2003).

Para avaliar a eficácia da metodologia utilizada na recuperação dessas áreas é necessária uma avaliação contínua do desenvolvimento e dinâmica dos povoamentos vegetais, 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). Estas avaliações devem ser realizadas periodicamente por meio de monitoramentos amostrais na área alvo, em tamanho suficiente para caracterizar mudanças ocorridas na população vegetal através do tempo.

No processo de recuperação 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).

Algumas técnicas utilizadas para viabilizar a reintrodução do componente vegetal em paisagens degradadas, vêm sendo avaliadas sob dois aspectos: uma cujo objetivo é o retorno do ambiente degradado à condição original e outra é o retorno da área a uma condição similar. Para isto a silvicultura procura ao máximo restaurar ou recuperar a vegetação, levando em consideração à proteção dos corpos d'água, o retorno da fauna, a proteção do solo, dentre os aspectos mais importantes (MARTINS et al., 2007).

Atualmente, os empreendimentos de mineração buscam diversificar as metodologias aplicadas na revegetação com o objetivo de escolher a técnica que apresente melhor retorno em termos de quantidade de área recuperada por ano, processos mais rápidos, aliado a menores custos de implantação e operacionalização. Desta maneira, são instalados projetos de diferentes métodos a fim de se determinar, ao longo do tempo, qual técnica é a mais viável para realidade local.

Para o caso das áreas mineradas pela lavra de bauxita, a recuperação inicia-se com a recomposição topográfica do terreno concomitante ao controle da erosão, deposição do solo vegetal (serrapilheira) e revegetação. Na região amazônica, a recuperação utiliza a técnica de plantio de mudas em maior escala, como técnica de revegetação, tendo como técnica alternativa, a condução da regeneração natural.

Todavia, 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 restauração dos processos ecológicos do ecossistema degradado.

Contudo, 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 que na restauração florestal através do plantio de mudas existe 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).

Neste contexto, de avaliação e monitoramento, utilizando indicadores é possível determinar qual técnica é mais eficaz, em termos ecológicos, na restauração florestal de um ecossistema degradado pós-lavra de bauxita na região amazônica?

A premissa é que a utilização de indicadores sejam capazes 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).

Diante do exposto, o presente trabalho busca propor a utilização de indicadores de monitoramento que possibilitem avaliar qual a técnica (plantio de mudas ou condução da regeneração natural) é mais eficiente no processo de recuperação em áreas pós-mineração de bauxita em Paragominas – PA.

1.1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1.1 Restauração Florestal em Áreas Degradadas por mineração

Segundo definição da Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group – SER (2004), a restauração ecológica é o processo de recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído.

Para Martins (2010), o entendimento do conceito de restauração adota dois sentidos: um restrito e outro amplo. No sentido restrito, a restauração é condicionada a retomar completamente a condição ambiental original (vegetação, fauna, solo, hidrologia, etc), tarefa difícil de ser realizado na prática. No sentido amplo, em virtude da impossibilidade de retorno da área ao estado original, a restauração 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 restauração ecológica.

É recomendada nos casos em que a floresta degradada tenha perdido o poder de resiliência, necessitando da intervenção humana para promover a restauração dos processos ecológicos do ambiente, a biodiversidade a estabilidade e, neste sentido, o plano de restabelecimento deve ter como referência o ecossistema original ou semelhante ao que foi degradado (SILVA, 2013).

No processo de restauração florestal em áreas degradadas pela atividade de mineração, existem diversos modelos e técnicas a serem adotadas, porém, na maioria dos casos adotam-se a técnica de plantio de mudas, como prioridade para o restabelecimento dos processos ecológicos do ambiente florestal pós-supressão da vegetação (SILVA, 2013). Todavia, existe a necessidade de se explorar o potencial de resiliência das áreas que sofreram degradação, utilizando-se da regeneração do banco de sementes do solo, resgate de plântulas e a dispersão de propágulos dos remanescentes florestais do entorno, visando à indução e a condução da regeneração natural para a restauração florestal na área.

1.1.2 Estratégias de restauração em áreas com lavra de bauxita em Paragominas

A deposição de bauxita em Paragominas requer como método mais indicado a lavra a céu aberto em tiras (*strip mining*), em virtude da bauxita ocorrer, em média a 11 metros de profundidade no subsolo. Neste método de lavra a extração ocorre com a remoção do material de cobertura (*topsoil* e estéril) do alvo depositado nas faixas que já foram mineradas, que em seguida inicia o processo de restauração (BRANDT, 2003).

As operações de lavra em Paragominas estão resumidas nas seguintes etapas: desmatamento e limpeza das áreas a serem lavradas; remoção e estocagem do solo orgânico (*topsoil*); decapeamento da camada de bauxita; raspagem, carregamento e transporte da laterita; escarificação da camada de bauxita; escavação e carregamento da bauxita; transporte de bauxita e preparo para restauração da área minerada (BRANDT, 2003).

O processo de recuperação de áreas impactadas pela extração de bauxita tem como etapa fundamental a remoção do *topsoil*, e seu armazenamento em leiras no entorno da faixa minerada, para que posteriormente sejam colocadas na ordem original, diminuindo os impactos na estrutura do solo (GUIMARÃES, 2015).

Santos (2010) ressaltou que a capacidade de germinação do banco de sementes presente no *topsoil* diminui com o tempo de armazenamento, desta maneira, é importante diminuir o tempo de estocagem para manutenção da eficiência das sementes durante a indução da regeneração natural.

Outro aspecto relevante da recuperação pós lavra de bauxita, é a subsolagem realizada após o espalhamento do *topsoil*. Esta etapa é importante, pois diminui o nível de compactação do solo que poderá afetar a sobrevivência e o crescimento dos vegetais durante o processo de revegetação (GUIMARÃES, 2015). Em solos compactados ocorre a redução da porosidade, acarretando a diminuição do processo de infiltração e percolação, elevando a probabilidade de escoamento superficial (BYRD et al., 2003).

Tendo em vista o aumento do escoamento superficial, faz-se necessário a instalação de um sistema de drenagem para conter os processos erosivos (BARROS et al., 2012). Normalmente, os sistemas de drenagens são confeccionados após a abertura de acessos na forma de sulcos no terreno, direcionados até filtros de sedimentos (gabiões¹), que por sua vez,

¹ Filtro gabião – são estruturas que possuem função de filtro para atuar como fator de segurança adicional no controle do escoamento superficial de sedimentos.

conduzem o escoamento superficial gerado nas partes mais elevadas do terreno até as drenagens naturais em regiões de elevação mais baixa (igarapés).

1.1.3 Indução e Condução da Regeneração Natural

Florestas secundárias são definidas por Chokkalingam & De Jong (2001) como sendo aquelas que regeneram a partir de processos naturais, em áreas onde as florestas primárias sofreram impactos humanos ou foram removidas por distúrbios naturais.

O processo de recuperação natural do ambiente é denominado de sucessão ecológica, que pode ser classificada em primária ou secundária dependendo da intensidade do distúrbio ou degradação sofrida (MARTINS, 2010). A sucessão primária ocorre em áreas onde nunca houve vegetação, como por exemplo roxa, exposição recente de área e etc e, enquanto que a sucessão secundária ocorre quando a área possuía vegetação preexistente que foi eliminada ou perturbada pela ação do desmatamento, agricultura e etc. (ODUM, 1988).

A sucessão secundária se encarrega de promover a colonização de uma área que sofreu distúrbio, no sentido de conduzir a vegetação através de uma série de estágios sucessionais, caracterizados por grupos sucessivos de plantas que se substituem na área ao longo do tempo, até alcançar uma comunidade estruturada e ecologicamente estável (MARTINS, 2010).

Neste sentido, a velocidade com que a floresta irá se recompor é inversamente proporcional ao tamanho e intensidade do dano a ela associado e diretamente relacionada ao seu potencial de regeneração (TAVARES & BALIEIRO, 2008). Esse potencial irá depender da oferta de sementes no banco presente no solo, da capacidade de germinação e brotação de sementes e plântulas e dos propágulos disseminados pela dispersão proveniente das áreas do entorno (KAGEYAMA et al., 1989).

Para Salomão et al. (2012), na região amazônica, os estágios sucessionais podem ser classificados de acordo com as características estruturais, florísticas e propriedades ecossistêmicas da floresta em transição, sendo resumidos em três fases: inicial, intermediário e avançado, sendo:

- Fase inicial: denominada de capoeirinha, sendo resultado da regeneração natural após o abandono de áreas de agricultura e pecuária, onde este estágio pode ocorrer de cinco a dez anos dependendo do grau de degradação do solo, sendo caracterizada pelo predomínio de espécies de plantas herbáceas e poucas espécies pioneiras (*Vismia sp.*,

Cecropia sp. e *Solanum sp.*, entre outros), com altura média das árvores em torno de 6 metros e diâmetro médio de 7 centímetros;

- Fase intermediária: chamada de capoeira, ocorre entre 10 a 20 anos de idade, sendo caracterizada por uma vegetação com poucas herbáceas e espécies de médio porte (*Inga sp.*, *Cecropia sp.*, *Attalea sp.*, entre outros), a altura média está entre 8 metros e o diâmetro em torno de 9 centímetros;
- Fase avançada ou capoeirão: ocorre após os 20 anos da regeneração natural, sendo caracterizada por uma vegetação lenhosa, alta, perenifólia, com espécies de árvores climáticas (*Ocotea spp.*, *Eschweilera spp.*, *Protium spp.*, entre outros), que podem atingir altura superior a 10 metros e diâmetro superior a 11 centímetros.

Para as áreas degradadas onde os impactos ambientais não foram intensos, não ocorrendo deterioração e predação do banco de sementes ou quando existem fragmentos florestais no entorno que funcionem como fonte de propágulos, a regeneração natural pode ser utilizada para a restauração florestal (ANDRADE, 2014).

As intervenções antrópicas para a restauração serão menores quanto maior for a resiliência, sendo denominada de restauração passiva (indução da regeneração), no sentido oposto está a restauração dirigida (condução da regeneração), onde as ações humanas deverão estimular a capacidade de recuperação das condições ecológicas da sucessão natural para reconstrução do ecossistema degradado.

A possibilidade de utilização da regeneração natural em um projeto de restauração 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. Desta maneira, os riscos ambientais, o uso futuro da área, harmonização com o ambiente do entorno, custo e a sustentabilidade do sistema devem ser avaliados no planejamento e escolha da técnica a ser aplicada (DIAS & ASSIS, 2011).

Nas áreas em processo de lavra de bauxita ocorre a supressão de extensas áreas de floresta e a remoção das camadas superficiais do solo, afetando, com isso, o processo de sucessão secundária da floresta existente. Desta forma, em virtude da diminuição da resiliência destas áreas, existe a necessidade da adoção de um processo de restauração dirigida ou condução da regeneração natural, onde há a necessidade de intervenções humanas em diversas etapas da restauração florestal.

A condução da regeneração em áreas degradadas pela mineração de bauxita é constituída das seguintes etapas: *i)* transposição do *topsoil*; *ii)* isolamento da área em

recuperação; *iii*) indução dos regenerantes e *iv*) enriquecimento com espécies nativas da região (BRANDT, 2003).

Após a transposição do *topsoil*, a regeneração natural ocorre de maneira irregular pela área, desta maneira, a indução da regeneração natural (restauração passiva) ocorre nas áreas de concentração de regenerantes, havendo a necessidade do enriquecimento (restauração dirigida) com plantio de mudas em áreas onde não houve germinação do banco.

1.1.4 Plantio de Mudas

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).

É válido ressaltar que o plantio de mudas de espécies florestais é uma das metodologias mais utilizadas na recuperação de áreas degradadas, pois proporcionam 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).

A técnica de plantio requer a adoção de alguns critérios básicos para garantir o sucesso do processo, tais como: escolha de espécies florestais existentes na mesma microbacia hidrográfica ou região, alta diversidade de espécies, implantação de mudas provenientes de diferentes matrizes e remanescentes florestais a fim de garantir a diversidade genética, escolha de espécies pioneiras de rápido crescimento e, com ampla copa associada a não pioneiras, levando em consideração às atrativas a fauna e adaptáveis a condição de umidade do solo do local e ainda, a opção de adotar espécies leguminosas nativas em conjunto com as nativas em solos altamente degradados (MARTINS, 2010).

No entanto, vale ressaltar que apesar das espécies pioneiras possuírem como característica o rápido crescimento, nem todas apresentam a capacidade de sombreamento do solo em curto prazo. Desta maneira, nos plantios existe a necessidade de se agrupar as espécies de acordo com as características ecológicas, objetivando replicar os processos naturais de sucessão florestal, alcançando inicialmente o sombreamento da área em menor tempo aliado ao rápido crescimento.

A escolha das espécies visando o recobrimento inicial deverá ser feita com base na flora local, pois determinada espécie pode apresentar diferentes comportamentos dependendo da região geográfica, sendo que, para realizar a escolha de um grupo de espécies viáveis ao processo de restauração, a melhor opção é verificar por meio de monitoramento, durante os dois primeiros anos, quais as espécies obtiveram melhor sucesso na implantação (BRANCALION et al., 2015).

1.1.5 Monitoramento e Avaliação da Recuperação

Para se obter sucesso na recuperação de áreas degradadas se faz necessário, como ponto de partida a definição dos objetivos que delimitarão os resultados a serem alcançados. Esses objetivos deverão nortear as ações que desencadearão a recuperação do ecossistema, avaliando, por meio de monitoramento, se a trajetória está sendo conduzida corretamente.

Pela falta de clareza nos objetivos e metas dos planos de recuperação, muitos empreendimentos enfrentam dificuldades de colocar em prática os procedimentos descritos, resultando em planos excessivamente complexos, desconectados da realidade local, e ainda sem estabelecimento de um plano de monitoramento com indicadores claros que possibilitem a avaliação do cumprimento de metas.

Segundo Brancallion et al. (2015), a partir da definição dos objetivos do PRAD (Plano de Recuperação de Área Degradada), deverá ser elaborado um plano de avaliação, que consistirá em síntese nas seguintes etapas: *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 restauração e *e)* execução de ações corretivas, avaliando as seguintes etapas fundamentais:

- Escolha de indicadores;
- Definição de critérios de avaliação de cada indicador;
- Estabelecimento da metodologia de medição de indicadores (método de amostragem, coleta e análise de dados);
- Definição de metas para avaliação de sucesso e;
- Definição de cronograma de monitoramento.

Em uma determinada área em processo de recuperação pode ser necessária a utilização de diferentes tipos de monitoramento e avaliação, dependendo das metas especificadas e do tipo de ecossistema (EHRENFELD, 2009). Neste sentido, o

monitoramento é uma ferramenta gerencial importante para análise do bom andamento de projetos, sendo uma das formas de avaliar as falhas e comprovar o sucesso dos objetivos a serem alcançados.

A recuperação de áreas degradadas pode fornecer evidências de declínio ou sustentabilidade ecológica de áreas em processo de restauração florestal. As ações de acompanhamento não devem ser realizadas apenas no final do projeto, pois desta forma impossibilita a mudança de rumo, visando a sustentabilidade (HOWELL et al., 2012).

Apesar da relevância do processo de monitoramento, ainda existe na prática uma lacuna grande a ser preenchida pela pesquisa e por trabalhos técnicos. Atualmente, este problema está relacionado com a forma como a restauração é interpretada pelos empreendimentos que à executam, geralmente, apenas para cumprimento de demandas de licenciamento, restringindo-se no estabelecimento das fases iniciais do plantio, sendo que os órgãos licenciadores não acompanham efetivamente ao longo do tempo os resultados da implantação destes projetos de recuperação (DE ANDRADE et al, 2014).

1.1.6 Indicadores de Recuperação

Um indicador pode ser entendido como um parâmetro que proporciona informação a respeito de um determinado processo relacionado ao meio ambiente ou a área, ou seja, um indicador quantifica e simplifica um fenômeno, facilitando o entendimento de informações complexas, apresentando as mudanças ocorridas no ecossistema (ANDRADE, 2014). Os indicadores de recuperação são classificados em qualitativos e quantitativos, sendo que, os quantitativos refletem resultados de mensuração de um determinado parâmetro (altura dos indivíduos, abundância da regeneração, diversidade de espécies, etc), enquanto que os qualitativos são obtidos de maneira não mensurável, ou seja, baseados subjetivamente a partir do julgamento do avaliador (por exemplo, processos erosivos classificados como alto, médio ou baixo) (BRANCALION et al., 2012). A escolha dos indicadores está pautada em algumas características (DURIGAN, 2011):

- **Facilmente mensurável:** expressa a informação através de valores quantitativos ou qualitativos;
- **Sensível ao estresse do sistema:** estabelecer resposta clara a distúrbios, alterações provocadas pelo homem e histórico de mudanças;
- **Previsibilidade:** informa mudanças abruptas nas características do sistema ecológico;

- **Integrativo:** promover a integração do conjunto de parâmetros físicos e ecológicos (por exemplo, através de gradientes de solos, tipos de vegetação, temperatura, espaço, tempo, etc);
- **Confiável:** apresentar de forma clara as características monitoradas (funções ecológicas, a estrutura e composição florestal).

A diversidade de ecossistemas e biomas no Brasil requer o estabelecimento de metas e objetivos particulares, intrínsecos a cada localidade, sendo fundamental a avaliação em um determinado período onde se possa aferir se os resultados alcançados foram satisfatórios e se há necessidade de continuidade (ALMEIDA & SÁNCHEZ, 2015).

Desta maneira, foram estabelecidas algumas metodologias de monitoramento de restauração ecológica no Brasil buscando abranger uma série de critérios e indicadores que possibilitam avaliar a qualidade da recuperação de ecossistemas em diversos biomas brasileiros.

O Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (LERF) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros” da Universidade de São Paulo, estabeleceu um método de avaliação rápida de áreas restauradas por plantios heterogêneos com idade de 1 a 2 anos, em paisagens altamente fragmentadas e com baixa resiliência. Neste método são avaliados dois princípios que determinarão a eficiência do plantio: a diversidade florística onde se avalia a riqueza e a diversidade de espécies, presença de espécies exóticas e ameaçadas de extinção, bem como a estrutura do plantio onde se avalia a mortalidade, altura média, cobertura de copa, cobertura de gramíneas e distribuição dos grupos ecológicos de plantio (BRANCALION et al, 2012).

Outro protocolo de monitoramento da restauração florestal, foi estabelecido para os programas e projetos do “Pacto pela Restauração da Mata Atlântica”, que propôs princípios e critérios ecológicos, sócioeconômicos e de gestão utilizada de maneira integrada, que podem ser aproveitados em outros biomas e ecossistemas brasileiros, sendo necessário apenas a adequação de metas para cada indicador e seus valores de referência, monitorados em duas fases: a primeira procura avaliar a formação da cobertura florestal na área (estruturação do dossel) e a segunda fase, tem por objetivo monitorar a dinâmica da regeneração e o retorno dos processos ecológicos (trajetória ecológica) (BRANCALION et al, 2015).

2 AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL POR MEIO DE INDICADORES DE MONITORAMENTO EM ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA.

2.1 INTRODUÇÃO

As mudanças na paisagem de Paragominas tiveram origem nas políticas estabelecidas para a região amazônica na década de 1960 (PINTO et al, 2009). O crescimento populacional e o dinamismo econômico ocorridos no município são frutos de fatores como: localização privilegiada as margens da rodovia Belém-Brasília; ampla oferta de terras, incentivos fiscais e crédito subsidiado para agricultores e pecuaristas e grande estoque de recursos naturais de alto valor comercial (PINTO et al, 2009). A agricultura, a pecuária e a atividade madeireira chegaram em épocas diferentes no município de Paragominas e causaram impactos econômicos, sociais e ecológicos de grandeza e intensidade diferentes (UHL & ALMEIDA, 1998).

Na década de 2000, tem início às operações de lavra bauxita pela Mineração de Paragominas S.A. (MPSA), tendo como alvo principal o Platô Miltônia III, com produção inicial estimada em 4,4 milhões de toneladas anuais (BRANDT, 2003). O processo de lavra de bauxita tem como etapas principais a supressão da vegetação, extração do minério e recuperação da área lavrada. A bauxita beneficiada é transportada via mineroduto até a planta industrial da Alumina do Norte do Brasil S.A. – ALUNORTE, em Barcarena-PA, onde é refinada em alumina (BRANDT, 2003).

Sequencialmente ao processo de lavra, tem início a recuperação das áreas alteradas, por meio da revegetação da faixa minerada, seguida do monitoramento para avaliação do sucesso da recuperação, bem como verificação da coerência das ações em campo com o que foi previsto no Plano de recuperação de Área Degradada (PRAD).

A técnica de plantio de mudas é adotada na maioria dos projetos de recuperação de bauxita, por aparentemente apresentar resultados rápidos de recobrimento do solo e também em virtude do banco de sementes presentes no *topsoil* não germinar conforme o esperado, devido ao poder de resiliência do banco de sementes existente. Outra técnica utilizada, como segunda opção, é a condução de regeneração natural, que fica reduzida às áreas que apresentaram germinação do banco de sementes, apresentando menor custo financeiro de operacionalização, entretanto, é normalmente um processo lento quando comparado ao plantio de mudas (MARTINS, 2010).

Todavia, independente da metodologia aplicada na revegetação, o monitoramento e a avaliação são etapas fundamentais para qualquer projeto de recuperação, muito embora, não estejam sendo priorizadas em parte dos empreendimentos. O monitoramento permite documentar e demonstrar os resultados dos programas de gestão ambiental, avaliar as práticas de manejo utilizadas e orientar ações corretivas (SANCHEZ, 2010).

Um dos principais entraves na recuperação é a carência na definição de metas e objetivos claros que estejam interligados com as ações em campo, pois sem essas definições, não é possível monitorar a recuperação ao longo de seu desenvolvimento (SER, 2004).

O monitoramento a partir de indicadores ocorre de maneira sistemática, onde se avalia periodicamente o andamento do plano de recuperação. Neste sentido, as informações devem ser obtidas por meio de mensuração de variáveis do meio físico e biótico ao longo de determinado tempo, com o objetivo de subsidiar adequações no planejamento (BRANCALION et al., 2012).

No intuito de propor uma avaliação mais objetiva e passível de replicação, é necessário o estabelecimento de diversos indicadores a serem avaliados de acordo com o fator de degradação, condições específicas de cada localidade, histórico da área, além da dinâmica da vegetação (ANDRADE, 2014).

