



INSTITUTO FEDERAL
Piauí



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E PLANEJAMENTO
ESPACIAL - MAPEPROF

FRANCISCA DAS CHAGAS ROSA DA CRUZ

ESTUDO DE CASO: RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREA DEGRADADA
PELO GARIMPO DE OPALA NA MINA DO BOI MORTO, PEDRO II, PIAUÍ.

TERESINA-PI

2026

FRANCISCA DAS CHAGAS ROSA DA CRUZ

**ESTUDO DE CASO: RECUPERACAO AMBIENTAL DE AREA DEGRADADA
PELO GARIMPO DE OPALA NA MINA DO BOI MORTO, PEDRO II, PIAUÍ.**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Análise e Planejamento Espacial.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes

TERESINA-PI

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Cruz, Francisca das Chagas Rosa da

C957e Estudo de caso : recuperação ambiental de área degradada pelo garimpo de opala nas minas do boi morto, Pedro II, Piauí / Francisca das Chagas Rosa da Cruz. - 2026.
61 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2026.

Orientador : Prof Dr. Érico Rodrigues Gomes.

1. Garimpo na mina do boi morto. 2. Mineração. 3. Recuperação ambiental. 4. Opala. I. Título.

CDD - 910

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

FRANCISCA DAS CHAGAS ROSA DA CRUZ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Análise e Planejamento Espacial.

Aprovada em: 26/02/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI)

Profª Dra. Bruna de Freitas Iwata
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Nelson Jorge Carvalho Batista
Centro Universitário Tecnológico de Teresina (UNI-CET)

Dedico este trabalho à Deus, aos meus pais,
irmãos, esposo, amigos e mestres.

AGRADECIMENTOS

À Deus por guiar meus passos, por fortalecer minha fé, por ser meu porto seguro, por ter me amparado várias vezes, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Ao Instituto Federal, seu corpo docente, direção e administração do Campus Teresina Central, pois todos direta ou indiretamente contribuíram para o alcance deste resultado.

Ao meu orientador Prof.^o Dr. Érico Rodrigues Gomes, pelo suporte e orientação, pelas suas correções, incentivos, positividade e atenção.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí - FAPEPI

Aos meus pais: Luiz (In memoria) e Maria, pelo amor, incentivo e apoio incondicional; às minhas irmãs: Iraneide e Rosinha, que torcem pelo meu sucesso e realização profissional; aos meus irmãos: Francisco e Reginaldo pelo apoio; aos meus sobrinhos: Romário, Flavia, Ana Clarysse, Jose Victor e Karla Ysadora, e ao meu esposo José Luís, pelo amor, incentivo, dedicação, apoio e carinho durante todo o curso.

À amiga: Maria da Conceição, pelo apoio e ajuda nesta jornada.

À professora Dr^a Bruna de Freitas Iwata, pelo apoio e ajuda desde o início da jornada.

Aos meus familiares e amigos pelos incentivos e motivação nos momentos difíceis.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Feliz é aquele que é humilde e sábio o bastante para apreciar e preservar as coisas simples e belas que a natureza coloca no seu caminho todos os dias!

Odilon Euzé

RESUMO

A proposta de recuperação de áreas degradadas pelo garimpo de opala no rejeito da mina de opala na Mina do Boi Morto, localizada no município de Pedro II, Piauí, é uma questão de grande relevância ambiental, econômica e social. Este estudo através de observações e análise propõe um modelo de recuperação ambiental para os impactos causados pela extração de opalas na mina do Boi Morto, com análise dos indicadores históricos, econômicos e sociais, aliados aos ambientais, para alcançar os objetivos, foi utilizada uma metodologia quali-quantitativa, que incluiu revisão bibliográfica e pesquisa de campo, a fim de obter e sistematizar dados sobre a situação ambiental, econômica e social da área. A primeira etapa consistiu na revisão de literatura, que fundamentou a análise dos impactos e auxiliou na elaboração de um checklist específico para a coleta de dados em campo. A pesquisa de campo envolveu visitas ao garimpo no rejeito da Mina do Boi Morto, durante as quais os dados foram coletados por meio de observação direta e registro sistemático das condições ambientais da área. Os resultados evidenciaram diversos problemas ambientais significativos. Foi constatado o abandono de áreas exploradas sem a implementação de medidas de recuperação, o acúmulo desordenado de rejeitos provenientes da extração mineral e a degradação generalizada do solo, comprometendo sua capacidade de regeneração. Além disso, verificou-se a contaminação de recursos hídricos próximos à área de extração, agravada pela exposição dos rejeitos às condições climáticas. Com base nos achados, foram propostas ações direcionadas à recuperação da área degradada. Entre as medidas sugeridas estão a revegetação com espécies nativas para restaurar a cobertura vegetal, o manejo adequado dos rejeitos de mineração para evitar contaminações futuras e a adoção de práticas educativas para conscientizar os trabalhadores e a comunidade sobre a importância da sustentabilidade. Também foi enfatizada a necessidade de monitoramento e da elaboração de políticas públicas que incentivem a recuperação ambiental das áreas impactadas pela mineração. O estudo conclui que, apesar dos impactos ambientais significativos identificados, há possibilidades reais de recuperação, desde que sejam implementadas estratégias integradas que combinem aspectos técnicos, sociais e econômicos. A articulação entre as partes envolvidas, como o poder público, os garimpeiros e a comunidade local, é fundamental para garantir melhores condições para região, promovendo a coexistência entre a exploração econômica e a preservação ambiental.

Palavras-chave: garimpo na mina do boi morto; mineração; recuperação ambiental; opala.

ABSTRACT

The rehabilitation of areas degraded by opal mining at the Boi Morto Mine, located in the municipality of Pedro II, Piauí, is a matter of significant environmental and social concern. This study investigated the environmental impacts caused by mining activities and proposed strategies for the area's restoration. A mixed-methods approach was employed, combining a literature review and field research to collect and systematize data on the environmental conditions of the site. The initial phase involved a comprehensive literature review to support the analysis of environmental impacts and to guide the development of a checklist used for field data collection. Field research comprised visits to the Boi Morto Mine, during which data were gathered through direct observation and systematic recording of environmental conditions. The findings revealed several significant environmental problems. Abandoned mining areas were observed without the implementation of remediation measures, along with the unregulated accumulation of waste materials from mining activities, leading to widespread soil degradation and reduced natural regeneration capacity. Additionally, water resources near the mining area showed signs of contamination, exacerbated by the exposure of waste to weathering processes. Based on the results, specific actions were proposed to rehabilitate the degraded area. Recommended measures included revegetation using native plant species to restore vegetation cover, proper waste management to prevent further contamination, and educational initiatives to raise awareness among miners and the local community about sustainable practices. The study also emphasized the importance of monitoring and the development of public policies to encourage the environmental recovery of areas impacted by mining activities. In conclusion, although significant environmental impacts were identified, the study demonstrates that effective recovery is achievable through integrated strategies that address technical, social, and economic aspects. Collaboration among stakeholders, including public authorities, miners, and the local community, is essential to ensure the region's sustainability, fostering a balance between economic exploitation and environmental preservation.

Keywords: Environmental degradation; mining; rehabilitation; opal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Foto – Lavagem das gemas de opala (Garinpo Boi Morto)	18
Figura 2 – Foto -Cavas abertas pela extração artesanal da opala	19
Figura 3 – Foto – Solo removido com a extração da opala	43
Figura 4 – Foto – Área degradada	44
Figura 05 – Mina “Boi Morto” – Solo removido com a extração da Opala	45
Figura 06 – Área degradada com rejeitos na Mina “Boi Morto”.....	45
Quadro 1 – Síntese do Plano de recuperação de área degradada	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Mapa de localização da área de estudo	37
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANM	Agência Nacional de Mineração
APL	Arranjo Produtivo Local
APP	Área de Preservação Permanente
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTF	Cadastro Técnico Federal
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IN	Instrução Normativa
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Previa
MME	Ministerios das Minas de Energia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PLG	Permissão de Lavra Garimpeira
PRAD	Plano de Recuperação de Área Degradada
PDOT	Plano Diretor de Ordenamento Territorial
PNM	Plano Nacional da Mineração
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas
RAD	Recuperação de Áreas Degradadas
SNUC	Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONCEITUAL	17
2.1 HISTORICO DA OPALA EM PEDRO II	17
2.2 MINERAÇÃO E A OPALA EM PEDRO II	21
2.3 ASPECTOS LEGAIS	26
2.4 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	31
3 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA	35
4 METODOLOGIA	36
4.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1 MODELO DE PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA - PRAD	47
5.1.1 Objetivos do PRAD	47
5.1.2 Medidas de recuperação propostas	47
5.2 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	48
5.3 SINTESE DOS RESULTADOS E IMPLICAÇÕES PARA A RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	48
6 PRODUTO ALMEJADO	49
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS	52
APÊNDICE A – Checklist	56
APÊNDICE B – Modelo de Plano de Recuperação de Área Degradada - PRAD	57

Os estudos realizados pelo Ministério das Minas e Energias (MME) destacam mais de 50 áreas de mineração no Brasil, dentre essas áreas, apenas uma no seguimento de opala preciosa, localizada no Piauí, nos municípios de Pedro II e Buriti dos Montes (SEBRAE, 2008). Destaca-se o município de Pedro II como o local de maior extração de opala, onde se encontram diversos garimpos em atividade, gerando renda de subsistência para os garimpeiros (Nogueira e Albuquerque, 2022).

A importância da opala para economia do município gera grandes discussões, entre elas como realizar essa ação de maneira que os impactos ambientais sejam minimizados, garantindo a sobrevivência dos garimpeiros, conservando as áreas onde são realizadas as atividades mineradora/garimpo e diminuindo os impactos a natureza. Para minimizar questões como essas, foi criado o projeto Arranjo Produtivo Local (APL) da Opala, que vem tentando melhorar a vida dos garimpeiros locais, mesmo com toda essa ação, os impactos gerados continuam sem uma ação concreta, onde se vislumbra um amontoado de rejeitos gerados pela extração da opala, sem nenhum destino, eles ficam expostos a ações climáticas e do próprio homem (Vidal, 2018).

Os principais resíduos de mineração identificados no CTF/IBAMA são:

- Classe I - perigosos: rejeitos, solos e rochas contendo substâncias perigosas, óleo de motores, transmissões e lubrificação usados ou contaminados;
- Classe II - não perigosos: Resíduos da extração de minérios metálicos e não metálicos, rejeitos não perigosos, sucatas metálicas ferrosas, resíduos de madeira, resíduos sanitários.

Nos garimpos de opalas da região de Pedro II, os resíduos são classificados como classe II, considerados não perigosos, contudo os impactos à natureza são grandiosos, em razão de serem prejudiciais ao solo, à vegetação, corpos d'água e aos animais nativos da região atingida pelo garimpo, onde dois aspectos são encontrados: o impacto causado nos recursos hídricos e a recuperação das áreas degradadas (Da Silva *et al.*, 2024).

Entende-se como área degradada, a área que, por intervenção humana, apresenta alterações de suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, alterações estas que tendem a comprometer, temporária ou definitivamente, a composição, estrutura e funcionamento do ecossistema natural do qual faz parte (ICMBio, 2023).

A degradação de áreas com a atividade de garimpo merece ênfase nos estudos devido à ausência de destino adequado para os rejeitos ocasionados pela ação dos garimpeiros. Os resíduos descartados de forma errônea perduram expostos às ações intempericas como, por

exemplo: chuva, vento, variações de temperatura, intensificando os impactos negativos ao meio ambiente. (Santos 2023). A falta de pesquisas/estudos que identifiquem soluções e agreguem valor aos rejeitos e minimização agrava a situação, reforçando a necessidade de desenvolvimento e implementação de estratégias para os aspectos ambientais e econômicos.

