



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ - UFOPA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE JURUTI
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MINAS**

LUCIANO DA SILVA LEITÃO

**O USO DO MÉTODO DE NUCLEAÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA: UM ESTUDO DE CASO NA MINA DE BAUXITA DE JURUTI-PA.**

**JURUTI-PA
2023**

LUCIANO DA SILVA LEITÃO

**O USO DO MÉTODO DE NUCLEAÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA: UM ESTUDO DE CASO NA MINA DE BAUXITA DE JURUTI-PA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Minas, no Campus
Universitário de Juruti, na Universidade Federal do
Oeste do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Correa Matos
Do Amaral.

**JURUTI-PA
2023**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

L533u Leitão, Luciano da Silva

O uso do método de nucleação para recuperação de área degradada: um estudo de caso da mina de bauxita de Juruti-PA / Suelen Amoedo Mouzinho – Juruti, 2023.
58 p. : il.

Inclui bibliografias.

Orientador: Marcos Antônio Correa Matos do Amaral
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Universitário de Juruti, Bacharelado em Engenharia de Minas.

1. bauxita. 2. Recuperação de área degradada. 3. nucleação. I. Amaral, Marcos Antônio Correa Matos do, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 363.7

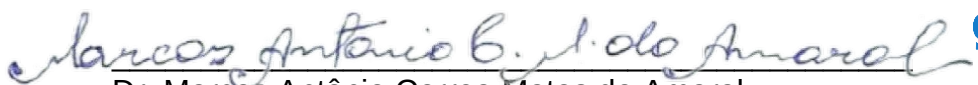
LUCIANO DA SILVA LEITÃO

**O USO DO MÉTODO DE NUCLEAÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA: UM ESTUDO DE CASO NA MINA DE BAUXITA DE JURUTI-PA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Minas, no Campus
Universitário de Juruti, na Universidade Federal do
Oeste do Pará.

Conceito: APROVADO

Data de Aprovação: 16/01/2023



Dr. Marcos Antônio Correa Matos do Amaral
Orientador - Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)



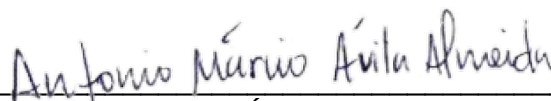
Documento assinado digitalmente
MARCOS ANTONIO CORREA MATOS DO AM.
Data: 26/01/2023 22:24:03-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>



Msc. Michael José Batista dos Santos
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)



Documento assinado digitalmente
MICHAEL JOSE BATISTA DOS SANTOS
Data: 30/01/2023 17:11:28-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>



Msc. Antônio Márcio Ávila Almeida
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)



Documento assinado digitalmente
ANTONIO MARCIO AVILA ALMEIDA
Data: 30/01/2023 17:17:10-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dedico este trabalho a Deus, minhas filhas e esposa, minha mãe e todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram a conseguir essa tão sonhada conquista.

AGRADECIMENTO

Para esse trabalho, gostaria de agradecer primeiramente a Deus que sempre esteve a meu lado, me proporcionando saúde e discernimento para vencer as batalhas uma de cada vez, à minha família que sempre me apoiou e me deu forças para seguir, minha mãe que me educou e me motiva até hoje, meus amigos e familiares por sempre estarem ao meu lado.

Também é importante agradecer ao meu orientador e demais professores da UFOPA por me ajudarem durante toda essa caminhada.

Eu não falhei, encontrei 10 mil soluções que não
davam certo.
(Thomas Edison)

RESUMO

Este trabalho estudou a mineração na sociedade e a importância de fazer as tratativas corretas para minimizar os danos e a pegada que essa indústria deixa no meio ambiente. O cenário deste estudo é a mineradora Alcoa Alumina World localizada em Juruti no Oeste do Pará, onde o minério extraído é bauxita para a transformação em alumínio, onde se obteve as informações relevantes de como é feito o processo de reflorestamento de grandes áreas mineradas e também o acompanhamento desses locais para verificar se de fato o progresso está sendo positivo. Com isso, esse trabalho visou mostrar de maneira bem exemplificada como ocorre o processo de reflorestamento das áreas mineradas, pelo método de nucleação, de maneira que se entenda que é possível fazer a recuperação de grandes espaços minerados de forma assertiva, mostrando que existe mineração sustentável e isso é uma realidade cada vez mais presente nos dias atuais. Desta maneira espera-se que este estudo e suas respectivas informações atinja a sociedade no geral, para gerar conhecimento sobre a importância da mineração sustentável e métodos de reflorestamento adequados para diferentes cenários.

Palavra-chave: bauxita; recuperação de áreas degradadas; nucleação.

ABSTRACT

This work studied mining in society and the importance of taking the right steps to minimize damage and the environmental footprint that this industry leaves. The scenario of this study is the mining company Alcoa Alumina World located in Juruti in western Pará, where the extracted ore is bauxite for transformation into aluminum, where relevant information was obtained on how the reforestation process of large mined areas is carried out and also the follow-up of these places to verify if the progress is being positive. With this, this work aimed to show in a well-exemplified way how the process of reforestation of mined areas occurs, by the nucleation method, so that it is understood that it is possible to recover large mined spaces assertively, showing that there is sustainable mining and this is an increasingly present reality today. In this way, it is expected that this study and its respective information reach society in general, to generate knowledge about the importance of sustainable mining and reforestation methods suitable for different scenarios.

Keyword: bauxite; recovery of degraded areas; nucleation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cava de mina a céu aberto minerada pela Vale	17
Figura 2 - Processo de degradação e recuperação de um solo	18
Figura 3 - Talude de aterro vegetado com espécies nativas	19
Figura 4 - Cangas arbustivas contendo espécies características dessa fisionomia ...	20
Figura 5 - Espécies catalogadas e suas respectivas abrangências	20
Figura 6 - Arranjos para o plantio de mudas no campo.....	21
Figura 7 – Fluxo de funcionabilidade de processo	22
Figura 8 - Localização regional da Floresta de Saracá-Taquera.....	23
Figura 9 - Tanque de rejeito submetido a técnicas de recuperação, hidrossemeadura, lançamento de sementes, adubação e plantio	24
Figura 10 - Fluxograma de processos aplicados para recuperação de área.....	25
Figura 11 - Localização do município de Paragominas no Pará.....	26
Figura 12 - Fluxograma de etapas utilizadas para a recuperação ambiental em Paragominas	27
Figura 13 - Área em processo de recuperação por meio de nucleação em Paragominas	28
Figura 14 - Terreno reflorestado utilizando o método de plantio de mudas em 2009 (imagem A) e em 2014 (imagem B)	29
Figura 15 - Exemplificação do método de lavra em tiras da bauxita	30
Figura 16 - Trator D11 sobre a tira de minério após ter removido o estéril	31
Figura 17 - Carregamento e transporte de minério feito por carregadeira e caminhão	32
Figura 18 - Perfil litológico de normalmente encontrado sobre minério	34
Figura 19 - Solo orgânico rico em micro e macroorganismos importantes para a vida vegetal.....	35
Figura 20 - Trator D11 desmontando estéril uma mina de bauxita.....	36
Figura 21 – Disposição de núcleos de matéria orgânica em terreno em recuperação	37
Figura 22 – Fluxograma das principais etapas realizadas nas frentes de lavra	39
Figura 23 – Área reconformada topograficamente pronta para receber os núcleos.	40
Figura 24 – Área escarificada devido as camadas de estéril estarem depositadas horizontalmente, impossibilitando a infiltração de água	40
Figura 25 – Semi escarificação de terreno para preparação em receber os núcleos	41
Figura 26 - Transporte de galharia por caminhões.....	42
Figura 27 - Núcleos dispostos em módulo (solo orgânico, galharia e berma)	42
Figura 28 - Micro bacias de água da chuva formadas entre os núcleos.....	43
Figura 29 - Plantio de mudas nos núcleos	46
Figura 30 - Evolução de plantio e crescimento da vegetação durante os anos.....	47
Figura 31 - Galhada servindo como poleiros artificiais	48
Figura 32 - Índícios de semeadura e polinização	49

Figura 33 - Viveiro de mudas para o plantio e reflorestamento	50
Figura 34 - Núcleo formado somente por solo orgânico, coberto por vegetação rasteira	50
Figura 35 - Vegetação presente em núcleo formado por galharias e solo orgânico.	51
Figura 36 - Área reflorestada com 3 a 5 anos (escala de uma visitante).....	52
Figura 37 - Registro fotográfico de pegada de onça pintada em área de recuperação ambiental da Alcoa-Juruti	52
Figura 38 - Registro fotográfico de ave em área de recuperação ambiental da Alcoa Juruti	53
Figura 39 - Cobra encontrada na área de recuperação	53
Figura 40 - Área de reflorestamento ambiental da Alcoa-Juruti, com 8 anos de desenvolvimento	54
Figura 41 - Área de reflorestamento ambiental da Alcoa-Juruti, com extratos naturais produzidos pela floresta	54
Figura 42 - Mapa em escala 1:30.000 da classificação de áreas recuperadas por etapa na Alcoa Juruti.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo geral.....	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Degradação Mineral.....	15
2.1.1	Conceitos de degradação	15
2.1.2	Degradação e Mineração.....	15
2.1.3	Causas de degradação pela mineração	15
2.2	Casos de recuperação ambiental em atividades de mineração na Amazônia	17
2.2.1	O Método de recuperação de mineração de ferro em Carajás	17
2.2.1.1	Preparação do solo.....	18
2.2.1.2	Seleção de espécies Vegetais.....	19
2.2.1.3	Revegetação de áreas degradas.....	21
2.2.1.4	Monitoramento e avaliação do <i>status</i> da revegetação.....	22
2.2.2	O Método de recuperação da mineração de bauxita em Porto Trombetas.....	23
2.2.2.1	Recuperação de tanques de rejeito	23
2.2.2.2	Recuperação de solo estéril com reflorestamento.....	25
2.2.3	O Método de recuperação da mineração de bauxita em Paragominas	25
2.2.3.1	Recuperação de área degradada	26
2.3	Mineração de bauxita.....	29
2.3.1	Lavra da Bauxita.....	30
2.4	Área degradada	32
2.4.1	Recuperação de área degradada	32
2.4.2	Supressão vegetal	33
2.4.3	Transposição de solo orgânico	34
2.4.4	Remoção de estéril.....	35
2.5	Nucleação	36
3	METODOLOGIA.....	38
4	CONTEXTO TEÓRICO.....	39

4.1 Etapas da nucleação	39
4.1.1 Ajuste de topografia.....	39
4.1.2 Disposição dos núcleos	41
4.2 Recuperação vegetal	43
4.2.1 Levantamento de banco de sementes.....	43
4.2.2 Plantio de mudas	46
4.3 Aspectos ecológicos da nucleação	48
4.3.1 Poleiros artificiais.....	48
4.4 Evolução das áreas reabilitadas	49
4.4.1 Evolução da primeira etapa	49
4.4.2 Evolução da <i>segunda</i> etapa	51
4.4.3 Evolução da terceira etapa	53
5 CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

A mineração é um processo de exploração de recursos naturais do subsolo, indispensável para o desenvolvimento e manutenção do que se entende por sociedade moderna atualmente. A partir deste processo, o minério é retirado e beneficiado transformando-se em produtos ou subprodutos destinados ao atendimento das necessidades dos indivíduos em sociedade.

Tal processo de exploração depende de uma grande alteração de áreas nativas, muitas vezes com vegetação natural e matas virgens, que são removidas da superfície para abrir espaço para a retirada de toneladas de material bruto, resultando em hectares de áreas degradada, sem a cobertura da camada vegetal que antes compunha a paisagem.

O cenário de estudo para esse trabalho é o município de Juruti-PA, que possui um empreendimento minerário de bauxita há 13 anos. As operações iniciaram em 2009, com objetivo de extrair minério de alumínio atender o mercado mundial por meio da multinacional Alcoa Alumina World.

Como todo empreendimento minerário legal, a mineradora Alcoa possui um Plano de Fechamento de Mina vigente, que consiste em uma série de medidas que resultarão na mitigação dos danos causados ao ambiente, tanto em termos territoriais, quanto em termos sociais.

Para minimizar os danos causados às extensas áreas mineradas, são administradas técnicas de recuperação e/ou reflorestamento do ambiente, empregando todo conhecimento disponível para alcançar resultados positivos no menor tempo possível (REIS *et.al.*, 2003). Entre essas técnicas, existe a nucleação, que consiste em utilizar os próprios galhos, raízes e solo removidos no processo de decapeamento, para fazer uma camada inicial rugosa sobre o local que será posteriormente reflorestado, então se formam micro-bacias que retém a água das chuvas, para posteriormente abastecer o lençol freático e também produzir o fenômeno da neopedogenese que é a formação de um novo solo (ALCOA, 2022).

Nesse sentido, o trabalho vem expor o método de nucleação para recuperação de áreas degradadas utilizado pela Alcoa, avaliar seus resultados e eficácia na

recuperação de áreas degradadas, e desta maneira, levar conhecimento para a sociedade no geral, no que se refere a recuperação de áreas degradadas.

1.1 Justificativa

Sabendo da constante cobrança por responsabilidade social e ambiental que as empresas são submetidas por parte da sociedade e demais empresas, principalmente se tratado de mineração, é importantíssimo divulgar e se ter conhecimento do que de bom está sendo feito para diminuir a pegada ecológica no ambiente explorado pela mineração, com isso, este estudo visa levar informações para todos não só do que está sendo feito, mas como está sendo feito e se isso é de fato efetivo para o meio ambiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Objetiva-se fazer uma breve exposição da prática utilizada na atividade de recuperação de áreas mineradas na Mina de Bauxita de Juruti, se tratando da técnica de nucleação.