Tendo em vista a relevância dos projetos de mineração e a necessidade de se estabelecer métodos de revegetação adequados a realidade dos empreendimentos, é necessário a implantação de um programa de monitoramento pautado em indicadores que consigam demonstrar a eficiência da recuperação e que auxiliem na proposta de ações preventivas e/ou corretivas que direcionem as ações para as metas e objetivos traçados visando a recuperação do ecossistema.

Neste sentido, este estudo tem por objetivo avaliar a eficiência das técnicas de restauração florestal (plantio de mudas e condução da regeneração natural) por meio de indicadores de monitoramento quali-quantitativos ambientais, em área pós mineração de bauxita em Paragominas.

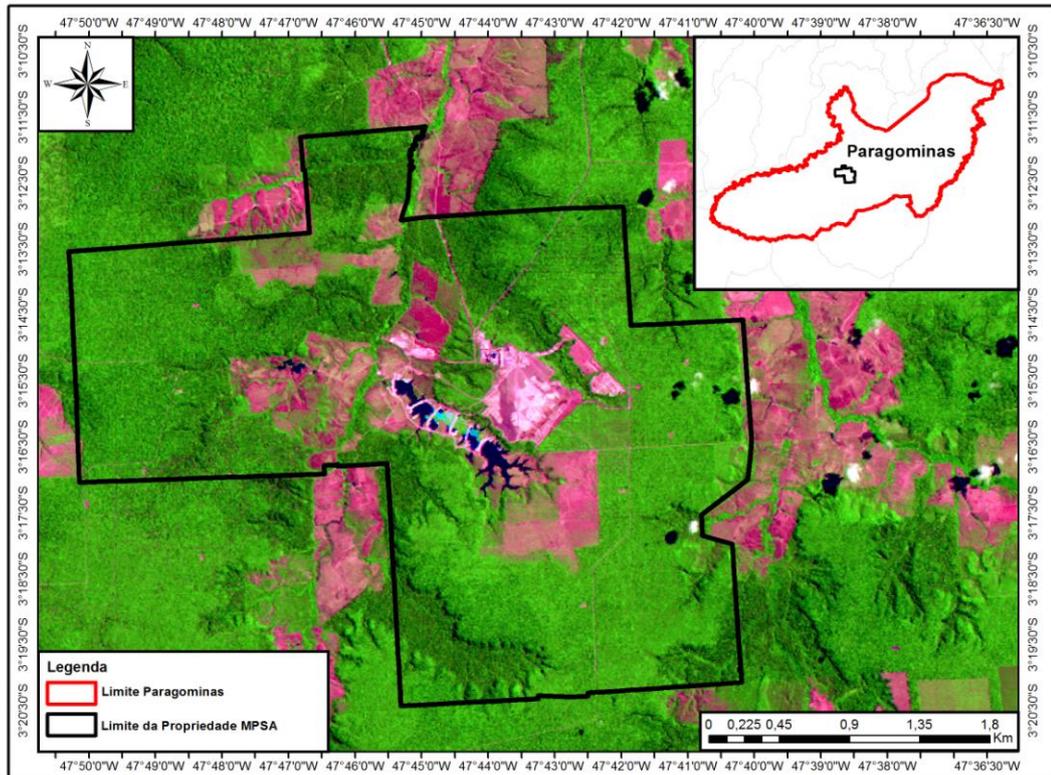
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida no município de Paragominas – PA, na Mineração Paragominas S.A., empreendimento da empresa Hydro (Figura 1), especificamente no Platô

Miltônia III, situado entre os meridianos 03°12' e 03°20' de latitude sul e 47°40' e 47°46' de longitude oeste, a 365 km de Belém, capital do Estado do Pará. O acesso à área pode ser feito através da rodovia BR 010 e pela PA 256 (BRANDT, 2003).

Figura 1: Localização da área onde foi realizado o estudo, propriedade da empresa Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará.



O clima da região é quente e úmido, caracterizado por um período com muita chuva de janeiro a maio (1700 mm/ano) (NEPSTAD et al., 1990), e um período com pouca chuva de junho a novembro, quando ocorre a maior parte da exploração madeireira (JOHNS et al., 1996).

Os principais solos na região do município de Paragominas são: Latossolos Amarelos; Argissolos Amarelos; Gleissolos (SILVA, 1997). Os solos apresentam fertilidade muito baixa, condicionada pela baixa reserva de nutrientes, além da alta saturação por alumínio, sendo que os Latossolos Amarelos de textura média e muito argilosa são dominantes na redondeza, e os Argissolos são encontrados em áreas de relevo plano e suavemente ondulado, assumindo propriedades físicas como profundidade e drenagem (MORAIS CRUIA et al., 1999).

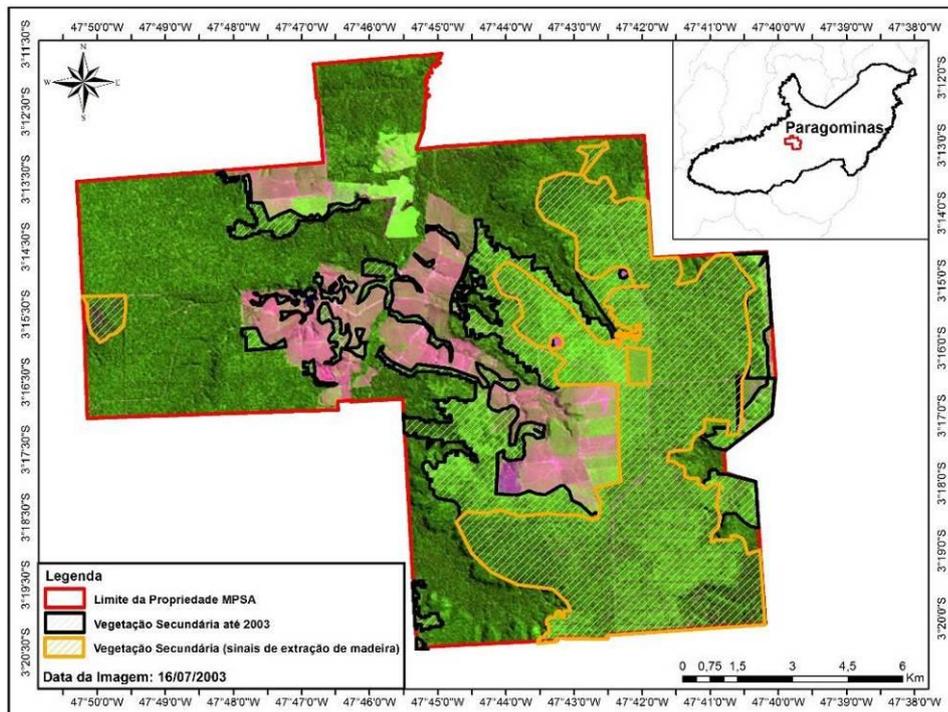
A unidade morfoestrutural à qual pertence à região de estudo é denominada de Planalto Setentrional do Pará-Maranhão, apresentando em toda a sua extensão chapadas

interligadas, raramente isoladas, separadas por zonas mais baixas topograficamente (KOTSCHOUBEY et al., 2005).

A cobertura vegetal primária na região estudada foi reduzida a 54,38% do total original (INPE, 2014), transformada pela ação dos desmatamentos para o plantio de culturas agrícolas de subsistência, pecuária, extração madeireira, produção de carvão ou construção de infraestrutura, dando ensejo à regeneração natural com diferentes estágios de desenvolvimento da floresta secundária.

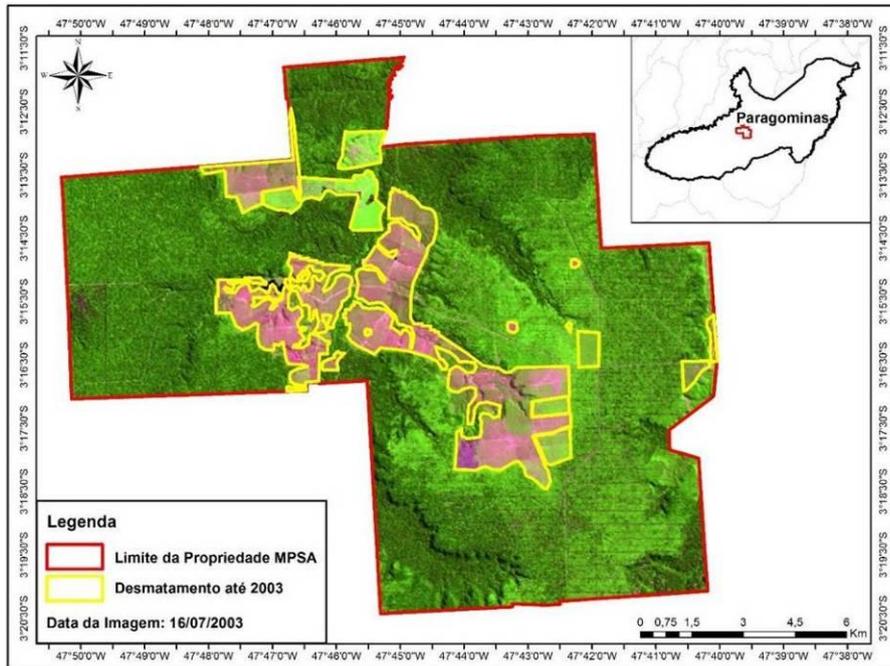
As áreas de floresta primária remanescente do entorno apresentam sinais claros de extração seletiva de madeira, evidenciada por vestígios de antigas estradas/ramais de arraste e pátios de estocagem (Figura 2). No dossel florestal nota-se a presença de clareiras, resultando em abundante passagem de luz para os estratos inferiores, o que gera a colonização por espécies de diferentes categorias sucessionais, presentes no banco de plântulas ou de sementes no solo, e por espécies exóticas/ invasoras que migraram através dos processos de dispersão da vegetação de pastagem nas proximidades.

Figura 2: Área de desmatamento na propriedade da Mineração Paragominas S.A. até o ano de 2003.



Um levantamento realizado por meio de imagens de satélite do ano de 2003, época onde iniciaram os inventários florestais pela empresa, ficou evidenciado a alta antropização das áreas alvo de supressão e posterior recuperação. Do total da propriedade da MPSA (18.668,20 hectares), foram desmatados cerca de 16,4% (3.059,4 ha) até o ano de 2003 (Figura 3).

Figura 3: Área de desmatamento na propriedade da Mineração Paragominas S.A. até o ano de 2003.



3.2 Unidades de Amostra

O processo de recuperação na MPSA teve início no ano de 2009, dois anos após o início das operações de lavra, tendo em vista que na fase inicial foram necessárias adequações ao processo de lavra e recuperação das áreas degradadas, com a utilização das técnicas de plantio de mudas em 71,44 hectares e 21,04 hectares de condução da regeneração natural, totalizando 92,48 hectares.

No período entre seis e doze meses após a reconformação topográfica e espalhamento do *top soil* as áreas são avaliadas para verificação do início do processo de sucessão ecológica (germinação do banco de sementes). As áreas que apresentarem sucesso na técnica foram selecionadas para monitoramento. As que não tiveram sucesso foram destinadas ao plantio de mudas.

O plantio foi realizado nos meses de maio e junho, período em que na região apresentam uma pluviosidade moderada. O plantio nesta época ocorreu em virtude de adequação no planejamento da empresa, sendo que o período ideal para o reflorestamento na região ocorrem entre os meses de dezembro a maio, época de maior pluviosidade, levando em consideração as seguintes etapas:

- Análise do solo: contemplou as análises químicas, de micronutriente e granulometria com amostras compostas em duas profundidades (0 – 20 cm e 20 – 40 cm);
- Preparo de solo: a atividade de subsolagem foi executada nas linhas de plantio, com adubação simultânea através da aplicação de Fosfato Natural Reativo (33%P2O5

Total, 10% Solúvel Ácido Cítrico). A referida atividade permite a descompactação/desagregação do solo, com profundidade de 60 cm, com aplicação simultânea de adubo a uma profundidade entre 20 a 30 cm;

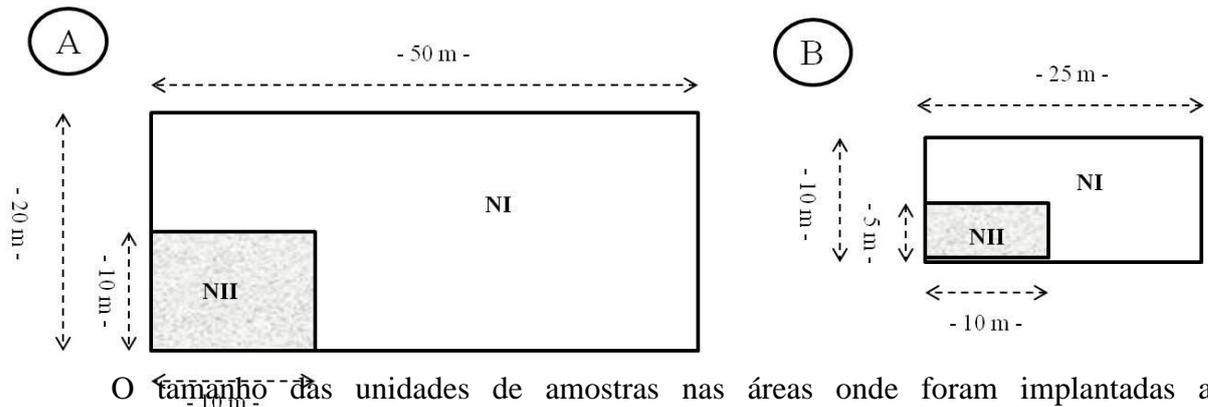
- Espaçamento e alinhamento: O espaçamento entre as covas foi de 3 x 3 metros, observando-se sempre o sistema de “quincôncio”;
- Abertura das covas: A atividade foi realizada manualmente com o auxílio de ferramentas apropriadas como, por exemplo, escavadeira manual, enxadas ou enxadões, realizando uma abertura com dimensões de 0,30x0,30mx0,30m. O procedimento seguiu com a retirada de uma camada de 15 a 20 cm de profundidade. Ao solo retirado adicionou-se adubo para em seguida preencher novamente a cova;
- Adubação das covas: as covas foram adubadas com 200 gramas de N P K – 06-30-06 (0,5% B, 0,5%Cu, 0,5%Zn) e 2,5 quilos de adubo orgânico. Para esta atividade foi utilizado um dosador padrão;
- Plantio: foram utilizadas 147 espécies florestais e frutíferas nativas que, em grande parte, foram identificadas no inventário florestal antes da supressão vegetal. As mudas foram distribuídas nas linhas de plantios previamente preparadas e demarcadas, sendo que esta distribuição foi feita de forma mais heterogênea possível evitando-se que mudas da mesma espécie fossem plantadas muito próximas umas das outras;
- Replântio: Após 15 dias da execução dos plantios, foram realizadas uma vistoria para avaliar a eficiência do reflorestamento, tendo como um dos objetivos, avaliar a mortalidade e a sanidade, e propor a substituição das mudas mortas ou doentes;
- Controle de formigas: esta atividade foi realizada nas áreas do entorno a uma distância média de 100 metros da área reflorestada. A quantidade de produto formicida utilizado se deu em função da área total de terra solta do formigueiro, na dosagem de 10 g/m².

No ano de 2013, foi realizado um diagnóstico da restauração florestal na área implantada em 2009, considerado como o marco inicial do monitoramento para avaliação do sucesso da recuperação (LIMA, 2014). A partir do marco inicial do monitoramento, as técnicas de revegetação pautadas no plantio de mudas e na condução da regeneração natural vem sendo avaliadas semestralmente.

Para avaliação das técnicas foram adotadas 9 parcelas permanentes (PP) instaladas pelo empreendimento para o monitoramento, distribuídas aleatoriamente nas duas metodologias, sendo 6 parcelas instaladas na área de plantio de mudas e 3 parcelas na área de condução da regeneração natural.

Nas áreas de plantio de mudas, as parcelas implantadas tem dimensões de 20m x 50m (1000m²) e, foram avaliadas em dois níveis de amostragem: Nível I (20m x 50m), onde todos os indivíduos plantados foram avaliados e Nível II (10m x 10m), foram catalogadas todas as plantas com caule ou haste com diâmetro maior ou igual a 1cm (Figura 4A). Nas áreas de regeneração natural, as parcelas implantadas possuem dimensões de 10 x 25 metros (250m²), avaliadas em dois níveis de amostragem: Nível I avaliou-se todos os indivíduos com CAP \geq 10 cm e no Nível II subparcelas de 5m x 10m avaliando todos os indivíduos com CAP $<$ 10cm (Figura 4B). Todas as parcelas foram demarcadas no campo com piquetes de PVC devidamente pintados, numeradas e georreferenciadas (Tabela 1).

Figura 4 - Croqui das parcelas permanentes instaladas para a coleta de dados nas áreas de influência do PRAD da Mineração Paragominas S.A., Paragominas, Pará. A- Parcelas nas áreas de plantio; B- Parcelas nas áreas de regeneração natural.



O tamanho das unidades de amostras nas áreas onde foram implantadas a regeneração natural são menores do que as parcelas implantadas no plantio, em virtude das dessas áreas serem constituídas de fragmentos de pequenas dimensões, assim, o tamanho das parcelas foram dimensionadas para atender a realidade de campo.

Tabela 1: Relação das parcelas implantadas nas áreas que compõem o PRAD da Mineração Paragominas S.A., incluindo o ano de implantação, a metodologia de recuperação, número e coordenada UTM¹ de localização de cada unidade amostral.

Ano de Implantação	Metodologia	Parcela	UTM-E	UTM-N
2009	Plantio	P1	196.705,8	9.639.370,0
2009	Plantio	P2	196.399,9	9.639.230,0
2009	Plantio	P3	196.464,3	9.638.972,0
2009	Plantio	P7	196.953,9	9.639.670,0
2009	Plantio	P8	196.963,0	9.639.536,0
2009	Plantio	P9	197.141,2	9.639.650,0
2009	Regeneração Natural	P4	198.071,0	9.639.179,0
2009	Regeneração Natural	P5	198.431,5	9.638.974,0
2009	Regeneração Natural	P6	198.576,0	9.639.071,0

¹UTM - Universal Transversa de Mercator – Datum SAD69 23S.

3.3 Escolha de Indicadores de Avaliação da Recuperação

Para a escolha dos indicadores do presente estudo, utilizou-se como referência as metodologias de avaliação rápida citadas por Brancalion et al (2012) e do “Pacto pela Restauração da Mata Atlântica” Rodrigues et al (2009), onde procurou-se estabelecer um método de avaliação para áreas de restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas. A determinação dos indicadores ecológicos para este trabalho teve como premissa a facilidade prática no seu uso em projetos técnicos de monitoramento, sem a necessidade de medições periódicas muito detalhadas.

Os indicadores foram escolhidos com objetivo de identificar a condição atual da trajetória do processo de restauração 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 os seguintes princípios de avaliação do contexto de restauração florestal em Paragominas: Princípio I – avaliação da recuperação estrutural do dossel, com o intuito de avaliar a formação da cobertura florestal na área; e Princípio II – monitoramento da trajetória ecológica, cujo objetivo é monitorar se a dinâmica da regeneração na área está conduzindo à restauração dentro da trajetória desejada e esperada.

Os princípios foram avaliados a partir do estabelecimento dos seguintes critérios: recuperação da estrutura e composição da vegetação e a manutenção da área em recuperação, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2: Critérios e Indicadores utilizados na avaliação do processo de restauração florestal nas técnicas de plantio de mudas e condução da regeneração natural em áreas pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa, adaptado de Brancalion et al (2015) e Rodrigues et al (2009).

INDICADORES DE AVALIAÇÃO	DESCRIÇÃO
ESTRUTURA	Avaliar a formação de cobertura florestal na área
Recuperação da Estrutura e composição da vegetação	Avaliar o poder de resiliência da área e a distribuição vertical e horizontal
Grau de cobertura / sombreamento	Avaliar o percentual de cobertura do solo a partir do sombreamento da copa.
Presença de regeneração natural	Avaliar a resposta do processo de sucessão florestal proveniente do banco de sementes contidos no solo.
Presença de erosão	Avaliar a presença de erosão laminar em sulcos ou voçorocas na área em restauração, objetivando avaliar o grau de conservação do solo.
Serrapilheira	Avaliar o acúmulo de matéria orgânica no solo, importantes para determinar a viabilidade de plantios que visam a restauração.
Densidade de plantas	Avaliar a quantidade de indivíduos de espécies arbustivas e arbóreas.

INDICADORES DE AVALIAÇÃO	DESCRIÇÃO
Diversidade	Avaliar a proporção de distribuição dos indivíduos entre as espécies, calculada pelo índice de diversidade de Shannon (H').
Altura média de planta	Avaliar se a altura dos vegetais está condizente com a idade dos indivíduos.
Área basal	Avaliar o grau de cobertura dos indivíduos, ou espaço por ele requerido, sendo um parâmetro bastante útil para determinação da qualidade do sítio.
MONITORAMENTO DA TRAJETÓRIA ECOLÓGICA	
Manutenção da Área em Recuperação	Avaliar a dinâmica de crescimento e mortalidade da vegetação e o retorno dos processos ecológicos
Mortalidade	Avaliar as espécies mais adaptadas as condições ambientais da área em processo de restauração.
Incremento em Diâmetro	Quantificar a taxa de crescimento dos vegetais, com o objetivo de auxiliar na tomada de decisões sobre o manejo e estratégias silviculturais para perpetuação da restauração florestal.
Presença de espécies exóticas não invasoras	Avaliar a incidência de espécies e morfoespécies regionais e exóticas, com o objetivo de reconhecer o potencial de invasão biológica.
Presença de espécies ameaçadas de extinção	Avaliar se as espécies contidas na área são classificadas em algum nível de ameaça de extinção.
Presença de vestígios de retorno da fauna	Avaliar o retorno da fauna silvestre na área em restauração, com o objetivo de identificar vestígios de animais que funcionam como agentes na reprodução das plantas.

3.4 Coleta de Informações

Neste estudo foram avaliadas as informações dendrométricas e florísticas acumuladas em cinco campanhas de monitoramento entre os anos de 2013 a 2015. As campanhas sempre ocorreram nos meses de maio e novembro, épocas de alta e baixa pluviometria na região.