A exploração de recursos minerais desempenha papel relevante no desenvolvimento econômico, sobretudo em regiões onde a mineração constitui uma das principais atividades produtivas. No entanto, quando realizada sem planejamento e controle ambiental adequados, essa atividade pode provocar impactos significativos ao meio ambiente, resultando na degradação do solo, na supressão da cobertura vegetal, na alteração da paisagem e na contaminação de recursos hídricos (Sánchez, 2013). Entre as atividades minerárias, o garimpo se destaca pelo elevado potencial de degradação, principalmente em função de seu caráter artesanal, da informalidade e da ausência de práticas sistemáticas de recuperação ambiental (DIAS; GRIFFITH, 1998).

No município de Pedro II, a extração de opala possui grande relevância histórica, econômica e cultural. Todavia, a exploração prolongada e, em muitos casos, desordenada do garimpo de opala tem provocado a formação de extensas áreas degradadas, caracterizadas por cavas abertas, pilhas de rejeitos, compactação e erosão do solo, além da perda da vegetação nativa (SOUZA; LIMA, 2016). Dentre essas áreas, destaca-se o garimpo nos rejeitos da Mina do Boi Morto, que apresenta elevado grau de degradação ambiental e fragilidade ecológica, demandando intervenções urgentes de recuperação.

A recuperação de áreas degradadas pela mineração é compreendida como um conjunto de ações voltadas à estabilização física, química e biológica do ambiente, buscando restabelecer suas funções ecológicas e possibilitar novos usos compatíveis com a sustentabilidade ambiental (BRASIL, 1989). De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a recuperação ambiental consiste na restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, podendo ser distinta da condição original (CONAMA, 2009). Nesse sentido, a recuperação não se limita à recomposição estética da paisagem, mas envolve processos complexos de reestruturação do solo, da vegetação e da dinâmica ambiental local.

Autores como Rodrigues e Gandolfi (2004) ressaltam que propostas de recuperação ambiental devem considerar as características ecológicas da área, o grau de degradação, a disponibilidade de espécies nativas e a interação entre fatores naturais e antrópicos. Além disso, Sánchez (2013) enfatiza que a recuperação de áreas mineradas deve ser planejada desde o início

da atividade, integrando-se às políticas de gestão ambiental e ao cumprimento da legislação vigente, como forma de reduzir passivos ambientais e sociais.

Diante do exposto, este trabalho que traz a temática da recuperação de áreas degradadas pelo garimpo nos rejeitos de opalas na Mina do Boi Morto, Pedro II, Piauí, tendo como objetivo geral, propor um projeto de recuperação ambiental da área degradada pela atividade garimpeira com base na Instrução Normativa 14/2024 do IBAMA.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONCEITUAL

2.1 HISTORICO DA OPALA EM PEDRO II

A história da opala no município de Pedro II, localizado na região norte do estado do Piauí, está profundamente relacionada à formação econômica, social e cultural do território. Ao longo de décadas, a exploração dessa gema deixou de representar apenas uma atividade extrativa para assumir importância na construção da identidade local, na geração de renda, no desenvolvimento da cadeia produtiva de gemas e joias e na promoção turística do município. A opala constitui um dos principais símbolos de Pedro II, sendo reconhecida nacional e internacionalmente pela qualidade gemológica de suas variedades e pelo trabalho desenvolvido por garimpeiros, lapidários, artesãos e joalheiros.

A histórica descoberta da opala em Pedro II, entretanto, apresenta algumas dificuldades. Diferentemente de outros acontecimentos documentados por registros oficiais desde sua origem, a descoberta inicial da gema encontra-se fortemente associada à memória oral dos moradores e garimpeiros da região. Estudos realizados pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) apontam que as primeiras ocorrências foram identificadas entre o final da década de 1930 e o início da década de 1940.

Segundo registros históricos, uma das versões mais difundidas relata que um agricultor teria encontrado pedras de aspecto incomum enquanto trabalhava na preparação de uma área agrícola, as pedras apresentavam brilho e reflexos coloridos que despertaram sua curiosidade, posteriormente, amostras foram levadas à cidade e apresentadas a pessoas com maior conhecimento sobre minerais. A identificação como opala contribuiu para despertar o interesse de comerciantes, pesquisadores e investidores pela ocorrência mineral existente na região.

Outra narrativa, também preservada pela tradição oral, relaciona a identificação das pedras à atuação de lideranças políticas e comerciantes locais. Essa diversidade de versões demonstra que a história da descoberta não deve ser compreendida exclusivamente a partir de um acontecimento isolado, mas como resultado de um processo gradual de reconhecimento do potencial mineral da região. A descoberta permanece registrada em grande medida pela história oral dos garimpeiros, adquirindo diferentes versões ao longo do tempo.

Essa característica da história da opala é particularmente importante para compreender a relação entre o território e a atividade mineral. A descoberta não ocorreu inicialmente como resultado de uma pesquisa geológica sistemática, mas a partir da observação e da experiência cotidiana dos moradores que mantinham contato direto com o solo e as rochas, o conhecimento

empírico dos agricultores e garimpeiros passou, posteriormente, a dialogar com conhecimentos técnicos e científicos relacionados à mineralogia e à geologia.

Após a identificação da opala, começaram a surgir os primeiros interesses comerciais e as primeiras tentativas de exploração. A região do Boi Morto assumiu posição central nesse processo, tornando-se a principal área de mineração de opala do município. Nesse período, a exploração apresentava características essencialmente rudimentares, a ausência de tecnologias de prospecção e lavra fazia com que a atividade dependesse fortemente do conhecimento empírico dos trabalhadores, a abertura de pequenas galerias subterrâneas e a utilização de ferramentas manuais eram práticas comuns.

A mineração realizada nesse período também apresentava riscos significativos, relatos mencionam a ocorrência de desabamentos e acidentes em galerias, evidenciando as condições precárias de trabalho às quais estavam submetidos os garimpeiros, a atividade, portanto, apresentava uma dupla dimensão, de um lado, representava uma oportunidade econômica para trabalhadores e comerciantes locais; de outro, envolvia riscos ocupacionais e ausência de técnicas adequadas de segurança e controle ambiental. A década de 1960 constitui um dos períodos mais importantes da história da opala em Pedro II, é nesse momento que ocorre uma transformação significativa na forma de exploração da gema, com a entrada de empresas interessadas na pesquisa mineral e na lavra em maior escala.

A Empresa de Minérios Brasil Norte-Nordeste Ltda. (EMIBRA) assumiu papel de destaque na exploração da área do Boi Morto, segundo estudos do CETEM, em meados da década de 1960 a empresa passou a explorar a região, sendo os relatórios de pesquisa associados a reservas inferidas da ordem de 30.000 kg de opala em uma área aproximada de 355 hectares.

A atuação da EMIBRA modificou profundamente a dinâmica da atividade, a exploração deixou de depender exclusivamente do trabalho artesanal de pequenos grupos e passou a incorporar estruturas empresariais, equipamentos, trabalhadores contratados e procedimentos de pesquisa mineral. A Mina do Boi Morto passou, então, a ocupar uma posição estratégica na economia mineral de Pedro II, a produção de opala passou a envolver não apenas a retirada da gema, mas também uma rede de relações econômicas que incluía trabalhadores, comerciantes, intermediários, compradores e posteriormente lapidários e joalheiros.

Os anos compreendidos aproximadamente entre as décadas de 1960 e 1970 representam o período de maior intensidade da mineração empresarial de opala em Pedro II (Figura 01), o Serviço Geológico do Brasil destaca que o auge da produção ocorreu entre 1960 e 1976, período em que a EMIBRA teve papel central na exploração da Mina do Boi Morto. Nesse período, empresas privadas atuavam principalmente nos depósitos considerados de maior

interesse econômico, enquanto os garimpeiros também exploravam depósitos secundários. Essa divisão contribuiu para a formação de uma estrutura produtiva complexa, na qual coexistiam mineração empresarial e garimpagem.

Figura 01 – Mina “Boi Morto” em 1965 – Frente do garimpo com diversas galerias



Fonte: Acervo pessoal Professor Dr Erico Gomes

Além da EMIBRA, outras empresas passaram a atuar na região ao longo das décadas de 1970 e início dos anos 1980, entre elas são citadas a Opala do Piauí S.A. (OPISA), a Geopala do Brasil Mineração e a Mineropala Pedro II Ltda., além de outras empresas que tiveram atuação em diferentes períodos.

A presença empresarial proporcionou aumento da escala de produção, mas também esteve acompanhada de conflitos relacionados aos direitos de exploração, à utilização das áreas e à própria viabilidade econômica da mineração. A exploração de uma gema possui características distintas da mineração de minerais destinados à indústria de grande escala, principalmente porque depende da localização irregular dos corpos mineralizados e da proporção entre material removido e gema efetivamente aproveitável (Figura 02).

Figura 02 – Mina “Boi Morto” em 1965 – rejeito depositado no bota fora



Fonte: Acervo pessoal Professor Dr Erico Gomes

Apesar do período de crescimento, a exploração empresarial da opala começou a enfrentar dificuldades a partir da segunda metade da década de 1970 e, principalmente, durante a década de 1980, o declínio esteve relacionado a diversos fatores, entre eles a redução da disponibilidade econômica dos depósitos, os custos crescentes da mineração, dificuldades relacionadas aos direitos minerários e a necessidade de investimentos cada vez maiores para alcançar áreas potencialmente mineralizadas.

O Serviço Geológico do Brasil registra que, a partir de meados da década de 1980, empresas começaram a deixar Pedro II porque a extração se tornava economicamente pouco viável. A EMIBRA encerrou suas atividades em 1988, contribuindo para a redução da mineração empresarial e para o crescimento da exploração informal por garimpeiros. O fechamento das empresas não significou, entretanto, o desaparecimento da atividade. Pelo contrário, os garimpeiros passaram a ocupar áreas anteriormente exploradas pelas empresas, incluindo espaços da Mina do Boi Morto, parte dessa atividade ocorreu de maneira informal, aproveitando principalmente os rejeitos.

Os garimpeiros desempenharam papel fundamental na continuidade da exploração da opala, mesmo diante da redução da presença empresarial, esses trabalhadores mantiveram a

atividade por meio de conhecimentos adquiridos pela experiência. A identificação dos locais potencialmente mineralizados dependia, em grande medida, da observação das características das rochas, do relevo e dos vestígios deixados por explorações anteriores, esse conhecimento empírico constitui parte relevante do patrimônio cultural associado à opala de Pedro II.

Entretanto, a informalidade também contribuiu para a manutenção de condições precárias de trabalho, a abertura desordenada de galerias e a ausência de planejamento técnico aumentavam os riscos de acidentes e dificultavam a recuperação das áreas degradadas. Do ponto de vista ambiental, a exploração mineral modifica a cobertura vegetal, o relevo e a dinâmica do solo. Estudos recentes realizados na região do Boi Morto identificaram impactos associados à remoção da vegetação, alteração da topografia e processos de assoreamento de cursos d'água.

A partir dos anos 2000, inicia-se uma nova fase na história da opala em Pedro II. O foco deixa gradativamente de estar apenas na extração da gema e passa a envolver a organização da cadeia produtiva, a regularização das áreas, a qualificação profissional, o beneficiamento, a lapidação e a produção de joias.

Um dos principais marcos dessa transformação foi a criação do Arranjo Produtivo Local (APL) da Opala de Pedro II, iniciado em 2005. O APL contou com a participação de instituições como o CETEM, SEBRAE, órgãos públicos e entidades representativas dos produtores.