1.2.2 Objetivos específicos

Pensando em uma melhor análise e compreensão do processo de nucleação, indagou-se algumas especificidades para serem percorridas ao longo do projeto, dentre estas vale a pena ressaltar:

- Entender os aspectos ecológicos da técnica;
- Compreender a evolução das áreas de reabilitação;
- Analisar o processo de reconstituição vegetal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Degradação Mineral

2.1.1 Conceitos de degradação

Segundo a Lei Federal nº. 6.938/81 da Política Nacional do Meio Ambiente, em seu artigo 3º, inciso I, a definição de meio ambiente se dá como o conjunto de condições, leis, conceitos e relações de natureza física, química e biológica que, protegem e administram a vida. em todas as suas formas. No ponto II, a mesma lei define a deterioração da qualidade do ambiente como uma alteração negativa das características do ambiente (SANTOS, 2017).

2.1.2 Degradação e Mineração

O impacto da mineração é um problema ambiental que desafia o desenvolvimento sustentável em muitas partes do mundo (SANTOS, 2017). A degradação global do meio ambiente se manifesta por: declínio da cobertura verde; sujeira; perda parcial ou total da fauna e da flora, inclusive dos ecossistemas florestais; redução da quantidade e qualidade das fontes de água; poluição do ar e na vida humana e em casa ou ambos. Por estas razões, a cobertura vegetal desempenha um papel importante no equilíbrio do sistema e é considerada um indicador desejável da qualidade ambiental.

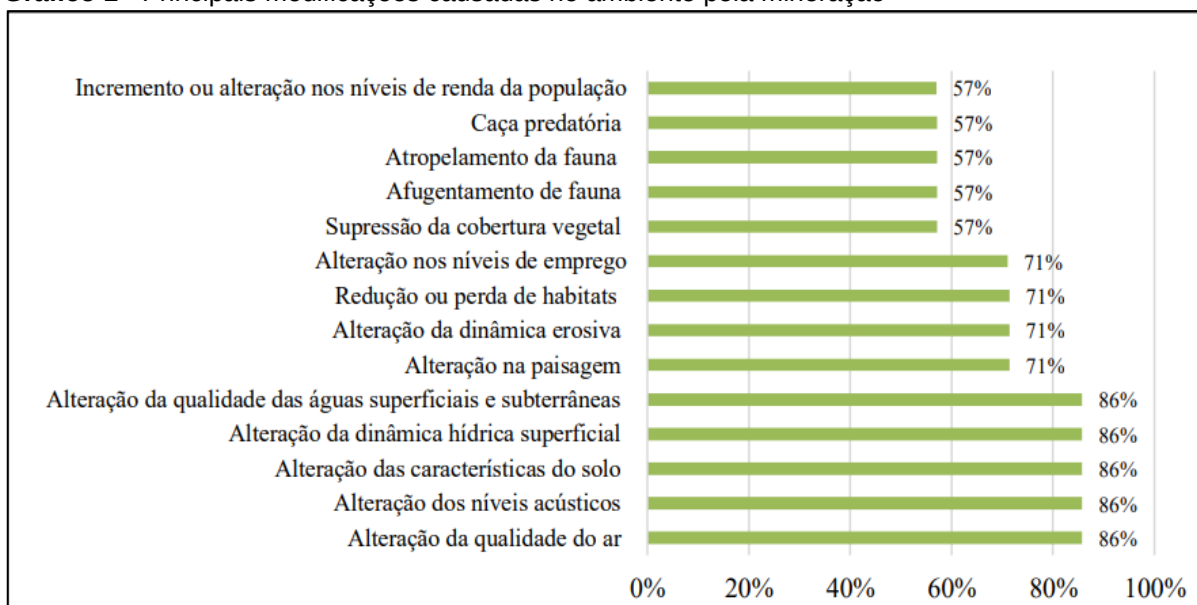
Assim como a exploração de recursos naturais a mineração também causa muitos impactos no meio ambiente. Embora seja importante para o produto interno bruto (PIB) do Brasil, ela também é responsável pela perda de biodiversidade, pela fertilidade da paisagem natural e pela interrupção do abastecimento de água. Essas perdas estão associadas às etapas de exploração mineral, mineração, uso de explosivos, ruído e vibração, transporte e processamento de alimentos (RIBEIRO; ALMEIDA; NUNES, 2019).

2.1.3 Causas de degradação pela mineração

Dentro do contexto de mineração existem diversos pontos do ambiente que são afetados durante a exploração mineraria e sua inserção na sociedade, alguns desses

pontos foram estudados por Ribeiro, Almeida e Nunes (2019), por meio de análises de Estudos de Impactos Ambientais (EIA) de projetos minerários existentes no estado do Pará, foi separado em porcentagem os principais impactos causados pela mineração encontrados nos EIAs, o Gráfico 1 abaixo, mostra mais claramente os resultados.

Gráfico 1 - Principais modificações causadas no ambiente pela mineração



Fonte: Ribeiro, Almeida e Nunes (2019).

Santos (2017), afirma que alterações relacionadas ao solo, como a degradação do solo ou o ciclo contínuo de atividades afetam a qualidade do solo ou a erosão do corpo d'água, resultando em danos; o paisagismo pode fazer uso sustentável dos recursos naturais; e usar a terra fora dessas condições, pode levar a danos e poluição.

Alterações relacionadas a poluição: a poluição, seja ela do ar, da água, do solo ou sonora, é prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana. A poluição sonora pode danificar os ouvidos quando eles são expostos a sons altos e contínuos, como buzinas de carros na rodovia ou máquinas barulhentas em uma fábrica ou fábrica. A poluição da água reduz sua qualidade para uso. Devido às atividades humanas, a superfície do solo estar poluída (SANTOS, 2017).

O solo também é um dos fatores ambientais mais afetados pela mineração, que podem degradar significativamente a qualidade do solo. O biótico e o físico estão intimamente relacionados, portanto, quando o ambiente físico é significativamente

alterado, o ambiente biótico também será afetado. Quando o solo superficial é removido, a camada mais fértil do solo é removida, expondo o solo a processos erosivos que podem levar ao entupimento dos corpos d'água circundantes (RIBEIRO; ALMEIDA; NUNES, 2019). Por exemplo, se uma cova for cavada, a cobertura vegetal é completamente removida, ou seja, se o solo for danificado e ao mesmo tempo a cobertura vegetal for perdida, pode ser muito prejudicial para biomas muito específicos.

2.2 Casos de recuperação ambiental em atividades de mineração na Amazônia

2.2.1 O Método de recuperação de mineração de ferro em Carajás

A mineração a céu aberto (Figura 1), afeta diferentes ecossistemas. A degradação desses ambientes se dá pela restrição da vegetação; então, a remoção do solo e a remoção do subsolo mudam significativamente a paisagem. Para reduzir o impacto da mineração no meio ambiente, as mineradoras brasileiras reabilitam áreas mineradas com o objetivo de restaurar a riqueza e diversidade de plantas, animais, além de garantir ecossistemas, em estado estável (ZAPPI. *et al.*, 2018).

Figura 1 - Cava de mina a céu aberto minerada pela Vale



Fonte: Zappi. *et al.* (2018).

As áreas afetadas pela mineração, principalmente pelo aproveitamento do ferro no grupo colarinho Carajás-PA, são representadas por poços de mineração, pilhas de estéril, vias de acesso e países para apoio logístico e administrativo.

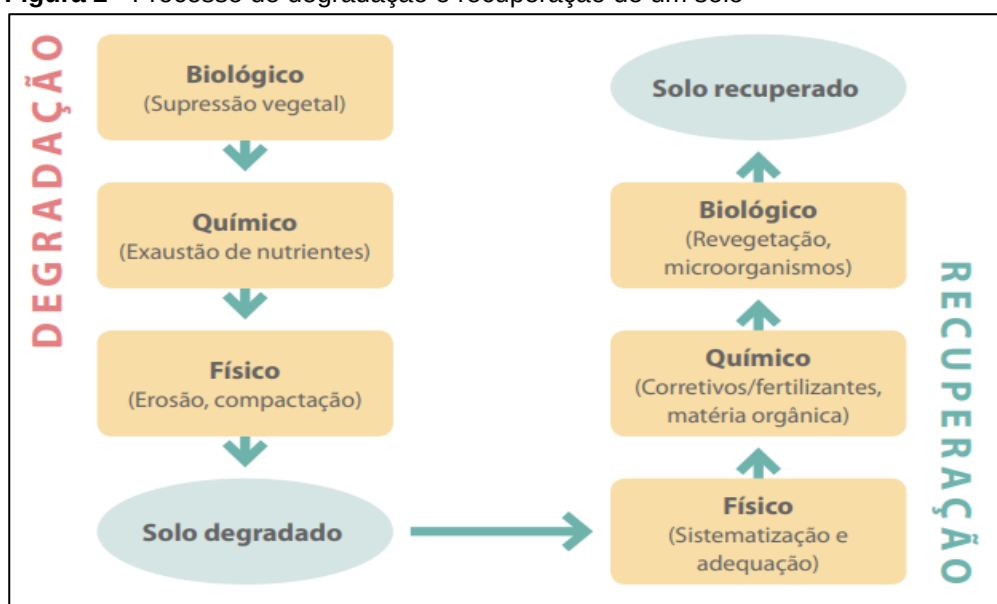
A recuperação de áreas mineradas abrange diferentes fases, essas fases são planejadas e detalhadas num documento chamado “Plano de Recuperação de Áreas Degradadas” (PRAD), esse documento é necessário para obter licenças ambientais.

2.2.1.1 Preparação do solo

O solo é um componente primordial para manter o bom desenvolvimento de um ecossistema vegetal, por isso antes de iniciar qualquer processo de plantio é necessário fazer os tratamentos adequados deste. Quanto maior for o teor de matéria orgânica no solo, maior é a atividade biológica e melhor é a condição para o crescimento das plantas (ZAPPI. *et al*, 2018).

A degradação do solo envolve a degradação biológica, química e física da qualidade do solo (Figura 2). Como essas mudanças são em grande parte determinadas pela presença de matéria orgânica no solo, a biodegradação, por meio da destruição das plantas, altera sobremaneira o fluxo e a transformação do carbono, evidenciando a ruptura dos ciclos da matéria e do fluxo interno da água, portanto é necessário fazer a conformação do solo antes de iniciar o plantio (ZAPPI. *et al.*, 2018).

Figura 2 - Processo de degradação e recuperação de um solo



Fonte: Zappi. *et al.* (2018).

Para que o solo seja um considerado ideal para o plantio, é realizado a correção da acidez com a aplicação de calcário para aumentar o pH, é feito a

adubação com uso de fertilizantes para ajudar na disponibilização de nutrientes essenciais para o crescimento das espécies vegetais, também é adicionado matéria orgânica ao solo para incentivar a atividade biológica, é aplicado serrapilheiras que nada mais é que um composto de materiais existentes naturalmente na natureza, como galhos, folhas, cascas, entre outras coisas existentes na floresta, e por fim, a aplicação de solo orgânico removido inicialmente das áreas mineradas antes de se iniciar o processo de mineração. Essas informações estão contidas no Prad da empresa (ZAPPI. *et al.*, 2018).

2.2.1.2 Seleção de espécies Vegetais

A seleção de espécies para o reflorestamento é feita conforme a legislação ambiental brasileira, que prevê o melhor desenvolvimento e aplicabilidade de espécies nativas para o plantio, devido a facilidade de essas se reestruturarem no seu local considerado ideal.

Figura 3 - Talude de aterro vegetado com espécies nativas



Fonte: Zappi. *et al.* (2018).

A aplicação de espécies nativas contribui com o crescimento rápido da vegetação, as raízes finas ajudam na estabilidade do terreno, facilita a propagação de semente para a semeadura, facilita na atração de outras espécies por meio da fauna local, pois proporcionam abrigo e alimento (ZAPPI. *et al.*, 2018).

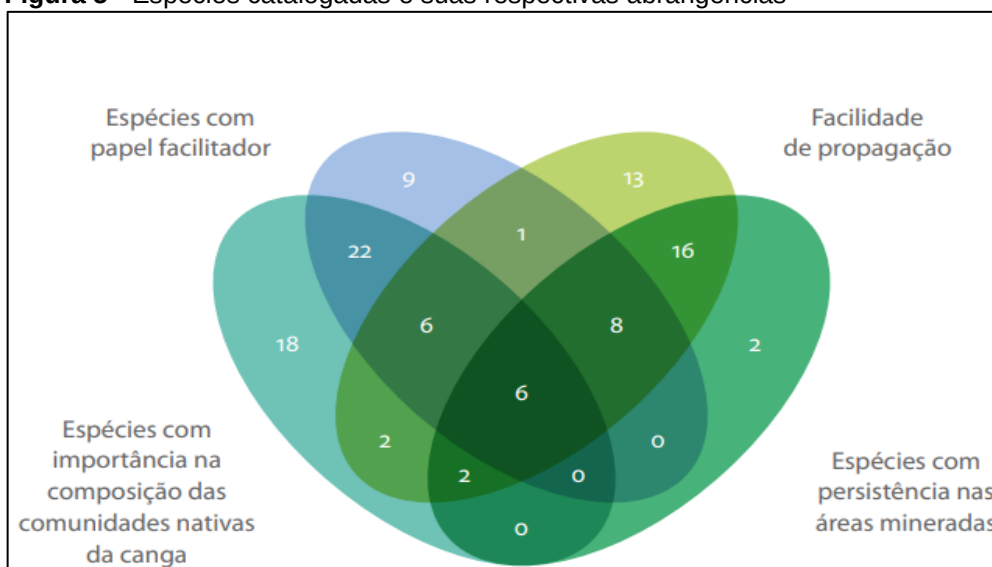
Para isso a empresa catalogou 33 (trinta e três) espécies, que ocorrem com mais frequência dentro das áreas já reflorestadas e 49 espécies foram consideradas em ter facilidade de reprodução, o que ajuda na revegetação, 53 espécies consideradas importantes para comunidade afetada por possuírem fitofisionomias das cangas (Figura 4) e por fim, 49 (quarenta e nove) espécies, que são facilitadoras de atração e fauna (Figura 5).