3.4.1 Coleta de dados dendrométricos

Nas unidades de amostra todas as plantas foram marcadas com placas de alumínio identificadas com dados da parcela e número da planta. Dos vegetais foram obtidos os dados dendrométricos de altura total (em metros) e circunferência (em centímetros) à altura do peito (CAP).

A área de projeção individual da copa foi obtida a partir do método de projeção da copa no solo, coletando-se suas medidas longitudinal e transversal para o cálculo da área a partir da forma geométrica da elipse.

A variáveis dendrométricas coletadas foram utilizadas para a avaliação da estruturação do dossel e trajetória ecológica da restauração. Neste sentido, a partir das

variáveis coletadas, foram avaliados os seguintes indicadores: incremento em diâmetro e altura, altura média de planta, grau de cobertura/sombreamento, densidade de plantas, área basal e mortalidade.

3.4.2 Coleta de dados florísticos

Das espécies registradas foram obtidas amostras botânicas que foram herborizadas e levadas para o herbário IAN da Embrapa Amazônia Oriental onde foram determinadas cientificamente e, em seguida foram inseridas no acervo do herbário Felisberto Camargo da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA por tratarem-se em sua maioria de amostras não férteis. A lista de espécies obtida foi corrigida utilizando o banco de dados do programa Flora do Brasil (2015) disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>.

A partir dos dados florísticos levantados, foram avaliados os indicadores presença de espécies exóticas não invasoras, diversidade e presença de espécies ameaçadas de extinção.

3.4.3 Coleta de serrapilheira

Para quantificação do estoque de serrapilheira, foi utilizado um gabarito em aço com dimensões de 20cm x 20cm x 7cm (largura, comprimento e altura). A coleta foi realizada dentro das parcelas de monitoramento de vegetação, sendo realizada seis coletas aleatórias. O material foi retirado com auxílio de uma espátula e acondicionado em sacolas plásticas, devidamente identificadas e lacradas.

Em laboratório, o material foi separado em galhos, folhas e outros para determinação da composição percentual da amostra. As amostras foram encaminhadas a estufa de circulação forçada a uma temperatura de 70°C durante 72 horas para secagem e pesagem do material.

A partir dos dados de serrapilheira, foi avaliado o indicador de “serrapilheira”, onde o acúmulo da serrapilheira proporciona um indicativo do retorno das condições edáficas do solo (fertilidade).

3.4.4 Coleta de informações qualitativas

Os dados qualitativos foram obtidos de forma não mensurável, tendo por base a observação e o julgamento do avaliador quanto a presença ou ausência de determinado aspecto ou fenômeno. Desta maneira foram coletadas informações nas unidades de amostra dos indicadores: regeneração natural, clareiras, presença de erosão e retorno da fauna.

3.5 Processamento da Informação

3.5.1 Florística

As espécies catalogadas no levantamento florístico foram separadas por grupo ecológico, seguindo a definição de Amaral et al. (2009).

A fitossociologia compreende estudos das relações entre espécies dentro de uma comunidade, incluindo a composição, estrutura, dinâmica, distribuição e a relação entre os indivíduos, sendo que os parâmetros fitossociológicos em nível de família foram calculados a partir da Diversidade (Dv%), Abundância Relativa (AbR%) e Dominância Relativa (DoR%) possibilitando a obtenção do Índice de Importância da Família (IVF%) (VALÉRIO et al., 2008).

Na análise fitossociológica em nível de espécie, para caracterização da estrutura horizontal foram considerados os seguintes parâmetros: Abundância Relativa (AbR%); Dominância Relativa (DoR%); Frequência Relativa (FR%) e Índice de Valor de Importância (IVI%), conforme recomendado por Müller-Dombois & Elleberg (1974).

Também se avaliou a diversidade florística através do Índice de Diversidade de Shannon (H') na base logarítmica natural (SHANNON & WIENER, 1949).

A ocorrência de espécies ameaçadas foi verificada por meio de consulta às seguintes listas: Lista Vermelha das Espécies Ameaçadas elaborada pela União Internacional para a Conservação da Natureza e Recursos Naturais (IUCN, 2015); Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção publicada na Portaria do MMA nº 443/2014 e Lista de Espécies da Flora Ameaçadas no Estado do Pará publicada nos anexos da Resolução do COEMA nº 54/2007.

3.5.2 Taxas de Incremento e Mortalidade

Na análise da dinâmica florestal foram calculados o incremento periódico anual (IPA) do diâmetro e da altura total, no intuito de se obter uma média da taxa de incremento nos povoamentos e por espécie nas duas técnicas de recuperação monitoradas.

Para o cálculo do incremento periódico anual (IPA) no plantio de mudas de 2009 foram avaliados 316 indivíduos vegetais distribuídos em 98 espécies que permaneceram vivos durante as cinco campanhas de monitoramento. Na regeneração natural o incremento foi avaliado em 102 indivíduos de 18 espécies que também permaneceram vivos durante as cinco campanhas de monitoramento.

A taxa de incremento do diâmetro à altura do peito foi obtida através da fórmula (SCOLFORO, 1998):

$$IPA_{DAP} = \frac{DAP_2 - DAP_1}{T}$$

Onde:

IPA_{DAP} = taxa periódica anual de incremento em diâmetro (cm.ano^{-1});

DAP_1 = Média de diâmetro no primeiro levantamento (cm);

DAP_2 = Média de diâmetro no segundo levantamento (cm);

T = Tempo transcorrido entre os dois levantamentos.

A taxa de incremento da altura foi obtida através da fórmula (SCOLFORO, 1998):

$$IPA_{ALT} = \frac{Ht_2 - Ht_1}{T}$$

Onde: T

IPA_{ALT} = taxa periódica anual de incremento em altura (m.ano^{-1});

Ht_1 = Média de altura no primeiro levantamento (m);

Ht_2 = Média de altura no segundo levantamento (m);

T = Tempo transcorrido entre os dois levantamentos.

A mortalidade é o processo pelo qual o indivíduo desaparece no monitoramento contínuo de parcelas permanentes após a medição inicial, isto é, são indivíduos que morreram entre dois levantamentos consecutivos. A taxa anual de mortalidade foi obtida através da fórmula:

$$M_{\%} = (Ni \div N_1) \times 100$$

Onde:

$I_{\%}$ = Taxa anual de mortalidade (%);

N_1 = Número de plantas vivas na primeira medição;

N_i = Número de plantas mortas na segunda medição.

As espécies foram classificadas em classes de aptidão conforme proposto por Salomão et al (2014), afim de avaliar quais espécies apresentam melhores resultados no processo de adaptação no ecossistema implantado artificialmente. Desta maneira, as espécies foram classificadas nos seguintes grupos: 1) muito alto (espécie cujo valor do IPA e mortalidade se encontrava acima do intervalo de confiança superior da média geral); 2) alto (espécie cujo valor do IPA e mortalidade se encontrava acima da média e abaixo do intervalo de confiança superior da média geral); 3) baixo (espécie cujo valor do IPA e mortalidade se encontrava abaixo da média geral e acima do intervalo de confiança inferior); e 4) muito

baixo (espécie cujo valor do IPA e mortalidade se encontrava abaixo do intervalo de confiança inferior para a média geral).

3.5.3 Grau de Cobertura ou Sombreamento

Para o cálculo do sombreamento utilizou-se a projeção de copas a partir do cálculo da área de copa de cada árvore por meio da fórmula da área da elipse, considerando a maior medida longitudinal e transversal da copa. Desta maneira, foi feita a somatória dos valores de área de copa de todos os indivíduos levantados e dividiu-se o resultado pela área da parcela, através das seguintes fórmulas:

$$D_i = \pi \times \left[\frac{(L_1 + L_2)}{4} \right]^2 \quad D = \sum_n \frac{D_i}{A}$$

Onde:

D_i = área da projeção individual da copa;

L_1 = comprimento da maior linha longitudinal da copa;

L_2 = comprimento da maior linha perpendicular à da copa;

A = área da parcela (m²);

D = cobertura de copa na área

3.6 Análise estatística

Foi realizado o cálculo da média e do erro padrão, para as variáveis cobertura de copa, quantidade de serrapilheira, densidade de plantas, diversidade, altura média, área basal, sendo realizada a comparação entre as duas técnicas de restauração por meio do teste t, ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas no software MS Excel 2007.

O intervalo de confiança das taxas médias de mortalidade e incremento em diâmetro e altura foram obtidos a partir da utilização de estimadores do processo de amostragem propostos por Soares et al (2011) para amostragem com repetição total de unidades de amostra, sendo realizada a comparação entre as duas técnicas de restauração pela análise do teste t, ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas no software MS Excel 2007.

3.7 Critério de Avaliação dos Indicadores.

Para avaliação dos indicadores foram atribuídos diferentes pesos em função da sua importância no processo de restauração, considerando-se que os indicadores de alta importância ajudam a entender quando processos ou fenômenos apresentam problemas que podem comprometer a restauração em curto prazo, sendo de difícil correção. Os de grau de importância médio indicam problemas que podem comprometer a restauração a médio prazo, sendo de fácil correção, e por fim, os de grau baixo, não comprometem o plantio, sendo indicadores positivos, e por este motivo devem ser estimulados (Tabela 3).

Tabela 3: Critérios para definição do grau de importância dos indicadores avaliados.

GRAU DE IMPORTÂNCIA	CRITÉRIO	INDICADORES DE AVALIAÇÃO	PESO
Alto	Os indicadores com grau de importância alto ajudam a entender quando processos ou fenômenos apresentam problemas que podem comprometer a restauração em curto prazo, sendo de difícil correção.	Grau de cobertura / sombreamento	3
		Presença de regeneração natural	
		Presença de erosão	
		Serrapilheira	
		Densidade de plantas	
		Diversidade	
		Mortalidade	
		Incremento em Diâmetro	
Médio	Os indicadores com grau de importância médio ajudam a entender quando processos ou fenômenos apresentam problemas que podem comprometer a restauração a médio prazo, sendo de fácil correção.	Altura média de planta	2
		Área basal	
		Presença de espécies exóticas não invasoras	
Baixo	Os indicadores com grau de importância baixo não comprometem o plantio, sendo indicadores positivos, e por este motivo devem ser valorizados.	Presença de espécies ameaçadas de extinção	1

Fonte: Adaptado de Brancalion et al (2012).

No procedimento de avaliação cada indicador recebeu uma pontuação variando de 0 a 3, onde “0” foi atribuído para os indicadores que não estão abaixo do limite estabelecido para o critério. A pontuação “1” foi conferida a indicadores considerados insatisfatórios, “2” para os indicadores de satisfação média e “3”, para os indicadores satisfatórios (Tabela 4).

Para os indicadores qualitativos as pontuações tiveram caráter diferenciado, sendo determinado da seguinte forma:

- A nota “0” foi estabelecida para a ausência dos indicadores, tendo significado de insatisfação, de outra maneira, a nota “3”, com significado de satisfação foi atribuída

para a presença dos indicadores: presença de espécies ameaçadas de extinção, presença de regeneração natural e presença de vestígios de retorno da fauna;

- A nota “3” foi atribuída para a ausência dos indicadores presença de espécies exóticas não invasoras, presença de erosão e presença de clareiras, sendo a não ocorrência desses processos algo satisfatório, desta maneira a nota “0”, foi atribuída para a presença dos indicadores.

A definição dos intervalos de critérios para cada indicador foi definido mediante consulta na literatura científica especializada de trabalhos sobre sucessão ecológica e restauração florestal.

Tabela 4: Pontuações possíveis de cada parâmetro avaliado, com base em critérios recomendados para áreas restauradas com plantio de mudas e condução da regeneração natural.

Indicador	Critério	Pontuação	Análise	Referência
Grau de cobertura/ sombreamento	<20%	0	Indivíduos com DAP ≥ 5,0cm	Brancalion et al (2015)
	Entre 20 e 50%	1		
	Entre 50 e 80%	2		
	>80%	3		
Presença de regeneração natural	Presença	3	Qualitativo	
	Ausência	0		
Presença de erosão	Presença	0	Qualitativo	
	Ausência	3		
Serrapilheira	< 4,1 t.ha ⁻¹	0	Coleta e pesagem de serrapilheira	Coral et al (2014)
	Entre 4,1 a 7,7 t.ha ⁻¹	1		
	Entre 7,7 a 9,4 t.ha ⁻¹	2		
	> 9,4 t.ha ⁻¹	3		
Densidade de plantas	<1500 ind.ha ⁻¹	0	Indivíduos com Altura ≥ 50,0cm	Brancalion et al (2015)
	Entre 1500 e 2000 ind.ha ⁻¹	1		
	Entre 2001 e 3000 ind.ha ⁻¹	2		
	> 3000 ind.ha ⁻¹	3		
Diversidade	< 1,0 nats.ind ⁻¹	0	Todos os indivíduos amostrados	Brancalion et al (2015)
	Entre 1,1 e 2,0 nats.ind ⁻¹	1		
	Entre 2,1 e 3,0 nats.ind ⁻¹	2		
	> 3,0 nats.ind ⁻¹	3		
Altura média	< 6,0 metros	0	Indivíduos com DAP ≥ 5,0cm	Salomão et al (2012)
	Entre 6,0 e 7,0 metros	1		
	Entre 7,1 e 9 metros	2		
	> 9 metros	3		
Área basal	< 7,0 m ² .ha ⁻¹	0	Indivíduos com DAP ≥ 5,0cm	Salomão et al (2012)
	Entre 7,0 e 12,0 m ² .ha ⁻¹	1		
	Entre 13,0 e 19,0 m ² .ha ⁻¹	2		
	> 19,0 m ² .ha ⁻¹	3		
Mortalidade	> 10%	0	Indivíduos com DAP ≥ 5,0cm	Brancalion et al (2015)
	Entre 5,1 e 10%	1		
	Entre 3,1 e 5%	2		
	Entre < 3%	3		
Incremento em Diâmetro	< 0,3 cm.ano ⁻¹	0	Todos os indivíduos com 5 medições	Salomão et al (2014); Gomide (1997); De Oliveira (1998)
	Entre 0,3 e 0,5 cm.ano ⁻¹	1		
	Entre 0,6 e 0,7 cm.ano ⁻¹	2		

Indicador	Critério	Pontuação	Análise	Referência
	> 0,7 cm.ano ⁻¹	3		
Presença de espécies exóticas não invasoras	Presença	0	Qualitativo	Brancaion et al (2015)
	Ausência	3		
Presença de espécies ameaçadas de extinção	Presença	3	Qualitativo	Brancaion et al (2015)
	Ausência	0		
Presença de vestígios de retorno da fauna	Presença	3	Qualitativo	
	Ausência	0		

Fonte: Adaptado de Brancaion et al (2012).

Após a pontuação (Tabela 4), cada nota foi multiplicada pelo peso do indicador, conforme o seu grau de importância estabelecido na tabela 3 (Critério do Grau de Importância), sendo possível realizar a soma algébrica para definição da nota final de recuperação, que foi comparada à nota hipoteticamente obtida por um projeto ideal que alcançou nota máxima em todos os indicadores. Com base neste resultado foi definida a melhor técnica, aquela mais próxima da nota máxima de um projeto ideal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Florística e Fitossociologia

Foram levantados 542 indivíduos (a partir de plântulas) no monitoramento de maio de 2015, sendo que na metodologia de plantio de mudas foram levantados 371 indivíduos (1.293,3 ind.ha⁻¹) pertencentes a 106 espécies, distribuídas em 67 gêneros e 24 famílias botânicas, enquanto que na regeneração natural foram contabilizados 171 indivíduos (8.733,3 ind.ha⁻¹) distribuídos em 27 espécies, 22 gêneros e 16 famílias botânicas (Tabela 5). Na área de regeneração natural não foi possível realizar a identificação de quatro espécies, porém estas foram contabilizadas na apresentação dos resultados.

Tabela 5: Composição florística em maio de 2015 nas unidades amostrais instaladas para o monitoramento da restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.

Técnica	N.º de ind.ha ⁻¹	N.º de espécies	N.º de Famílias	N.º de Gêneros
Plantio de Mudas	1.293,3	106	24	67
Regeneração Natural	8.733,3	27	16	22

Nas áreas de plantio de mudas o Índice de Valor de Importância da Família (IVIF) indicou Solanaceae com 23,2%, Malvaceae com 26,5% e a mais expressiva foi Fabaceae com 135,6% de IVIF respectivamente. Para Fabaceae o valor de IVIF, foi calculado em virtude dos valores de índices de riqueza (51 espécies), área basal (1,68 m².ha⁻¹) e número de indivíduos (457 ind.ha⁻¹), (Figura 6a). Para esta família botânica, entre as Angiospermas, sempre são registradas maiores números de espécies na flora brasileira (FORZZA et al, 2010), sendo

importante nas estratégias de restauração ecológica em virtude da sua associação com bactérias fixadoras de nitrogênio (SPRENT, 2001). Sendo a Fabaceae composta por plantas leguminosas e, considerando as condições do solo de baixa fertilidade principalmente em áreas de encosta e topo de morros, como é o caso das áreas de platô, esta família apresenta uma estratégia de fixação de nitrogênio que acarreta uma melhor permanência na área (SILVA, 2002).

Solanaceae tem papel importante como colonizadora de áreas abertas e perturbadas como pastagens, clareiras, borda de florestas e beira de estradas (BOHS, 1994; SILVA et al., 1996; NEPSTAD et al., 1998; TABARELLI et al., 1999). Sua colonização depende dos processos de polinização e dispersão de sementes (MURRAY et al., 2000), assim estas interações bióticas, tanto em Solanaceae como em outras famílias, são fundamentais para se entender o funcionamento e, portanto, a regeneração dos ecossistemas (MORELLATO & LEITÃO-FILHO, 1992; GORCHOV et al., 1993; REIS, 1996; MEDELLÍN & GAONA, 1999).

Com relação a regeneração natural houve um maior equilíbrio entre os valores encontrados para o IVIF. As três famílias que mais se destacaram foram Urticaceae com 38,8%, Fabaceae com 40% e Hypericaceae com 46,9% de IVIF de um total de 13 famílias encontradas no levantamento. Hypericaceae apesar de não apresentar o maior número de espécies (1 espécie), obteve o maior número de indivíduos (1907 ind.ha⁻¹) e área basal (3,61 m².ha⁻¹) (Figura 6b).

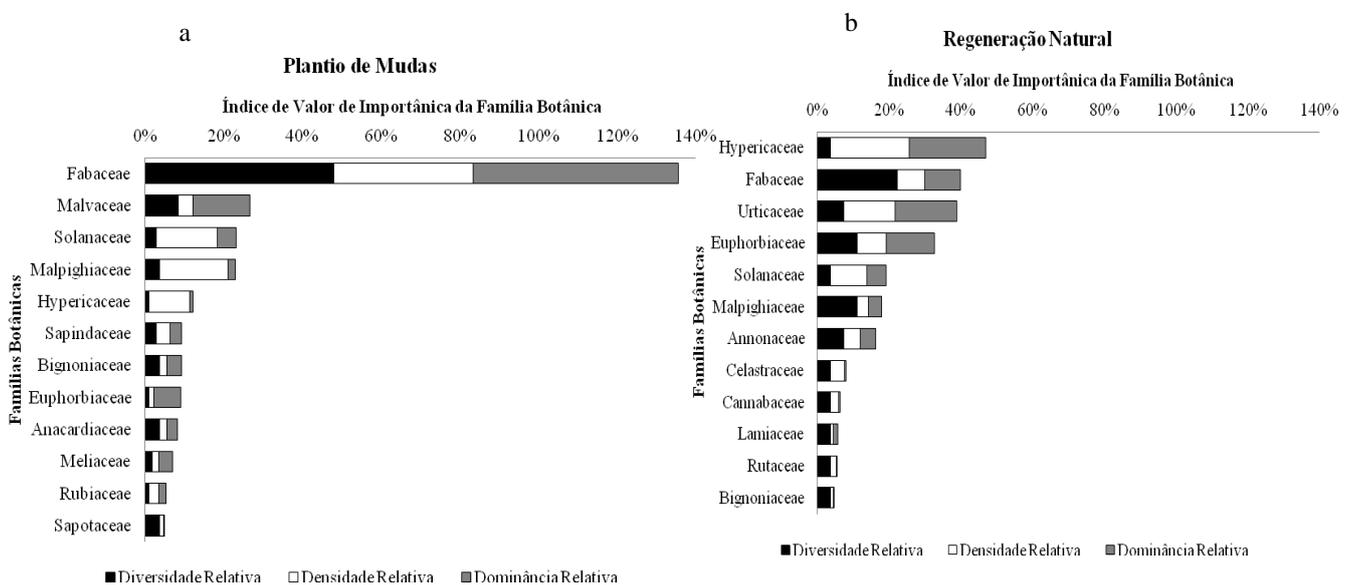
Cecropia (Urticaceae) é representado por árvores pioneiras neotropicais, de rápido crescimento e geralmente associados a fases iniciais do processo de sucessão ecológica (WHITMORE, 1989). Seus indivíduos produzem frutos continuamente ao longo do ano, constituídas por grande número de sementes pequenas, dispersas por aves e morcegos (GANDOLFI, 2000). Eles servem como poleiros naturais, contribuindo para formação de núcleos de vegetação ao seu redor, sendo recomendadas para plantio em áreas degradadas (PASSOS et al., 2003). A ampliação dos conhecimentos sobre a *Cecropia* constitui um elemento de grande importância para analisar a eficácia desse grupo como um mecanismo de restauração espontânea após perturbações de florestas.

Vismia guianensis (Hypericaceae), se destacou pelo grande número de indivíduos, atestando ser uma espécie com uma ampla distribuição na área, que pode ter influenciado negativamente a regeneração natural das demais espécies, por apresentar sistema radicular desenvolvido, disseminando superficialmente por até 5 metros da planta mãe, onde limitaria o crescimento e desenvolvimento das plantulas (MASSOCA et. al 2012). Ela é considerada

espécie pioneira, colonizadora de áreas onde ocorre degradação ou desmatamento, clareiras naturais e áreas agrícolas abandonadas na região Amazônica no Brasil (ALBUQUERQUE, 1980). Além disso, Massoca et. al (2012), relatou que, possíveis efeitos alelopáticos dessa espécie podem ser um fator limitante de desenvolvimento de outras espécies.

No plantio de mudas e na regeneração natural, as 12 famílias com maior índice de valor de importância obtiveram um total de 274,02% e 242,0%, respectivamente, de um total máximo de 300% de IVIF, ratificando a importância ecológica destas para o equilíbrio faunístico e florístico do ecossistema em processo de restauração (Figura 5a e 5b).