A atuação institucional buscou enfrentar problemas históricos da cadeia produtiva, incluindo a informalidade, a baixa agregação de valor, as dificuldades tecnológicas, a segurança na mineração e o aproveitamento dos resíduos.

No CETEM o trabalho desenvolvido no âmbito do APL contribuiu para mudanças nas etapas de lavra e beneficiamento e, especialmente, para o fortalecimento da lapidação e da joalheria, entre os resultados registrados estão a regularização de áreas de extração, a criação e fortalecimento de cooperativas de garimpeiros, a melhoria da infraestrutura e a consolidação de associações de joalheiros e lapidários.

Com a consolidação da cadeia produtiva, a opala passou a ocupar espaço importante na promoção turística de Pedro II. A gema está associada ao artesanato, à joalheria, aos estabelecimentos comerciais e aos eventos culturais realizados no município. Dessa maneira, a cadeia da opala passou a estabelecer conexões entre mineração, indústria artesanal, comércio, turismo e cultura. Essa integração representa uma mudança significativa em relação ao modelo exclusivamente extrativista predominante em décadas anteriores.

O reconhecimento da qualidade das opalas de Pedro II também estimulou a realização de pesquisas científicas voltadas à geologia, mineralogia e gemologia. Estudos científicos demonstram que as opalas de Pedro II apresentam características gemológicas diferenciadas e resultam de processos geológicos específicos, pesquisas acadêmicas classificam diferentes variedades encontradas na região, incluindo opala clara, opala boulder, boulder matriz e opala negra, além de materiais compostos. A produção científica contribuiu para superar a visão da opala apenas como um recurso comercial, permitindo compreender sua formação, composição, características mineralógicas e potencial de valorização.

Apesar da importância econômica e cultural da opala, a exploração mineral também produz impactos ambientais que precisam ser considerados, a atividade de mineração modifica diretamente o solo e a paisagem, podendo ocasionar remoção da cobertura vegetal, geração de rejeitos, alteração da topografia e mudanças na dinâmica da drenagem.

Esses impactos tornam necessária uma abordagem que considere não apenas a continuidade da atividade econômica, mas também a recuperação das áreas alteradas. Nesse contexto, a discussão sobre recuperação ambiental assume importância estratégica. A sustentabilidade da mineração de opala em Pedro II depende da capacidade de conciliar a continuidade da atividade econômica com a conservação dos recursos naturais e a recuperação das áreas degradadas.

A necessidade de recuperação torna-se ainda mais relevante quando se considera que parte das áreas mineradas possui histórico de exploração de diferentes períodos. Em determinados locais, as alterações ambientais são resultado de décadas de atividade, o que exige ações planejadas de diagnóstico, estabilização, recuperação do solo, recomposição vegetal e monitoramento.

2.2 MINERAÇÃO E A OPALA EM PEDRO II

A mineração é uma indústria importante e diversificada, que fornece insumos que suportam o desenvolvimento socioeconômico e que são indispensáveis para a manutenção do nível de vida e avanço das sociedades modernas (BNDES s/d). As etapas da mineração são: prospecção, pesquisa, exploração, beneficiamento/tratamento, comercialização, fechamento da mina e recuperação da área minerada.

Historicamente, os espaços minerados eram abandonados sem nenhum tipo de preocupação com a recuperação ambiental. No entanto, com a Lei 6.938 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), responsabiliza as empresas a fazerem

mitigação dos impactos negativos causados pela mineração, através da restauração, reabilitação ou recuperação dos ambientes degradados.

A recuperação ambiental consiste em fazer o sítio degradado retomar a uma forma e utilização com o restabelecimento de processos naturais, seja com o uso produtivo, implantação de uma atividade de recreação ou valorização estético-ecológica (IBAMA, 1990 apud Corrêa, 2019).

A mineração é uma das atividades econômicas mais antigas desenvolvidas pela humanidade, estando diretamente relacionada ao processo de ocupação territorial, ao desenvolvimento tecnológico e à organização socioeconômica das sociedades. No Brasil, essa atividade possui papel estratégico desde o período colonial, contribuindo significativamente para a formação econômica do país, especialmente em regiões interioranas (SÁNCHEZ, 2013).

Entretanto, ao mesmo tempo em que promove geração de renda e dinamização econômica, a mineração também está associada a expressivos impactos ambientais, sobretudo quando praticada de forma artesanal ou sem o devido planejamento ambiental.

Do ponto de vista conceitual, a mineração pode ser compreendida como o conjunto de atividades que envolvem a pesquisa, a lavra, o beneficiamento e o aproveitamento econômico de substâncias minerais existentes no subsolo (BRASIL, 2018). Essa definição ressalta o caráter técnico e econômico da atividade, mas não exclui sua dimensão ambiental, uma vez que toda intervenção minerária implica alterações significativas nos sistemas naturais, especialmente no relevo, no solo, na vegetação e nos recursos hídricos.

Nesse contexto, a mineração artesanal ou garimpeira apresenta especificidades que a diferenciam da mineração industrial. Segundo Dias e Griffith (1998), o garimpo caracteriza-se pela utilização de técnicas rudimentares, baixo nível de mecanização e, frequentemente, pela informalidade, fatores que contribuem para a intensificação dos impactos ambientais e para a dificuldade de implementação de medidas de controle e recuperação.

Em muitas regiões brasileiras, o garimpo constitui a principal fonte de renda para comunidades locais, o que reforça sua importância social, mas também evidencia a necessidade de políticas públicas voltadas à regularização ambiental e à recuperação das áreas degradadas.

No estado do Piauí, a mineração não apresenta a mesma expressividade econômica observada em outras unidades federativas brasileiras; contudo, destaca-se pela exploração de rochas ornamentais e gemas, entre as quais a opala assume papel central. O município de Pedro II é reconhecido nacionalmente como o principal polo produtor de opala do Brasil (CPRM, 2014).

A opala é uma gema de origem mineral composta essencialmente por sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), caracterizada por sua estrutura amorfa e pela presença do fenômeno óptico conhecido como “jogo de cores”, que lhe confere elevado valor comercial (KLEIN; DUTROW, 2012).

Sua formação está associada a processos geológicos específicos, geralmente relacionados à circulação de soluções ricas em sílica em ambientes sedimentares ou vulcânicos. Em Pedro II, a ocorrência da opala está vinculada a formações sedimentares da Bacia do Parnaíba, especialmente em áreas de relevo suavemente ondulado, onde as condições geológicas favoreceram sua deposição.

A exploração da opala em Pedro II, desenvolveu-se majoritariamente por meio do garimpo, realizado em pequenas minas a céu aberto, com abertura de cavas, túneis e galerias subterrâneas. De acordo com Souza e Lima (2016), esse tipo de exploração, ao longo do tempo, resultou em intensos processos de degradação ambiental, incluindo a remoção da cobertura vegetal, a compactação e erosão dos solos, a deposição inadequada de rejeitos e a alteração significativa da paisagem natural. Tais impactos são agravados pela fragilidade ambiental da região, marcada por solos rasos e suscetíveis à erosão, além de um regime climático caracterizado por irregularidade das chuvas.

Sob a perspectiva ambiental, os impactos da mineração de opala em Pedro II, podem ser classificados como físicos, bióticos e socioambientais. Os impactos físicos incluem a modificação do relevo, a instabilidade de taludes e a formação de áreas suscetíveis à erosão e ao assoreamento de cursos d'água.

Os impactos bióticos manifestam-se principalmente na supressão da vegetação nativa e na fragmentação de habitats, comprometendo a biodiversidade local (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004). Já os impactos socioambientais envolvem riscos à saúde dos trabalhadores, conflitos pelo uso da terra e abandono de áreas mineradas sem qualquer tipo de recuperação.

A legislação ambiental brasileira estabelece que a recuperação de áreas degradadas é obrigação legal do empreendedor mineral. A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) determina que aquele que causar degradação ambiental é responsável pela recuperação do dano causado, independentemente da existência de culpa (BRASIL, 1981).

No caso da mineração, essa obrigação é reforçada pelo Código de Mineração e pelas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõem sobre a necessidade de elaboração e execução de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) (CONAMA, 2011).

Entretanto, no contexto do garimpo artesanal, como ocorre em grande parte das minas de opala de Pedro II, a aplicação efetiva da legislação ambiental enfrenta desafios significativos. A informalidade da atividade, a limitação de recursos financeiros e técnicos e a ausência de fiscalização contínua contribuem para o abandono de áreas degradadas, como é o caso da Mina do Boi Morto.

Segundo Sánchez (2013), a recuperação de áreas mineradas deve ser planejada de forma integrada, considerando não apenas os aspectos ambientais, mas também as dimensões sociais e econômicas, de modo a garantir a sustentabilidade das intervenções propostas.

Nesse sentido, a recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração de opala em Pedro II, deve levar em consideração as especificidades locais, como as condições climáticas semiáridas, os tipos de solo, a vegetação característica e o uso tradicional do território. A adoção de técnicas de bioengenharia, revegetação com espécies nativas e estabilização de taludes, tem sido apontada por diversos autores como estratégias eficazes para promover a recuperação funcional desses ambientes (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004; DIAS; GRIFFITH, 1998).

Portanto, compreender a dinâmica da mineração de opala em Pedro II, seus impactos ambientais e o arcabouço teórico-conceitual relacionado à recuperação de áreas degradadas, é fundamental para subsidiar a proposta de recuperação ambiental da Mina do Boi Morto. Tal compreensão permite a elaboração de estratégias tecnicamente adequadas e ambientalmente sustentáveis, capazes de contribuir para a redução dos passivos ambientais gerados pela atividade garimpeira e para a promoção de um modelo de desenvolvimento que concilie exploração mineral e conservação ambiental.

Os recursos minerais são imprescindíveis para a sociedade, trata-se de substâncias sem nenhuma valia para o homem e a biosfera, enquanto jazem inerte no subsolo, mais que podem se tornar imprescindíveis, quando pesquisados, prospectados, extraídos, beneficiados e transformados nos mais variados produtos para nossa vida cotidiana (Viana, 2012 apud Sepe *et al.*, 2023).

No entendimento de Barreto (2013), a história do Brasil e da mineração estão intimamente relacionadas com a busca e o aproveitamento dos seus recursos minerais, que sempre contribuíram para a economia nacional, fazendo parte da ocupação territorial e da história nacional. A atividade mineral no Brasil se confunde com o próprio processo de colonização do país, pela exploração de riquezas minerais baseada na escravidão e visando ao mercado externo.

Barreto (2013) assegura ainda que nos primórdios de nossa colonização são lavradas ocorrências das diversas substâncias minerais encontradas na superfície do solo, porém, o que se retirava era sempre muito pequeno e adotavam-se métodos rudimentares na sua extração. Existia a necessidade de produtos de origem mineral nessa época, mas era muito pequena.

Segundo a Agência Nacional de Mineração (2021), as concessões de lavra demonstram que as minas no Brasil estão distribuídas por região, da seguinte forma: com 6% no Norte, 9% no centro-oeste, 15% no Sudeste, 21% no Sul e 49% no Nordeste. No entanto a fiscalização praticamente não existe, deixando esses dados um pouco soltos.

Dessa forma, a extração de minerais de forma manual ou rudimentar permanece uma prática comum em diversas regiões, são inúmeras minas ou garimpos em atividade sem as devidas orientações e liberação, sendo locais de extração mineral sem os cuidados com a segurança dos indivíduos que se arriscam de forma improvisada devido à falta de medidas de segurança, bem como a falta de preocupação com sustentabilidade da região explorada.