Figura 4 - Cangas arbustivas contendo espécies características dessa fisionomia



Fonte: Zappi. *et al.* (2018).

Figura 5 - Espécies catalogadas e suas respectivas abrangências



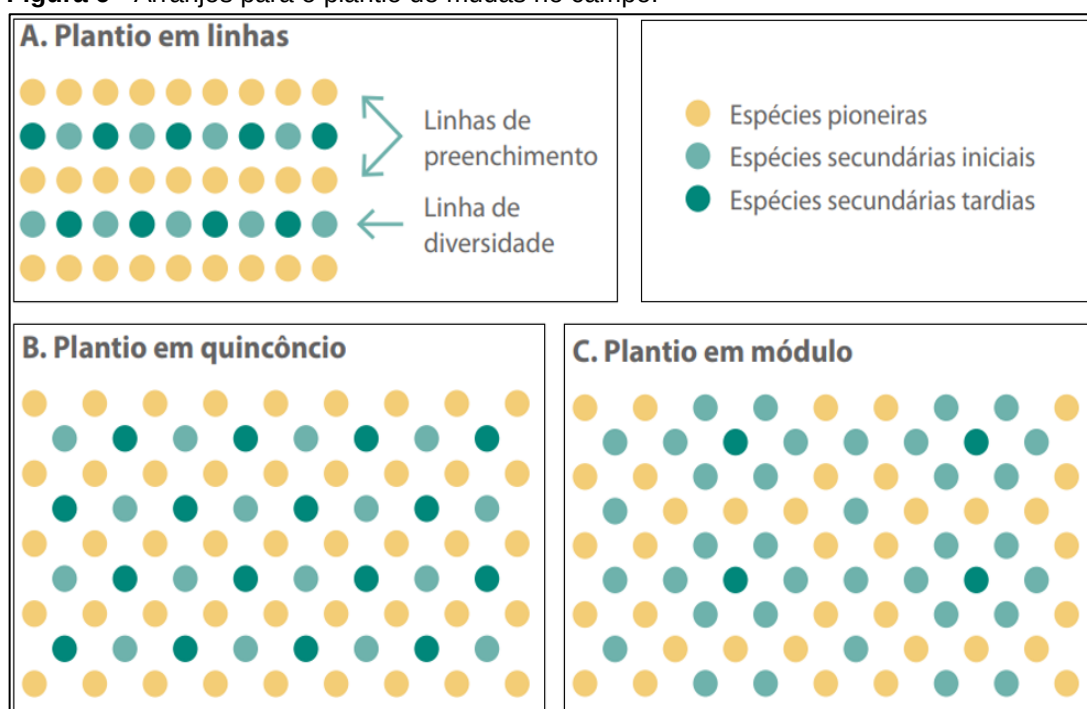
Fonte: Zappi. *et al.* (2018).

2.2.1.3 Revegetação de áreas degradadas

A revegetação das áreas é realizada de forma organizada e estruturada com mudas de viveiros próprios levando em conta alguns indicadores como quantidade, densidade, arranjo e aplicação de sementes em taludes.

A quantidade de espécies por área varia a depender do tamanho da área, porém, é recomendando que se plante sempre o máximo possível de espécies, acima inclusive do recomendado (20 a 30 variações), a densidade do plantio está relacionada a quantidade de mudas plantadas por hectare, que atualmente planta cerca de 1.400 unidades por hectare. Os arranjos são as formas como são dispostas as espécies (Figura 6), de acordo com as suas classificações, por exemplo, pioneiras, secundárias iniciais e tardias (ZAPPI. *et al*, 2018).

Figura 6 - Arranjos para o plantio de mudas no campo.



Fonte: Zappi. *et al*.(2018), adaptado pelo autor (2023).

Por fim a aplicação de sementes em taludes, essa técnica trata-se da semeadura de sementes em taludes inclinados de forma manual ou mecanizada, essas sementes são aplicadas junto a água e fertilizantes para ajudar no crescimento.

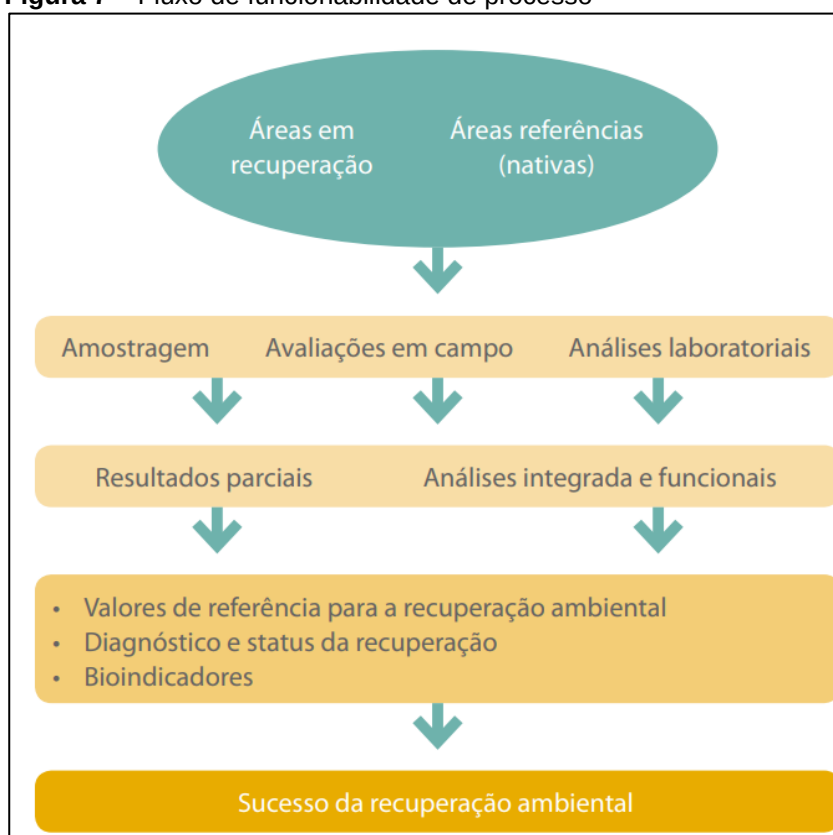
2.2.1.4 Monitoramento e avaliação do *status* da revegetação

O monitoramento de áreas em processo de reabilitação é realizado para garantir a sustentabilidade dessas áreas. Monitorar e avaliar o estado da restauração ambiental é importante para redefinir o caminho ambiental da área a ser restaurada. Desta forma, durante o declínio, eles permitem o acesso para garantir a eficácia dos esforços de recuperação, então são feitos os monitoramentos:

- Monitoramento solo;
- Levantamentos fitos-sociológicos da vegetação;
- Amostragem de fauna;
- Medição de comunidades microbianas.

Por meio das medições de controle é possível verificar a eficácia do processo, visualizando bioindicadores, conforme mostra a Figura 7, abaixo.

Figura 7 – Fluxo de funcionabilidade de processo

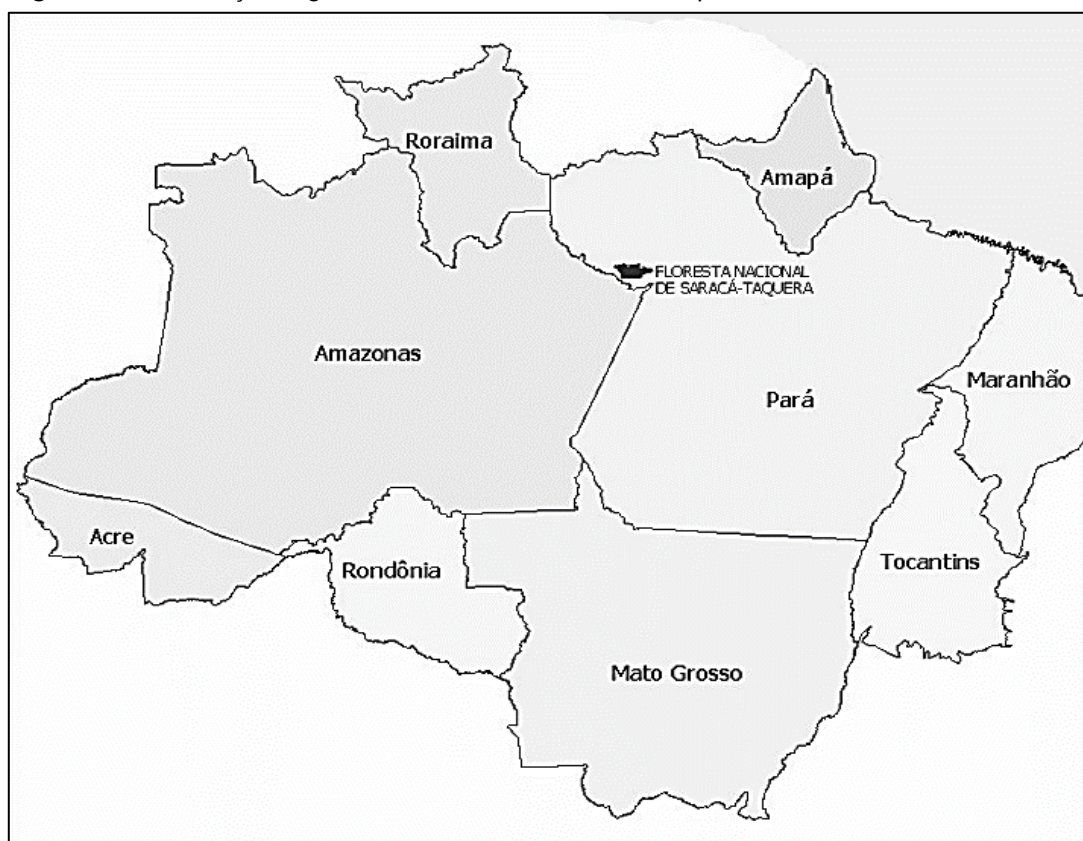


Fonte: Zappi. *et al.* (2018).

2.2.2 O Método de recuperação da mineração de bauxita em Porto Trombetas

O método de recuperação tratado nessa revisão, está relacionado a mineração de Porto Trombetas que minera Bauxita, localizada no Oeste do Pará, mais especificamente em uma recuperação de área por reflorestamento dentro da floresta Nacional de Saracá-Taquera (REIS, 2006), que se localiza dentro a microrregião do médio Amazonas Paraense, abrangida por Oriximiná, Terra Santa e Faro, ilustrado pela Figura 8.

Figura 8 - Localização regional da Floresta de Saracá-Taquera



Fonte: Reis (2006).

2.2.2.1 Recuperação de tanques de rejeito

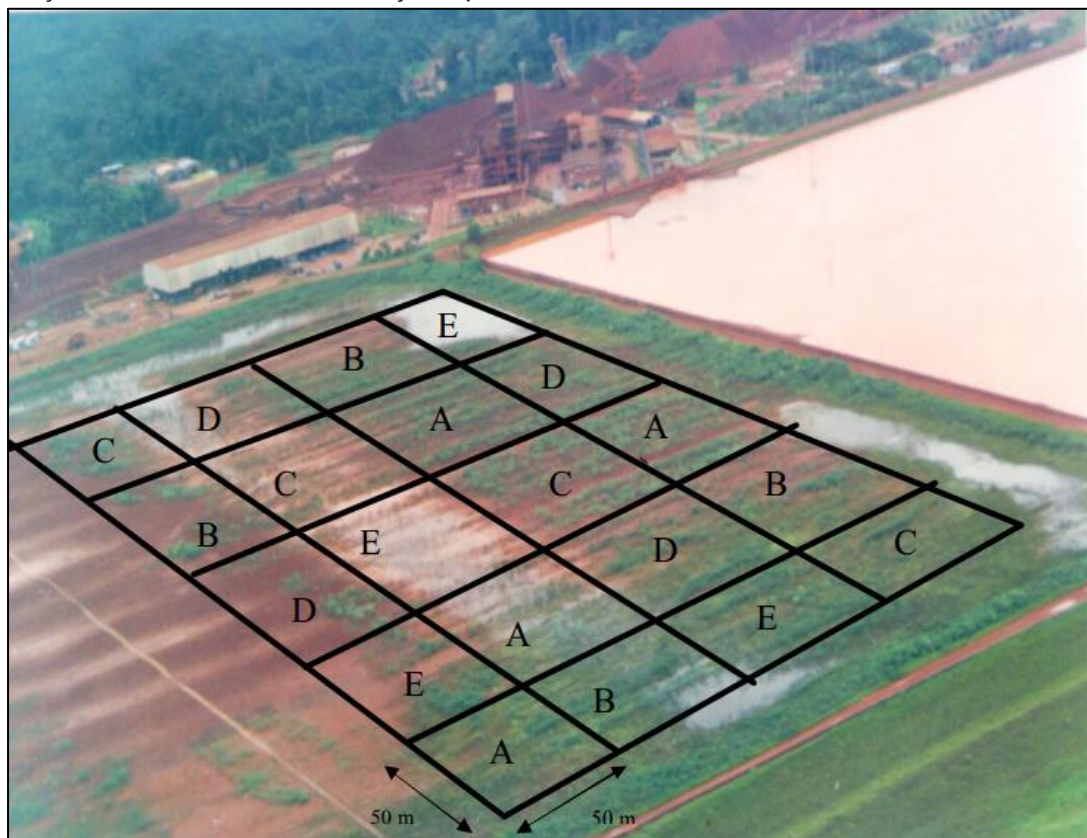
Segundo Reis (2006), o processo de recuperação de tanques de rejeito na mineração de Porto Trombetas, inicia com hidrossemeadura, que se trata da aplicação de sementes em meio aquoso composto por fertilizantes e adubos para ajudar na germinação e crescimento dessas sementes. Esse composto é aplicado por bombeamento dentro dos tanques de rejeito ainda não totalmente consolidados.