Figura 5: Valor de Importância das famílias botânicas nas unidades amostrais instaladas para o monitoramento da restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa, em maio de 2015.



A análise fitossociológica foi realizada a partir das informações levantadas no monitoramento de maio de 2015. No plantio de mudas, *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, *Solanum stipulatum* Vell. e *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy apresentaram os maiores valores para o parâmetro densidade, totalizando cerca de 39,05% dos indivíduos amostrados. *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. apresentou o maior valor para o parâmetro dominância (DoR=7,38%), seguido de *Croton matourensis* Aubl com 6,91% e *Chloroleucon acacioides* (Ducke) Barneby & J.W.Grimes 5,90%. *Inga alba* (Sw.) Willd., *Inga laurina* (Sw.) Willd. e *Genipa americana* L. foram registradas em todas as parcelas amostradas, indicando elevada frequência na área de estudo. De maneira geral, nota-se que as espécies provenientes do processo de sucessão secundária, ou seja, da indução do banco de sementes, apresentaram-se em destaque na análise fitossociológica da estrutura horizontal da área de plantio de mudas (Tabela 6).

Gomes-Pompa et al. (1972) definiram sucessão secundária como as mudanças que se verificam nos ecossistemas, após a destruição parcial de uma comunidade. Esse processo é representado pela progressiva mudança na composição florística da floresta, desde as espécies secundárias (pioneiras) até as espécies primárias (clímax) (RICHARDS, 1952). Para Tracey (1985) a sucessão secundária envolve várias combinações de estádios florísticos pioneiros, secundários iniciais e secundários tardios, antes que um estágio maduro da floresta seja restituído.

Tabela 6: Análise fitossociológica das espécies presentes na área de plantio de mudas em ordem decrescente para o índice de valor de importância (IVI%) e demais parâmetros fitossociológicos: DR% = densidade relativa; FR% = frequência relativa; DoR% = dominância relativa, com medição em maio de 2015 na Mineração Paragominas, Paragominas-Pa.

Espécie	Família Botânica	Grupo Ecológico	DR%	FR%	DoR%	IVI%
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Malpighiaceae	Secundária Inicial	15,85	0,99	0,92	5,92
<i>Solanum stipulatum</i> Vell.	Solanaceae	Pioneira	12,89	0,50	1,09	4,82
<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy	Hypericaceae	Pioneira	10,31	0,99	0,88	4,06
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Malvaceae	Secundária Tardia	0,90	1,49	7,38	3,25
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Fabaceae	Secundária Inicial	1,42	2,97	5,07	3,15
<i>Croton matourensis</i> Aubl.	Euphorbiaceae	Pioneira	1,29	0,50	6,91	2,90
<i>Mimosa schomburgkii</i> Benth.	Fabaceae	Pioneira	1,03	1,98	5,52	2,84
<i>Chloroleucon acacioides</i> (Ducke) Barneby & J.W.Grimes	Fabaceae	Secundária Inicial	1,03	1,49	5,90	2,81
<i>Pterocarpus santalinoides</i> L'Hér. ex DC.	Fabaceae	Secundária Tardia	5,54	1,49	0,68	2,57
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Fabaceae	Secundária Inicial	1,55	2,97	3,05	2,52
<i>Genipa americana</i> L.	Rubiaceae	Clímax	2,58	2,97	1,87	2,47
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Meliaceae	Clímax	1,42	1,98	3,28	2,23
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Fabaceae	Secundária Inicial	1,42	2,48	2,75	2,22
<i>Sapindus saponaria</i> L.	Sapindaceae	Pioneira	1,93	2,48	1,79	2,06
<i>Cenostigma tocantinum</i> Ducke	Fabaceae	Secundária Tardia	1,16	2,48	2,08	1,91
<i>Solanum crinitum</i> Lam.	Solanaceae	Pioneira	1,29	0,50	3,74	1,84
<i>Pseudima frutescens</i> (Aubl.) Radlk.	Sapindaceae	Pioneira	1,42	2,48	1,18	1,69
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	Fabaceae	Secundária Inicial	1,42	2,48	1,17	1,69
<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	Malvaceae	Secundária Inicial	0,64	1,98	2,31	1,64
<i>Stryphnodendron guianense</i> (Aubl.) Benth.	Fabaceae	Pioneira	0,13	0,50	3,98	1,54
Espécies em destaque			65,21	35,64	65,21	35,64
Demais espécies			34,79	64,36	34,79	64,36
Total			100	100	100	100

Na área de regeneração natural, *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy e *Cecropia* sp. apresentaram maiores valores para o parâmetro densidade relativa, 21,83% e 12,67% respectivamente. Um fator que pode ter influenciado na densidade desse indivíduos é a

facilidade da dispersão que é realizada por morcegos (Quiropterocoria) e por alguns passaros, no qual é favorecida pela ampla colonização da área (CHARLES-DOMINIQUE, 1986).

Adenocalymma validum L.G.Lohmann, *Aegiphila* sp., *Amphiodon effusus* Huber e *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth apresentaram maior frequência relativa (7,32%), sendo identificadas em todas as unidades de amostra. *Adenocalymma validum* L.G.Lohmann apresentou o maior valor entre todas as espécies para o parâmetro dominância relativa (21,4%) e, desta maneira, apresentou o maior valor para o índice de importância (9,83%) (Tabela 7).

Tabela 7: Análise fitossociológica das espécies presentes na área de condução da regeneração natural em ordem decrescente para o índice de valor de importância (IVI%) e demais parâmetros fitossociológicos: DR% = densidade relativa; FR%= frequência relativa; DoR%= dominância relativa, com medição em maio de 2015 na Mineração Paragominas, Paragominas-Pa.

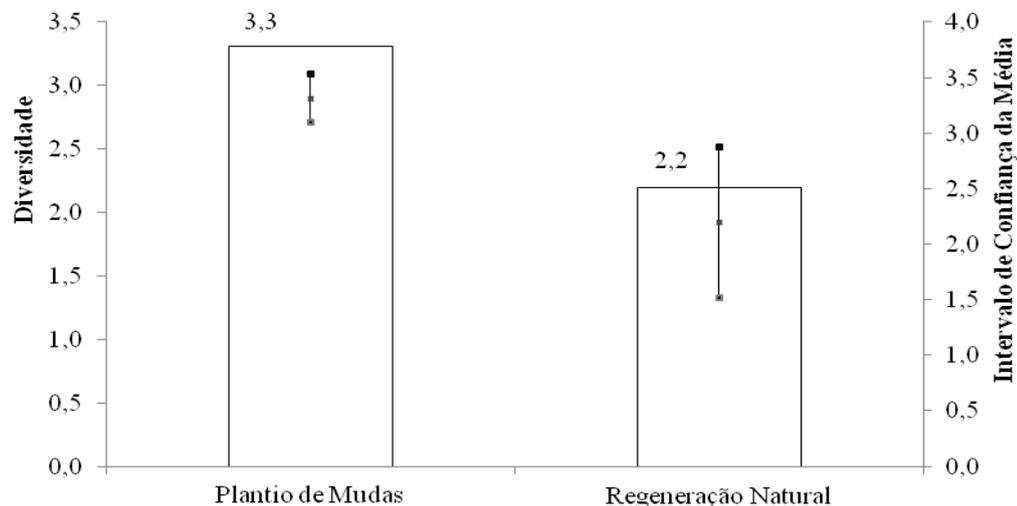
Espécie	Família Botânica	Grupo Ecológico	DR%	FR%	DoR%	IVI%
<i>Adenocalymma validum</i> L.G.Lohmann	Bignoniaceae	Pioneira	0,76	7,32	21,40	9,83
<i>Aegiphila</i> sp.	Lamiaceae	Pioneira	0,76	7,32	16,68	8,25
<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy	Hypericaceae	Pioneira	21,83	2,44	0,04	8,10
<i>Cecropia</i> sp.	Urticaceae	Pioneira	12,67	4,88	3,62	7,06
<i>Byrsonima crassa</i> A.Juss.	Malpighiaceae	Secundaria Inicial	2,14	2,44	10,93	5,17
<i>Cecropia distachya</i> Huber	Urticaceae	Pioneira	1,53	2,44	10,46	4,81
<i>Amphiodon effusus</i> Huber	Fabaceae	Secundaria Tardia	0,76	7,32	5,49	4,52
<i>Croton matourensis</i> Aubl.	Euphorbiaceae	Pioneira	5,80	4,88	2,64	4,44
Não Identificada 1	Indeterminada 1	Não Classificada	10,38	2,44	0,24	4,35
<i>Solanum</i> sp.	Solanaceae	Pioneira	10,08	2,44	0,12	4,21
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Malpighiaceae	Secundaria Inicial	0,31	7,32	4,52	4,05
<i>Cheiloclinium</i> sp	Celastraceae	Secundaria Inicial	3,82	4,88	0,45	3,05
<i>Chamaecrista xinguensis</i> (Ducke) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	Pioneira	0,76	2,44	5,90	3,03
Não Identificada 2	Indeterminada 2	Não Classificada	4,58	2,44	1,51	2,84
<i>Gouania poeppigiana</i> Mart.	Annonaceae	Pioneira	3,05	4,88	0,24	2,73
Não Identificada 3	Indeterminada 3	Não Classificada	3,82	2,44	1,34	2,53
<i>Gouania</i> Ruiz & Pav.	Annonaceae	Pioneira	1,53	2,44	2,93	2,30
<i>Croton ascendens</i> Secco & N.A.Rosa	Euphorbiaceae	Pioneira	0,76	2,44	3,13	2,11
<i>Manihot</i> sp.	Euphorbiaceae	Pioneira	1,53	2,44	2,20	2,05
<i>Inga</i> sp.	Fabaceae	Secundaria Inicial	1,68	2,44	1,98	2,03
Espécies em destaque			88,55	78,05	95,82	87,47
Demais espécies			11,45	21,95	4,18	12,53
Total			100	100	100	100

4.2 Recuperação da estrutura e composição da vegetação

4.2.1 Diversidade de espécie

A diversidade obtida segundo o índice de Shannon para a área de plantio registrou valor médio de 3,3 ($3,3 \pm 0,2$) para todas as unidades amostrais, enquanto que na regeneração natural o valor médio de 2,2 ($2,2 \pm 0,3$), resultado já esperado em virtude da quantidade de espécies utilizadas na implantação do plantio (147 espécies) (Figura 6), uma vez que a regeneração natural depende da germinação do banco de sementes contidas no solo, assim como a dispersão de sementes provenientes das áreas do entorno.

Figura 6: Valores médios obtidos para o índice de Shannon entre as técnicas de plantio de mudas e regeneração natural, utilizando-se dados de monitoramento de maio de 2015 e considerando todos os indivíduos presentes nas unidades de amostra nas áreas de restauração florestal da Mineração Bauxita Paragominas, Paragominas-PA.



O resultado obtido para o índice de H' , ficou abaixo do registrado por Francez et. al (2007), que foi de 4,25 para florestas manejadas no município de Paragominas e por Knight (1975), que encontrou o intervalo do índice H' para floresta Amazônica entre 3,83 a 5,85, que caracterizam florestas de alta diversidade.

Segundo Rodrigues e Gandolfi (2000), a recolonização de áreas alteradas podem ter sua diversidade e composição florística diferente da original, podendo afetar as características da estrutura da floresta, dependendo do grau de intervenção.

No início da regeneração natural, flutuações na diversidade são comuns, havendo efeitos da dominância principalmente de gramíneas (BAZZAZ, 1979), sendo que estas plantas ainda parecem estar contribuindo para o valor de diversidade encontrado em áreas mais adultas.

As diferenças na riqueza entre as áreas teve influência do esforço amostral e das condições de implantação das áreas (plantio e condução da regeneração natural), espera-se uma redução no número de espécies do componente herbáceo-subarbustivo com o desenvolvimento da floresta, mantendo-se o índice de diversidade acima de 2,0 nats/ind. (MARASCHIN-SILVA *et al.*, 2009).

A partir das médias obtidas, para atribuir a nota do indicador, o plantio de mudas se enquadrou no critério máximo ($> 3,0 \text{ nats.ind}^{-1}$), recebendo nota 3. Para a regeneração natural, a média se enquadrou no critério de satisfação média (entre 2,1 e $3,0 \text{ nats.ind}^{-1}$), recebendo a nota 2.

A comparação das médias através do teste t a 95% de probabilidade, mostrou que há uma diferença altamente significativa ($p < 0,05$) entre os métodos avaliados.

4.2.2 Densidade de plantas

O intervalo de confiança da média para a densidade na área do plantio de mudas foi de 975 ind.ha^{-1} ($975 \text{ ind.ha}^{-1} \pm 447,6$), valor inferior ao encontrado na regeneração natural que foi de $8.400 \text{ ind.ha}^{-1}$ ($8.400 \text{ ind.ha}^{-1} \pm 2.540,2$). A comparação das médias através do teste t ($\alpha = 0,05$) mostrou uma diferença significativa entre os métodos avaliados ($p < 0,05$). Sendo assim existe diferença significativa entre o número de indivíduos por hectares, quando compara-se as áreas onde foram empregadas as técnicas de plantio de mudas e regeneração natural. Tal resultado pode ser explicado pelos tratamentos silviculturais realizados na área de plantio, como: capina, coroamento, controle de formigas, influenciando o desenvolvimento de indivíduos regenerantes.

Outra possibilidade pode ser a influência de efeitos alelopáticos presentes em algumas espécies inseridas no plantio. Estudo realizado por Barbosa (2013), foram detectados valores de ocorrência Heterosídeo Cianogênico na casca de leguminosas arbóreas da Amazônia Central para a espécie *Hymenea courbaril* e, em estudo realizado por Souza *et al.* (2012), concluiu que a espécie *Anadenanthera peregrina* aliada a efeitos alelopáticos inibiu a regeneração natural de espécies arbustivo-arbóreas autóctones no plantio monoespecífico. Nota-se que existe a necessidade de estudos mais específicos das espécies implantadas no plantio e seus efeitos alelopáticos.

O surgimento de espécies em determinada área após seu abandono, depende essencialmente do banco de sementes disponível e esta diretamente relacionada as condições da área do entorno para proporcionar a dispersão de sementes, levando em consideração a fenologia das espécies e a presença de dispersores transitando entre essas áreas (MASSOCA

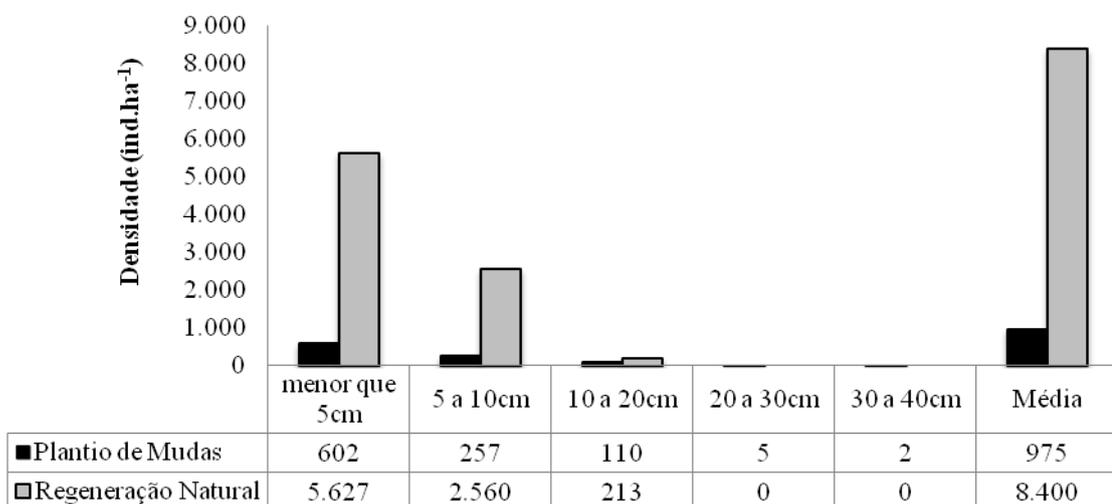
et. al., 2012). Dessa forma, a medida em que as áreas desmatadas se distanciam dos fragmentos florestais e das florestas primárias, a densidade de indivíduos e a diversidade de espécies das áreas em recuperação tendem a diminuir, evidenciando que o recrutamento de espécies é limitado pela dispersão de sementes Chazdon et al., (2009).

A partir da distribuição do número de indivíduos por hectare nas classes de diâmetro observa-se que na classe < 5cm, a média foi de 5.627 ind.ha⁻¹ para a regeneração natural e para o plantio foi de 602 ind.ha⁻¹. Este comportamento demonstra que o processo de germinação do banco de sementes do solo é mais intenso na área regeneração natural do que na área de plantio, onde os indivíduos regenerantes estão distribuídos de maneira irregular na área, concentrando-se em núcleos (reboleiras de regeneração) e com menor densidade de indivíduos (Figura 5).

Nas classes de diâmetro acima de 5cm a média para a área de regeneração natural foi de 2.773 ind.ha⁻¹ e para o plantio foi de 373 ind.ha⁻¹. Porém, na área de plantio de mudas foram contabilizados indivíduos nas classes de diâmetro acima de 20cm dentre *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. var. peregrina, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. e *Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth., indicando que estes indivíduos destas espécies estão atingindo um grau de maturidade no processo de sucessão florestal e que a trajetória de restauração ecológica na área de plantio está seguindo na direção correta (Figura 7).

Os resultados evidenciaram que o plantio de mudas ficou abaixo do limite mínimo para o indicador densidade de plantas (menor que 1.500 ind.ha⁻¹), recebendo nota 0, enquanto que a regeneração natural recebeu nota 3 por apresentar resultado acima do limite máximo estabelecido (maior que 3.000 ind.ha⁻¹).

Figura 7: Distribuição diamétrica do número de indivíduos por hectare nas técnicas plantio de mudas e regeneração natural, utilizando dados de monitoramento de maio de 2015 e, considerando os indivíduos com altura total maior ou igual a 50cm nas áreas em restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.



4.2.3 Área basal

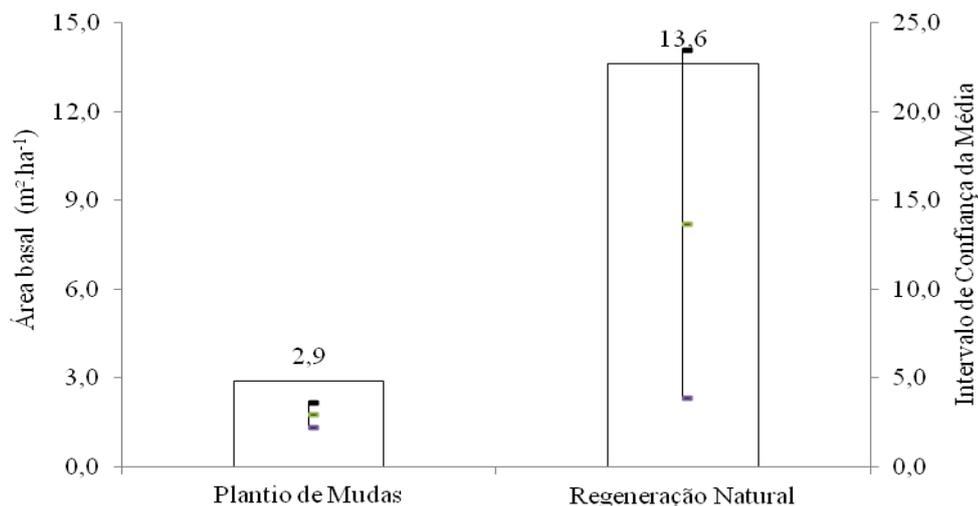
A média para este indicador na regeneração natural foi de $13,6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ($13,6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \pm 9,81$), valor médio acima do encontrado para o plantio de mudas de $2,9 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ($2,9 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \pm 0,7$) (Figura 8). A comparação das médias através do teste t ($\alpha=0,05$) mostrou uma diferença significativa entre os métodos avaliados ($p<0,05$).

A área basal é um dos parâmetros utilizado para verificar distúrbios ou alterações no ambiente florestal, visto que, avalia a estrutura florestal, que tende a atingir com maior rapidez a estabilidade quando comparadas as medidas de composição de espécies (LETCHER & CHAZDON, 2009).

Nos processos de sucessão secundária são esperados valores de área basal elevados na fase intermediária, devido à elevada densidade e incremento em diâmetro (GOMIDE, 1997; CHAZDON, 2012).

Com este resultado, o plantio ficou abaixo do critério mínimo estabelecido para este indicador ($< 7,0 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) recebendo nota “0”, enquanto que na regeneração natural, a média se estabeleceu acima do critério máximo ($> 12,0 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), recebendo a nota 3 para este indicador.

Figura 8: Comparação da média para a área basal por hectare nas técnicas de plantio de mudas e regeneração natural, utilizando-se dados de monitoramento de maio de 2015 e, considerando todos os indivíduos com diâmetro maior ou igual a 5cm nas áreas em restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.

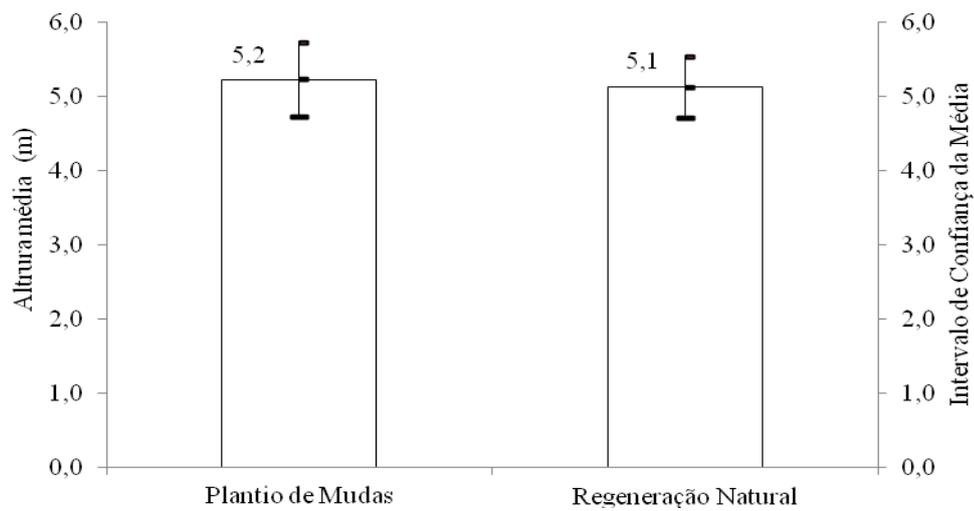


4.2.4 Altura média

A altura média calculada para o plantio de mudas foi de 5,2 metros ($5,2\text{m} \pm 0,5$), enquanto que na regeneração natural a média obtida foi de 5,1 metros ($5,1\text{m} \pm 0,42$) (Figura 9). A comparação das médias através do teste t ($\alpha=0,05$) mostrou que não existe diferença significativa entre os métodos avaliados ($p>0,05$).