Com isso, a ausência de práticas de conservação ambiental causa danos que comprometem não somente o meio ambiente, mas também o bem-estar das comunidades que dependem dos recursos para sustento econômico. Os garimpos são locais de extração artesanal de minerais que podemos caracterizar como:

Áreas extrativistas que ocorrem em depósitos de gemas, minerais metálicos ou não-metálicos valiosos, em eluvião ou aluviões, nos alvéolos de cursos d'água ou nas margens reservadas, bem como nos depósitos secundários ou chapadas, vertentes e alto de morros, sendo que para sua extração são utilizados instrumentos rudimentares, aparelhos manuais ou máquinas simples e portáteis, e produtos químicos (ANM, 2023).

No entanto, o garimpo é a exploração mais simples e manual, que ocorre em zonas limitadas e isoladas geograficamente, onde são utilizados métodos arcaicos e tradicionais de produção, com pouco emprego de tecnologia, capital e mão de obra, para extrair os recursos minerais, os garimpeiros utilizam instrumentos rudimentares, aparelhos manuais ou máquinas simples e portáteis.

Segundo Millanez (2013), a principal forma de extração mineral no Brasil ocorre por meio das minas a céu aberto. Sua instalação tem início com o desmatamento da região a ser lavrada, juntamente com a retirada de todo o solo fértil. Como esse solo normalmente possui baixo teor de minério, ele é contraditoriamente chamado de “estéril” pelas mineradoras ou garimpeiros.

Este solo estéril é, então, acumulado em grandes pilhas. O preparo da escavação é feito a partir da perfuração dos blocos e da infusão de cargas de explosivos, que são detonados afrouxando o solo, permitindo que escavadeiras mecânicas carreguem o material extraído.

Todo esse processo de exploração das minas, seja pela mineradora ou de forma manual, geram consequências para meio ambiente, pois a extração danifica o solo, a vegetação, o lençol freático comprometendo a sustentabilidade da região.

Analizando as concepções expostas, ficam evidente os danos causados ao meio ambiente a partir da mineração, contextualizando com a extração da opala no município de Pedro II, é exatamente a situação encontrada nas principais minas da região, destacando a mina do Boi Morto, objeto de estudo deste trabalho.

De acordo com Nogueira e Albuquerque (2022), é evidente que a ação do homem causa impactos devido aos processos utilizados e necessários para a extração dos minérios. Dessa maneira, ao analisar a área de garimpo, é possível perceber que medidas mitigadoras não foram utilizadas durante o procedimento de retirada da opala na região da Mina “Boi Morto”.

Conforme Marques (2013), as evidências geológicas indicam, de forma bastante clara, que as ocorrências de opala em Pedro II, estão situadas dentro de um ambiente hidrotermal composto de *emplacement* do diabásio em rochas clásticas, desde arenitos até folhelhos, que foram os agentes térmicos responsáveis; enquanto os sedimentos foram as rochas hidrotermalizadas e receptoras da mineralização.

Segundo Vidal (2013), a gênese das opalas no município de Pedro II está associada ao diabásio, que teria funcionado como um elo impermeável para as águas subterrâneas, promovendo a dissolução da sílica do arenito, sendo que a precipitação da opala seria controlada pelas oscilações climáticas. As opalas seriam a junção do diabásio a temperaturas elevadas em um ambiente apropriado, essas circunstâncias, inclusive, favorecem a diversidade de cores encontradas nas opalas no município de Pedro II.

2.3 ASPECTOS LEGAIS

A Constituição Federal de 1988 estabelece, em seu artigo 225, que todos têm direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, e que é dever do poder público e da coletividade defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações, também impõe às empresas a obrigação de recuperar as áreas degradadas pela sua atividade.

A Constituição Federal define os recursos minerais como bens da União, reforçando o papel do Estado na regulamentação, fiscalização e controle das atividades minerárias. Dessa forma, a recuperação ambiental deixa de ser apenas uma medida de caráter técnico e passa a ser uma obrigação constitucional, vinculada ao princípio do desenvolvimento sustentável.

A Lei nº 6.938/1981 da Política Nacional do Meio Ambiente define que o poluidor é responsável pela degradação ambiental que causar e deve arcar com os custos de recuperação, esta lei também cria o conceito de licenciamento ambiental, essencial para a operação de atividades mineradoras.

Objetivo central é a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981). A Política Nacional do Meio Ambiente introduziu instrumentos fundamentais para a gestão ambiental, como o licenciamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais e a responsabilização por danos causados ao meio ambiente.

Entre os princípios que ela orienta, destaca-se o princípio do poluidor-pagador, segundo o qual o agente causador da degradação ambiental deve arcar com os custos da prevenção, controle e reparação dos danos ambientais. Esse princípio possui relevância direta para a atividade minerária, uma vez que a exploração de recursos minerais implica, inevitavelmente, intervenções no meio físico e biótico.

Conforme estabelece o art. 14, §1º, da Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA, a responsabilidade por danos ambientais é objetiva, não dependendo da comprovação de culpa, bastando a existência do dano e do nexo causal (BRASIL, 1981). No contexto do garimpo de opala em Pedro II, a aplicação desse princípio enfrenta desafios, sobretudo em razão da informalidade histórica da atividade e da dificuldade de identificação dos responsáveis pelos passivos ambientais.

Ainda assim, a PNMA oferece o respaldo jurídico necessário para a implementação de propostas de recuperação ambiental, inclusive em áreas abandonadas, por meio da atuação do poder público e de políticas de regularização ambiental.

O Licenciamento Ambiental que é composto pela Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO), antes de iniciar qualquer atividade mineradora, é necessário obter essas licenças, que só são concedidas após a apresentação de um plano de recuperação de áreas degradadas-PRAD.

A exigência de licenciamento ambiental para o garimpo de opala em Pedro II representa um mecanismo essencial de controle dos impactos ambientais. Entretanto, a

exploração histórica da opala na região ocorreu, em grande parte, à margem desse instrumento, resultando em áreas degradadas sem qualquer tipo de planejamento ou recuperação ambiental. Nesse sentido, o licenciamento ambiental assume papel relevante não apenas na prevenção de novos impactos, mas também na regularização e recuperação de passivos ambientais existentes.

A Resolução CONAMA nº 429/2011 reforça a obrigatoriedade da recuperação ambiental, sobretudo em áreas ambientalmente sensíveis, como Áreas de Preservação Permanente-APPs. No caso da Mina do Boi Morto, a elaboração de uma proposta de recuperação ambiental fundamentada nos princípios do PRAD, baseado na IN 14/2024 do IBAMA, constitui etapa essencial para a mitigação dos impactos ambientais e para a reintegração da área à paisagem local.

No Código de Mineração que foi instituído pelo Decreto-Lei nº 227/1967, estabelece que o minerador seja obrigado a recuperar as áreas degradadas e pode ser penalizado caso não cumpra as normas estabelecidas. A responsabilidade ambiental no setor de mineração vai além de restaurar o meio ambiente.

As empresas que causam danos ambientais podem ser responsabilizadas civil, administrativas e penalmente. Essas sanções incluem multas, suspensão de atividades e até a perda da concessão mineral, os termos de compromisso que em alguns casos, as empresas firmam termos de ajustamento de conduta com órgãos ambientais, comprometendo-se a realizar a recuperação das áreas degradadas dentro de prazos e condições estabelecidos.

Nos garimpos, aplica-se o regime de Permissão de Lavra Garimpeira-PLG, que autoriza a extração de substâncias minerais por pessoas físicas, cooperativas ou associações de garimpeiros. Essa permissão está condicionada à obtenção de licença ambiental e ao cumprimento das exigências legais relativas à recuperação das áreas degradadas. Contudo, conforme destaca Sánchez (2013), a efetividade dessas exigências é limitada em contextos de mineração artesanal, nos quais predominam a informalidade e a escassez de recursos técnicos e financeiros.

A Agência Nacional de Mineração -ANM, criada pela Lei nº 13.575/2017, é o órgão responsável pela gestão do setor mineral no Brasil, cabendo-lhe fiscalizar o cumprimento das obrigações minerárias e ambientais. A atuação da Agência é fundamental para assegurar que a recuperação ambiental seja incorporada às práticas minerárias, inclusive por meio da exigência de planos de fechamento de mina e de recuperação de áreas degradadas.

A compensação ambiental estabelecida pela lei nº 9.985/2000 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, que prevê a compensação ambiental para empreendimentos de significativo impacto ambiental, o que pode incluir a recuperação de áreas

degradadas. O decreto de nº 9.406 de 12 de junho de 2018 (BRASIL, 2018) que regulamentou o decreto-lei 227/1967 e instituiu o novo marco regulatório da mineração em seu artigo 5º define que a atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, a comercialização dos minérios, o aproveitamento de rejeitos e estéreis e o fechamento da mina.

No Plano Nacional de Mineração-PNM 2030, consta que órgãos federais como o Ministério das Minas e Energia – MME e o Ministério do Meio Ambiente - MMA, vêm empreendendo esforços no sentido de estabelecer uma agenda comum quanto a criação de novas unidades de conservação, licenciamento ambiental e outros pontos relevantes a mineração e ao meio ambiente. A preservação ambiental deve ser considerada parte integrante do processo de desenvolvimento sustentável. Uma vez que esse desenvolvimento só pode ser alcançado a partir da integração e sinergias da dimensão ambiental, econômica e social (BRASIL, 2024).

As áreas protegidas são essenciais para a conservação de valores ecológicos, sociais e culturais, deveria existir uma discussão mais ampla sobre o manejo e compensações de áreas protegidas (MME, 2024) para a mineração possa se desenvolver de forma sustentável em concordância com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (BRASIL, 2024) e os regulamentos das demais áreas protegidas.

O monitoramento e fiscalização dos órgãos responsáveis que inclui o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA e os órgãos estaduais e municipais de meio ambiente são responsáveis por fiscalizar e garantir que as atividades de recuperação sejam realizadas conforme o PRAD e demais exigências legais.

A responsabilidade ambiental no Brasil é tripla, abrangendo as esferas administrativa, civil e penal, conforme previsto na Lei nº 9.605/1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais. Essa legislação estabelece sanções para condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, incluindo aquelas relacionadas à mineração realizada em desacordo com as normas legais (BRASIL, 1998).

No contexto do garimpo artesanal, a responsabilização ambiental enfrenta limitações práticas, especialmente quando há abandono das áreas degradadas ou dificuldade de identificação dos responsáveis. Ainda assim, a legislação ambiental brasileira prevê mecanismos que permitem a atuação do poder público na recuperação dessas áreas, reforçando o caráter coletivo da proteção ambiental.

Os relatórios e auditorias que as empresas devem apresentar periodicamente sobre o progresso da recuperação ambiental, que são avaliados pelos órgãos competentes. Incentivos e

financiamentos que são algumas políticas governamentais, podem oferecer incentivos financeiros e fiscais para projetos de recuperação ambiental, facilitando a obtenção de recursos para cumprir com as obrigações legais.

A Instrução Normativa IBAMA nº 14, de 1º de julho de 2024, representa um marco recente e relevante no ordenamento jurídico-ambiental brasileiro no que tange à recuperação de áreas degradadas ou alteradas. Publicada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), essa normativa estabelece procedimentos atualizados para a elaboração, apresentação, execução e monitoramento de Projetos de Recuperação de Área Degradada ou Área Alterada – PRAD, por parte dos administrados, com o objetivo de atender às exigências da legislação ambiental em vigor em todos os biomas brasileiros e suas respectivas fitofisionomias.