Após o processo de hidrossemeadura, também são distribuídas sementes de diversas espécies arbustivas e arbóreas (REIS, 2006), porém, devido ao tamanho do tanque e este ainda não ser totalmente consolidado, impossibilitando o acesso humano sobre ele o material rejeito, o lançamento dessas sementes se limitam apenas as proximidades das bordas do tanque.

Após o processo de lançamento de sementes, quando se observa o tanque já com material consolidado, é realizado o plantio de mudas por toda extensão da área do tanque, que possui cerca de 75 hectares, o espaçamento entre as mudas é de 3 x 2 metros, segundo Reis (2006). Além do plantio, também é realizado a adubação do solo para garantir melhores condições de sobrevivência as espécies.

Abaixo, se pode conferir na Figura 9, uma área de recuperação e florestamento que foi aplicada as técnicas descritas neste item 2.2.2.1, onde se pode observar a subdivisão da área total em 20 subáreas de extensão 50 x 50, segundo Reis (2006), e dentro de cada subárea foi aplicado o plantio de mudas com o espaçamento de 3 x 2 metros.

Figura 9 - Tanque de rejeito submetido a técnicas de recuperação, hidrossemeadura, lançamento de sementes, adubação e plantio

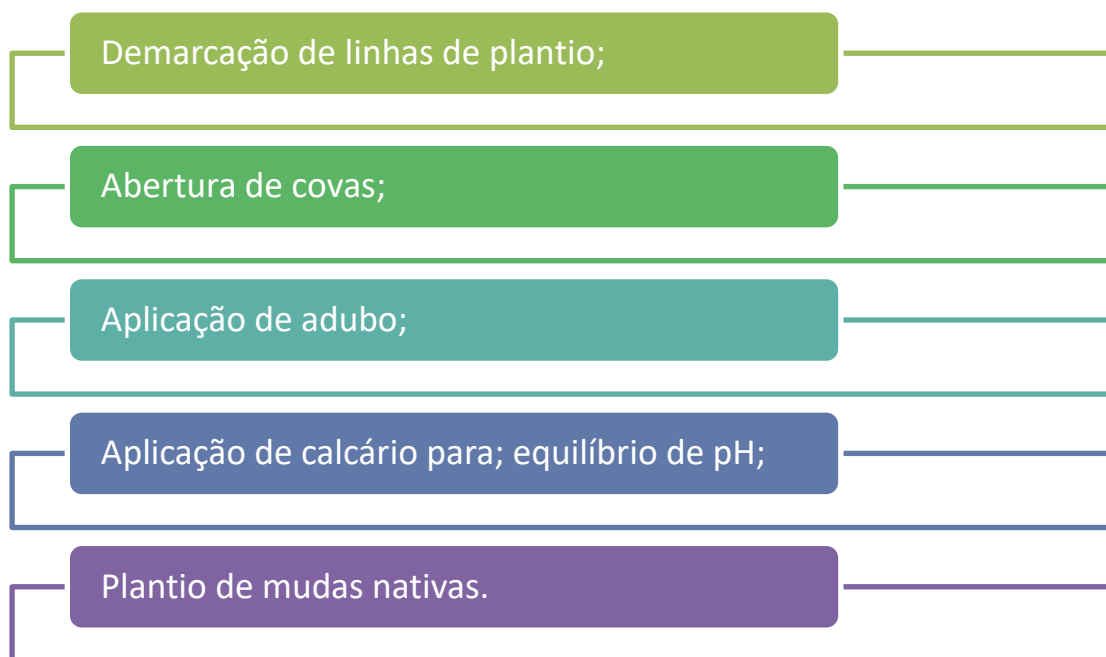


Fonte: Reis (2006).

2.2.2.2 Recuperação de solo estéril com reflorestamento

Com relação as áreas mineradas e depósitos de material estéril de bauxita, a tratativa é realizada por meio de adubação do solo e plantio de mudas vegetais nativas provenientes de viveiros cultivamos pela própria empresa (REIS, 2006). O processo de reflorestamento é realizado segundo os seguintes passos.

Figura 10 - Fluxograma de processos aplicados para recuperação de área



Fonte: Elaboração do Autor, 2023.

O espaçamento utilizado para o plantio de mudas é de 2 x 2 metros e a adubação e correção do solo é composta por aproximadamente 150 g de calcário dolomítico, 130 g de adubo formulado de NPK, 40 g de termofosfato magnésiano e 10 g de micronutrientes. As covas utilizadas para o plantio das mudas possuem dimensões de 20 x 20 cm.

2.2.3 O Método de recuperação da mineração de bauxita em Paragominas

A lavra de bauxita de Paragominas, onde se foi feito o levantamento bibliográfico, está localizada no sudeste do Pará (Figura 11). Sua operação iniciou em março de 2007, com capacidade de 5,4 milhões de toneladas por ano, atualmente a capacidade está em 9,9 milhões de toneladas ao ano (PEREIRA; SOUZA, 2019),

quem realiza a extração mineral e possui os direitos minerários é a Mineração Paragominas S.A.

Figura 11 - Localização do município de Paragominas no Pará



Fonte: IBGE (2023).

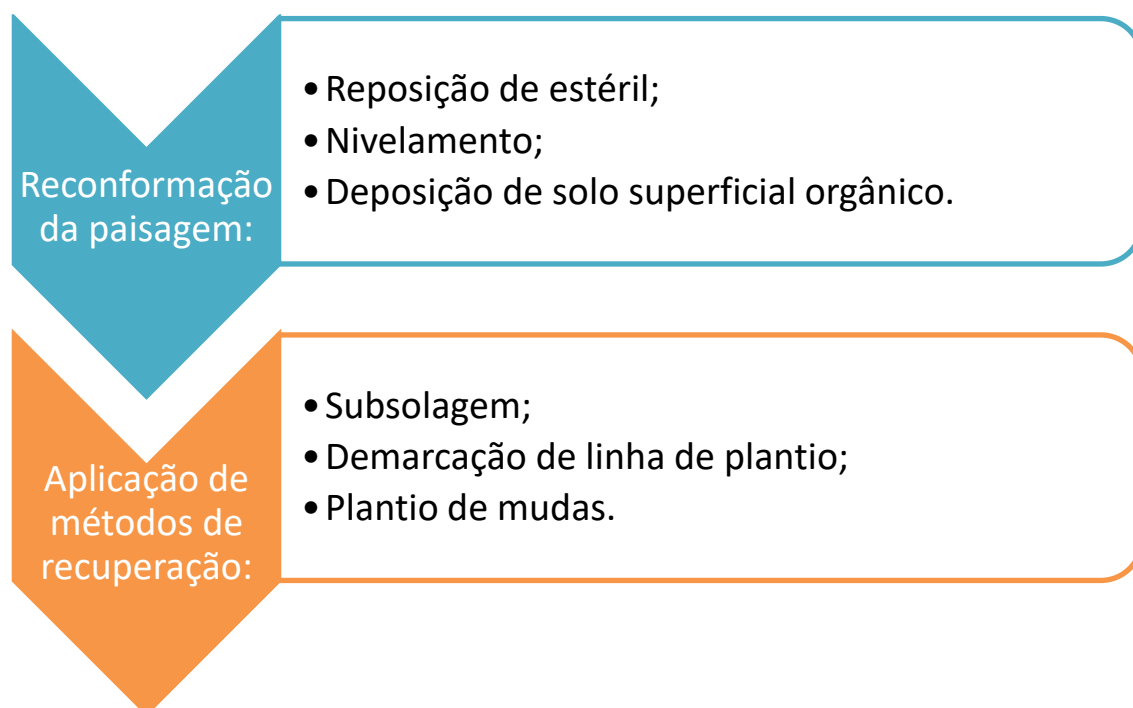
2.2.3.1 Recuperação de área degradada

As principais operações de extração de bauxita no município de Paragominas são, segundo Pereira e Souza (2019): supressão vegetal, incluindo a retirada da biomassa vegetal; decapeamento do solo orgânico para uso futuro; remoção de estéril; por fim, a remoção do minério de bauxita por meio do método de lavras a céu aberto em tiras.

Após a remoção do material de interesse, é iniciado os processos de recuperação das áreas mineradas pela mineradora Paragominas S.A. O processo de

recuperação possui algumas etapas que podem ser vistas no fluxograma abaixo (Figura 12).

Figura 12 - Fluxograma de etapas utilizadas para a recuperação ambiental em Paragominas



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Antes de iniciar o processo de plantio em si, é realizado a reconformação da área, com o intuito de deixar o terreno com menor desnivelamento possível, se aproximando do relevo natural de antes. O trabalho é realizado com tratores de esteiras D8, que espalham e nivela o terreno para após isso, ser disposto o material que será utilizado para o plantio das mudas (PEREIRA E SOUZA, 2019).

Um dos métodos de reflorestamento utilizado é a nucleação, similar ao estudado neste trabalho, no caso da Alcoa em Juruti. Este método consiste na disposição de solo orgânico superficial e galhos e raízes removidos das frentes de lavras para serem dispostos nas áreas de futuro reflorestamento. Porém antes de iniciar o plantio, é realizada a aplicação de fertilizante NPK 06-30-06 na base da cova, cerca de 30 gramas por cova depois de plantada a muda, é adicionando mais 160 gramas sobre a planta segundo Pereira e Souza (2019).

Inicialmente, foram plantadas diversas mudas por mais de 15 hectares e depois ocorreu um replantio de mais 430 mudas sobre o local, para preencher lacunas.

A Figura 13, mostra o terreno em processo de reflorestamento pelo método de nucleação, no ano de 2014.

Figura 13 - Área em processo de recuperação por meio de nucleação em Paragominas



Fonte: Pereira e Souza (2019) *apud* Projeto biodiversidade e solos (2018).

Outro método de reflorestamento utilizado é o plantio de mudas, onde antes de iniciar o plantio, é realizada subsolagem do solo com profundidade de até 60 cm, onde é adicionado fosfato natural reativo, segundo Pereira e Souza (2019).

O plantio das mudas é realizado a um distanciamento de 3 x 3 metros para se obter resultados similares ao modelo florestal, resultando em 1.111 (mil cento e onze) unidades de mudas por hectare, a profundidade das covas é de 20 a 30 cm. As mudas utilizadas no reflorestamento são de diferentes grupos ecológicos (104 espécies), para possibilitar uma futura floresta diversificada, essas mudas são dispostas aleatoriamente dentro da malha de reflorestamento, abaixo se pode observar imagens resultantes deste método (Figura 14 A e B).

Figura 14 - Terreno reflorestado utilizando o método de plantio de mudas em 2009 (imagem A) e em 2014 (imagem B)



Fonte: Pereira e Souza (2019) *apud* Projeto biodiversidade e solos(2018).

2.3 Mineração de bauxita

A bauxita é uma rocha de coloração avermelhada, rica em óxido de alumínio, também chamado de alumina (Al_2O_3), óxidos de ferro (Fe_2O_3) e isso determina a coloração da rocha, quanto mais ferro, mais avermelhada é a rocha, também contém sílica (SiO_2) e pode conter titânio (TiO_2) entre outros materiais considerados contaminantes por não possuírem valor econômico neste minério em questão. Na Tabela 1, têm-se os principais constituintes desse minério e suas características.

Tabela 1 - Descrição dos principais minerais de alumínio contidos nos minérios de bauxita refrataria

Minerais de alumínio contidos nas bauxitas			
Mineral	Gibbsita	Boehmita	Diásporo
Fórmula química	$\text{Al}(\text{OH})_3 - \gamma$	$\text{AlOOH} - \gamma$	$\text{AlOOH} - \alpha$
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1: 3	1: 1	1: 1
(%) máxima de alumínio	65,4	85,0	85,0
Sistema cristalino	Monoclínico	Ortorrômico	Ortorrômico
Dureza Moh	2,5-3,5	3,5-4,0	6,5-7,0
Densidade	2,42	3,01	3,44
Índice de refração	1,568	1,649	1,702
Temperatura (°C) de desidratação	150	350	450
Produto de desidratação	$\text{Al}_2\text{O}_3 - \chi$	$\text{Al}_2\text{O}_3 - \gamma$	$\text{Al}_2\text{O}_3 - \alpha$
Solubilidade (g Al_2O_3 /L) (*)	128	54	Insolúvel
(*) Em solução de Na_2O a 100 g/L, a 125 °C.			
Bauxita Não-Metalúrgica		Bauxita Metalúrgica	
Constituintes	(%)	Constituintes	(%)
Fe_2O_3	2,5 (máx.)	Fe_2O_3	11 - 12
SiO_2	5 - 7	SiO_2	< 4,0
Al_2O_3	50	Al_2O_3^*	> 48
Densidade aparente > 3		*Alumina aproveitável pelo processo Bayer	

Fonte: Habashi, 1993 *apud* CETEM (2005).

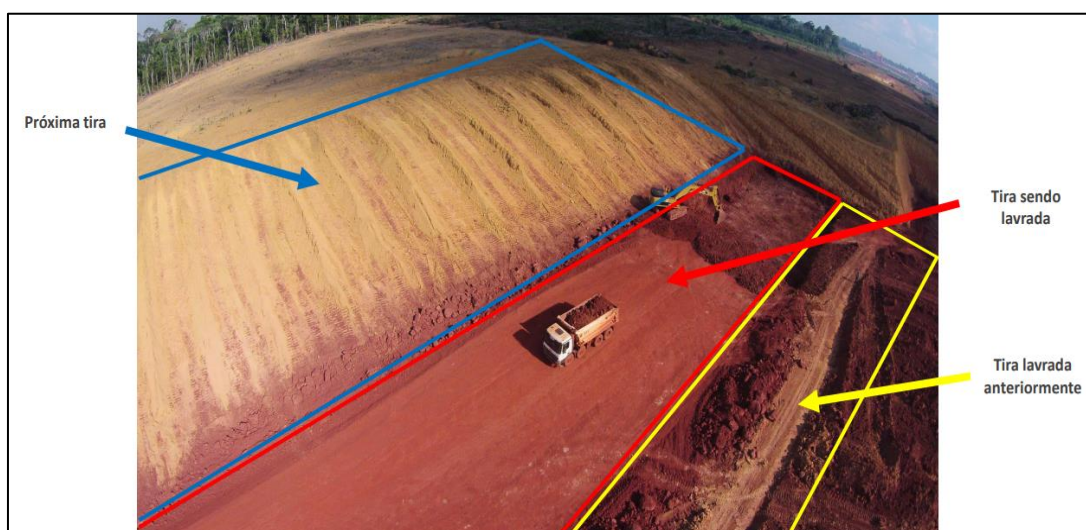
A bauxita é uma das fontes naturais do alumínio, que é o terceiro elemento de mais abundância na crosta terrestre (CETEM, 2005). Atualmente no Brasil, a bauxita é o quarto minério mais exportado, atrás do ferro, cobre e manganês (SIMINERAL, 2022).