No plantio de mudas 76,4% dos indivíduos amostrados tem altura menor ou igual a 5,0 m e 83% dos indivíduos na regeneração natural estão na mesma classe de altura. Tendo em vista que as médias de alturas nas duas técnicas avaliadas apresentaram-se abaixo de 6,0 metros, ambas receberam a nota mínima (0), seguindo os critérios estabelecidos para este indicador.

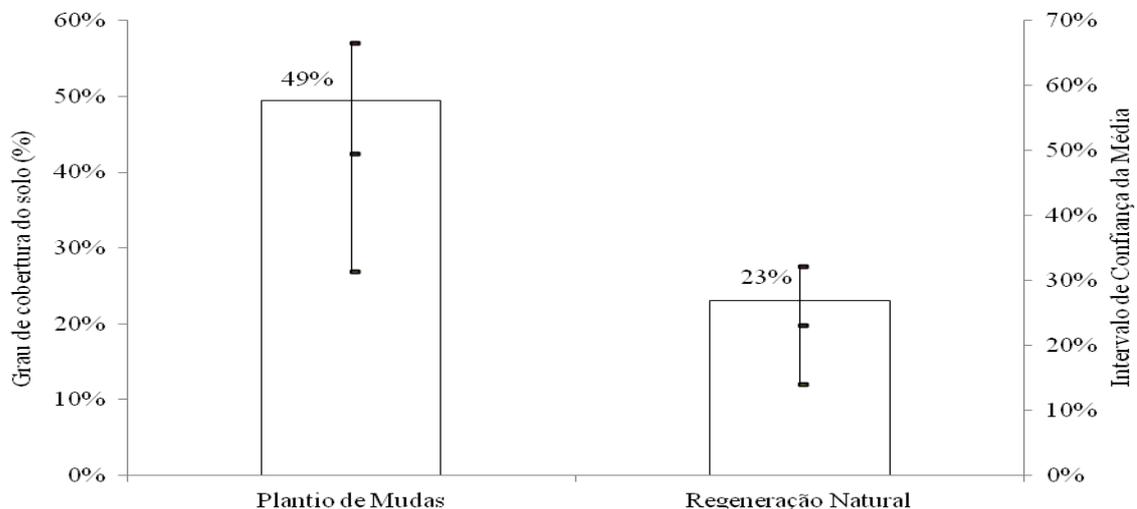
Figura 9: Valores de altura média nas técnicas de plantio de mudas e regeneração natural, utilizando-se dados de monitoramento de maio de 2015 e considerando todos os indivíduos com diâmetro maior ou igual a 5cm nas áreas em restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.



4.2.5 Grau de Cobertura

O grau de cobertura na área de plantio registrou valores médios de 49,5% (49,5% \pm 17,6), superior a média de cobertura de copa encontrada na regeneração natural, que foi de 23% (23% \pm 9,1) (Figura 10). A comparação das médias através do teste t ($\alpha=0,05$) mostrou que não existe diferença significativa quanto a cobertura do solo entre os métodos avaliados ($p>0,05$).

Figura 10: Valores médios para o grau de cobertura nas técnicas de plantio de mudas e regeneração natural, utilizando-se dados de monitoramento de maio de 2015 e considerando todos os indivíduos com diâmetro maior ou igual a 5cm nas áreas em restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.



Os resultados demonstram que ocorreu variação entre a área ocupada por cada espécie, sobretudo no plantio, a exemplo tem-se o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) que possui diâmetro de copa considerado pequeno quando comparado as espécies de *Inga* sp.

A cobertura das copas na floresta é um fator determinante do microclima, influenciando o crescimento e permanência das plântulas, a competição pela diminuição da luminosidade incidente no solo é fator determinante da composição florística, afetando processos de oxidação da matéria orgânica e controlando processos erosivos (MELO et al, 2007).

A medida que as árvores crescem as copas tendem a se fechar, com isso, recomenda-se que, em áreas em processo de recuperação as espécies escolhidas tenham uma copa frondosa, fornecendo condições adequadas para a regeneração natural por meio da dispersão de outras espécies, principalmente as tolerantes a sombra. Martins (2013) argumenta que o nível de cobertura das copas são bons indicadores de restauração, no entanto, deve ser combinado com outros, principalmente regeneração natural.

O método de medição da projeção de copa foi utilizado para o levantamento do indicador, porém não se mostrou um método prático, demandando muito tempo, além de impreciso devido à variação do formato das copas, ou seja, as copas não formam uma elipse perfeita. Essa observação também foi relatada por Melo et al. (2007), que atestou que o método de interseção de linhas é o método mais adequado para avaliação em reflorestamentos de restauração, uma vez que a diferença estatística entre os métodos se dá em função de erro na mensuração das medidas transversais e longitudinais da copa no campo.

Para Azevedo (2011), que utilizou o cálculo e projeção de copa e fotografias hemisféricas também concluiu que o segundo método apresentou alta correlação com as idades de plantios e com o que foi observado em campo, sendo indicado como método mais adequado para estudo de área de copa em reflorestamentos mistos e sua evolução ao longo do tempo.

Apesar dos resultados do levantamento demonstrar que o plantio de mudas apresenta melhores resultados, visualmente observou-se o contrário, corroborando o que Melo et al. (2007) e Azevedo (2011) relataram como método impreciso e sujeito a muitos erros quando utilizado poucas medições. Dessa maneira, sugere-se que para utilizar este método há a necessidade de realização de mais mensurações ou utilizar outra metodologia.

Segundo Carnevale & Montagnini (2002), o sombreamento do sub-bosque pela copa das árvores plantadas apresenta correlação positiva com a densidade e riqueza da regeneração natural.

Nesse sentido, os resultados encontrados para este indicador vai de encontro ao verificado no indicador densidade, onde esperava-se uma relação positiva entre o número de indivíduos e grau de cobertura.

Para a nota do indicador, o grau de cobertura das duas técnicas se enquadram no critério de sombreamento entre 50 e 80%, recebendo em ambos, a nota dois.

4.2.6 Serrapilheira

A serapilheira é caracterizada como todo material orgânico que se acumulado no solo dos ecossistemas florestais (OLSON, 1963). Neste estudo, o estoque total de serapilheira no solo da área plantio de mudas foi de $10,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($10,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1} \pm 2,28$), valor próximo ao encontrado para a área de regeneração natural de $10,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($10,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1} \pm 1,13$), ambos são inferiores a quantidade encontrada para a Floresta Ombrófila Densa do entorno que foi de $12,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($12,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1} \pm 2,42$) (Figura 11). Esses valores estão em conformidade com diversos estudos realizados na Amazônia brasileira em florestas secundárias de 5 a 22 anos de idade, que segundo Coral et al. (2014) variam de 4,47 a $9,40 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. No entanto, de acordo com Luizão (2007), a produção de serapilheira pode variar consideravelmente no tempo, dependendo principalmente das variáveis abióticas.

A comparação das médias através do teste t ($\alpha=0,05$) mostrou que não existe diferença significativa quanto quantidade de serrapilheira presente nas três áreas avaliadas ($p>0,05$).

Esses resultados corroboram com os de Sperandio et al (2012), os quais não constataram diferença entre três sistemas de restauração no município de Alegre, no Espírito Santo. A indiferença entre os ambientes pode está relacionada as condições semelhantes de clima, pois as três áreas de estudo encontram-se próximas entre si com pouca variação meteorológica (DICKOW et al., 2012).

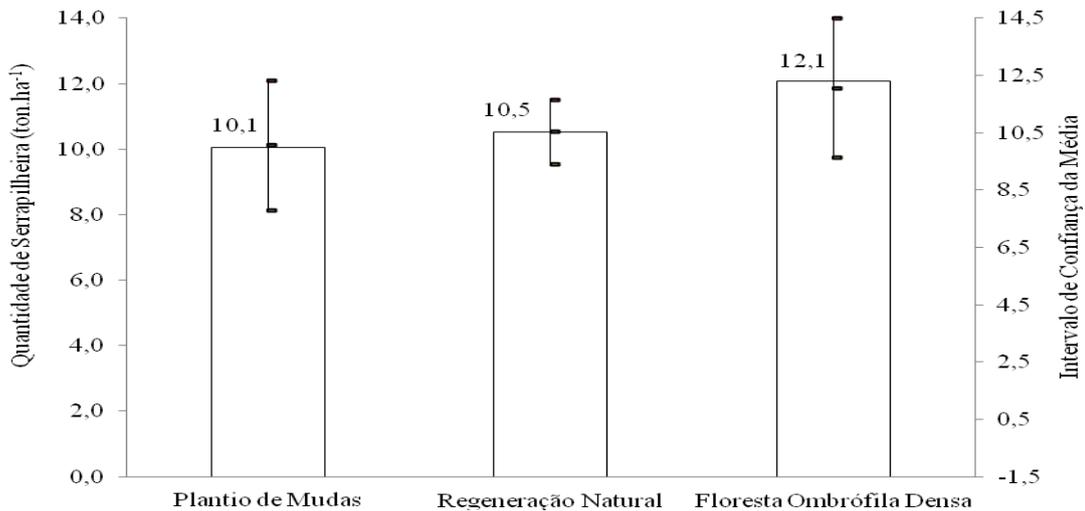
A importância de se determinar a quantidade de serrapilheira é verificar o equilíbrio na floresta em virtude do retorno dos nutrientes às plantas pela decomposição da serrapilheira. Segundo Caldeira (2013), a quantidade de serrapilheira acumulada no solo depende da espécie, cobertura florestal, estágio sucessional, idade, tipo de floresta e local, além do clima, precipitação, temperatura, relevo e, luminosidade.

Dessa forma, pode-se dizer que o processo de recuperação está na trajetória correta com relação a esse indicador, uma vez que o objetivo é conseguir que o quantitativo de serrapilheira seja igual ao das áreas do entorno. Como a coleta foi realizada no mês de maio,

época de baixa pluviosidade, esse quantitativo tende aumentar na época de chuvas na área de estudo.

A quantidade de serrapilheira nos dois ambientes estudados ficou acima de $9,4 \text{ ton.ha}^{-1}$ e, deste modo, receberam nota 3.

Figura 11: Valores médios da quantidade de serrapilheira contida no solo durante o monitoramento de maio de 2015 nas técnicas de plantio de mudas e regeneração natural, comparadas com a quantidade encontrada em uma floresta nativa do entorno nas áreas de restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.



4.2.7 Análise Qualitativa

Na análise visual, foram considerados os indicadores: presença de erosão no solo e regeneração natural. A verificação destes indicadores em campo foi realizada considerando presença e ausência destes nas unidades de amostra.

No plantio de mudas, a presença de erosão no solo foi constatada em uma das parcelas avaliadas (17%) (Figura 12), enquanto que na regeneração natural não foi verificada a presença de erosão. Desta maneira, a técnica de plantio de mudas recebeu a nota mínima (zero), enquanto que a regeneração natural recebeu a nota máxima (três).

Uma das possíveis causas da presença de erosão pode ser explicada pelo procedimento de reconformação do terreno, que não é realizado em curvas de nível, uma vez que o terreno não é plano, havendo um maior carreamento de sedimento para as áreas mais baixas. Além disso, foi realizada uma capina manual dois anos após a implantação do plantio, onde foram retiradas todos os indivíduos regenerantes.

Salomão et al. (2014) relatou que plantios de alta densidade e a indução da regeneração natural são as práticas mais recomendadas para recuperação de fragmentos degradados. Dessa forma, o espaçamento utilizado no plantio (3m x 3m), pode ter influenciado o processo de erosão, por não haver um rápido recobrimento do solo, além dos

altos índices de mortalidade no estágio inicial do projeto. Nas áreas de regeneração natural, observa-se um maior recobrimento do solo, evitando o carreamento e lixiviação.

Figura 12: Presença de erosão evidenciada na unidade de amostra 01 no plantio de mudas durante o monitoramento realizado em maio de 2015 nas áreas em processo de recuperação pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.



A regeneração natural foi observada em todas as parcelas da técnica de condução da regeneração natural, o que já era esperado (100%). No plantio de mudas, a regeneração natural somente não foi constatada em uma unidade de amostra, totalizando 83% das parcelas com a presença de indivíduos regenerantes (Figura 13). Desta maneira, as duas técnicas avaliadas receberam nota máxima (três) pela presença de indivíduos regenerantes.

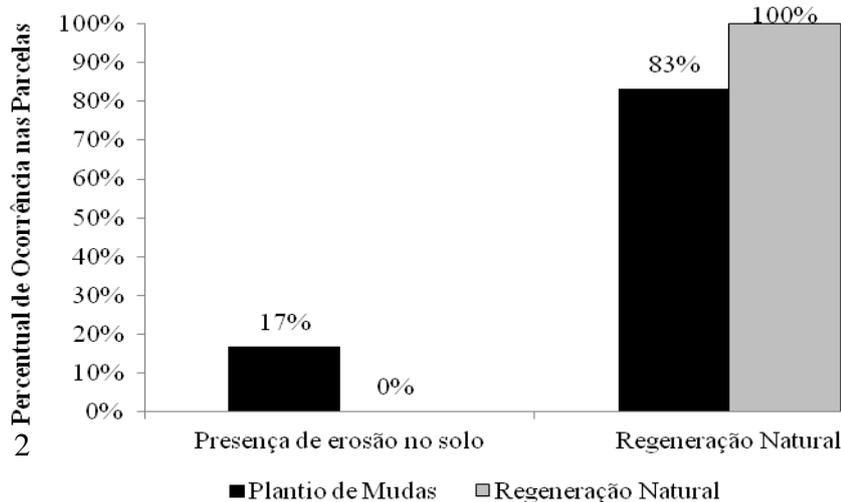
A resposta dos indivíduos regenerantes está diretamente relacionado a capacidade de germinação do banco de sementes. Pelo procedimento operacional de abertura de lavra, o *top soil* retirado das áreas de supressão, devem ser diretamente transportados para as áreas de recuperação, fazendo com que não haja depósito de solos influenciando o poder germinativo das sementes. No caso deste estudo, segundo relatos da empresa, o *top soil* depositado foi estocado por quatro meses antes de ser espalhado, por ainda não haver área disponível para a recuperação, podendo esse fato ter influenciado na perda do poder germinativo das espécies.

Segundo Salomão et al. (2013), a escolha das espécies na implantação do plantio são importantes na estrutura da comunidade (abundância, distribuição espacial, biomassa, porte ou cobertura), pois influenciam a ocorrência das demais espécies e consequentemente no sucesso da recuperação de áreas degradadas pela mineração a céu aberto.

Outro fator relevante nos resultados encontrados nas unidades amostrais do plantio, foi a realização de capina manual relatada no item de erosão.

A ausência de regeneração no plantio pode ter sido acentuada pela capina manual relatada acima.

Figura 13: Percentual de ocorrência nas unidades de amostras para o indicador presença de erosão no solo e indivíduos da regeneração natural nas áreas de plantio de mudas e regeneração natural durante o monitoramento realizado em maio de 2015 nas áreas em restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.



4.3 Manutenção da área em recuperação

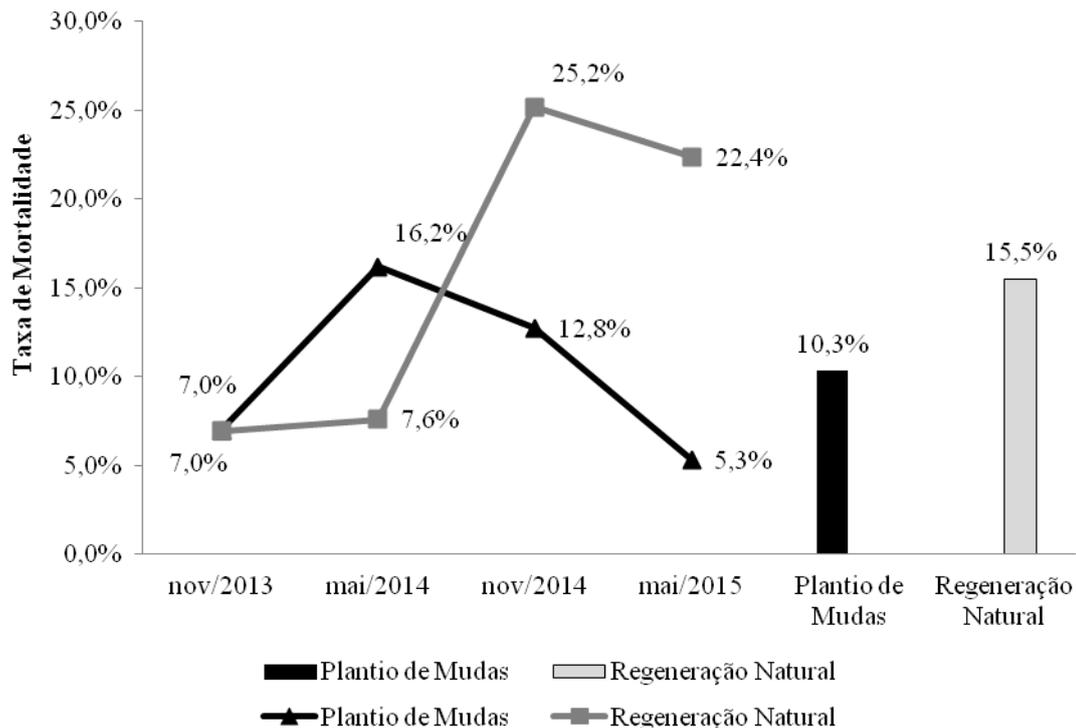
4.3.1 Mortalidade

No período analisado, a taxa de mortalidade média no plantio de mudas foi de 10,3% ao ano ($10,3\% \pm 4,5$). O período com a maior taxa de mortalidade foi em maio de 2014 com 16,2% e a menor taxa de mortalidade foi verificada em maio de 2015 com 5,3% (Figura 14). Estudo realizado nas décadas de 1980 e 1990 por Salomão et al. (2002), em reflorestamentos heterogêneos no platô Saracá Taquera (FLONA Saracá Taquera) entre os anos de 1996 e 1998, foi encontrado uma mortalidade inferior a 10% no período de dois anos.

Na área onde foi implantada a técnica de condução da regeneração natural, a taxa média de mortalidade foi de 15,5% ($15,5\% \pm 7,9$). A menor taxa de mortalidade foi verificada no monitoramento realizado em novembro de 2013 com 7,0% e a maior taxa durante o monitoramento de novembro de 2014 com 25,2% (Figura 14).

A comparação das médias através do teste t ($\alpha=0,05$) mostrou que não existe diferença significativa quanto quantidade entre as taxas de mortalidade, onde foram empregadas as duas técnicas analisadas ($p>0,05$).

Figura 14: Taxa de mortalidade registrada nas técnicas de plantio de mudas e regeneração natural, considerando todos os indivíduos com diâmetro maior ou igual a 5cm nas áreas em restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.



No plantio de mudas, 39 espécies se enquadraram nas classes de aptidão baixa ou muito baixa por apresentarem taxa de mortalidade acima da média, sendo que *Solanum sp.* (43,8%), *Vernonanthura brasiliiana* (L.) H.Rob. (43,3%) e *Inga heterophylla* Willd. (41,7%) foram as espécies que apresentaram os maiores valores (Tabela 8). Um total de 82 espécies se enquadraram nas classes de aptidão alta ou muito alta por apresentarem valores abaixo da média ou inexistência de mortalidade no período avaliado, indicando serem aptas para o processo de restauração florestal (Tabela 8).

Tabela 8: Espécies com maiores valores de taxa de mortalidade em área de restauração florestal pós lavra de bauxita pela técnica de plantio de mudas em Paragominas-Pa.