A nova Instrução Normativa revoga a IN IBAMA nº 04/2011, e traz inovações conceituais e metodológicas alinhadas aos princípios da ecologia da restauração, ampliando a eficácia técnica e legal dos instrumentos voltados à recuperação ambiental. Entre os destaques da normativa está a introdução do conceito de “cenário ambiental”, que leva em conta a condição ecológica da área degradada e de seu entorno, oferecendo base para a escolha de métodos e técnicas mais adequados à realidade específica de cada localização. A caracterização do cenário ambiental permite ainda, estimar, de forma mais robusta, trajetórias de recuperação, desde condições otimistas até situações mais desafiadoras e orientar a definição de indicadores para aferir o sucesso das ações propostas no projeto.

Outro avanço importante apresentado pela IN nº 14/2024 é a ênfase na trajetória da recuperação ambiental, que consiste na análise da rota sucessional percorrida pelo ecossistema ao longo do tempo. Essa abordagem transcende a simples verificação de parâmetros estáticos e incentiva a avaliação contínua do processo de restauração ecológica, considerando se a área degradada está progredindo de forma satisfatória em direção a um estado desejado de restauração.

A norma também define diretrizes para os elementos que devem compor um PRAD, incluindo:

- diagnóstico detalhado da degradação ambiental e a identificação das causas principais;
- definição de metas claras e indicadores de monitoramento;
- medidas de proteção, controle e manejo de fatores que possam comprometer a recuperação;
- cronogramas de execução e avaliação técnica de resultados.

Além disso, a Instrução Normativa estabelece prazos e mecanismos de monitoramento contínuo e relatórios periódicos, que devem ser submetidos ao IBAMA ao longo do processo de recuperação. O acompanhamento técnico é entendido como parte essencial para validar a eficácia das ações e garantir que as metas estabelecidas no projeto sejam alcançadas.

No contexto da legislação ambiental brasileira, a IN nº 14/2024 reforça a obrigação legal de recuperação de áreas degradadas prevista na Constituição Federal (art. 225, §2º), na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e nas resoluções do CONAMA, ao proporcionar um quadro normativo atualizado e tecnicamente robusto para implementação de projetos de recuperação ambiental de forma eficaz e monitorada.

A instrução contribui para a efetivação do dever de restaurar ambientes impactados por atividades como a mineração, incluindo expressões artesanais como o garimpo de opala em Pedro II (PI), integrando instrumentos técnicos, legais e ecológicos na perspectiva de promover uma restauração com base em evidências e indicadores mensuráveis.

A recuperação ambiental de áreas degradadas pelo garimpo de opala em Pedro II envolve desafios legais, institucionais e socioeconômicos. A informalidade da atividade, a fragilidade da fiscalização e a dependência econômica de parte da população local em relação ao garimpo, dificultam a aplicação plena da legislação ambiental. Conforme destacam Dias e Griffith (1998), a superação desses desafios requer a integração entre políticas públicas, instrumentos legais e propostas técnicas de recuperação ambiental adaptadas à realidade local.

Dessa forma, os aspectos legais analisados neste capítulo evidenciam que a recuperação ambiental da Mina do Boi Morto, não se configura apenas como uma ação ambientalmente desejável, mas como uma exigência legal respaldada por dispositivos constitucionais, infraconstitucionais e normativos. A proposta de recuperação ambiental apresentada nesta dissertação, fundamenta-se nesse arcabouço jurídico, buscando contribuir para a redução dos passivos ambientais do garimpo de opala e para a promoção de um modelo de exploração mineral mais sustentável no município de Pedro II – PI.

2.4 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

A recuperação de áreas degradadas constitui um dos principais desafios contemporâneos da gestão ambiental, sobretudo em países como o Brasil, onde atividades econômicas historicamente predatórias, como a mineração, a agropecuária extensiva e a expansão urbana desordenada, contribuíram para a degradação de vastas extensões territoriais.

No contexto do desenvolvimento sustentável, a recuperação ambiental assume papel estratégico ao buscar conciliar a reparação dos danos ambientais com a manutenção das atividades socioeconômicas, promovendo a reabilitação de ecossistemas e a melhoria da qualidade de vida das populações afetadas.

Do ponto de vista conceitual, áreas degradadas podem ser definidas como aquelas que sofreram alterações adversas em suas características físicas, químicas ou biológicas, resultando na perda ou redução significativa de suas funções ecológicas (DIAS; GRIFFITH, 1998). A degradação ambiental pode manifestar-se por meio da erosão e compactação do solo, contaminação de recursos hídricos, supressão da vegetação nativa, perda de biodiversidade e alteração da paisagem.

Em muitos casos, essas alterações comprometem a capacidade de autorregeneração do ecossistema, tornando necessária a intervenção humana por meio de ações planejadas de recuperação ambiental. A recuperação de áreas degradadas não deve ser compreendida apenas como um processo de recomposição paisagística, mas como um conjunto integrado de ações voltadas à restauração das funções ecológicas, à estabilidade ambiental e à possibilidade de uso sustentável futuro da área.

Segundo Sánchez (2013), a recuperação ambiental envolve medidas técnicas que visam restabelecer condições ambientais mínimas que permitam o equilíbrio dos processos naturais, mesmo que não seja possível retornar exatamente ao estado original do ecossistema.

Nesse sentido, a literatura distingue diferentes conceitos relacionados à recuperação ambiental, como reabilitação, restauração e recuperação propriamente dita. A restauração ecológica refere-se ao processo de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído, buscando aproximá-lo de sua condição original (SER, 2004).

Já a reabilitação prioriza a devolução da funcionalidade ambiental e da estabilidade física da área, admitindo novos usos compatíveis com a sustentabilidade. A recuperação ambiental, por sua vez, constitui um conceito mais amplo, englobando estratégias que variam conforme o grau de degradação, os objetivos do projeto e as características ambientais locais (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004).

No caso de áreas degradadas pela mineração, a recuperação ambiental assume complexidade ainda maior, em razão das profundas alterações impostas ao relevo, ao solo e à vegetação. A atividade minerária, especialmente quando realizada a céu aberto ou por meio de garimpo artesanal, promove a remoção da camada superficial do solo, a formação de cavas e pilhas de rejeitos, além da compactação e instabilidade de taludes.

Esses impactos dificultam a regeneração natural e exigem intervenções técnicas específicas, como a reconfiguração do relevo, a correção do solo e a revegetação planejada (DIAS; MELLO, 1998). A etapa inicial de um projeto de recuperação de áreas degradadas consiste no diagnóstico ambiental, que deve identificar as causas da degradação, o grau de comprometimento dos componentes ambientais e o potencial de regeneração natural da área.

Esse diagnóstico envolve a análise do meio físico, incluindo relevo, solos, clima e hidrologia; do meio biótico, com destaque para a vegetação e a fauna; e do meio socioeconômico, considerando o uso e ocupação do solo e as relações da comunidade local com a área degradada (SÁNCHEZ, 2013). Um diagnóstico bem elaborado é fundamental para a definição de estratégias eficazes de recuperação.

Com base no diagnóstico, são definidas as técnicas e métodos de recuperação ambiental mais adequados. Entre as principais estratégias utilizadas destacam-se a estabilização física da área, o controle de processos erosivos, a melhoria das condições do solo e a revegetação com espécies nativas. A estabilização física envolve a reconfiguração do relevo, a construção de terraços, drenagens e contenções, visando reduzir a erosão e garantir a segurança da área. O controle de processos erosivos é essencial para evitar a perda de solo e o assoreamento de corpos d'água adjacentes.

A recuperação do solo é uma etapa crítica, especialmente em áreas mineradas, onde a retirada da camada superficial compromete a fertilidade e a estrutura do solo. Técnicas como a adição de matéria orgânica, a correção do pH e a introdução de microrganismos benéficos podem contribuir para a melhoria das condições edáficas, favorecendo o estabelecimento da vegetação (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004).

A revegetação, por sua vez, deve priorizar o uso de espécies nativas adaptadas às condições climáticas e edáficas locais, respeitando a sucessão ecológica e promovendo a recomposição da biodiversidade.

A regeneração natural assistida tem sido apontada como uma estratégia eficiente em áreas onde ainda existe banco de sementes, propágulos ou remanescentes de vegetação no entorno. Essa abordagem reduz custos e favorece a recuperação de ecossistemas mais próximos da condição original.

No entanto, em áreas severamente degradadas, como aquelas impactadas por garimpo intensivo, a intervenção ativa torna-se indispensável, exigindo o plantio de mudas, a semeadura direta e o manejo contínuo da área (SER, 2004).

Outro aspecto fundamental da recuperação de áreas degradadas é o monitoramento ambiental. O acompanhamento sistemático das ações implantadas permite avaliar a eficácia das

técnicas adotadas, identificar falhas e realizar ajustes ao longo do processo. Indicadores como cobertura vegetal, diversidade de espécies, estabilidade do solo e qualidade da água são comumente utilizados para mensurar o sucesso da recuperação ambiental.

Conforme destaca Sánchez (2013), a recuperação deve ser entendida como um processo de médio a longo prazo, que demanda monitoramento contínuo e comprometimento institucional.

No Brasil, a recuperação de áreas degradadas é respaldada por um sólido arcabouço legal, que inclui a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), a Constituição Federal de 1988 e normas específicas para atividades como a mineração. A exigência de elaboração e execução de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), reflete o reconhecimento da recuperação ambiental como obrigação legal do agente causador do dano.

Mais recentemente, a Instrução Normativa IBAMA nº 14/2024 trouxe avanços significativos ao estabelecer diretrizes atualizadas para a elaboração, execução e monitoramento de PRADs, alinhadas aos princípios da ecologia da restauração.

Além dos aspectos técnicos e legais, a recuperação de áreas degradadas envolve dimensões sociais e econômicas. A participação da comunidade local, o uso futuro da área e a geração de alternativas econômicas sustentáveis são elementos que contribuem para a efetividade e a durabilidade das ações de recuperação.

Em regiões onde a mineração constitui importante fonte de renda, como no caso do garimpo de opala em Pedro II -PI, a recuperação ambiental deve ser integrada a estratégias de desenvolvimento local sustentável, de modo a reduzir conflitos socioambientais e promover a conservação dos recursos naturais.

Dessa forma, a recuperação de áreas degradadas representa um processo complexo e interdisciplinar, que exige planejamento, conhecimento técnico e respaldo legal. Quando adequadamente conduzida, a recuperação ambiental contribui para a mitigação dos impactos negativos das atividades antrópicas, para a conservação da biodiversidade e para a promoção de um modelo de desenvolvimento mais equilibrado e sustentável. No contexto desta dissertação, a compreensão dos fundamentos teóricos da recuperação de áreas degradadas fornece suporte essencial para a elaboração da proposta de recuperação ambiental da área impactada pelo garimpo de opala na Mina do Boi Morto, no município de Pedro II – PI.

3 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

Esta pesquisa apresenta uma contribuição significativa para a academia, revelando a importância da recuperação de áreas degradadas pelo garimpo e a mineração, em especial pela extração de opala no município de Pedro II. Abordando a partir de uma problemática ambiental com relevância, a investigação destaca pela melhoria do desenvolvimento sustentável da região, trazendo inúmeros benefícios para a sociedade envolvida.

Além disso, essa pesquisa oferece as seguintes contribuições:

- Compreensão da importância da recuperação de áreas degradadas pela extração de opala em Pedro II, apresentando informações que fornecem um panorama da área de estudo;
- Análise dos impactos ambientais, com o entendimento da problemática da degradação e suas consequências para o meio ambiente, reforçando as práticas de mitigação e recuperação, considerando aspectos ecológicos e sociais;
- Colaboração com o desenvolvimento sustentável do município de Pedro II, fornecendo informações e sugestões de recuperação da área do garimpo do Boi Morto. Essas sugestões podem ser utilizadas para embasar políticas públicas e ações que visem a melhoria do desenvolvimento sustentável local, alinhadas às necessidades da cidade.