O processo de mineração de bauxita em Juruti é realizado por lavra a céu aberto, pelo método de lavra mineral em tiras. Esse método requer a supressão da vegetação, a movimentação das camadas de solo e argila que ficam acima do material de interesse. Esse procedimento requer a retirada de grande volume de argila (estéril), biomassa vegetal e solo superficial também chamado de *topsoil*. Do ponto de vista ambiental, esta movimentação representa grande impacto, desestruturando o ecossistema florestal, com seu solo e as camadas inferiores de argila que determinam a dinâmica natural das águas sobre os platôes bauxíticos.

2.3.1 Lavra da Bauxita

O método mais comumente utilizado para lavra de minério de bauxita é o método de lavra a céu aberto em tiras ou *strip minig* (Figura 15). Esse método é aplicado, visando o melhor aproveitamento da jazida devido o corpo do minério ser aproximadamente tabular, possuir pouca inclinação ou variação, e estar localizado relativamente próximo a superfície, possibilitando uma relação estéril minério viável.

Figura 15 - Exemplificação do método de lavra em tiras da bauxita



Fonte: Moraes (2020).

Silva (2013), afirma que esse método ajuda também na futura recomposição da área, pois a cava é relativamente rasa comparada ao método de lavra em cava,

por exemplo, possibilitando maior facilidade no reflorestamento. Em Juruti, no Oeste do Pará, também é aplicado esse método, onde inicialmente é removido toda a fauna da região, posteriormente a flora, também chamada de supressão vegetal, para depois então se remover o solo.

Após a remoção das etapas anteriormente listadas, fica somente o material chamado de estéril (material sem valor econômico que fica sobre o minério) então se dá início ao processo de decapeamento. Devido o material ser friável, o desmonte é feito mecanicamente, ou seja, por equipamentos, nesse caso por tratores D11 que fazem remoção desse material o “empurrando” sobre a cava anteriormente lavrada, deixando então exposto a camada de minério da tira, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Trator D11 sobre a tira de minério após ter removido o estéril



Fonte: Silva (2013).

Finalizada a remoção da camada de estéril, o desmonte do minério é feito com tratores D8 e D11, que realizam a escarificação do material em malhas quadradas de forma que as partículas sejam adequadas para a etapa subsequente, a alimentação do britador. A escarificação também serve para ajudar na remoção e carregamento do minério, o carregamento em si, é feito por pás carregadeiras que depositam o material em caminhões basculantes, conforme Figura 17, e esses transportam o material até a etapa seguinte, a britagem.

Figura 17 - Carregamento e transporte de minério feito por carregadeira e caminhão



Fonte: Moraes (2020).

2.4 Área degradada

Segundo Almeida (2016), o conceito de área degradada refere-se a um local que sofreu distúrbios e foi eliminada a vegetação e os seus meios de regeneração bióticos, como o banco de sementes, banco de mudas, chuva de sementes e rebrota. É uma área incapaz de naturalmente se recompor, de forma similar ao que era antes. Isso ocorre com muita frequência em áreas de mineração, onde toda camada superficial do solo é retirada para a retirada do minério.

2.4.1 Recuperação de área degradada

A recuperação de uma área degradada pela mineração ocorre quando esta obtém uma forma e utilização de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, designando no plano de fechamento de mina. Isso implica que a área terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem (ALMEIDA, 2016 *apud* IBAMA, 1990).

O termo recuperação, por outro lado, é a restauração de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada, de forma que este ecossistema resulte em uma condição não degradada (ALMEIDA, 2016 *apud* IBAMA, 1990). Dentro do conceito de recuperação, se pode incluir outros subterramos como a reabilitação, restauração, reflorestamento e florestamento.

Cada um desses termos estão relacionados a processos que levam a melhorar uma área considerada degradada, por exemplo reabilitação está relacionado a dar uma “utilidade” a um ambiente antes tido como degradado, já restauração está relacionada a técnicas que levam a recuperar o ambiente o mais similar possível ao que era antes. O reflorestamento é a o plantio de vegetação em um local que já antes tinha vegetação, diferente de florestamento, que é o plantio de vegetação em um lugar que antes não se tinha vegetação.

É importante conhecer esses termos para esse estudo, pois é imprescindível saber diferenciar cada um deles e aplicá-los de maneira eficiente na prática, por exemplo, podemos dizer que além de fazer a recuperação de áreas degradadas pela mineração, o método aqui estudado tenta ao máximo a restauração do local, preservando mudas e reflorestando com as mesmas espécies que existiam antes no local. Dessa forma, a fauna tende a retomar ao local pois, se sente novamente inserida em um ambiente similar aquele que vivia.

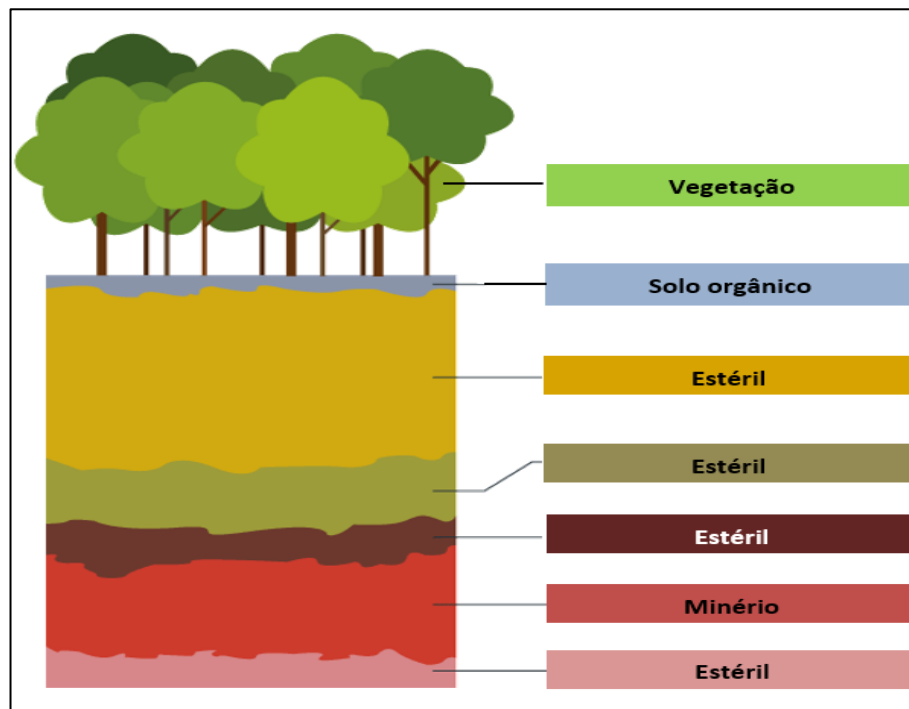
2.4.2 Supressão vegetal

O conceito de supressão vegetal está relacionado a retirada da vegetação original de uma área para poder se fazer uso do local para outros fins. Na mineração, a supressão se faz necessário, pois é preciso remover todas as camadas que ficam localizadas a cima do minério de interesse, conforme ilustra a Figura 18.

Antes de iniciar de fato a supressão vegetal, se faz a retirada da fauna, ou seja, se afugenta os animais que existem na região e faz o manejo dos animais menores que não conseguem sair da área com tanta facilidade, como preguiças, quelônios, filhotes no geral etc.

Após fazer a remoção da fauna, são retiradas as árvores maiores normalmente com uso de motosserras, é feito a derrubada e corte em toras menores para facilitar o transporte, as demais árvores e vegetação rasteiras são removidas com tratores, assim como as raízes remanescentes, esse material é adicionado em outro local para fazer a liberação do espaço.

Figura 18 - Perfil litológico de normalmente encontrado sobre minério



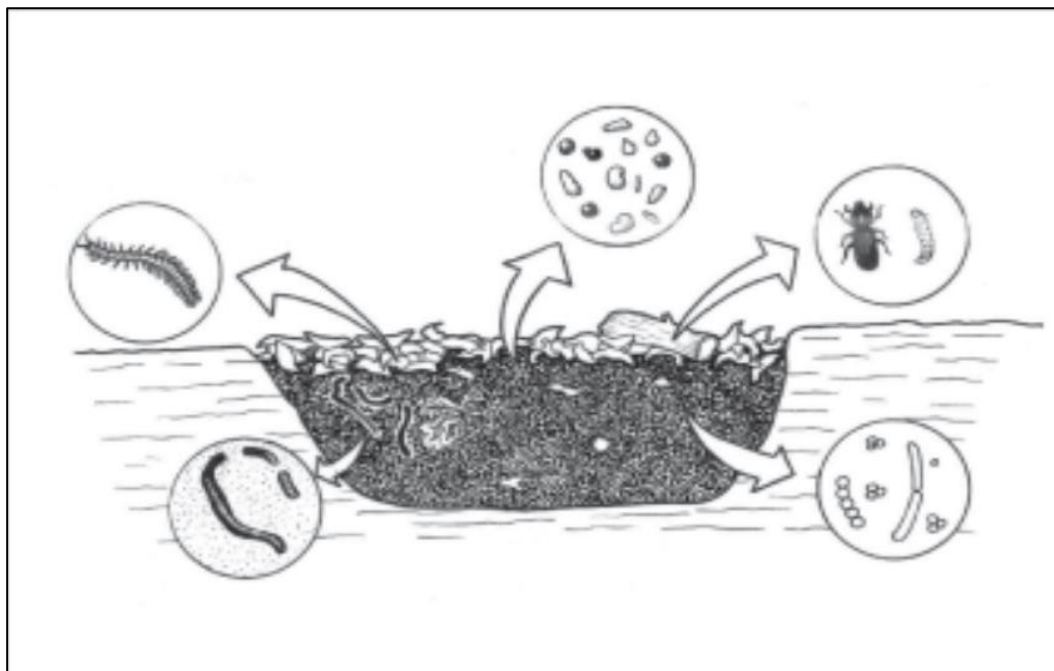
Fonte: MRN, adaptado pelo Autor (2022).

2.4.3 Transposição de solo orgânico

Além da vegetação, na mineração, também é removido o solo orgânico (Figura 4) que fica na parte superior do perfil litológico, é nele que contém os nutrientes necessários para a vida orgânica e de micro e macroorganismos decompositores, conforme ilustra a Figura 19.

Esse material é importantíssimo para o futuro reflorestamento de áreas degradadas, pois proporciona maior facilidade no crescimento de vida vegetal. O que se chama de transposição do solo orgânico, é a retirada de ao menos 20 cm do material inicial contido sobre o material considerado estéril (REIS *et. al.*, 2003 *apud* RODRIGUES E GANDOLFI, 2000).

Figura 19 - Solo orgânico rico em micro e macroorganismos importantes para a vida vegetal



Fonte: Reis *et al.* (2003).

Ao remover o material orgânico, este é acondicionado em outra área para futuro uso no reflorestamento, se tratando da técnica estudada aqui, a nucleação, esse material é destinado para a área que já foi minerada e vai ser reflorestada em breve.

2.4.4 Remoção de estéril

Depois de removida a matéria orgânica, resta o estéril sobre o minério, a remoção desse material é chamada de desmonte dentro do contexto da mineração, essa etapa pode ser feita por diversas técnicas, dependendo da competência da rocha, pode ser feita mecanicamente, ou seja, por maquinário, por explosivos, por equipamentos hidráulicos etc. Porém, o objetivo é o mesmo, deixar exposto o minério para posteriormente o extrair.

Para a mina de Juruti, é utilizado o desmonte mecânico devido o material ser de baixa competência rochosa, então são utilizados tratores de grande porte Cat D11T com o escarificador modelo tridente, conforme mostra a Figura 20, e escavadeiras hidráulicas de caçamba Cat 349D, caminhões rodoviários basculantes (LOBATO, 2012).

Figura 20 - Trator D11 desmontando estéril uma mina de bauxita.



Fonte: Lobato (2012).

2.5 Nucleação

A nucleação se trará da formação de pequenas "ilhas" ou núcleos de vegetação, contendo espécies com capacidade ecológica com capacidade de melhorar o ambiente de maneira relativamente acelerada, facilitando então a ocupação da área em recuperação por outras espécies. Nos núcleos formados, há facilidade na realização de interações interespecíficas, como interações planta-planta, plantas-micro-organismos, plantas-animal etc., como a polinização e a dispersão de sementes.