Espécie	Grupo Ecológico	Taxa de Mortalidade	Classe de Aptidão
<i>Solanum sp.</i>	Pioneira	43,8%	Muito Baixa
<i>Vernonanthura brasiliiana</i> (L.) H.Rob.	Pioneira	43,3%	Muito Baixa
<i>Inga heterophylla</i> Willd.	Secundária Inicial	41,7%	Muito Baixa

Espécie	Grupo Ecológico	Taxa de Mortalidade	Classe de Aptidão
<i>Senna sp.</i>	Pioneira	37,5%	Muito Baixa
<i>Zollernia paraensis</i> Huber	Clímax	37,5%	Muito Baixa
<i>Cecropia distachya</i> Huber	Pioneira	33,3%	Muito Baixa
<i>Lecythis lurida</i> (Miers) S.A.Mori	Clímax	31,7%	Muito Baixa
<i>Pachira glabra</i> Pasq.	Secundária Inicial	27,9%	Muito Baixa
<i>Ficus sp.</i>	Pioneira	26,7%	Muito Baixa
<i>Alchornea sp.</i>	Secundária Inicial	25,0%	Muito Baixa
<i>Amburana sp.</i>	Pioneira	25,0%	Muito Baixa
<i>Bauhinia macrophylla</i> Poir.	Secundária Inicial	25,0%	Muito Baixa
<i>Bauhinia unguolata</i> L.	Secundária Inicial	25,0%	Muito Baixa
<i>Bixa orellana</i> L.	Pioneira	25,0%	Muito Baixa
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Secundária Inicial	25,0%	Muito Baixa
<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M.King & H.Rob.	Não Classificada	25,0%	Muito Baixa
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Secundária Tardia	25,0%	Muito Baixa
<i>Inga sp.</i>	Secundária Inicial	25,0%	Muito Baixa
<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	Pioneira	25,0%	Muito Baixa
<i>Mangifera indica</i> L.	Clímax	25,0%	Muito Baixa
<i>Pagamea sp.</i>	Não Classificada	25,0%	Muito Baixa
<i>Pseudopiptadenia sp.</i>	Secundária Tardia	25,0%	Muito Baixa
<i>Solanum stipulatum</i> Vell.	Pioneira	25,0%	Muito Baixa
<i>Tabebuia insignis</i> (Miq.) Sandwith	Secundária Tardia	25,0%	Muito Baixa
<i>Theobroma sylvestre</i> Mart.	Secundária Inicial	25,0%	Muito Baixa
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Pioneira	25,0%	Muito Baixa
<i>Vitex compressa</i> Turcz.	Pioneira	25,0%	Muito Baixa
<i>Vitex sp.</i>	Pioneira	25,0%	Muito Baixa
<i>Citharexylum macrophyllum</i> Poir.	Pioneira	22,6%	Muito Baixa
<i>Tabebuia sp.</i>	Secundária Tardia	16,1%	Muito Baixa
<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby	Pioneira	14,6%	Baixa
<i>Albizia pedicellaris</i> (DC.) L.Rico	Pioneira	12,5%	Baixa
<i>Aspidosperma sp.</i>	Secundária Tardia	12,5%	Baixa
<i>Bauhinia acreana</i> Harms	Secundária Inicial	12,5%	Baixa
<i>Cassia sp.</i>	Secundária Inicial	12,5%	Baixa
<i>Copaifera sp.</i>	Secundária Tardia	12,5%	Baixa
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Clímax	12,5%	Baixa
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Clímax	12,5%	Baixa
<i>Lophanthera lactescens</i> Ducke	Secundária Tardia	12,5%	Baixa
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Secundária Tardia	8,4%	Alta
<i>Inga edulis</i> Mart.	Secundária Inicial	8,3%	Alta
<i>Cenostigma tocantinum</i> Ducke	Secundária Tardia	6,7%	Alta
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Pioneira	6,3%	Alta
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	Secundária Tardia	6,3%	Alta
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	Secundária Tardia	6,3%	Alta
<i>Inga gracilifolia</i> Ducke	Secundária Inicial	6,3%	Alta
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	Secundária Inicial	6,3%	Alta
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> (Willd.) Hochr.	Pioneira	6,3%	Alta

Espécie	Grupo Ecológico	Taxa de Mortalidade	Classe de Aptidão
<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	Secundária Inicial	5,0%	Muito Alta
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Secundária Inicial	4,4%	Muito Alta
<i>Sapindus saponaria</i> L.	Pioneira	4,2%	Muito Alta
<i>Chloroleucon acacioides</i> (Ducke) Barneby & J.W.Grimes	Secundária Inicial	3,1%	Muito Alta
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Secundária Inicial	3,1%	Muito Alta
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Clímax	2,5%	Muito Alta
<i>Albizia duckeana</i> L.Rico	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg. var. peregrina	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Andira inermis</i> (W.Wright) DC.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Andira</i> sp.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Andira surinamensis</i> (Bondt) Splitg. ex Amshoff	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Aspidosperma album</i> (Vahl) Benoist ex Pichon	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Astronium</i> sp.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Banara arguta</i> Briq.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Bauhinia platypetala</i> Burch. ex Benth.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Bauhinia purpurea</i> L.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Byrsonima crispa</i> A.Juss.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Byrsonima</i> sp.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Caesalpinia</i> sp.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Cassia fastuosa</i> Willd. ex Benth.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Chrysophyllum</i> sp.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Chrysophyllum sparsiflorum</i> Klotzsch ex Miq.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Clitoria arborea</i> Benth.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A.Howard	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Croton matourensis</i> Aubl.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Cupania scrobiculata</i> Rich.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Ecclinusa</i> sp.	Clímax	0,0%	Muito Alta
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Eriotheca globosa</i> (Aubl.) A.Robyns	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Eriotheca longipedicellata</i> (Ducke) A.Robyns	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Eschweilera</i> sp.	Clímax	0,0%	Muito Alta
<i>Eugenia biflora</i> (L.) DC.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Genipa americana</i> L.	Clímax	0,0%	Muito Alta
<i>Handroanthus incanus</i> (A.H.Gentry) S.Grose	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Heisteria</i> sp.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Homalium</i> sp.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Inga capitata</i> Desv.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Inga cayennensis</i> Sagot ex Benth.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta

Espécie	Grupo Ecológico	Taxa de Mortalidade	Classe de Aptidão
<i>Inga ingoides</i> (Rich.) Willd.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Lueheopsis duckeana</i> Burret	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Macrolobium</i> sp.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Mimosa schomburgkii</i> Benth.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Myrcia</i> sp.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Oenocarpus distichus</i> Mart.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Parkia ulei</i> (Harms) Kuhlm.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Peltogyne venosa</i> (Vahl) Benth.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Pouteria macrophylla</i> (Lam.) Eyma	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Protium</i> sp.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Pseudima frutescens</i> (Aubl.) Radlk.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Pterocarpus officinalis</i> Jacq.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Pterocarpus rohrii</i> Vahl	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Pterocarpus santalinoides</i> L'Hér. ex DC.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Senegalia multipinnata</i> (Ducke) Seigler & Ebinger	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Senegalia</i> sp.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Senegalia tenuifolia</i> (L.) Britton & Rose	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Solanum crinitum</i> Lam.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Spondias mombin</i> L.	Secundária Tardia	0,0%	Muito Alta
<i>Sterculia striata</i> A.St.-Hil. & Naudin	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Stryphnodendron guianense</i> (Aubl.) Benth.	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Theobroma</i> sp.	Secundária Inicial	0,0%	Muito Alta
<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Vitex orinocensis</i> Kunth	Pioneira	0,0%	Muito Alta
<i>Vitex triflora</i> Vahl	Pioneira	0,0%	Muito Alta

O estudo realizado por Salomão et al. (2014), no platô Saracá, localizado na FLONA de Saracá Taquera (distrito de Porto Trombetas, Município de Oriximiná, Estado do Pará), avaliou as classes de aptidão das espécies implantadas em um reflorestamento de 13 anos de uma área pós lavra de bauxita.

Comparando os resultados obtidos por Salomão com o presente estudo, *Enterolobium schomburgkii*, *Eriotheca globosa* e *Parkia ulei* apresentaram baixo grau de mortalidade, enquadrando-se como classe de aptidão “muito alta” para o reflorestamento. Já *Dinizia excelsa* e *Copaifera* sp. apresentaram alto índice de mortalidade, e conseqüentemente, “baixa” aptidão em áreas de recuperação pós lavra de bauxita. Algumas espécies apresentaram resultados opostos entre os estudos, a exemplo da *Genipa americana* que apresentou “muito alta” aptidão em Paragominas, entretanto em Porto Trombetas apresentou

“baixa aptidão”. *Byrsonima crassifolia* em Paragominas apresentou “muito baixa” aptidão, já em Porto Tromberas foi classificada com classe de aptidão “boa”.

Essa diferença pode ser explicada pela influência de algumas características, tais como: temperatura, pluviosidade, clima e características das áreas do entorno, ou seja, Porto Trombetas é uma FLONA, em que as áreas no entorno da mina é uma floresta primária, que favorece por exemplo a dispersão de sementes e o microclima da região, enquanto que, em Paragominas, as áreas do entorno são altamente fragmentadas e antropizadas.

Na área regeneração natural um total de 8 espécies se enquadraram nas classes de aptidão baixa ou muito baixa por apresentarem taxa de mortalidade acima da média, tendo *Solanum sp.* (42,4%), *Trema micrantha* (L.) Blume (33,3%) e *Croton ascendens* Secco & N.A.Rosa (25,0%) como as que apresentaram os maiores valores (Tabela 9). Um total de 20 espécies apresentaram alta aptidão, por apresentarem taxa de mortalidade abaixo da média ou inexistência de mortalidade (Tabela 9). Esse resultado é explicado pela característica do grupo ecológico das pioneiras, que possuem ciclo de vida curto, rápido grau de ocupação em ambientes perturbados, alto grau de recobrimento do solo, porém alta mortalidade pelo efeito da senescência e competição dos indivíduos das espécies secundárias no dossel da floresta (WHITMORE, 1989).

Tabela 9: Espécies com maiores valores de taxa de mortalidade em áreas de restauração florestal pós lavra de bauxita pela técnica de condução da regeneração natural em Paragominas-Pa.

Espécie	Grupo Ecológico	Taxa de Mortalidade	Classe de Aptidão
<i>Solanum sp.</i>	Pioneira	42,4%	Muito Baixa
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Pioneira	33,3%	Baixa
<i>Croton ascendens</i> Secco & N.A.Rosa	Pioneira	25,0%	Baixa
<i>Croton cuneatus</i> Klotzsch	Pioneira	25,0%	Baixa
<i>Gutteria</i> Ruiz & Pav.	Pioneira	25,0%	Baixa
<i>Inga sp.</i>	Secundaria Inicial	25,0%	Baixa
<i>Croton matourensis</i> Aubl.	Pioneira	20,6%	Baixa
Não Identificada 1	Não Classificada	18,9%	Baixa
Não Identificada 4	Não Classificada	8,3%	Alta
<i>Cecropia sp.</i>	Pioneira	5,7%	Alta
<i>Byrsonima crispa</i> A.Juss.	Secundaria Inicial	5,0%	Alta
<i>Adenocalymma validum</i> L.G.Lohmann	Pioneira	0,0%	Alta
<i>Aegiphila sp.</i>	Pioneira	0,0%	Alta
<i>Amphiodon effusus</i> Huber	Secundaria Tardia	0,0%	Alta
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Secundaria Inicial	0,0%	Alta
<i>Cecropia distachya</i> Huber	Pioneira	0,0%	Alta
<i>Chamaecrista xinguensis</i> (Ducke) H.S.Irwin & Barneby	Pioneira	0,0%	Alta
<i>Cheilochlinium sp.</i>	Secundaria Inicial	0,0%	Alta
<i>Gutteria poeppigiana</i> Mart.	Pioneira	0,0%	Alta
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Secundaria Tardia	0,0%	Alta

Espécie	Grupo Ecológico	Taxa de Mortalidade	Classe de Aptidão
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	Secundaria Tardia	0,0%	Alta
<i>Lophanthera lactescens</i> Ducke	Secundaria Tardia	0,0%	Alta
<i>Manihot sp.</i>	Pioneira	0,0%	Alta
Não Identificada 2	Não Classificada	0,0%	Alta
Não Identificada 3	Não Classificada	0,0%	Alta
<i>Senegalia multipinnata</i> (Ducke) Seigler & Ebinger	Secundaria Inicial	0,0%	Alta
<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy	Pioneira	0,0%	Alta
<i>Zanthoxylum pentandrum</i> (Aubl.) R.A.Howard	Pioneira	0,0%	Alta

A taxa de mortalidade analisada nas parcelas do plantio de mudas (10,3%) e a encontrada na regeneração natural (15,5%) estão acima do limite máximo estabelecido para o indicador, recebendo ambas a pontuação “0”.

4.3.2 Incremento periódico anual em diâmetro

O incremento periódico anual do crescimento em diâmetro na área de plantio de mudas foi de 1,09 cm.ano⁻¹ (1,09 cm.ano⁻¹ ± 0,28) enquanto que na regeneração natural o incremento foi de 1,71 cm.ano⁻¹ (1,71 cm.ano⁻¹ ± 0,48) (Figura 15). A comparação das médias através do teste t ($\alpha=0,05$) mostrou que existe diferença significativa entre os métodos avaliados ($p<0,05$).

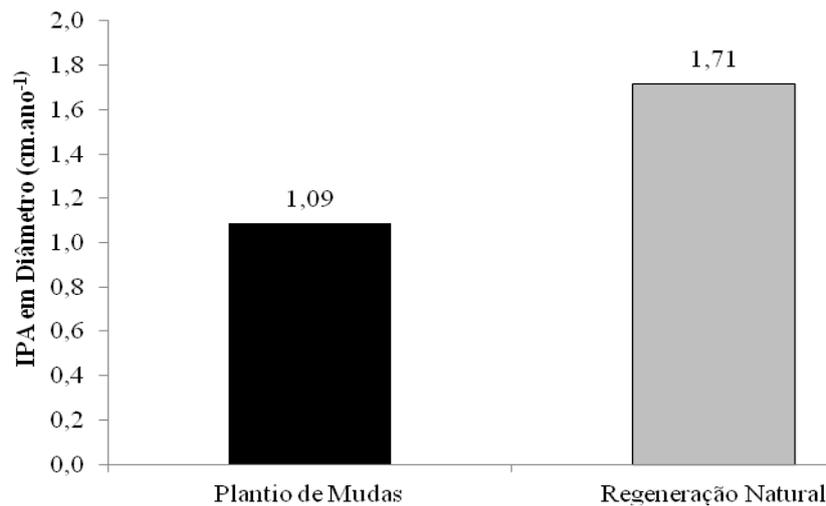
Estudo realizado por Salomão et al. (2014), em reflorestamento de 13 anos analisando 69 espécies foi encontrada uma média de incremento variando entre 0,01 cm.ano⁻¹ a 2,5 cm.ano⁻¹, valor este maior ao encontrado em Paragominas neste estudo. Também em Saracá Taquera, Salomão et al. (2006), encontrou uma média de incremento anual de 1,02 cm.ano⁻¹, variando entre 0,26 cm.ano⁻¹, a 3,24 cm.ano⁻¹. Tal fato pode ser explicado foi explicado, pelo fato da diferença dos tratamentos silviculturais (fertilização e calagem), quantidade de *top soil* espalhado e o tempo de armazenamento do solo que variou de meses a anos, influenciando entre os incrementos observados.

Para o referido estudo também deve-se considerar o armazenamento do *top soil* por quatro meses antes do espalhamento nas áreas de recuperação, assim como a quantidade de *top soil* espalhado, que pode ter influenciado diretamente nos resultados de incremento.

O resultado encontrado para este indicador pode ser explicado em virtude da características das espécies encontradas na área de regeneração, visto que, tratam-se em sua maioria de espécies pioneiras e secundárias iniciais que possuem características de crescimento rápido. Para as áreas de plantio o resultado pode ser explicado pelo fato de ter

sido inserido espécies de outros grupos ecológicos que podem ter influenciado no resultado da média do crescimento.

Figura 15: Valores de incremento periódico anual (2013-2015) em diâmetro nas técnicas plantio de mudas e regeneração natural, considerando os indivíduos com cinco medições de diâmetro em áreas de restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.



Na área de plantio de mudas o incremento médio anual diamétrico apresentou uma amplitude considerável variando de 0,1 cm.ano⁻¹ para *Byrsonima crispera* até 11,7 cm.ano⁻¹ para *Stryphnodendron guianense*. Esta maior amplitude foi identificada considerando somente um indivíduo, identificando discrepância dos valores das medições, indicando que pode ter havido erro de medição. Uma alternativa sugerida seria a delimitação do local da medição na árvore, padronizando o levantamento.

Nesta técnica, um total de 32 espécies se enquadraram nas classes de aptidão alta ou muito alta por apresentarem crescimento em diâmetro acima da média, sendo que *Stryphnodendron guianense* (11,7 cm.ano⁻¹), *Inga edulis* (3,7 cm.ano⁻¹), *Inga capitata* e *Croton matourensis* (3,4 cm.ano⁻¹) apresentaram os maiores valores de incremento. Um total de 66 espécies apresentaram baixa ou muito baixa aptidão, por apresentarem incremento em diâmetro abaixo da média (Tabela 10).

Estudo realizado por Leão et al. (2005), constatou uma média anual de crescimento para *Theobroma grandiflorum* de 0,3 cm.ano⁻¹. Em Paragominas, foi identificado um indivíduo do mesmo gênero com um incremento de 0,6 cm.ano⁻¹ na área do plantio de mudas.

Tabela 10: Média de crescimento anual em diâmetro por espécie em uma área de restauração florestal pós lavra de bauxita pela técnica de plantio de mudas em Paragominas-Pa.

Espécies	Grupo Ecológico	IPA DAP (cm.ano ⁻¹)	Classe de Aptidão
<i>Stryphnodendron guianense</i> (Aubl.) Benth.	Pioneira	11,7	Muito Alta
<i>Inga edulis</i> Mart.	Secundária Inicial	3,7	Muito Alta
<i>Inga capitata</i> Desv.	Secundária Inicial	3,4	Muito Alta
<i>Croton matourensis</i> Aubl.	Pioneira	3,4	Muito Alta
<i>Caesalpinia</i> sp.	Secundária Tardia	2,9	Muito Alta
<i>Solanum crinitum</i> Lam.	Pioneira	2,7	Muito Alta
<i>Chloroleucon acacioides</i> (Ducke) Barneby & J.W.Grimes	Secundária Inicial	2,7	Muito Alta
<i>Mimosa schomburgkii</i> Benth.	Pioneira	2,3	Muito Alta
<i>Senegalia</i> sp.	Secundária Inicial	2,2	Muito Alta
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Secundária Inicial	2,2	Muito Alta
<i>Senegalia tenuifolia</i> (L.) Britton & Rose	Secundária Inicial	2,1	Muito Alta
<i>Handroanthus incanus</i> (A.H.Gentry) S.Grose	Secundária Tardia	2,0	Muito Alta
<i>Inga gracilifolia</i> Ducke	Secundária Inicial	2,0	Muito Alta
<i>Cassia</i> sp.	Secundária Inicial	2,0	Muito Alta
<i>Inga ingoides</i> (Rich.) Willd.	Secundária Inicial	1,9	Muito Alta
<i>Eriotheca longipedicellata</i> (Ducke) A.Robyns	Secundária Inicial	1,9	Muito Alta
<i>Pterocarpus rohrii</i> Vahl	Secundária Tardia	1,7	Muito Alta
<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A.Howard	Secundária Inicial	1,6	Muito Alta
<i>Andira surinamensis</i> (Bondt) Splitg. ex Amshoff	Secundária Inicial	1,6	Muito Alta
<i>Byrsonima</i> sp.	Secundária Inicial	1,5	Muito Alta
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg. var. peregrina	Secundária Tardia	1,5	Muito Alta
<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby	Pioneira	1,5	Muito Alta
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> (Willd.) Hochr.	Pioneira	1,5	Muito Alta
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Secundária Tardia	1,4	Alta
<i>Lueheopsis duckeana</i> Burret	Pioneira	1,3	Alta
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Secundária Tardia	1,3	Alta
<i>Sterculia striata</i> A.St.-Hil. & Naudin	Secundária Inicial	1,3	Alta
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	Secundária Inicial	1,3	Alta
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Clímax	1,2	Alta
<i>Tabebuia</i> sp.	Secundária Tardia	1,2	Alta
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Secundária Tardia	1,2	Alta
<i>Ficus</i> sp.	Pioneira	1,1	Alta
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	Secundária Tardia	1,0	Baixa
<i>Eriotheca globosa</i> (Aubl.) A.Robyns	Secundária Inicial	1,0	Baixa
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Secundária Inicial	1,0	Baixa
<i>Pseudima frutescens</i> (Aubl.) Radlk.	Pioneira	1,0	Baixa
<i>Andira inermis</i> (W.Wright) DC.	Secundária Inicial	1,0	Baixa
<i>Cassia fastuosa</i> Willd. ex Benth.	Secundária Inicial	1,0	Baixa
<i>Eschweilera</i> sp.	Clímax	1,0	Baixa
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Secundária Tardia	1,0	Baixa
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Clímax	1,0	Baixa
<i>Albizia duckeana</i> L.Rico	Secundária Tardia	1,0	Baixa
<i>Ecclinusa</i> sp.	Clímax	1,0	Baixa

Espécies	Grupo Ecológico	IPA DAP (cm.ano ⁻¹)	Classe de Aptidão
<i>Oenocarpus distichus</i> Mart.	Pioneira	1,0	Baixa
<i>Astronium</i> sp.	Secundária Tardia	0,9	Baixa
<i>Aspidosperma album</i> (Vahl) Benoist ex Pichon	Secundária Tardia	0,9	Baixa
<i>Inga cayennensis</i> Sagot ex Benth.	Secundária Inicial	0,9	Baixa
<i>Bauhinia acreana</i> Harms	Secundária Inicial	0,9	Baixa
<i>Cenostigma tocantinum</i> Ducke	Secundária Tardia	0,9	Baixa
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Secundária Tardia	0,8	Baixa
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Secundária Inicial	0,8	Baixa
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	Secundária Tardia	0,8	Baixa
<i>Homalium</i> sp.	Pioneira	0,8	Baixa
<i>Vitex orinocensis</i> Kunth	Pioneira	0,8	Muito Baixa
<i>Aspidosperma</i> sp.	Secundária Tardia	0,8	Muito Baixa
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	Secundária Inicial	0,7	Muito Baixa
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Secundária Inicial	0,7	Muito Baixa
<i>Andira</i> sp.	Secundária Inicial	0,7	Muito Baixa
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Clímax	0,7	Muito Baixa
<i>Chrysophyllum</i> sp.	Pioneira	0,7	Muito Baixa
<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy	Pioneira	0,7	Muito Baixa
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Pioneira	0,7	Muito Baixa
<i>Cupania scrobiculata</i> Rich.	Secundária Inicial	0,7	Muito Baixa
<i>Peltogyne venosa</i> (Vahl) Benth.	Secundária Tardia	0,7	Muito Baixa
<i>Theobroma</i> sp.	Secundária Inicial	0,6	Muito Baixa
<i>Banara arguta</i> Briq.	Pioneira	0,6	Muito Baixa
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Secundária Inicial	0,6	Muito Baixa
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	Secundária Tardia	0,6	Muito Baixa
<i>Parkia ulei</i> (Harms) Kuhlm.	Secundária Tardia	0,6	Muito Baixa
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm	Pioneira	0,6	Muito Baixa
<i>Heisteria</i> sp.	Pioneira	0,6	Muito Baixa
<i>Sapindus saponaria</i> L.	Pioneira	0,6	Muito Baixa
<i>Spondias mombin</i> L.	Secundária Tardia	0,5	Muito Baixa
<i>Protium</i> sp.	Secundária Tardia	0,5	Muito Baixa
<i>Citharexylum macrophyllum</i> Poir.	Pioneira	0,5	Muito Baixa
<i>Pterocarpus santalinoides</i> L'Hér. ex DC.	Secundária Tardia	0,5	Muito Baixa
<i>Pachira glabra</i> Pasq.	Secundária Inicial	0,5	Muito Baixa
<i>Lophanthera lactescens</i> Ducke	Secundária Tardia	0,5	Muito Baixa
<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	Secundária Inicial	0,5	Muito Baixa
<i>Bixa orellana</i> L.	Pioneira	0,5	Muito Baixa
<i>Vitex triflora</i> Vahl	Pioneira	0,5	Muito Baixa
<i>Chrysophyllum sparsiflorum</i> Klotzsch ex Miq.	Pioneira	0,5	Muito Baixa
<i>Albizia pedicellaris</i> (DC.) L.Rico	Pioneira	0,4	Muito Baixa
<i>Macrobium</i> sp.	Secundária Inicial	0,4	Muito Baixa
<i>Lecythis lurida</i> (Miers) S.A.Mori	Clímax	0,4	Muito Baixa
<i>Copaifera</i> sp.	Secundária Tardia	0,4	Muito Baixa
<i>Pouteria macrophylla</i> (Lam.) Eyma	Secundária Tardia	0,4	Muito Baixa
<i>Clitoria arborea</i> Benth.	Secundária Inicial	0,4	Muito Baixa
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Secundária Tardia	0,3	Muito Baixa

Espécies	Grupo Ecológico	IPA DAP (cm.ano ⁻¹)	Classe de Aptidão
<i>Genipa americana</i> L.	Clímax	0,3	Muito Baixa
<i>Eugenia biflora</i> (L.) DC.	Secundária Tardia	0,3	Muito Baixa
Não Identificada	Não Classificada	0,3	Muito Baixa
<i>Zollernia paraensis</i> Huber	Clímax	0,2	Muito Baixa
<i>Myrcia</i> sp.	Pioneira	0,2	Muito Baixa
<i>Bauhinia platypetala</i> Burch. ex Benth.	Secundária Inicial	0,2	Muito Baixa
<i>Senegalia multipinnata</i> (Ducke) Seigler & Ebinger	Secundária Inicial	0,2	Muito Baixa
<i>Bauhinia macrophylla</i> Poir.	Secundária Inicial	0,1	Muito Baixa
<i>Byrsonima crispa</i> A.Juss.	Secundária Inicial	0,1	Muito Baixa

Na área de regeneração natural o incremento médio anual diamétrico apresentou uma amplitude menor quando comparado ao plantio de mudas, variando de 0,4 cm.ano⁻¹ para a espécie *Zanthoxylum pentandrum* até 4,1 cm.ano⁻¹ para *Guatteria poeppigiana*.