Por isso, além de engrandecer o conhecimento acadêmico sobre o tema, esta pesquisa tem o intuito de uma aplicação prática e significativa. As propostas e descobertas podem contribuir com a implementação de métodos e estratégias para a recuperação ambiental, beneficiando o ecossistema e as comunidades incluídas, fornecendo também subsídios para a elaboração de políticas públicas. Diante disso, o estudo enfatiza a pesquisa como uma ferramenta de transformação local, promovendo melhorias tanto no meio ambiente quanto na qualidade de vida da população do município de Pedro II.

Com base no objetivo do estudo, estruturou-se um roteiro metodológico composto pelas seguintes etapas principais: análise de informações bibliográficas, captação de dados em campo através de um checklist, sistematização das informações e posterior elaboração de diagnóstico ambiental detalhado. A primeira etapa consistiu na delimitação da área de estudo, nas imediações da Mina do Boi Morto, localizada no município de Pedro II - PI. Essa delimitação possuiu fatores geográficos e ambientais importantes, a partir das características físicas da região e grandeza das atividades de extração de opala.

Na segunda etapa, foi realizado o levantamento a partir da revisão de fontes documentais e bibliográficas sobre os elementos físicos, o histórico e os métodos empregados da extração de opala. Para a execução, foi necessário a inclusão de dados geológicos, hidrológicos e de uso do solo, coletas de relatórios técnicos, artigos, mapas temáticos e outros documentos que ao longo da investigação diagnóstica, foram selecionadas principais referências teóricas e técnicas adequadas e definidas.

Na fase seguinte, a terceira etapa captou-se o trabalho e as atividades de campo, com o foco e objetivo do reconhecimento dos impactos ambientais, gerados pelas atividades de extração de opala. As ações incluídas foram: identificação e análise da destinação dos rejeitos oriundos do processo de extração; observação in loco das áreas degradadas e categorização dos impactos ambientais e aplicação de um checklist estruturado para registro de informações qualitativas e quantitativas sobre a degradação ambiental na área selecionada.

Por fim, a quarta etapa, de acordo com os dados coletados e sistematizados, foi desenvolvida a proposta de elaboração do Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). O projeto incluiu métodos e técnicas recomendados para a recuperação ambiental da área; propostas específicas para a gestão e reaproveitamento dos rejeitos oriundos da mineração e um cronograma de implantação, especificando cada fase do processo de recuperação, desde as primeiras ações até a fase de monitoramento contínuo.

Com isso, as etapas acima descritas puderam garantir uma abordagem metodológica integrada, permitindo tanto a análise detalhada dos impactos ambientais quanto o desenvolvimento de soluções práticas e sustentáveis para a recuperação da área de estudo.

4.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Pedro II, localizado na microrregião de Campo Maior, foi instituído como município pela Lei Nº. 641 de 13 de julho de 1911, sendo anteriormente chamada de Vila de Matões, tendo sido desmembrado de Piracuruca e tendo como limites os municípios de Domingos Mourão, Lagoa de São Francisco e São João da Fronteira ao norte, ao sul com Milton Brandão, Buriti dos Montes e Jatobá do Piauí, a Oeste com Capitão dos Campos e, a leste com Estado do Ceará (CPRM, 2004).

A população total, segundo o censo 2022 do IBGE é de 37.894 pessoas, e uma densidade demográfica de 24,54 hab./km, sendo privilegiada naturalmente com um clima ameno, sua temperatura varia entre 28 °C e 30 °C ao dia e 20 °C a 16 °C à noite. A cidade apresenta uma economia diversificada, com um destaque maior para a extração de opala, uma atividade de grande relevância e importância para o município, conhecida internacionalmente devido a qualidade das pedras preciosas.

Além disso, a cidade também se destaca pelo artesanato têxtil, originando redes e tapeçarias. Apesar das atividades mencionadas acima, a base econômica predominante da região ainda é a agricultura, especialmente a de subsistência, empregando grande parte da população rural do município.



Elaborado: Marcos Aurélio, 2025.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A priori, a definição de área degradada ou ecossistemas degradados faz-se necessário, pois este apresenta diferentes entendimentos e amplitudes. Alguns autores como Carpanezzi et al. (1990), bem como o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA (1990) definem área degradada como uma área com desequilíbrio dos ecossistemas naturais e que apresentam alterações quanto:

- a) a flora: comprometimento de seu meio de regeneração biótica como banco de sementes, de plântulas, chuva de semente ou partes que viabilizam a rebrota, perda da camada fértil do solo;
- b) a fauna: expulsão ou remoção, destruição; e
- c) ao sistema hídrico: alteração do regime de vazão e deterioração da qualidade.

De acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 5/2009 subscrita pelo Ministério do Meio Ambiente, interpreta área degradada, o local cuja capacidade produtiva e qualitativa alterada devido a remoção, expulsão e destruição total ou parcial do solo, vegetação, fauna e flora (MMA, 2009). Nesse contexto, a degradação atinge três esferas: meio físico, biótico e antrópico, além disso, Castro Filho e Muzilli (2002) destaca que devido ao solo contemplar os efeitos dos três meios, os processos de investigação dos impactos são mais intensos, portanto, entender o tipo de classificação do solo é imprescindível para permitir uma escolha mais assertiva das espécies a serem plantadas e o conjunto de práticas de manejo mais apropriada para a área degradada.

A degradação física, química e biológica quando identificadas e quantificadas fornece informações importantes para o processo de recuperação da área, elas funcionam como indicadores de qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994; REINERT, 1998). De acordo com Dias e Griffith (1998), para o correto uso dos indicadores é necessário a integração de uma visão holística e harmônica para com o ecossistema em análise.

A avaliação por meio dos indicadores e constituintes bióticos e abióticos do ambiente deve ser interpretada de acordo com o uso de padrões ou referências, preferencialmente, da área em questão. Esta avaliação permite determinar o grau de degradação (diagnóstico) e servirá como parâmetro futuro no cenário pós-degradação (prognóstico) (DIAS, 2003a; SOUZA, 2018). Assim, Sanches (2001) concluiu que solos degradados são caracterizados por apresentar:

- a) Perda de matéria orgânica devido à erosão ou a movimentos de massa;
- b) Acúmulo de material alóctone recobrimdo o solo;

- c) Alteração negativa de suas propriedades físicas, tais como sua estrutura ou grau de compacidade;
- d) Alteração de características químicas, devido a processos como salinização, lixiviação, deposição ácida e concentração de poluentes; e
- e) Morte ou alteração das comunidades de organismos vivos do solo.

O marco regulatório para a Recuperação de áreas Degradadas (RAD), disposto na Constituição Federal § 3º do art. 225 afirma 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.”. Sendo a responsabilidade ambiental descrita no § 3º do art. 225, da CRFB/88, que: “As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”.

O PRAD deve ser apresentado aos órgãos ambientais, como parte complementar do processo de licenciamento de empreendimento que desenvolvam atividades potencialmente degradadoras, ou que possam modificar o meio ambiente de forma gradual ou abrupta, assim como para aqueles empreendimentos que foram advertidos administrativamente por terem causado alguma degradação do meio ambiente. Dessa forma, o PRAD constitui de um conjunto de técnicas e medidas que garantirão que a área degradada seja reestabelecida, garantindo um novo equilíbrio dinâmico, solo com capacidade de usos futuros e paisagem esteticamente harmoniosa.

Devido à complexidade de um PRAD, faz-se necessário que este seja abordado de maneira multidisciplinar, compreendendo áreas como a administração, agronomia, arquitetura, biologia, economia, engenharia, hidrologia, geografia, geologia, medicina, química, sociologia, entre outros (BITAR, 1997), ampliando-se, assim, o escopo para aquisição de informações técnicas e precisas para um PRAD. Almeida (2016) diz que um projeto de recuperação é complicado e necessita de tempo, dinheiro, mão de obra, tecnologias e ferramentas além de grande conhecimento dos fatores que estão relacionados ao local a ser recuperado. Faz-se necessário que o PRAD abranja além do escopo ambiental, questões sociais e ambientais relacionadas ao pós-implantação do projeto de recuperação.

Vários objetivos podem existir quando se quer recuperar uma área de um estado degradado para um não degradado. Uma das possibilidades é a recuperação como uma designação genérica, de sentido amplo, indicando qualquer ação que possibilite a reversão de uma área degradada para uma condição não degradada (MAJER, 1989, apud IBAMA, 1990).

Este conceito está de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC (Art. 2º - incisos XIII e XIV - da Lei 9985, de 18 de julho de 2000) no qual define a recuperação como uma técnica para devolver o ecossistema a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original, mas que estabeleça um novo equilíbrio dinâmico, visando o uso futuro do solo e harmonia estética da paisagem.

Neste sentido, pode-se considerar que a recuperação pode ser dividida em dois objetivos gerais: a restauração e a reabilitação. Restauração pode ser definida, ainda de acordo com a Lei 9985, como: a aproximação, o mais próximo possível, da condição original do ecossistema. Não existe uma obrigação para que seja atingida uma condição original, mas o objetivo é o de acelerar a recuperação de um ecossistema com respeito a sua saúde, integridade e sustentabilidade, estabelecendo um ecossistema funcional, composto por um conjunto de espécies de ocorrência regional (Pacto da Mata Atlântica, 2009, vários capítulos).

Já a Reabilitação é um termo utilizado quando o objetivo principal da recuperação for o de restabelecer apenas algumas funções para a área degradada, sendo que duas principais se destacam: (1) proteção do solo contra erosão; e (2) a diminuição do impacto visual negativo. Com suas principais funções restabelecidas, atribui-se a área uma função adequada ao uso humano, direcionando-a a uma situação alternativa e estável (MINTER/IBAMA, 1990). Admitindo que estes usos podem ser comercial, industrial,

De antemão sabe-se que para a efetividade do PRAD é necessário a execução de todas as etapas do processo, sendo estas iniciadas ainda na implementação da área a ser minerada. As orientações legais quanto aos objetivos, implantação de estruturas e remodelação da área degradada estão presentes na legislação brasileira, porém, as metodologias e tecnologias específicas pertinentes não são indicadas. Além disso, segundo Araújo (2016), as diretrizes disponibilizadas são de caráter geral, não havendo determinações construtivas mínimas indispensáveis no processo de recuperação, o que pode gerar desacerto quanto as instalações de estruturas e suas escolhas.

Respeitando a premissa que estabelece a necessidade da remoção do solo superficial para a lavra de minérios, Ricklefs (2012) e Tacey e Glossop (1980) destacam a importância de uma camada superficial de solo orgânico (compreendendo o horizonte A e parte do horizonte B, rico em húmus) como fundamental para a melhor adaptabilidade e desempenho vegetal em áreas degradadas passíveis de recuperação, principalmente em áreas de extração mineral, no qual apresentam limitações de nutrientes e matéria orgânica, mais do que isso, dificultam a recuperação da área, muitas vezes, em função de metais do solo.

Nesse contexto apresentado e em acordo ao exposto por Antunes (2019), a recuperação dos danos causados pela atividade minerária nada mais é do que uma atividade de compensação ao meio ambiente, pois trata-se de uma área de impossível retorno ao *status quo* antes da área em questão.

As técnicas de recuperação ambiental são essenciais para a adequação das áreas advindas da atividade mineradora, além disso, a escolha do método e tecnologia são cruciais para o desempenho, a médio e longo prazo, da recuperação das áreas degradadas, nos quais destacam-se:

- a) O plantio de mudas (GOMES et al., 2015; GOMES et al., 2018; JOLY et al., 2000; NEGREIROS et al., 2016);
- b) A semeadura direta (PELLIZZARO, 2016; ROLIM et al., 2007);
- c) A indução da regeneração natural (HOLL, 1999; ZHANG et al., 2001);
- d) A deposição de serapilheira e solo superficial (FERREIRA et al., 2015; LE STRADIC et al., 2016; PILON et al., 2017).