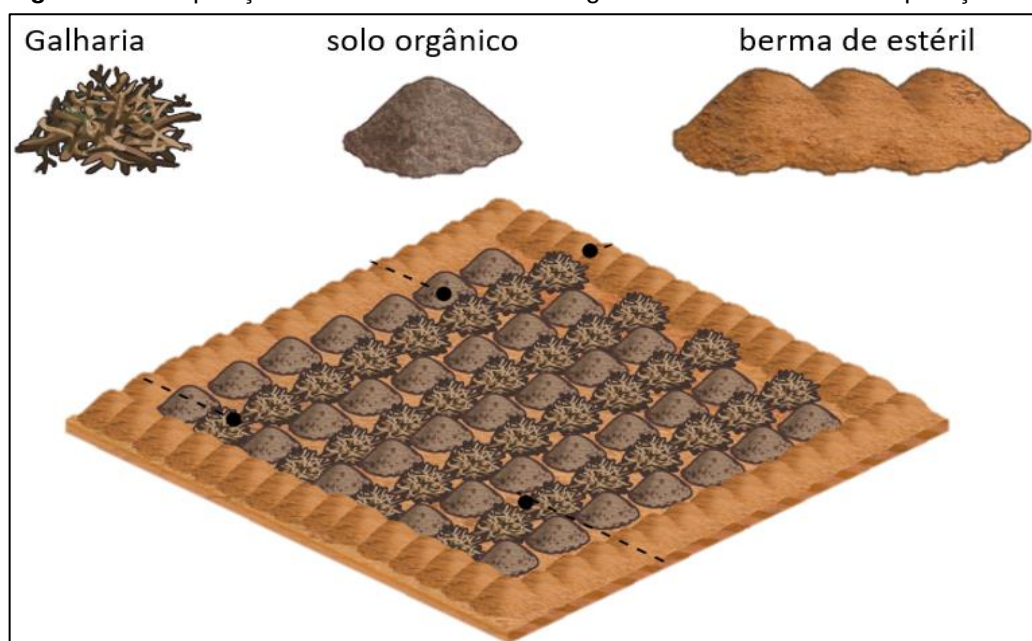
Com isso, a vegetação secundária se expande ao longo do tempo e acelera o processo de sucessão natural. O núcleo pode ser formado por meio de: plantio de sementes ou mudas de espécies pioneiras, galharia, transposição de solo orgânico superficial, de sementes, implantação de poleiros entre outras combinações de técnicas que envolvem todos esses meios. Quando os núcleos são estabelecidos em áreas menos resilientes (por degradação do solo ou cobertura por espécies de capins agressivos), eles podem ser mais próximos, ou seja, com maior densidade de núcleos. O manejo é dado dentro dos núcleos para favorecer o pegamento das mudas e o estabelecimento das plântulas (EMBRAPA, 2012).

A nucleação é uma técnica de reflorestamento ou florestamento que utiliza da ajuda de animais para conseguir a ocupação do ambiente em tratamento, por outras

espécies, utilizando princípio sucessional da colonização dessas áreas em formação e representa também uma técnica básica para as atividades antrópicas contribuem para o reestabelecimento de comunidades (REIS, *et.al.*, 2003).

A técnica consiste em agrupar componentes como galhos e raízes, solo orgânico superficial em pequenos núcleos no terreno em processo de recuperação, para que se forme um ambiente propício para a chegada e ocupação de animais polinizadores e dispersores de sementes, como pássaros, morcegos e roedores, abaixo na Figura 21 temos uma ilustração de como pode ser feito os núcleos.

Figura 21 – Disposição de núcleos de matéria orgânica em terreno em recuperação



Fonte: ALCOA, adaptado pelo Autor, 2022.

3 METODOLOGIA

O trabalho desenvolvido seguiu os preceitos do estudo exploratório, por meio de uma pesquisa bibliográfica, que, segundo Gil (2008, p.50), “é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído de livros e artigos científicos”.

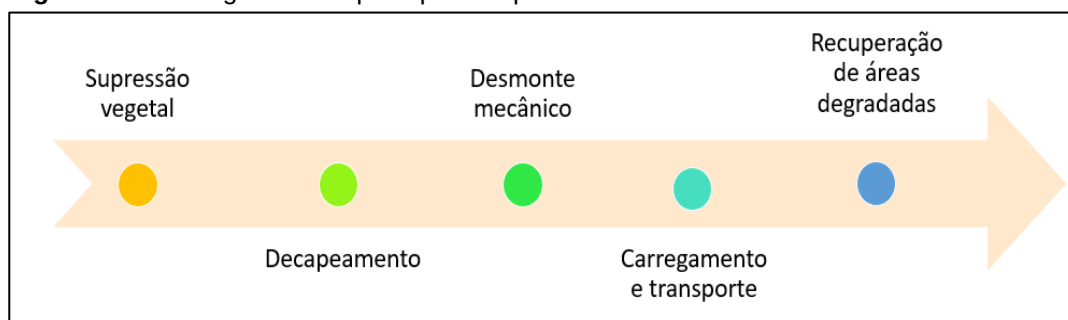
Reuniu-se também o acervo fotográfico referente ao status atual do processo de nucleação desenvolvido pela mineradora Alcoa e Juruti para ilustração dos aspectos ambientais já encontrados pelo método de recuperação de áreas impactadas.

4 CONTEXTO TEÓRICO

4.1 Etapas da nucleação

As principais operações realizadas nas áreas mineradas pela mineradora Alcoa, em Juruti, são as descritas no fluxograma abaixo, Figura 22, sendo a última delas (Reabilitação de áreas degradadas), o alvo deste estudo, que será desmembrada a seguir.

Figura 22 – Fluxograma das principais etapas realizadas nas frentes de lavra



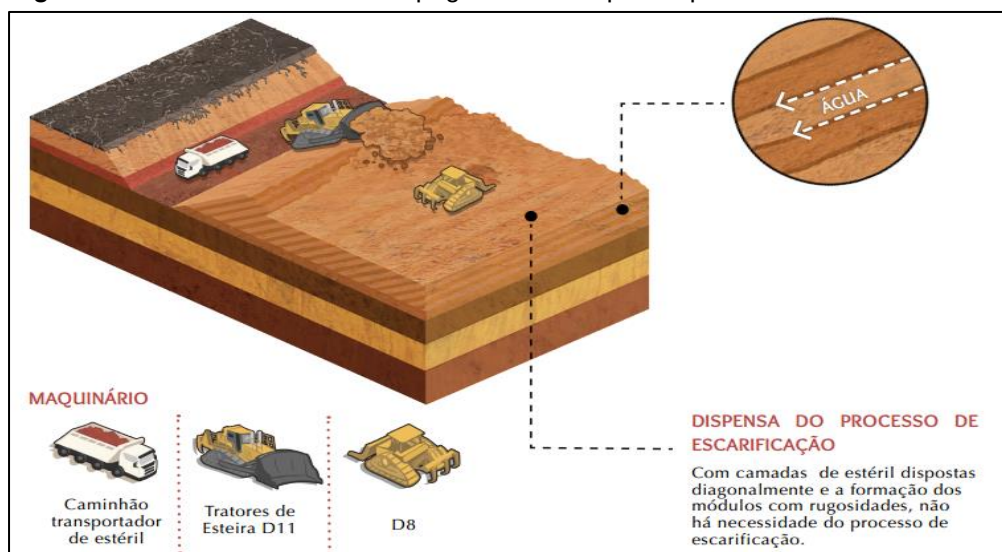
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

É importante dizer que as etapas citadas a seguir, estão descritas conforme normas de trabalhos escritas pela empresa Alcoa, logo, possuem parâmetros específicos estabelecidos pela própria mineradora por meio da área de atuação Saúde, Segurança e Meio Ambiente (EHS), de Juruti.

4.1.1 Ajuste de topografia

Antes de iniciar o processo de nucleação, é realizado a reconformação do terreno para que este fique o mais plano possível e também sua topografia seja aumentada, ou seja, as cavas são preenchidas com material estéril vindo das frentes de lavra. Com o ajuste na topografia, a inclinação do terreno é voltada para o centro da área. Os depósitos de estéril (argila), são dispersos na diagonal de forma a minimizar a compactação lateral, possibilitando o escoamento subsuperficial e percolação da água conforme Figura 23.

Figura 23 – Área reconformada topograficamente pronta para receber os núcleos

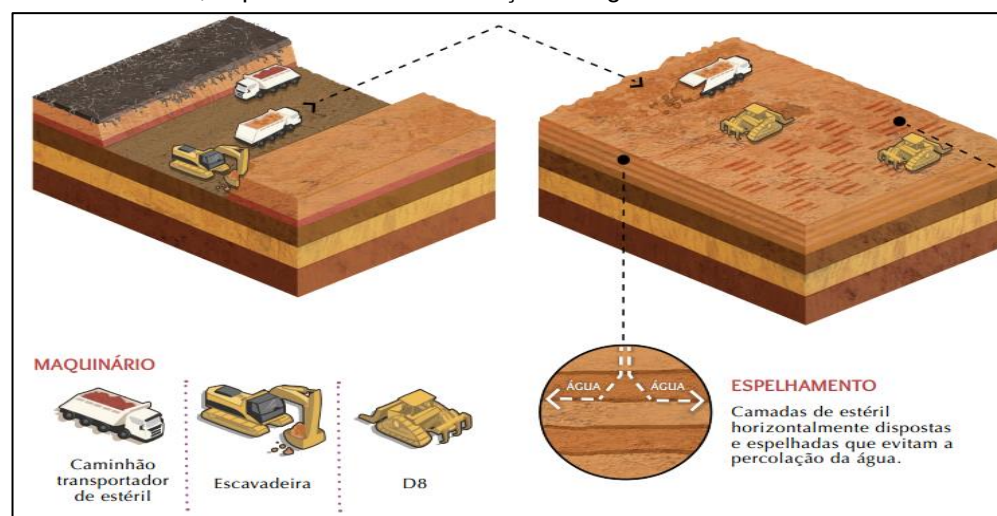


Fonte: ALCOA (2013).

Realizando a dispersão na diagonal, não há necessidade de se fazer semi-escarificação, porém, quando há áreas onde o estéril foi depositado com caminhões, é realizada a semi-escarificação, em 50% da área dos módulos, de acordo com as Figuras 24 e 25 que mostram, em vermelho, sobre o terreno, os pontos escarificados.

Se a área a ser reconformada for um acesso de mina desativado, o qual apresenta laterita compactada na sua superfície e não será aplicada a técnica de *landscaping* para a reconformação da topografia, esse acesso é descompactado 100% a uma profundidade mínima de 0,30 m para que esteja preparado para receber os núcleos.

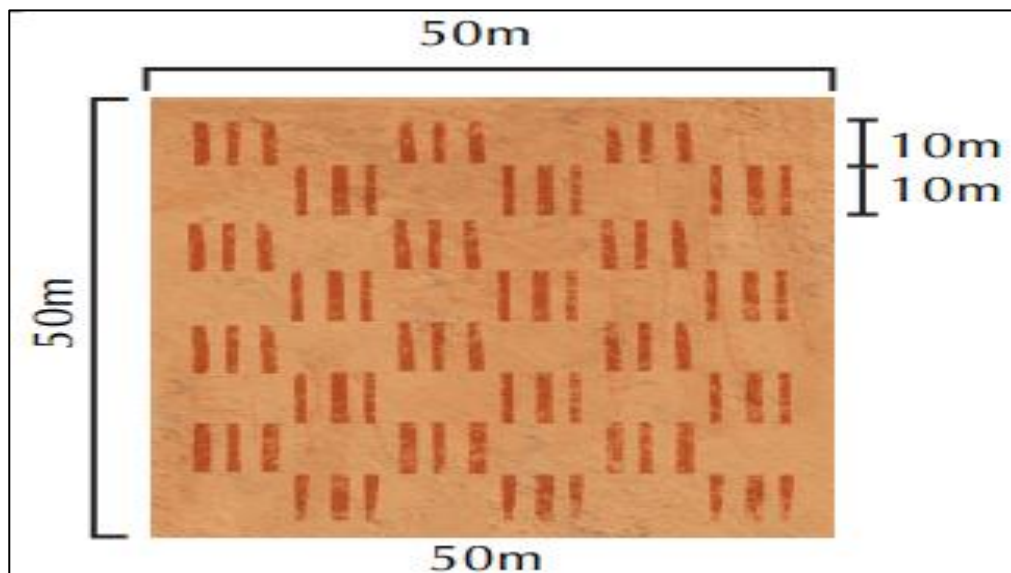
Figura 24 – Área escarificada devido as camadas de estéril estarem depositadas horizontalmente, impossibilitando a infiltração de água



Fonte: ALCOA (2013).

A Figura 25, mostra um exemplo de terreno de 50 metros quadrados com 50% de escarificação, intercalados por tiras de 10 m por 50 m.

Figura 25 – Semi escarificação de terreno para preparação em receber os núcleos



Fonte: ALCOA (2013).

4.1.2 Disposição dos núcleos

Após a reconformação do terreno o material que formará os núcleos é transportado por caminhões (Figura 26) das áreas de mineração até o local que será reflorestado, então inicia a disposição dos núcleos de material os módulos são compostos os dois elementos básicos da recuperação, o solo orgânico superficial e a galharia. Os montes podem ser montados numa relação de 1 para 1 ou 2 para 1, ou seja, dispondo alternadamente linhas de solo orgânico superficial e de galharia ou duas linhas de galharia e uma de solo orgânico superficial, dependendo da disponibilidade destes materiais nas proximidades (Figura 27).

Figura 26 - Transporte de galharia por caminhões



Fonte: Silva (2013).

Figura 27 - Núcleos dispostos em módulo (solo orgânico, galharia e berma)



Fonte: ALCOA (2013).

Considerando que cada linha apresenta aproximadamente 3 metros de largura, é possível introduzir 08 a 09 linhas de materiais (solo orgânico superficial e galharia) dentro de cada módulo, formando aproximadamente 50 microbacias por módulo.

Além de adicionar os núcleos de material orgânico no terreno, também é feito um alteamento nas bordas do terreno com material estéril, conforme mostra a figura 11 acima, os alteamentos são para evitar a erosão das bordas e também conter água dentro do terreno para a formação das micro bacias conforme Figura 28, cruciais para a vegetação e animais se reestabelecerem.

Figura 28 - Micro bacias de água da chuva formadas entre os núcleos



Fonte: ALCOA (2020).

4.2 Recuperação vegetal

4.2.1 Levantamento de banco de sementes

Para ser possível reflorestar as áreas mineradas da maneira mais similar possível a vegetação nativa, considerando também local e clima, é realizado o levantamento por área e a contagem dos espécimes vegetais existentes, para quando iniciar o reflorestamento, realizar o plantio de maneira eficiente. Abaixo há um quadro (Tabela 2) com as espécies plantadas em 6 áreas e os seus respectivos levantamentos se possuía ou não essa espécie na área reflorestada.