Na regeneração natural, 10 espécies se enquadraram nas classes de aptidão alta ou muito alta por apresentarem crescimento em diâmetro acima da média, sendo que *Guatteria poeppigiana* Mart. (4,1 cm.ano⁻¹), *Hymenaea parvifolia* (2,9 cm.ano⁻¹), *Senegalia multipinnata* (4,1 cm.ano⁻¹) e *Aegiphila* sp. (2,5 cm.ano⁻¹) apresentaram os maiores incrementos. Nas classes de aptidão baixa ou muito baixa um total de 8 espécies apresentaram incremento em diâmetro abaixo da média (Tabela 11).

Cabe ressaltar que há uma carência de informações sobre o crescimento de espécies em experimentos utilizando a condução da regeneração natural em áreas de mineração, dificultando a análise comparativa dos dados.

Tabela 11: Média de crescimento anual em diâmetro por espécie em área de restauração florestal pós lavra de bauxita pela técnica de condução da regeneração natural em Paragominas-Pa.

Espécies	Grupo Ecológico	IPA DAP (cm.ano ⁻¹)	Classe de Aptidão
<i>Guatteria poeppigiana</i> Mart.	Pioneira	4,1	Muito Alta
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	Secundaria Tardia	2,9	Muito Alta
<i>Senegalia multipinnata</i> (Ducke) Seigler & Ebinger	Secundaria Inicial	2,6	Alta
<i>Aegiphila</i> sp.	Pioneira	2,5	Alta
Não Identificada 2	Não Classificada	2,5	Alta
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Secundaria Inicial	2,3	Alta
<i>Cecropia</i> sp.	Pioneira	2,3	Alta
<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy	Pioneira	2,1	Alta
Não Identificada 4	Não Classificada	2,0	Alta
<i>Guatteria</i> Ruiz & Pav.	Pioneira	1,8	Alta
<i>Solanum</i> sp.	Pioneira	1,7	Baixa
Não Identificada 1	Não Classificada	1,7	Baixa
Não Identificada 3	Não Classificada	1,6	Baixa

Espécies	Grupo Ecológico	IPA DAP (cm.ano ⁻¹)	Classe de Aptidão
<i>Byrsonima crispera</i> A.Juss.	Secundaria Inicial	1,3	Baixa
<i>Croton matourensis</i> Aubl.	Pioneira	1,0	Baixa
<i>Inga sp.</i>	Secundaria Inicial	0,7	Baixa
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Pioneira	0,5	Baixa
<i>Zanthoxylum pentandrum</i> (Aubl.) R.A.Howard	Pioneira	0,4	Muito Baixa

O incremento periódico anual em diâmetro nas duas técnicas está acima do limite máximo estabelecido para o indicador ($> 0,7\text{cm.ano}^{-1}$) recebendo ambas a pontuação 3.

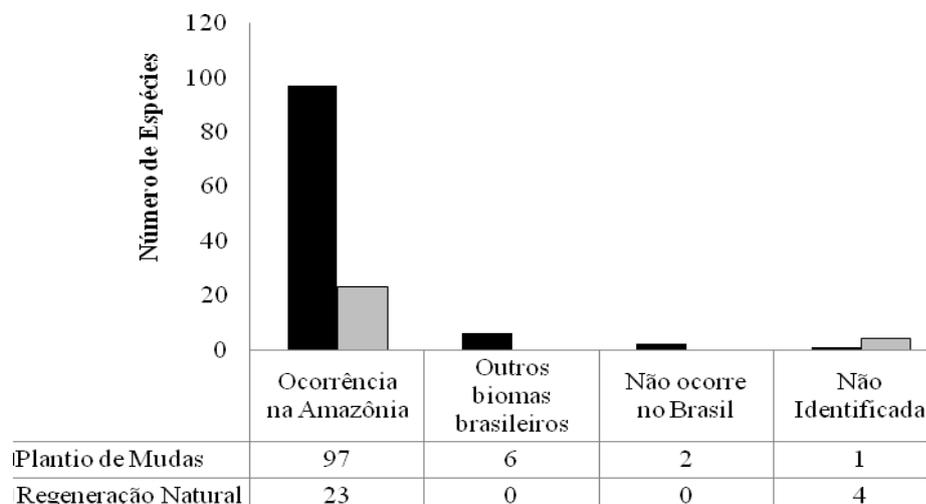
4.3.3 Presença de espécies exóticas e ameaçadas de extinção

Das 106 espécies registradas na área do plantio de mudas apenas uma espécie não foi identificada e, do restante, 97 espécies tem ocorrência registrada na região amazônica, 6 espécies não tem registro de ocorrência para a Amazônia (JBRJ, 2015), porém com registro em outros biomas brasileiros. Apenas *Bauhinia macrophylla* e *Bauhinia purpurea* foram classificadas como exóticas, ou seja, não possuem registro de ocorrência na flora do Brasil (Figura 15).

Na regeneração natural, como esperado, foram registradas 23 espécies de ocorrência na flora do bioma Amazônia, tendo em vista que as espécies são originárias do banco de sementes da floresta nativa retirada para a extração da lavra de bauxita (Figura 16).

Seguindo os critérios de verificação estabelecidos, o plantio de mudas recebeu uma nota mínima (zero), por haver espécies exóticas e a regeneração natural, nota máxima (três).

Figura 16: Número de espécies nativas e exóticas encontradas no plantio de mudas e regeneração natural em áreas em restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.



Espécies exóticas devem ser controladas em áreas sob restauração, para permitir e estimular o desenvolvimento de espécies nativas mais desejadas (NBL, 2013). Espécies

nativas, especialmente aquelas de interesse para a restauração devem ser favorecidas, inclusive com aplicação de tratamentos silviculturais (adubação, controle de formigas etc.) que melhorem o seu desenvolvimento e estabelecimento no povoamento.

Com relação às espécies ameaçadas de extinção foram encontradas 15 espécies, dentre as quais duas não estão inseridas na lista de espécies da implantação do projeto (*Pterocarpus santalinoides* e *Zollernia paraensis* Huber). A lista de espécies implantadas no projeto foi identificada a partir da lista de nomes vulgares no ato da compra das mudas e, sabe-se que na identificação de mudas pode haver um maior erro de associação de nomes científicos a nomes vulgares, praticados sem o conhecimento das estruturas morfológicas das plantas.

Cabe ressaltar que, a identificação de mudas é complexa e não é feita pelos herbários credenciados, uma vez que, trata-se de material não fértil, e apesar da compra ser realizada em viveiros credenciados MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, não há regulamentação de venda a partir do nome científico.

Uma fragilidade observada na classificação das espécies quanto ao grau de ameaça, é a falta de padronização entre os órgãos que atribuem a nomenclatura às espécies, tal como exemplo a *Aspidosperma album*, que aparece como vulnerável na resolução do COEMA (2007), e nos demais (MMA, 2014) aparece como não ameaçada ou como dado insuficiente. A espécie que aparece como vulnerável, é a *Swietenia macrophylla*. Nenhuma espécie levantada foi classificada como criticamente ameaçada (Tabela 12).

Tabela 12: Lista de espécies ameaçadas de extinção no plantio de mudas nas áreas de restauração florestal da Mineração Paragominas, Paragominas - PA.

Espécies	Nível de Ameaça Lista Vermelha da IUCN	Nível de Ameaça Centro Nacional de Conservação da Flora (JBRJ)	Nível de Ameaça Portaria MMA n.º 443/2014	Nível de Ameaça Resolução do COEMA/PA nº 54/2007
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm	EN	NT	NE	NE
<i>Aspidosperma album</i> (Vahl) Benoist ex Pichon	NE	DD	NE	VU
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	NE	LC	NE	NE
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	LC	NE	NE	NE
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	EN	VU	VU	NE
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	LC	NE	NE	NE
<i>Genipa americana</i> L.	NE	LC	NE	NE
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	LC	LC	NE	NE
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	LC	VU	VU	NE
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	NE	LC	NE	NE
<i>Lecythis lurida</i> (Miers) S.A.Mori	LC	LC	NE	NE
<i>Parkia ulei</i> (Harms) Kuhlmann	LC	NE	NE	NE

Espécies	Nível de Ameaça Lista Vermelha da IUCN	Nível de Ameaça Centro Nacional de Conservação da Flora (JBRJ)	Nível de Ameaça Portaria MMA n.º 443/2014	Nível de Ameaça Resolução do COEMA/PA n.º 54/2007
<i>Pterocarpus santalinoides</i> L'Hér. ex DC.	LC	LC	NE	NE
<i>Swietenia macrophylla</i> King	VU	VU	VU	VU
<i>Zollernia paraensis</i> Huber	LC	NE	NE	NE

*LC: Menos preocupante; EN: Em perigo; DD: Dados insuficientes; VU: Vulnerável; NT: Quase ameaçada e NE: Não ameaçada

Nas unidades amostrais levantadas, nas áreas de regeneração natural, duas espécies foram identificadas nas listas oficiais, fato este positivo, visto que, o banco de sementes e/ou processo de dispersão estão favorecendo o aparecimento de tais espécies, sendo importante na perpetuação dessas espécies (Tabela 13).

Tabela 13: : Lista de espécies ameaçadas de extinção na regeneração natural nas áreas de restauração florestal da Mineração Paragominas, Paragominas - PA.

Espécies	Nível de Ameaça Lista Vermelha da IUCN	Nível de Ameaça Centro Nacional de Conservação da Flora (JBRJ)	Nível de Ameaça Portaria MMA n.º 443/2014	Nível de Ameaça Resolução do COEMA/PA n.º 54/2007
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	LC	LC	NE	NE
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	LC	VU	VU	NE

*LC: Menos preocupante; VU: Vulnerável e NE: Não ameaçada

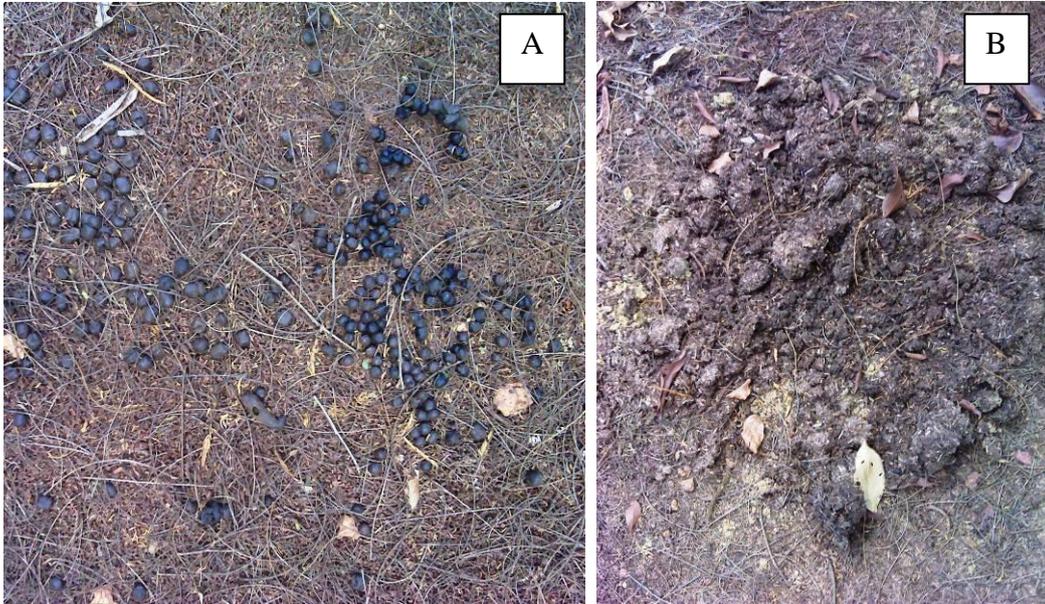
4.3.4 Vestígios de retorno da fauna

Para o indicador de retorno da fauna silvestre, foi verificado a presença de vestígios de fezes de *Tapirus terrestris* (anta), espécie que consta na lista de espécies ameaçadas de extinção da IUCN como vulnerável e *Mazama americana* (veado-mateiro) somente nas áreas de plantio de mudas, sendo atribuída a nota máxima para este indicador (três), enquanto que para a regeneração natural foi atribuída a nota zero, por não ter sido encontrado nenhum vestígio nas unidades amostradas (Figura 17 A e B).

A MPSA em maio de 2015 iniciou o monitoramento de fauna silvestre nas do PRAD, com parcelas instaladas nas áreas de plantio e regeneração natural afim de estudar os protocolos de mastofauna, herpetofauna, ornitofauna. Para o protocolo de mastofauna de mamíferos não voadores, foram encontradas cinco espécies, sendo duas espécies nas áreas de regeneração natural, cada uma com um indivíduo (*Caluromys philander* e *Hydrochoerus hydrochaeris*), e seis registros nas áreas de plantio, cada uma com um indivíduo (*Akodon sp.*, *Caluromys philander*, *Marmosops pinheiroi*) e, com três indivíduos *Marmosa murina*. Nesta

campanha não foi encontrada a espécie *Tapirus terrestris* (anta), porém foi relatado a sua ocorrência.

Figura 17: Vestígios de retorno da fauna silvestre nas áreas de plantio de mudas. A – Fezes de *Mazama americana*; B – Fezes de *Tapirus terrestris* Linnaeus



O entendimento da interação entre flora e fauna é relevante e deve ser considerado nos projetos de recuperação, a fim de proporcionar a atração da fauna e conseqüentemente favorecer a dispersão zoocórica de sementes. Nesse sentido, a escolha de espécies-chave da flora é extremamente importante na implantação de projetos de restauração.

Para o indicador de retorno da fauna silvestre, foi verificado a presença de vestígios de fezes de *Tapirus terrestris* (anta), espécie que consta na lista de espécies ameaçadas de extinção da IUCN como vulnerável e *Mazama americana* (veado-mateiro) somente nas áreas de plantio de mudas, sendo atribuída a nota máxima para este indicador (três), enquanto que para a regeneração natural foi atribuída a nota zero, por não ter sido encontrado nenhum vestígio nas unidades amostradas (Figura 17 A e B).

A MPSA em maio de 2015 iniciou o monitoramento de fauna silvestre nas do PRAD, com parcelas instaladas nas áreas de plantio e regeneração natural afim de estudar os protocolos de mastofauna, herpetofauna, ornitofauna. Para o protocolo de mastofauna de mamíferos não voadores, foram encontradas cinco espécies, sendo duas espécies nas áreas de regeneração natural, cada uma com um indivíduo (*Caluromys philander* e *Hydrochoerus hydrochaeris*), e seis registros nas áreas de plantio, cada uma com um indivíduo (*Akodon* sp., *Caluromys philander*, *Marmosops pinheiroi*) e, com três indivíduos *Marmosa murina*. Nesta campanha não foi encontrada a espécie *Tapirus terrestris* (anta), porém foi relatado a sua ocorrência.

Os resultados do indicador fauna são essenciais para entender a interação planta x animal no intuito de estudar a diversidade genética dentro das populações de espécies arbóreas por meio do fluxo gênico que ocorre com a polinização e dispersão de sementes que são influenciadas pelo processo de fragmentação e posterior recuperação das áreas (MACHADO et al., 2006).

Os resultados demonstram que as áreas em recuperação estão proporcionando condições favoráveis ao retorno da fauna. Cabe ressaltar que para a avaliação deste indicador é verificado somente vestígios nas unidades de amostras, havendo a necessidade de interface dos relatórios de monitoramento de fauna com o do PRAD, para poder fazer uma avaliação das estratégias de conservação do processo de restauração.

4.4 Avaliação global das duas técnicas a partir dos indicadores

A consolidação das notas obtidas por cada técnica, identificou que a condução da regeneração natural (72 pontos) apresentou nota superior quando comparado ao plantio de mudas (54 pontos), do total de pontuação que seria obtida por um projeto ideal (102 pontos) (Tabela 14). Apesar da diferença, ambos demonstram resultados satisfatórios na recuperação de áreas pós lavra de bauxita, salvo algumas adequações que devem ser realizadas.

Tabela 14: Avaliação global dos indicadores analisados para as técnicas de plantio de mudas e indução da regeneração natural em área de restauração florestal pós lavra de bauxita em Paragominas-Pa.

Código do Critério	Indicadores Avaliados	Peso (Grau de Importância)	Nota máxima do indicador	Nota final máxima	Plantio de Mudas		Regeneração Natural	
					Nota obtida do indicador	Nota final obtida	Nota obtida do indicador	Nota final obtida
A RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO								
A.1	Diversidade	3	3	9	3	9	2	6
A.2	Densidade de plantas	3	3	9	0	0	3	9
A.3	Área basal	2	3	6	0	0	3	6
A.4	Altura média	2	3	6	0	0	0	0
A.5	Grau de Cobertura	3	3	9	2	6	2	6
A.6	Serrapilheira	3	3	9	3	9	3	9
A.7	Presença de erosão	3	3	9	0	0	3	9
A.8	Presença de regeneração natural	3	3	9	3	9	3	9
B MANUTENÇÃO DA ÁREA EM RECUPERAÇÃO								
B.1	Mortalidade	3	3	9	0	0	0	0
B.2	Incremento em diâmetro	3	3	9	3	9	3	9
B.3	Presença de espécies exóticas	2	3	6	0	0	3	6
B.4	Presença de espécies ameaçadas	1	3	3	3	3	3	3
B.5	Vestígios de retorno da fauna	3	3	9	3	9	0	0
Nota Final				102	54		72	

Deve-se considerar que o processo de recuperação para uma melhor resposta, o *top soil* depositado nas áreas não deve ser previamente estocado, assim como não é recomendável a aplicação de capina dos indivíduos regenerantes. Cabe ainda ressaltar que, para optar pela recuperação por condução da regeneração natural, deve-se levar em consideração a proximidade de áreas florestadas próximas a implantação para facilitar o processo de dispersão de sementes e retorno da fauna.

O resultado mostra que alguns itens devem receber uma maior atenção para que a meta seja cumprida dentro do planejado. Isso demonstra a importância do monitoramento e a aplicação de métodos de avaliação a fim de permitir a identificação e correção de problemas no momento adequado para o estabelecimento de florestas restauradas sustentáveis, porém essa iniciativa ainda não é incorporada na maioria dos projetos em andamento no Brasil (BRANCALION, 2012).

Segundo Andrade (2014) a recuperação das áreas mineradas leva em consideração a regularização dos aspectos físicos e restauração do meio biótico e, nessa mesma ótica, Sanchez (2010) elenca quatro aspectos da paisagem que devem ser considerados: práticas de caráter topográfico, edáfico, hídrico e vegetativo. Nesse sentido, para se considerar que o ambiente está recuperado, deve-se interligar os resultados de monitoramento, hoje realizados individualmente pela empresa, para se obter uma visão holística da recuperação do ecossistema degradado.

Brancalion (2015), afirma que um dos principais problemas do processo de restauração é a definição de metas claras para que se possa avaliar e monitorar a fim de se obter um conjunto de resultados interpretados com sucesso em diferentes momentos da trajetória. Os estudos devem caminhar para estabelecer indicadores confiáveis e adequados a cada realidade local. No caso da MPSA, o objetivo da recuperação é retornar as características das áreas anteriormente suprimidas e, nesse sentido que se considera a lista de espécies identificadas nos inventários florestais realizados.

5 CONCLUSÃO

Os indicadores utilizados demonstraram que ambas as técnicas são eficientes na recuperação das áreas pós lavra de bauxita, sendo a regeneração natural, na avaliação global, a técnica que apresentou a maior nota, entretanto a utilização do uso misto das técnicas deve ser incentivada pela empresa.

6 RECOMENDAÇÕES

É necessário o estabelecimento de metas e objetivos claros para que a avaliação por meio do monitoramento consiga identificar se a trajetória atual está levando a uma condução de ecossistema restaurado.

Para a delimitação das técnicas a serem utilizadas nas áreas determinadas para a recuperação, recomenda-se que seja realizado inicialmente um zoneamento para se estabelecer qual técnica é mais apropriada de acordo com as características locais, como por exemplo, estabelecer a condução da regeneração natural em áreas próximas a fragmentos florestais remanescente, a fim de favorecer o processo de dispersão de sementes e retorno da fauna.

Para embasamento da avaliação dos resultados e, como empresa tem por objetivo o retorno da floresta com características encontradas antes da supressão, recomenda-se que se instale parcelas permanente nas áreas do entorno do empreendimento como parâmetro comparativo.