Com a diversidade e interdisciplinaridade requerida por um PRAD (BITAR, 1997), a adoção de diversas técnicas na recuperação de uma área, quando bem adaptadas, pode ser uma alternativa mais efetiva e com maiores chances e rapidez de resultados positivos.

Segundo Paranhos (2012), o PRAD (Decreto Federal nº 97.632/89) prevê a estabilização das cavas e deixa o território pronto para um novo uso, o que implica uma nova conformação da paisagem modificada pela extração. Um grande passo foi dado em direção à reabilitação da área.

Na prática, a aplicabilidade e importância do conceito do PRAD, ainda segundo Paranhos (2012), foi observado na Jazida de Carvão de Nord-Pas de Calais, situada no extremo norte da França, no qual houve recuperação bem-sucedida das áreas mineradas em harmonia com o passado histórico, cultural e social que o local compreende. A herança cultural resultante da atividade extrativa foi determinante na conformação de uma identidade local, na delimitação da cidade, no modo de vida da sociedade e no desenvolvimento da economia. Mesmo com a mineração exaurida, seus elementos permanecem ainda hoje e configuram a paisagem, propiciando novos usos de forma harmônica e instrutiva para os cidadãos.

Para que a recuperação seja efetiva faz-se necessário a manutenção da área com medidas como: reparo dos sistemas de contenção de erosão, irrigação, adubação, roçada e coroamento, controle de pragas e doenças e substituição de plantas mortas (IBAMA, 2011).

Segundo a Instrução Normativa (IN) nº 14/2024 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, que estabelece os procedimentos

para elaboração, apresentação, execução e monitoramento do Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas ou Áreas Alteradas – PRAD, ela destaca que poderão ser aplicados em projetos de recuperação ambiental de ecossistemas terrestres para fins de reparação por danos ambientais, projetos no âmbito do licenciamento ambiental, no cumprimento de determinações judiciais, no atendimento às demais demandas administrativas, assim como no atendimento a eventuais demandas espontâneas relacionadas ao tema (IBAMA,2024).

No entanto os conceitos e procedimentos que a recuperação possa ser aplicada nas áreas urbanas e rurais, seguindo a legislação própria relativa como o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) e as demais normas vigentes.

O monitoramento da área em processo de recuperação é de extrema importância até que o mesmo seja encerrado. Trata-se da elaboração de relatórios com a finalidade de monitoramento e avaliação da área, a periodicidade dos relatórios fica a cargo do responsável técnico com base na metodologia de monitoramento adotada. O relatório deve conter informações sobre a execução das medidas propostas e justificar as medidas propostas não realizadas, informar os sucessos e insucessos da recuperação com base nos parâmetros monitorados, apontar e propor correções para possíveis falhas do processo de recuperação da área (IBAMA,2011).

Ainda de acordo com IBAMA (2011), o encerramento da execução do processo de recuperação dá-se quando a área em questão se encontra satisfatoriamente recuperada respeitando os parâmetros indicativos. Para este efeito, o mesmo deve estar documentado via Relatório de Avaliação pelo responsável técnico pela elaboração e execução do PRAD, e posteriormente analisado pelo IBAMA, que irá dar como conclusivo ou não a recuperação da área.

Segundo a Normativa nº 14/2024 do IBAMA, estabelece as diretrizes para elaboração dos PRAD's, que será base para a proposta de recuperação ambiental do garimpo do boi morto, além de outras legislações vigentes.

No capítulo I, art.3º inciso III, da Instrução Normativa 14, conceitua área degradada como: área impossibilitada de retornar por uma trajetória natural, a um ecossistema que se assemelhe a um estado previamente conhecido, que casa perfeitamente com o cenário encontrado no garimpo do Boi Morto, onde suas características se enquadram no inciso IX da mesma Instrução Normativa que define dano ambiental como: é toda lesão causada ao meio ambiente decorrente da degradação de atributos ambientais por meio de omissões, ações e atividades não autorizadas ou em desacordo com as autorizações vigentes que atente contra o

direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. O que podemos observar em análise de campo, que existe o dano ambiental na mina de exploração de opala denominado Boi morto.

Figura 03 – Mina “Boi Morto” – lavagem das gemas de Opala



Fonte: Acervo do autor - pesquisa de campo (2025).

No projeto de recuperação de área degradada ou alterada segundo a legislação entendemos como: instrumento de planejamento das ações de recuperação ou recomposição da vegetação nativa contendo metodologias, cronogramas e insumos. Na proposta de recuperação ambiental I proposta para a mina do Boi Morto, destacamos o cenário ambiental local que segundo a IN-14/2024 do IBAMA, esses cenários são essenciais para a definição do Termo de Referência a ser adotado, bem como da tipologia de Projeto a ser elaborado.

Os resultados obtidos a partir do diagnóstico ambiental realizado na área degradada pelo garimpo de opala na Mina do Boi Morto, localizada no município de Pedro II, estado do Piauí, bem como a discussão desses resultados com base na legislação ambiental vigente e, especialmente, das diretrizes estabelecidas pela Instrução Normativa IBAMA nº 14, de 1º de julho de 2024. Os resultados subsidiaram a elaboração de um modelo de Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) específico para a realidade do garimpo artesanal de opala, considerando as características ambientais locais e os impactos decorrentes da atividade minerária.

A IN IBAMA nº 14/2024 representa um avanço normativo ao estabelecer critérios mais claros e integrados para a elaboração, execução e monitoramento de PRADs, enfatizando

a necessidade de diagnóstico ambiental detalhado, definição de objetivos mensuráveis, adoção de técnicas adequadas ao grau de degradação e acompanhamento sistemático dos resultados. Dessa forma, os resultados apresentados neste capítulo dialogam diretamente com os dispositivos da referida instrução normativa.

O diagnóstico ambiental constitui a etapa fundamental para a elaboração do PRAD (IN IBAMA nº 14/2024), devendo contemplar a caracterização do meio físico, biótico e socioeconômico, bem como a identificação dos impactos ambientais gerados pela atividade minerária.

Na Mina do Boi Morto, observou-se que a exploração da opala ocorre predominantemente por meio de garimpo artesanal a céu aberto, resultando em expressivas alterações no relevo local. A área apresenta cavas abertas, pilhas de estéril dispostas de forma irregular (figura 04) e ausência de conformação topográfica, o que compromete a estabilidade física do terreno e favorece a ocorrência de processos erosivos, especialmente durante o período chuvoso.

Figura 04 – Mina “Boi Morto” – Cavas abertas pela extração artesanal de Opala



Fonte: Acervo do autor - pesquisa de campo (2025).

No que se refere ao solo, constatou-se a remoção quase total do horizonte superficial (figura 03), acarretando perda de matéria orgânica, compactação e baixa capacidade de retenção de água. Tais condições reduzem significativamente o potencial de regeneração natural da área, enquadrando-a como área severamente degradada, conforme critérios técnicos amplamente adotados na literatura e compatíveis com a classificação prevista na IN IBAMA nº 14/2024.

Figura 05 – Mina “Boi Morto” – Solo removido com a extração da Opala



Fonte: Acervo do autor - pesquisa de campo (2025).

Quanto ao meio biótico, verificou-se a supressão da cobertura vegetal nativa, típica do bioma Cerrado, restando apenas indivíduos isolados em áreas adjacentes não diretamente afetadas pela lavra. A ausência de vegetação compromete a biodiversidade local, intensifica a erosão do solo e afeta negativamente a paisagem. A fauna, por sua vez, apresenta-se empobrecida, em função da perda de habitat e da intensa movimentação antrópica durante o período de exploração.

Figura 06 – Área degradada com rejeitos na Mina “Boi Morto”



Fonte: Acervo do autor - pesquisa de campo (2025).

Observando a área vista na figura 06, percebe-se a nítida degradação da área, com destruição da paisagem natural, com comprometimento do solo e uma enorme quantidade de rejeitos gerados pela exploração da gema da opala. Durante a pesquisa de campo, entendemos que o material estéril, exposto sem qualquer cuidado, pode vir a contaminar o rio próximo a mina, prejudicando a vida da população rural da região.

A partir do diagnóstico, foram identificados os principais impactos ambientais associados ao garimpo de opala nos rejeitos da Mina do Boi Morto, em consonância com o que estabelece a IN IBAMA nº 14/2024 quanto à necessidade de explicitar as causas e consequências da degradação. Entre os impactos mais relevantes destacam-se:

- Alteração significativa do relevo natural, com formação de cavas e taludes instáveis;
- Intensificação de processos erosivos e risco de assoreamento de áreas adjacentes;
- Degradação física e química do solo;
- Supressão da vegetação nativa;
- Redução da biodiversidade local;
- Impactos paisagísticos negativos;
- Potencial comprometimento da qualidade das águas superficiais em períodos chuvosos.

Esses impactos são compatíveis com aqueles descritos em estudos sobre áreas degradadas pela mineração artesanal, reforçando a necessidade de intervenções estruturais e biológicas para a recuperação ambiental da área.

O PRAD deve ser elaborado de forma proporcional ao grau de degradação ambiental, contemplando objetivos claros, metas mensuráveis e cronograma de execução. No caso da Mina do Boi Morto, os resultados do diagnóstico indicam a necessidade de um PRAD de caráter ativo, com intervenções diretas no relevo, no solo e na vegetação. De acordo com a normativa, a recuperação ambiental deve priorizar a estabilização física da área, como condição prévia para as demais ações. Assim, a conformação topográfica e a estabilização de taludes tornam-se etapas essenciais para garantir a segurança da área e evitar a continuidade dos processos erosivos. A discussão dos resultados evidencia que, sem essas intervenções iniciais, as ações de revegetação tenderiam ao insucesso.

Outro aspecto enfatizado pela IN IBAMA nº 14/2024 refere-se à adequação das técnicas de recuperação às condições ecológicas locais. Nesse sentido, os resultados apontam para a necessidade de utilização de espécies nativas da caatinga, adaptadas às condições edafoclimáticas de Pedro II, de modo a favorecer o estabelecimento da vegetação e a recomposição gradual das funções ecológicas.

5.1 MODELO DE PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA - PRAD

Com base nos resultados obtidos e nas diretrizes da IN IBAMA nº 14/2024, propõe-se o seguinte modelo de PRAD para a área degradada pelo garimpo de opala na Mina do Boi Morto:

5.1.1 Objetivos do PRAD

- Recuperar a estabilidade física e ambiental da área degradada;
- Reduzir e controlar processos erosivos;
- Restabelecer as condições do solo para suporte à vegetação;
- Promover a revegetação com espécies nativas da Caatinga;
- Minimizar impactos paisagísticos e ambientais remanescentes;
- Atender às exigências legais e ambientais vigentes.

5.1.2 Medidas de recuperação propostas

a) Recuperação do relevo e estabilização de taludes

Prevê-se a reconfiguração das cavas e pilhas de estéril, com suavização de taludes, redistribuição do material e adequação da topografia ao relevo natural da área, conforme orientações da IN IBAMA nº 14/2024.

b) Controle de processos erosivos e drenagem

Implantação de sistemas de drenagem superficial, valetas e canais de escoamento, associados a barreiras físicas e biológicas, visando reduzir a velocidade do escoamento superficial e prevenir a erosão.

c) Recuperação do solo

Aplicação de matéria orgânica, correção do pH, descompactação mecânica e introdução de técnicas de conservação do solo, de modo a restabelecer condições mínimas para o desenvolvimento vegetal.

d) Revegetação com espécies nativas

Implantação de cobertura vegetal por meio do plantio de mudas e/ou semeadura direta de espécies nativas da Caatinga, priorizando espécies pioneiras e secundárias iniciais, conforme princípios da sucessão ecológica.