Tabela 2 – Relação das morfoespécies regenerantes nas áreas em recuperação em áreas mineradas em Juruti

(Continua)

Família	Nome científico	Nome popular	Forma de vida	Sind. Disp.	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
Ana	<i>Tapirira guianensis</i>	Tatapiririca	arvore	zoo			x			x
Anno	<i>Annona sp.</i>	Embira-preta	Arvore	zoo						x
Anno	<i>Xylopia sp1</i>	envira	Arvore	zoo		x				
Apoc	<i>Geissospermum sp.</i>	Quinarana	arvore	?	x					
Apoc	<i>Aspidosperma sp.</i>	Carapanaúba	Arvore	ane					x	
Arac	<i>Phylodendron sp.1</i>	Ambé	erva	zoo			x			
Aral	<i>Schefflera sp1</i>	Morototó	Arvore	zoo	x	x	x		x	x
Arec	<i>Orbignya phalerata Mart</i>	Babaçu	Arvore	baro		x				
Arec	<i>Astrocaryum aculeatum</i>	Tucumã	Arvore	zoo				x	x	
Aste	<i>Mikania sp1</i>	Cipó-guaco	cipó	ane	x					
Bign	<i>Jacaranda sp1.</i>	Parapará	Arvore	ane				x	x	x
Bign	<i>cf Handroanthus</i>	Ipê	árvore	ane						x
Bign	<i>Morfo sp1</i>	Cipó	cipó	ane			x			
Bixa	<i>Bixa sp.</i>	Urucurana	arbusto	zoo		x				
Cary	<i>Caryocar cf. villosum</i>	Pequiá	Arvore	zoo		x	x			
Conv	<i>Ipomoea sp.</i>	Corda-de-viola-branca	cipó	auto	x	x			x	
Cype	<i>Scleria sp1</i>	Capa-homem	cipó	Ane	x	x	x	x	x	x
Eupho	<i>Manihot sp1</i>	Maniva-de-veado	arbusto	Auto	x					
Eupho	<i>Hevea sp.</i>	Seringueira-do-mato	Arvore	Auto						x
Faba	<i>Morfo sp estipulas grandes</i>	?	?	?			x			
Faba	<i>fabatrifoliada</i>	?	arvore	Auto	x					
Faba	<i>fabafacheiro</i>	Facheiro	arvore	Auto			x			
Faba	<i>Himenaes sp.</i>	Jatobá	Arvore	zoo					x	
Faba	<i>morfo sp. 1 (Faba bipinada)</i>	?	cipó	?						
Faba	<i>Cleobulia leiantha</i>	Batatarana	cipó	Auto	x	x	x	x	x	x
Faba	<i>cf. Mimosa sp.</i>	Rabo-de-calango	cipó	Auto					x	
Heli	<i>Heliconia sp1</i>	Caeté	erva	zoo	x	x	x	x	x	x
Heli	<i>Heliconia sp2</i>	caeté	erva	zoo						x
Hype	<i>Vismia sp.</i>	Lacre	Arvore	zoo	x	x	x	x	x	x
Igno	<i>morfo sp1</i>	cururana	arvore	?						x
Igno	<i>morfo sp2</i>	Tachi-branco	Arvore	?					x	
Igno	<i>morfo sp3</i>		cipó	?						x

Tabela 2 – Relação das morfoespécies regenerantes nas áreas em recuperação em áreas mineradas em Juruti

(Conclusão)

Igno	<i>morfo sp4</i>	Maracarana	?	?		x				
Igno	<i>morfo sp5</i>	Piriquiteira	Arvore	?		x				
Igno	<i>morfo sp6</i>	Murici-branco	Arvore	zoo		x				
Igno	<i>morfo sp7</i>	Assa-cavalo	arvore	?					x	x
Igno	<i>morfo sp8</i>	Fel-de-paca	?	?	x					
Igno	<i>morfo sp9</i>	Mairá-cotia	Arvore	?						x
Igno	<i>morfo sp10</i>	Mairá-cotia	arvore	?						x
Igno	<i>morfo sp11</i>	Folhas ferruginosas	?	?				X		
Igno	<i>morfo sp12</i>	Tamanqueiro	Arvore	?					x	
Lami	<i>Aegiphilla sp.</i>	Pau-de-bicho	Arvore	zoo						x
Laura	<i>cf. Aniba sp</i>	Preciosa	arvore	zoo					x	
Malv	<i>c. ceiba</i>	Marissarro-da-terra-firme	arvore	ane					x	
Mara	<i>cf. Maranth sp 1.</i>	Arumã	erva	zoo	x	x	x	x	x	x
Mara	<i>cf. marantha sp. 2</i>	Caeté	erva	zoo						
Mela	<i>Belucia sp.</i>	Mouúba	arbusto	zoo	x	x	x	x	x	x
Meni	<i>Cissampelos cf. andromorpha</i>	Cipó-abutua	cipo	zoo		x				
Mora	<i>Soroea sp.</i>	Espinheira-de-leite	Arvore	zoo					x	
Mora	<i>cf. Bagassa sp.</i>	Tatajuba	arvore	zoo						x
Myri	<i>Virola sp.</i>	Cupiúva-vermelha	arvore	zoo			x			
Myrt	<i>Sp1</i>	Jabotizeiro	arvore	zoo						x
Myrt	<i>morfoespecie 01</i>	Tucujá (?)	Arvore	zoo		x				
Passi	<i>Passiflora coccinea</i>	Maracujá-de-cobra	cipó	zoo	x					
Poac	<i>Panicum sp.</i>	Capim	erva	zoo					x	
Poac	<i>Olyra sp1</i>	Taboca	erva	ane	x	x	x	x	x	x
Rham	<i>Gouania cf. ulmifolia</i>	Cipó	cipó	auto						
Rubi	<i>Spermacoce sp.</i>	Piracupireira	erva	auto	x	x	x	x	x	x
Rubi	<i>Spermacoce sp.2</i>		erva	auto						x
Sali	<i>Casearia sp.</i>	Cupiúva-branca	arvore	zoo	x	x				
Sapo	<i>sapo abiudamata</i>	Abiú-da-mata	arvore	zoo						x
Sapo	<i>Morfoespecie 09</i>	Abiurana	arvore	zoo					x	
Sapo	<i>Manilkara sp1</i>	Massaranduba	arvore	zoo					x	
Sola	<i>Solanum sp.3</i>	Cega-jumento	arbusto	zoo					x	
Sola	<i>Solanum sp1</i>	Cega-jumento	arbusto	zoo	x	x	x	x	x	x
Sola	<i>Solanum sp.</i>	Lobeira	arbusto	zoo	x	x	x	x	x	x
Ster	<i>Theobroma cf. microcarpum</i>	Cupurana da mata	arvore	zoo			x			
Urti	<i>Trema micrantha</i>	Curumim	arvore	zoo	x	x	x	x	x	x
Urti	<i>Cecropia sp1</i>	Embaúba folha-grande	arvore	zoo	x	x	x	x	x	x
Urti	<i>Cecropia sp2</i>	Embaúba-de-folhas-estreitas	arvore	zoo	x	x	x	x	x	x
Vita	<i>Cissus cf. sulcicaulis</i>	Cipó-quatro-quinas	cipó	zoo			x			

Fonte: Tavares, et al. (2014).

4.2.2 Plantio de mudas

Após a inserção dos módulos é realizada a primeira etapa de plantio de vegetação, onde caso o banco de sementes do solo orgânico superficial não tenha a capacidade de cobrir os montes com vegetação de forma espontânea, então são implantadas mudas de espécies pioneiras, que apresentem crescimento rápido e passam a formar uma cobertura sobre as áreas em restauração (Figura 29). Estas mudas são fundamentais na função de acumular matéria orgânica no solo e contribuir com o processo de estruturação do material argiloso e do solo orgânico depositado, favorecendo efetivamente para a neopedogênese esperada.

Entre estas plantas incluem-se ervas, arbustos e árvores, desde que, com seu tipo de crescimento, tenham condições de interceptar de água (absorver a energia das chuvas e impedir a erosão do solo), conter a água (unir partículas de solo e conter os sedimentos sobre a superfície), retardar o escoamento da água (aumentar as rugosidades da superfície e diminuir a velocidade dos escoamentos da água) facilitar a infiltração da água (aumentar e manter a porosidade e a permeabilidade do solo) e evapotranspirar a água (permitir a retirada do excesso de água do solo) sobre as superfícies construtivas e dissipativas formadas pelos montes de solo orgânico e galharias. O viveiro então é planejado no sentido de garantir o suprimento destas mudas.

Figura 29 - Plantio de mudas nos núcleos



Fonte: ALCOA (2021).

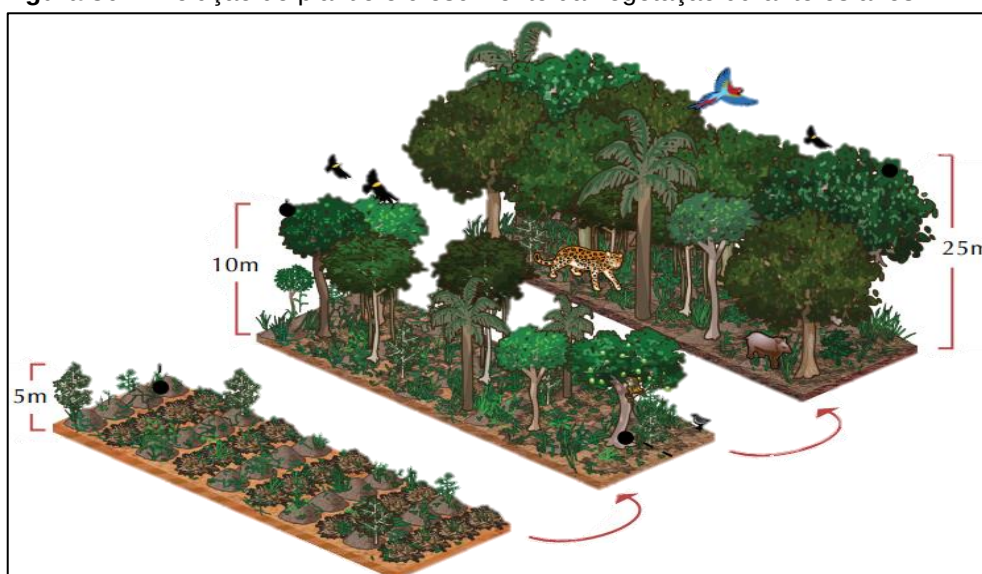
Na segunda etapa, normalmente um ano após a implantação dos módulos, há o enriquecimento de mudas com a função de introduzir espécies com potencialidade de atrair a fauna para estes ambientes. Para esse segundo replantio, é feita a introdução de 75 mudas por módulo, espalhando-as de maneira a cobrir de forma equidistante dentro deste. A opção do número pequeno de mudas está associada à grande regeneração de plantas provenientes do banco de sementes e ainda às probabilidades de um processo grande de regeneração, a partir do material introduzido pela chuva de sementes e pelo transporte de sementes por pássaros (pássaros onívoros), que forrageiam insetos sobre as galharias.

O processo de plantio das áreas tem 3 etapas principais, divididas por anos:

- Etapa 1 (1 - 2 anos);
- Etapa 2 (3 - 5 anos);
- Etapa 3 (6 - 15 anos).

Na primeira etapa são plantados vegetais de rápido crescimento com capacidade de fazer cobertura das áreas, na segunda etapa são plantados vegetais funcionais para manutenção e atração da fauna sobre as áreas (bagueiras, comidias e árvores espera), na última etapa são plantados vegetais associados à introdução de uma biodiversidade compatível com os interesses da comunidade e com a conservação dos Platôs. A floresta torna-se densa e são formados extratos distintos de ervas, arbustos, árvores pequenas, médias, de dossel e emergentes (Figura 30).

Figura 30 - Evolução de plantio e crescimento da vegetação durante os anos



Fonte: ALCOA (2013).

4.3 Aspectos ecológicos da nucleação

4.3.1 Poleiros artificiais

A decomposição do material lenhoso mais grosso depositado na floresta, libera para o solo, os nutrientes minerais contidos na matéria orgânica em decomposição e a microbiota do solo, como fungos, bactérias, tem papel primordial nesse ciclo e fertilização natural do solo, principalmente solos pobres como o solo da Amazônia. Dentro dos módulos mistos, também são introduzidas as técnicas, como os poleiros artificiais (Figura 31), que dá condições de pouso para a avifauna e, conseqüentemente, introdução de sementes e microrganismos.

Figura 31 - Galhada servindo como poleiros artificiais



Fonte: ALCOA (2013).

Como resultado dos poleiros, é possível observar a presença de pássaros e, conseqüentemente, semeadura de plantas, comprovando que esse aspecto da técnica está funcionando corretamente, conforme ilustra a Figura 32, onde se observa uma espécie entre as demais, diferente das que foram plantadas. Isso mostra que de fato está ocorrendo o esperado dentro do processo de semeadura e polinização, pois existe a presença de flores, indicando reprodução das espécies.

Figura 32 - Indícios de semeadura e polinização



Fonte: Alcoa (2022).

4.4 Evolução das áreas reabilitadas

4.4.1 Evolução da primeira etapa

Considerando o esperado nesse período de tempo de 1 a 2 anos, ou seja, a realização de plantio de vegetação superficial com mudas disponibilizasse pela própria empresa, essas espécies são coletadas nas áreas que foram desmatadas e transportadas para viveiros (Figura 33). O plantio inicial dessas espécies, são para servir de base para as demais vegetações consideradas mais sensíveis ao ambiente, então foi realizado o plantio dessa vegetação base para proteger e gerar ambiente propício para as próximas. Após isso, também é possível verificar diferentes resultados para os dois tipos de módulos de núcleos utilizados, módulos simples e módulos compostos.