Algumas medidas preventivas e de planejamento inicial devem ser tomadas para melhorar os resultados encontrados, como por exemplo: a reconformação do terreno levando em consideração as curvas de nível, para minimizar os processos erosivos; a revisão do espaçamento utilizado, a fim de adensar e acelerar o recobrimento do solo e avaliar a lista de espécies escolhidas para a implantação do plantio de mudas.

Vale ressaltar que para um maior sucesso do desenvolvimento de indivíduos regenerantes, é necessário que não haja estoque de *top soil*, para que seja resguardado o poder germinativo das sementes contidas no banco. Outro fator seria tentar padronizar a quantidade de *top soil* espalhado na área a ser recuperada, evitando que o solo fique exposto.

Para um melhor resultado da recuperação é necessário um estudo mais aprofundado da estrutura vertical do perfil do solo, uma vez que é desestruturada as camadas dos perfis, em virtude do processo de lavra.

Sugere-se que seja avaliado de forma integrada os resultados de monitoramento dos meios bióticos e abióticos que a empresa já realiza, para se obter uma avaliação do processo de restauração do ecossistema pós lavra de bauxita, como por exemplo os resultados de monitoramento de fauna silvestre, recursos hídricos, pluviometria e temperatura.

Recomenda-se que os indicadores avaliados no presente estudo sejam incorporados na avaliação do monitoramento das áreas a serem recuperadas.

7 BIBLIOGRAFIA

- ABAL – Associação Brasileira do Alumínio - 2º Workshop Bauxita & Alumina da Amazônia. Acessado em: 15/02/2016. <http://www.abal.org.br/noticias/lista-noticia/integra-noticia/?id=1290>
- ALBUQUERQUE, J.M. **Identificação de plantas invasoras de cultura da região de Manaus.** *Acta Amazonica*, 10, 47-95. 1980.
- ALCOA – Alcoa no Brasil: Juruti. Acessado em: 15/02/2016. https://www.alcoa.com/brasil/pt/info_page/Juruti.asp
- ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Indicadores da qualidade do substrato para monitoramento de áreas de mineração revegetadas.** *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 2, p. 153-163, 2015.
- AMARAL, D. D. D.; VIEIRA, I. C. G.; ALMEIDA, S. S. D.; SALOMÃO, R. D. P.; SILVA, A. S. L. D.; JARDIM, M. A. G. **Checklist da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil.** *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, Belém, v.4, n.3, p.231-289. 2009.
- 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.
- AZEVEDO, V. K.; FRANCELINO, M. R. **Determinação da cobertura de copa utilizando diferentes métodos.** Apresentado no Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental – 14 a 16 de setembro de 2011 SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES. 2011.
- BARBOSA, A. P., PALMEIRA, R. C. F., NASCIMENTO, C. S., & FEITOZA, D. S. **Leguminosas Florestais da Amazônia Central. I. Prospecção das Classes de Compostos Presentes na Casca de Espécies Arbóreas.** *Revista Fitos Eletrônica*, 1(03), 47-57. 2013.
- BARROS, D. A.; GUIMARÃES, J. C. C.; PEREIRA, J. A. A.; BORGES, L. A.C.; SILVA, R. A.; PEREIRA, A. A. S. **Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts.** *Rem: Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 65, n. 1, p. 127-133, jan./mar. 2012.
- BAZZAZ, F.A.. **The physiological ecology of plant succession.** *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10: 351-371. 1979.
- BOHS L. **Flora Neotrópica. Cyphomandra (Solanaceae).** The New York Botanical Garden. Nova Cork, EEUU. Monograph 63: 1-175 pp. 1994.
- 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.
- BRANDT. **Relatório de impacto ambiental da empresa Mineração Bauxita Paragominas.** Ananindeua, 2003.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília: Senado, 1998.
- BYRD, E. J. **Soil water percolation and erosion on uncompacted surface mine soil in eastern Kentucky.** In: Annual National Meeting America Society for Surface Mining and Reclamation, 19. Montavesta. Proceedings... Lexington: ASMR, 2003, p. 1049-1058. 2003.
- CALDEIRA, M. V. W., DA SILVA, R. D., KUNZ, S. H., ZORZANELLI, J. P. F., CASTRO, K. C., & DE OLIVEIRA GODINHO, T. **Biomassa e nutrientes da serapilheira em diferentes coberturas florestais.** *Comunicata Scientiae*, 4(2), 111-119. 2013. 2013.
- CARNEVALE N.; MONTAGNINI, F. **Facilitating regeneration of secondary forests with the use of mixed and pure plantations of indigenous tree species.** *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 163, p. 217-227, 2002.

- CHARLES-DOMINIQUE, P. **Inter-relations between frugivorous vertebrates and pioneer plants: *Cecropia*, birds and bats in French Guyana.** In: ESTRADA, A. & FLEMING, T.H. (eds.). *Frugivores and Seed Dispersal*. Dordrecht, Junk. p. 119-135. 1986.
- CHAZDON, R. L., C. A. PERES, D. Dent, D. SHEIL, A. E. LUGO, D. LAMB, N. E. STORK & S. E. MILLER. **The potential for species conservation in tropical secondary forests.** *Conservation Biology* 23(6): 1406-1417. 2009.
- CHAZDON, R. **Regeneração de florestas tropicais Tropical forest regeneration.** *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi de Ciências Naturais*, v. 7, p. 195-218, 2012.
- CHOKKALINGAM, U. N. N. A.; DE JONG, Wil. **Secondary forest: a working definition and typology.** *The International Forestry Review*, p. 19-26, 2001.
- CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – COEMA Nº 54/2007, de 24 de outubro de 2007. Homologa a lista de espécies da e da fauna ameaçadas no Estado do Pará. 2007.
- CORAL, S. T., LUIZÃO, F., PASHANASI, B., DEL CASTILLO, D., & LAVELLE, P. **Influência da massa e nutrientes da liteira sobre a composição dos macro-invertebrados em plantíos florestais na Amazônia peruana.** *Folia Amazónica*, 23(2), 171-186. 2014.
- DE ANDRADE, G.F.; SANCHEZ, G.F.; DE ALMEIDA, J.R.. **Monitoramento e Avaliação em Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas.** *Revista Internacional de Ciências*, v. 4, n. 2, p. 13-26, 2014.
- DE OLIVEIRA, L. C. **Dinâmica de crescimento e regeneração natural de uma floresta secundária no Estado do Pará.** In *Ecology and Management of Tropical Secondary Forest: Science, People, and Policy: Proceedings of a Conference Held at CATIE, Costa Rica, November 10-12, 1997 (Vol. 4, p. 69)*. Bib. Orton IICA/CATIE. 1998.
- DIAS, L. E.; ASSIS, I. R. **Restauração ecológica em áreas degradadas pela mineração.** In: SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, 4., São Paulo. Anais... São Paulo: Instituto de Botânica, 2011. p. 79-87.
- DICKOW, K. M.; MARQUES, R.; PINTO, C. B.; HÖFER, H. **Produção de serapilheira em diferentes fases sucessionais de uma floresta subtropical secundária, em Antonina, PR.** *Cerne*, v.18, n.1, p.75-86, 2012.
- DURIGAN, G. **O uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação.** *Cadernos da Mata Ciliar: Monitoramento de áreas em recuperação*. n. 4 São Paulo, 2011.
- EHRENFELD, J.G., **Defining the Limits of Restoration: The Need for Realistic Goals.** *Restoration Ecology*, v.8, n. 1, p. 2–9, mar. 2009.
- FRANCEZ, L. M. B.; CARVALHO, J. O. P.; JARDIM, F. C. S. **Mudanças ocorridas na composição florística em decorrência da exploração em uma área de floresta de terra firme na região de Paragominas, PA.** *Acta Amazônica*, v. 37, n. 2, p. 219 - 228. 2007.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS - FIPE. **Análise espacial da mineração no Pará.** Secretaria de Estado de Transporte do Estado do Pará. Plano Estadual de Logística e Transportes do Estado do Pará. São Paulo. 2009. Acessado em 17/02/2016.
- FORZZA, R.C.; BAUMGRATZ, J.F.A.; BICUDO, C.E.M.; CARVALHO Jr., A.A.; COSTA, A.; COSTA, D.P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P.M.; LOHMANN, L.G.; MAIA, L.C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M.P.; COELHO, M.A.N.; PEIXOTO, A.L.; PIRANI, J.R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L.P.; SOUZA, V.C.; STEHMANN, J.R.; SYLVESTRE, L.S.; WALTER, B.M.T. & ZAPPI, D. (eds.). **Catálogo de plantas e fungos do Brasil.** Vols. I-II. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Xp. 2010.
- GANDOLFI, S.. **Historia natural de uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Campinas.** 551f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade de Campinas, Campinas, 2000.
- GOMEZ-POMPA, A.; VASQIJES, C., GIJEVARA, 3. **The tropical rain forest: a non-renewable resource.** *Science*, (177) :762—5, 1972.
- GOMIDE, G. L. A. **Estrutura e dinâmica de crescimento de florestas tropicais primária e secundária no Estado do Amapá.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. 1997.
- GORCHOV D.L., CORNEJO F., ASCORRA C., JARAMILLO M. **The role of seed dispersal in the natural regeneration of rain forest after strip-cutting in the Peruvian Amazon.** Em Fleming TH, Estrada A (Eds.) *Frugivory and Seed Dispersal: Ecological and Evolutionary Aspects*. Kluwer. Dordrecht, Holanda. pp. 339-349. 1993.

GUIMARÃES, J. C. C.; CHAGAS, J. M. ; CAMPOS, C. C. F. ; ALECRIM, E. F. ; MACHADO, F. S. . **Avaliação dos aspectos e impactos ambientais decorrentes da mineração de bauxita no sul de Minas Gerais**. Enciclopédia Biosfera, v. 8, p. 321-333, 2012.

GUIMARÃES, J. C. C.; CHAGAS, J. M. ; CAMPOS, C. C. F. ; ALECRIM, E. F. ; MACHADO, F. S. . **Avaliação dos aspectos e impactos ambientais decorrentes da mineração de bauxita no sul de Minas Gerais**. Enciclopédia Biosfera, v. 8, p. 321-333, 2012. GUIMARÃES, João Carlos Costa. **Restauração ecológica de áreas mineradas de bauxita na Mata Atlântica**. 2015.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM

_____ (a) **Informações sobre a Economia Mineral Brasileira 2015**. Acessado em 18/02/2016. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>

_____ (b) **Informações sobre a Economia Mineral do Estado do Pará 2015**. Acessado em 18/02/2016. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005484.pdf>

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2014. Projeto PRODES: monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. Disponível em < <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acessado em 15/08/2015.

IUCN Red List of threatened species. IUCN Species Survival Commission. IUCN Gland Switzerland and Cambridge, UK, 2004. Disponível em: <www.redlist.org>. Acesso em: 13/08/2015.

JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO – JBRJ. Reflora. **Lista de Espécies da Flora do Brasil. Rio de Janeiro**; 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 21/04/2015

JOHNS, J.S.; BARRETO, P.; UHL, C., **Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon**. Forest Ecology and Management, v. 89, p. 59–77, 1996

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.

KNIGHT, D. H. **A Phytosociological Analysis of Species-rich Tropical Forest on Barro Colorado Island, Panama**. Ecological Monographs, v. 45, p. 259-28, 1975.

KOTSCHOUBEY B.; CALAF J. M. C.; LOBATO A. C. C.; LEITE A. S.; AZEVEDO C. H. D. **Caracterização e gênese dos depósitos de bauxita da Província Bauxitífera de Paragominas, noroeste da bacia do Grajaú, nordeste do Pará/ oeste do Maranhão**. In: MARINI O.J., QUEIROZ E.T., RAMOS B.V. (Eds.) **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília: DNPMCT/ Mineral-ADIMB, 2005. p. 691-782.

LEÃO, N. V. M.; OHASHI, S. T.; VIEIRA, I. C. G.; GHILARDI JÚNIOR, R. **Ilha de Germoplasma de Tucuruí: uma reserva da biodiversidade para o futuro**. Brasília, DF: Eletronorte, 2005. 232 p. il.

LETCHER, S. G. & R. L. CHAZDON, 2009. **Rapid recovery of biomass, species richness, and species composition in a forest chronosequence in Northeastern Costa Rica**. Biotropica 41: 608-617.

LIMA, A.C.S.M. **Avaliação da Restauração de Áreas Degradadas pela Mineração de Bauxita, Paragominas – PA**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA. 2014.

LUIZÃO, F. J. **Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas**. Ciência e cultura, v. 59, n. 3, p. 31-36, 2007.

MACEDO, A. J. B.; BAZANTE, A. J.; BONATES, E. J. L. **Seleção do método de lavra: arte e ciência**. REM: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 54, n. 3, p. 221-225, 2001.

MACHADO, E. L. M., GONZAGA, A. P. D., MACEDO, R. L. G., VENTURIN, N., & GOMES, J. E.. **Importância da avifauna em programas de recuperação de áreas degradadas**. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, 4(7), 3-9. 2006.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE – MMA Nº 443/202014, de 17 de dezembro de 2014. **Homologa alista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção no Estado do Pará**. 2014.

- MARASCHIN-SILVA, F., SCHERER, A., BAPTISTA, L.R.M.. **Diversidade e estrutura do componente herbáceo-subarbustivo em vegetação secundária de Floresta Atlântica no sul do Brasil**. R. bras. Bioci., Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 53-65, jan./mar. 2009.
- MARTINS, S. V.; Rodrigues B. D.; Leite, H. G. A contribuição da ecologia florestal no desenvolvimento de modelos e técnicas de restauração florestal de áreas degradadas. **Revista Ação Ambiental**, v.10, n.36, p.10-13, 2007.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de Áreas Degradadas: como recuperar áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e áreas de mineração**. 3. ed. Viçosa: Aprenda Fácil/Centro de Produções Técnicas, 2013. 264 p.
- 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, 2010. v. 1. 268 p
- MARTINS, S. V. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados** – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012.
- MASSOCA, PES et al. **Dinâmica e trajetórias da sucessão secundária na Amazônia Central**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais, Belém, v. 7, n. 3, p. 235-250, 2012.
- MEDELLÍN R.A., GAONA O. **Seed dispersal by bats and birds in Forest and disturbed habitats of Chiapas, México**. Biotropica 31: 478-485. 1999.
- MELO, A.C.G.de; MIRANDA, D.L.C. de; DURIGAN, G.. **Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no médio vale do Paranapanema, SP, Brasil**. Revista Árvore, v. 31, n. 2, p. 321, 2007.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA.. **Manual de normas e procedimentos para licenciamento ambiental no setor de extração mineral**. Brasília, DF. 2001.
- MORAIS CRUIA, A. P. de O.; VEIGA, J.B.; LUDONINO, R. M. R.; SIMÃO NETO, M.; TOURRAND, J. F. **Caracterização dos sistemas de produção da agricultura familiar de Paragominas-PA: a pecuária e propostas de desenvolvimento**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1999.
- MORELLATO P.C., LEITÃO-FILHO H.F. **Padrões de frutificação e dispersão na Serra do Japi**. Em Morellato PC (Ed.) **História Natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no Sudeste do Brasil**. UNICAMP/FAPESP. Campinas, São Paulo, Brasil. pp. 111-140. 1992.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: J. Willey and Sons, 1974, p. 45-135.
- MURRAY K.G., KINSMAN S., BRONSTEIN J.L. **Plant-animal interactions**. Em Nadkarni NM, Wheelwright NT (Eds.) **Monteverde: Ecology and Conservation of a Tropical Cloud Forest**. Oxford University Press. Nova York, EEUU. pp. 245-302. 2000.
- NBL – Engenharia Ambiental Ltda e The Nature Conservancy (TNC). **Manual de Restauração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará**. Belém, PA: The Nature Conservancy, 2013. 128 p.
- NEPSTAD, D.C.; UHL, C.; SERRÃO, E.A.S. **Surmounting barriers to forest regeneration in abandoned, highly degraded pastures: a case study from Paragominas, Pará, Brasil**. In: ANDERSON, A. (Ed.). **Alternativas to deforestation, steps towards sustainable use of the Amazon rain forest**. New York: Columbia University Press, 1990. p. 215-220.
- NEPSTAD D.C., UHL C., PEREIRA C.A., SILVA J.M.C. **Estudo comparativo do estabelecimento de árvores em pastos abandonados e florestas adultas da Amazônia oriental**. Em Gascon C, Moutinho P (Eds.) **Floresta Amazônica: dinâmica, regeneração e manejo**. Ministério Ciência e Tecnologia/INPA. Manaus, Brasil. pp. 191-218. 1998.
- ODUM, E. P. 1988. **Fundamentos de Ecologia**. 4ª Ed. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 927pp.
- PASSOS, F.C., SILVA, W.R., PEDRO, W.A., BONIN, M.R.. **Frugivoria em morcegos (Mammalla, Chiroptera) no Parque Estadual Intervales, sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Zoologia, Curitiba, v. 20, p. 511-517. 2003.
- PINTO, A.; AMARAL, P.; SOUZA JUNIOR, C.; VERÍSSIMO, A.; SALOMÃO, R.; GOMES, G.; BALIEIRO, C. **Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas**. Relatório Técnico. Belém/PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon. 65p. .2009.

- REIS A., NACAZONO E.M., MATOS J.Z. **Utilização da sucessão e das interações planta-animal na recuperação de áreas florestais degradadas.** Em Recuperação de áreas degradadas. III curso de atualização. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil. pp. 29-36. 1996.
- RICHARDS, P. LV. **The tropical rain forest.** Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1952. 450 p.
- RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares.** *Matas Ciliares Conservação e Recuperação* v1, p. 235-247, 2000.
- 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.
- SALOMÃO, R. P.; MATOS, A. H.; ROSA, N. A. 2002. **Dinâmica de reflorestamentos visando a restauração da paisagem florestal em áreas de mineração na Amazônia.** *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Bot.*, Belém, v. 18, n.1, p. 157-194.
- SALOMÃO, R. P.; ROSA, N. A.; CASTILHO, A.; MORAIS, J. A. C. **Castanheira-do-brasil recuperando áreas degradadas e provendo alimento e renda para comunidades da Amazônia Setentrional.** *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, v.1, n.2, p.65-78, 2006.
- SALOMÃO, R. P., VIEIRA, I. C. G., BRIENZA JUNIOR, S., AMARAL, D. D., & SANTANA, A. C. **Sistema Capoeira Classe: Uma proposta de sistema de classificação de estágiosucessionais de florestas secundárias para o estado do Pará.** *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi Cienc. Nat.*, 7, 297-317. 2012
- SALOMÃO, R. P.; SANTANA, A. C.; JÚNIOR, S. B.. **Seleção de espécies da floresta ombrófila densa e indicação da densidade de plantio na restauração florestal de áreas degradadas na Amazônia.** *Ciência Florestal*, v. 23, n. 1, p. 139-151, 2013.
- 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, L.E. **Planejamento e gestão do processo de recuperação de áreas degradadas.** In: ALBA, J.M.F. Ed. *Recuperação de áreas mineradas.* Brasília: Embrapa, 2010. Parte 2, Capítulo 2, p. 104 – 121.
- SANTOS, L. M. **Restauração de campos ferruginosos mediante resgate de flora e uso de topsoil no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais.** 241 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2010.
- SCOLFORO, J.R.S. *Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas.* Lavras: UFLA: FAEPA, 1998. 441p.
- SEDEME – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Mineração e Energia do Pará – Estatística, Pará em Números, PIB 2012. Acessado em: 15/02/2016. <http://sedeme.com.br/portal/estatistica/para-em-numeros/pib/>
- 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.
- SHANNON, C.E. & W. WEAVER. *The mathematical theory of communication.* The Univ. of Illinois Press, Urbana, IL. 1949
- SILVA J.M.C. da, UHL C., MURRAY G. **Plant succession, landscape management, and the ecology of frugivorous birds in abandoned Amazonian pastures.** *Cons. Biol.* 10: 491-503. 1996.
- SILVA, R. das C. **Contribuição de levantamentode solo a caracterização dos sistemas naturais e ambientais na região de Paragominas – Estado do Pará.** 1997. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1997.
- SILVA, N.R.S. **Florística e estrutura horizontal de uma floresta estacional semidecidual Montana, Mata do Juquinha de Paula, Viçosa, MG.** 68 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.
- SILVA, K.de A. **Avaliação de uma área em restauração pós-mineração de bauxita, município de Descoberto, MG.** 2013.
- SOARES, C. P. B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal.** 2.ed. Ed. UFV. Viçosa, MG. 2011. 272p.

- SOUZA, P. B. D., SOUZA, A. L. D., COSTA, W. D. S., PELOSO, R. V. D., & LANA, J. M. D. (2012). Florística e diversidade das espécies arbustivo-arbóreas regeneradas no sub-bosque de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. Sperandio et al (2012).
- SPERANDIO, H. V.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, V. H.; LEAL, G. F.; BRINATE, I. B.; CALDEIRA, M. V. W. Emprego da serapilheira acumulada na avaliação de sistemas de restauração florestal em Alegre-ES. *Floresta e Ambiente*, v.19, n.4, p.460-467, 2012.
- SPRENT, J. I. Nodulation in Legumes. Kew: Royal Botanical Gardens. 146p. 2001.
- TABARELLI M., MANTOVANI W., PERES C.A. **Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brasil.** *Biol. Cons.* 91: 119-127. 1999.
- 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.
- TRACEY, J. G. **A note on rain forest regeneration.** In: SHEPI-ERD, Richter. *Managing the tropical forest.* s. l., Australian National University, 1985. p. 2258.
- UHL, C.; ALMEIDA, O. **Planejamento do uso do solo do município de Paragominas utilizando dados econômicos e ecológicos.** Imazon, 1998.
- VALERI, S. V. E.; SENÔ, K. C. A. **Manejo e recuperação Florestal. Legislação, uso da água e sistema agroflorestais.** 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2004. 180 p.
- VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SAUERESSIG, D.; PUTON, V. PIMENTEL, A. **Análise da composição florística e da estrutura horizontal de uma floresta ombrófila mista Montana, município de Irati, PR-Brasil.** *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais*, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 137-147, abr./jun. 2008.
- WHITMORE, T. C. **Canopy gaps and the two major groups of forest trees.** *Ecology*, Washington, v. 70, n. 3, p. 536–538, jun. 1989.