Figura 33 - Viveiro de mudas para o plantio e reflorestamento



Fonte: Alcoa, adaptado pelo Autor (2022).

Os módulos simples, formando apenas por solo orgânico tendem a possuir camada vegetal rasteira, conforme mostra Figura 34, porém, possuem grande diversidade de espécies, segundo Silva (2013), devido ao banco de sementes existente no próprio solo germinarem.

Figura 34 - Núcleo formado somente por solo orgânico, coberto por vegetação rasteira



Fonte: Alcoa (2022).

A imagem abaixo (Figura 35), também possibilita ver a diferença das vegetações entre núcleos de galhadas e núcleos compostos apenas de solo, pois se percebe que os núcleos formados por galhadas e raízes tendem a dar mais possibilidade de crescimento para as árvores mais altas, porém, diferente do núcleo de solo orgânico, esse não possui banco de sementes, logo a variabilidade de espécie é menor.

Figura 35 - Vegetação presente em núcleo formado por galharias e solo orgânico.



Fonte: Alcoa (2022).

Por meio dessas imagens é possível identificar que de fato a etapa 1 está sendo efetiva, pois se comporta de acordo com o planejado para esse período de tempo de 1 a 2 anos, as plantas crescem e se multiplicam com certa velocidade possibilitando condições estáveis para o plantio e sobrevivência da segunda fase de plantio, composta por espécimes que necessitam de certa estabilidade no ambiente para sobreviverem.

4.4.2 Evolução da segunda etapa

Para a segunda etapa, espera-se que a vegetação cresça até cerca de 8 metros de altura, possibilitando a reinserção de espécies de animais com o porte maior, como veados, onças, gambas etc. Esses animais são chamados de agentes dispersores, pois possibilitam ainda mais a restauração do ambiente, carregando sementes em seu pelo, excrementos e frutos que transportam para alimento dentre outras coisas. Na

Figura 36, abaixo, é possível observar que existem extensas áreas reflorestadas com árvores de aproximadamente 3 metros de altura.

Figura 36 - Área reflorestada com 3 a 5 anos (escala de uma visitante)



Fonte: Alcoa (2022).

Como evidencia que de fato os animais nativos voltaram a habitar as áreas, se tem registro fotográfico de uma pegada identificada como de onça (Figura 37), em uma das áreas em processo de reabilitação, assim como demais registros de aves como a Figura 38 e répteis (Figura 39). Isso mostra que apesar de fato a segunda etapa também está sendo efetiva, pois o que se propôs realizar, foi alcançado.

Figura 37 - Registro fotográfico de pegada de onça pintada em área de recuperação ambiental da Alcoa-Juruti



Fonte: Alcoa (2022).

Figura 38 - Registro fotográfico de ave em área de recuperação ambiental da Alcoa Juruti



Fonte: Alcoa (2022).

Figura 39 - Cobra encontrada na área de recuperação



Fonte: Alcoa (2022).

4.4.3 Evolução da terceira etapa

Para esta última etapa do processo (6 a 15 anos), não existe uma área que possua mais de 10 anos de reflorestamento, porém existem áreas que possuem cerca de 8 anos, como esta visualizada na Figura 40, que data de 2014, essas áreas ainda não atingiram todo o potencial que se espera, mas já é possível perceber uma floresta auto suficiente que produz seus próprios extratos (Figura 41) e consegue manter toda a sua biota de forma cíclica, sem cuidados humanos.

Apesar de não estar nesse nível de independência, essas áreas estão bem próximas disso, pois ao que tudo indica, o método de nucleação está acontecendo de acordo com o planejamento da equipe de meio ambiente da empresa, se pode observar isso nos dois últimos estágios aqui relatados.

Figura 40 - Área de reflorestamento ambiental da Alcoa-Juruti, com 8 anos de desenvolvimento



Fonte: Alcoa (2022).

Figura 41 - Área de reflorestamento ambiental da Alcoa-Juruti, com extratos naturais produzidos pela floresta



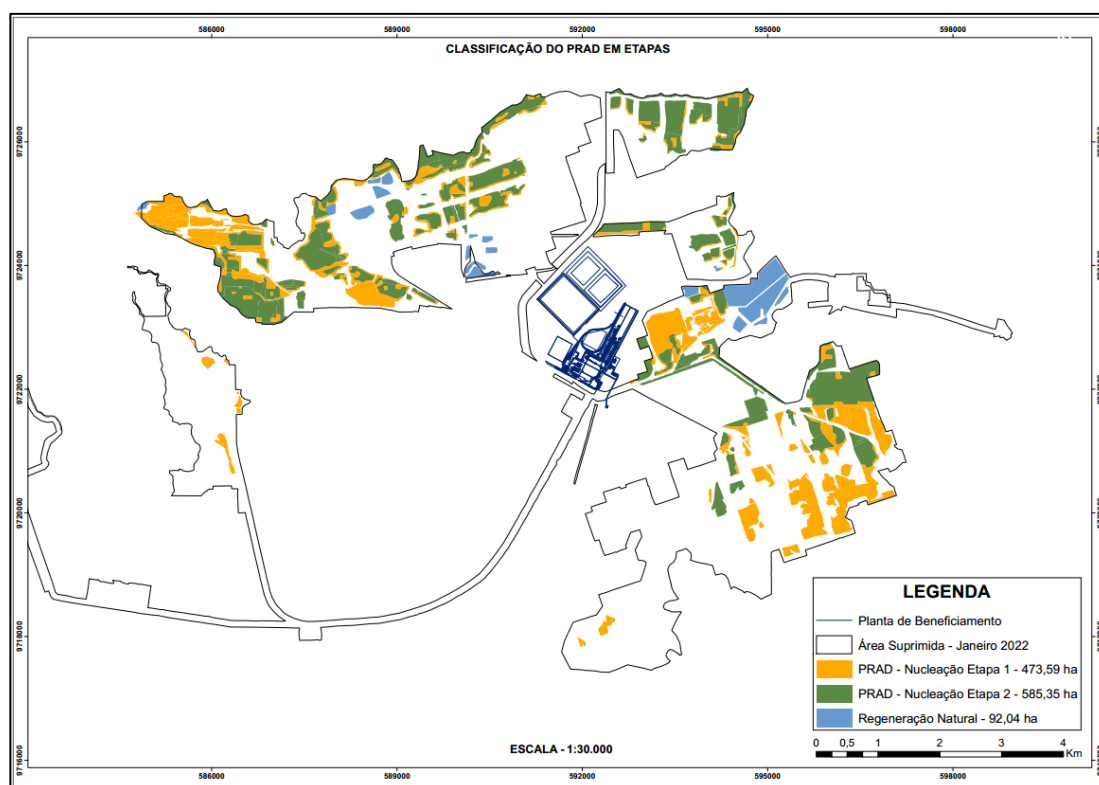
Fonte: Alcoa (2022).

Para concluir, pode-se perceber que o método está surtindo efeito e se tem bons resultados considerando a observância dos indicadores pré-estabelecidos, os

indicadores utilizados para verificação de funcionalidade da técnica de nucleação no município de Juruti, estão relacionados a presença de animais (pequeno, médio e grande porte), retorno da fauna original, presença de flores, altura e volume da vegetação reflorestada e quantidades de sobrevivência das espécimes plantadas, com a observância desses indicadores, é possível dizer se a evolução das áreas está ocorrendo da maneira esperada, ou seja, o método de nucleação está sendo efetivo.

Abaixo, na Figura 42, é possível ver a evolução em hectares das áreas em processo de recuperação, contidas dentro da primeira (amarelo) e segunda etapa (verde), não é possível visualizar áreas da terceira etapa.

Figura 42 - Mapa em escala 1:30.000 da classificação de áreas recuperadas por etapa na Alcoa Juruti



Fonte: Alcoa (2022).

5 CONCLUSÕES

Com esse estudo foi possível, de fato, entender os aspectos ecológicos da técnica de nucleação quando se fala de poleiros artificiais para incentivar espécies de aves e mamíferos voadores a semear a terra, ajudando no desenvolvimento sucessional da região em processo de recuperação. Também foi possível entender os aspectos ecológicos, quando se faz o transporte de solo orgânico para facilitar as interações entre os micro e macro organismos com o restante do ambiente, onde material passa a ser inserido, resultando em maior facilidade de readaptação do local para pequenas espécies de animais.

Quanto a compreensão da evolução das áreas de reabilitação, foi entendido quando se fez o estudo da metodologia utilizada pela empresa Alcoa em Juruti e se relacionou com o que se espera desta técnica, junto ao passo-a-passo utilizado para se chegar ao que é esperado e a importância de cada etapa, com isso foi possível verificar também o que se espera na aplicação dessa técnica, técnica esta considerada de rápida evolução para grandes quantidades de terras degradadas em relativo pouco tempo, para isso os resultados esperados foram subdividido em três etapas principais com evolução relacionada a tempo, crescimento vegetal e usabilidade da área.

O processo de reconstituição vegetal está relacionado as espécies utilizadas na etapa de reflorestamento, quanto a isso, a empresa utiliza sementes e mudas das próprias áreas mineradas quando estas ainda estão vegetadas. É realizado o levantamento e contagem das espécies e se tenta reproduzir a quantidade em porcentagem desses espécimes por áreas reflorestadas.

É possível identificar essa preocupação nos viveiros de mudas utilizadas para o plantio, que possuem mudas removidas das áreas mineradas e também nas etapas de adequação de bioma para sobrevivência dessas espécies ao serem plantadas, ou seja, estas não são plantadas todas de uma vez, existem etapas, onde normalmente as espécies mais raras são plantadas após já existir uma camada de vegetação primária que possibilite a sobrevivência dessa muda quando se trata de acesso à sombra e água.

REFERÊNCIAS

- ALCOA, World Alumina Brasil. Supressão vegetal. **Procedimento de atividade interna**: PGI-OPE-930Y-0005- Controlar processo de recuperação de áreas degradadas. Juruti, 2022.
- ALCOA, World Alumina Brasil. EHS - Biodiversidade. **Procedimento de atividade interna**: PGI-OPE-996X-00071- Formação de módulos de restauração ambiental nas áreas lavradas da mina de Juruti. Juruti, 2022.
- ALCOA, World Alumina Brasil. **Adequação do plano de recuperação de áreas degradadas da mina de Juruti-PA uma nova tecnologia**: a nucleação. Juruti. 131p. 2013.
- ALCOA, World Alumina Brasil. **Formação do time e plano de recuperação de áreas degradadas**. 2022. 24 slides.
- ALMEIDA, Danilo Sette de. Conceitos básicos. In: ALMEIDA, Danilo Sette de. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. 3. ed. Bahia: Editora da UESC, 2016, cap. 3, p. 24-30.
- EMBRAPA, **Estratégia de recuperação**: regeneração Natural com Manejo, Nucleação. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/nucleacao>. Acesso em: 05 jan. 2023.
- GIL, A.C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6º ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://regrasparatcc.com.br/formatacao/como-referenciar-o-ibge/>. Acesso em: 06 jan. 2023.
- LOBATO, Rodrigo Soares. **Análise de produtividade da operação de decapeamento de estéril da mina de bauxita de Juruti-PA**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia de minas) – Universidade Federal do Pará, Marabá, 2012.
- MORAES, Giovane Rubinich. **Lavra em Tiras**. 2022. 25 slides. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5727741/mod_resource/content/0/PMI3325%20Aula%2006%20-%20Palestra%20Giovanni%20Moraes%20%282020%29.pdf. Acesso em: 22 dez. 2022.
- PEREIRA, Isabelly Cristine de Brito; Souza, Luana do Socorro Freitas. **Fertilidade do solo constituído em áreas degradadas sob recuperação após mineração de bauxita em Paragominas-PA**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.
- REIS, Ademir. *et al.* **A nucleação aplicada à restauração ambiental**. 2013 Disponível em: <https://area1rad.files.wordpress.com/2013/03/a-nucleac3a7c3a3o-aplicada-c3a0-restaurac3a7c3a3o-ambiental.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2023.

REIS, Ademir. *et al.* Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. **Natureza & Conservação**, v. 1. n 1, p. 28 – 36, abril de 2003. Disponível em: <http://www.lerf.esalq.usp.br/divulgacao/recomendados/artigos/reis2003.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2022.

REIS, Lopes Luciano. **Monitoramento da recuperação ambiental de áreas de mineração de bauxita na floresta nacional de Saracá-Taquera, Porto Trombetas (PA)**. 2006. 175 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências em Agronomia, Área de Concentração em Ciências do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

RIBEIRO, Bianca Alves Lima; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; NUNES, Maria Fernanda Santos Quintela da Costa. Impactos Ambientais da mineração do estado do Pará, Brasil. In: **Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade**, 8., 2019. Disponível em: https://www.itr.ufrj.br/sigabi/wp-content/uploads/8_sigabi/IMPACTOS%20AMBIENTAIS%20DA%20MINERA%C3%87%C3%83O%20NO%20ESTADO%20DO%20PAR%C3%81,%20BRASIL.pdf. Acesso em: 10 de nov. 2022.

SANTOS, Jorge Antônio Gonzaga. **Recuperação e reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. Cruz das Almas - BA: UFRB, 2017.

SAMPAIO, João Alves. ANDRADE, Mônica Calixto. DUTRA, Achilles Junqueira Boudort. Bauxita. In: LUZ, Adão Benvindo da. LINS, Fernando Antônio Freitas. **Rochas e Minerais Industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. cap. 13, p. 279-304.

TAVARES, Susiele Coelho. *et al.* Recuperação de áreas mineradas na Amazônia por meio de técnica de nucleação, **Minérios & Minerales**, Belo Horizonte, v. 16, maio de 2014.

ZAPPI, Daniela Cristiana. *et al.* **Plantas nativas para recuperação de áreas de mineração em Carajás**. Instituto Tecnológico da Vale. p. 286 2018. Disponível em: <https://www.itv.org/wp-content/uploads/2019/11/RADCaraajas.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2023.