5.2 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

Em conformidade com a IN IBAMA nº 14/2024, o monitoramento constitui etapa obrigatória do PRAD, devendo ser realizado por meio de indicadores ambientais que permitam avaliar a eficácia das ações implementadas. Para a Mina do Boi Morto, propõem-se indicadores como:

- Cobertura vegetal;
- Estabilidade do solo;
- Sobrevivência das mudas; e
- Redução de processos erosivos.

O acompanhamento periódico possibilitará a identificação de eventuais falhas e a adoção de medidas corretivas, garantindo a efetividade do processo de recuperação ambiental ao longo do tempo.

5.3 SINTESE DOS RESULTADOS E IMPLICAÇÕES PARA A RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

Os resultados e discussões apresentados demonstram que a área degradada pelo garimpo de opala na Mina do Boi Morto, apresenta elevado grau de degradação ambiental, exigindo um conjunto integrado de ações técnicas e legais para sua recuperação. A aplicação das diretrizes da IN IBAMA nº 14/2024 mostrou-se fundamental para a estruturação de um PRAD coerente, tecnicamente viável e legalmente respaldado.

A proposta de recuperação ambiental aqui discutida evidencia que, mesmo em contextos de mineração artesanal, é possível conciliar a atividade econômica com a proteção ambiental, desde que sejam adotadas práticas adequadas de planejamento, execução e monitoramento. Assim, este capítulo contribui de forma significativa para a consolidação da proposta de recuperação ambiental da Mina do Boi Morto, reforçando a importância do PRAD como instrumento de gestão ambiental e de mitigação dos impactos da mineração.

QUADRO 01: SINTESE DO PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA – PRAD

Impacto Ambiental Identificado	Objetivo da Recuperação	Medidas / Técnicas Propostas	Indicadores de Monitoramento	Prazo Estimado
Alteração do relevo e formação de cavas	Restabelecer a estabilidade física da área	Reconfiguração topográfica; suavização de taludes; redistribuição de estéril	Estabilidade dos taludes; ausência de deslizamentos	Curto prazo (0–6 meses)
Processos erosivos superficiais	Controlar a erosão e o escoamento superficial	Implantação de drenagem superficial; valetas; barreiras físicas e biológicas	Redução de sulcos e ravinas; estabilidade do solo	Curto a médio prazo (6–12 meses)
Degradação e compactação do solo	Recuperar a qualidade física e química do solo	Descompactação mecânica; adição de matéria orgânica; correção do pH	Teor de matéria orgânica; infiltração de água	Médio prazo (6–18 meses)
Supressão da vegetação nativa	Promover a revegetação e recomposição ecológica	Plantio de espécies nativas da Caatinga; semeadura direta	Taxa de sobrevivência das mudas; cobertura vegetal	Médio prazo (12–24 meses)
Perda de biodiversidade	Favorecer a retomada da fauna e flora locais	Uso de espécies pioneiras e secundárias; regeneração natural assistida	Diversidade de espécies vegetais; presença de fauna	Médio a longo prazo (24–36 meses)
Impacto paisagístico negativo	Integrar a área recuperada à paisagem local	Modelagem do relevo; revegetação contínua	Avaliação visual da paisagem; cobertura vegetal	Longo prazo (24–36 meses)

Elaborado pelo autor (2025)

6 PRODUTO ALMEJADO

De acordo com o que foi apresentado, o produto final desta pesquisa é uma cartilha de orientação, com a proposta do modelo de recuperação de áreas degradadas pela extração da opala em Pedro II. Essa cartilha é composta por uma análise detalhada das etapas a serem implementadas, para a recuperação da área degradada oriundo da extração de opala.

Com a análise integrada dos aspectos ambientais, legais e socioeconômicos, buscou-se contribuir para o enfrentamento de um dos principais passivos ambientais associados à mineração artesanal na região de Pedro II que é a extração artesanal de opala.

O desenvolvimento do estudo, permitiu compreender que a atividade garimpeira, apesar de sua relevância histórica, econômica e cultural para o município, tem provocado impactos ambientais significativos quando realizada sem planejamento ambiental adequado. A abertura de cavas, a retirada da camada superficial do solo, a disposição inadequada de estéréis e a supressão da vegetação nativa do cerrado, configuram um cenário de degradação ambiental que compromete a estabilidade do meio físico, a biodiversidade e a paisagem local. Esses impactos evidenciam a necessidade de ações estruturadas de recuperação ambiental, orientadas por critérios técnicos e legais claros.

Nesse contexto, a fundamentação teórica abordada ao longo do trabalho, destacou que a recuperação de áreas degradadas não se limita à recomposição estética da paisagem, mas envolve a restauração das funções ecológicas essenciais e a promoção da estabilidade ambiental a médio e longo prazo. A distinção entre os conceitos de recuperação e restauração mostrou-se fundamental para a definição de estratégias compatíveis com o grau de degradação identificado na Mina do Boi Morto, onde a regeneração natural isolada se mostra insuficiente, exigindo intervenções ativas e planejadas.

Os aspectos legais analisados evidenciaram que o ordenamento jurídico brasileiro dispõe de um arcabouço normativo robusto voltado à proteção ambiental e à responsabilização dos agentes causadores de degradação. A Política Nacional do Meio Ambiente, a Constituição Federal de 1988, o Código de Mineração e as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente constituem pilares fundamentais nesse processo. A IN IBAMA nº 14/2024, em especial, representa um avanço significativo ao atualizar e sistematizar os procedimentos para elaboração, execução e monitoramento de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD, incorporando princípios da ecologia da restauração e reforçando a importância do acompanhamento contínuo das ações implementadas.

A aplicação das diretrizes da IN IBAMA nº 14/2024 ao contexto do garimpo de opala da Mina do Boi Morto, permitiu a elaboração de um modelo de PRAD tecnicamente adaptado à realidade local, considerando as características do bioma Cerrado, as condições edafoclimáticas de Pedro II e o caráter artesanal da atividade minerária. O diagnóstico ambiental detalhado revelou um elevado grau de degradação, o que justificou a proposição de medidas de recuperação de caráter ativo, priorizando a estabilização do relevo, o controle de processos erosivos, a recuperação do solo e a revegetação com espécies nativas.

Os resultados obtidos e discutidos ao longo deste trabalho, demonstraram que a adoção de técnicas adequadas de reconfiguração topográfica e estabilização de taludes é condição essencial para o sucesso das demais ações de recuperação ambiental. Da mesma forma, a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo mostrou-se indispensável para garantir o estabelecimento da vegetação e a retomada gradual das funções ecológicas. A revegetação com espécies nativas da Cerrado, aliada à regeneração natural assistida, foi apontada como estratégia eficaz para promover a recomposição da cobertura vegetal e favorecer a biodiversidade local.

Outro aspecto relevante evidenciado neste estudo, refere-se à importância do monitoramento ambiental, conforme preconizado pela IN IBAMA nº 14/2024. A definição de indicadores mensuráveis, como cobertura vegetal, estabilidade do solo e sobrevivência das mudas, possibilita a avaliação contínua da efetividade do PRAD e a adoção de medidas corretivas quando necessário. Essa abordagem reforça a compreensão da recuperação ambiental como um processo dinâmico e de longo prazo, que demanda acompanhamento técnico e comprometimento institucional.

Do ponto de vista socioambiental, a proposta de recuperação ambiental apresentada nesta pesquisa contribuirá para a redução de passivos ambientais associados ao garimpo artesanal e para a melhoria da qualidade ambiental local. Ao mesmo tempo, reconhece-se que a recuperação ambiental deve estar integrada a estratégias de desenvolvimento sustentável, capazes de conciliar a atividade econômica com a conservação dos recursos naturais. Nesse sentido, a participação dos garimpeiros, da comunidade local e do poder público é fundamental para assegurar a efetividade e a continuidade das ações de recuperação propostas.

A elaboração do PRAD para a Mina do Boi Morto também evidencia o potencial desse instrumento como ferramenta de gestão ambiental, não apenas para fins de cumprimento legal, mas como meio de planejamento e ordenamento das atividades minerárias. A adequação do PRAD às exigências da IN IBAMA nº 14/2024 fortalece a regularização ambiental do empreendimento e contribui para a construção de uma relação mais equilibrada entre mineração e meio ambiente, especialmente em contextos de mineração de pequena escala.

Diante do exposto, conclui-se que a proposta de recuperação ambiental desenvolvida nesta pesquisa atende aos objetivos estabelecidos, oferecendo subsídios técnicos e legais para a recuperação da área degradada pelo garimpo de opala na Mina do Boi Morto. Além disso, o estudo pode servir como referência para a elaboração de PRADs em outras áreas impactadas por atividades garimpeiras na região de Pedro II e em contextos semelhantes no semiárido brasileiro.

ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva; NOGUEIRA, Victor Memória. **Extração da opala e impactos derivados: uma análise do garimpo Boi Morto no município de Pedro II, estado do Piauí**. Geografia: Publicações Avulsas, Universidade Federal do Piauí, 2025.

ANM - Agência Nacional de Mineração. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br>. Acesso em: 24 jan. 2023.

BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2013. 215p.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, 1981.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, 1988.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Lei de Crimes Ambientais**. Brasília, 1998.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal Brasileiro**. Brasília, 2012.

BRASIL. Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. **Cria a Agência Nacional de Mineração**. Brasília, 2017.

CEPRO. **Diagnóstico e Diretrizes para o setor mineral do Estado do Piauí**. Teresina: Fundação de Pesquisas Econômicas do Estado do Piauí, 2005

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM. **As opalas de Pedro II no Piauí e o arranjo produtivo local**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Série Rochas e Minerais Industriais, n. 23.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM. **Opalas de Pedro II, no Piauí: a importância do apoio aos APLs de base mineral**. Rio de Janeiro: CETEM, 2023.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM. **As Opalas do Piauí**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2025. Série Rochas e Minerais Industriais, n. 36.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Diagnóstico do potencial gemológico do município de Pedro II – PI. Brasília, 2014.

CONAMA. **Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental. Brasília, 1997.

CONAMA. **Resolução nº 429, de 28 de fevereiro de 2011**. Dispõe sobre a recuperação de áreas degradadas. Brasília, 2011.

CORRÊA, Patrícia Figueiredo. et al. **Análise dos planos de recuperação de áreas degradadas pela mineração de argila no sul de Santa Catarina**. Revista Tecnologia e ambiente, v.25,2019.

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/pedro-ii/panorama>, acesso em 10 de set. de 2023.

https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16360/1/Rel_PedroII.pdf , acesso 09 de out. de 2023

DA SILVA, Maria Do Carmo Santos. **OPALAS DO BRASIL: REVISÃO DOS ASPECTOS MINERALÓGICOS, QUÍMICOS E GEMOLÓGICOS**. 2024. Tese de Doutorado. Instituto Federal do Piauí.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. **Conceituação e caracterização de áreas degradadas**. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (org.). *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: UFV, 1998.

IBAMA. **Instrução Normativa nº 14, de 1º de julho de 2024**. Estabelece procedimentos para elaboração, apresentação, execução e monitoramento de Projetos de Recuperação de Área Degradada ou Área Alterada (PRAD). Disponível em: gov.br/ibama. Acesso em: 10 de out. de 2025.

Instrução Normativa IBAMA nº 14/2024 – Lex Editoria. Conteúdo resumido e indicativo dos artigos e diretrizes da norma. Disponível em: lex.com.br. Acesso em: 10 de out, de 2025.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FREITAS, S. O. de.; GOMES, J. M. A.; AQUINO, C. M. S. Análise dos impactos ambientais da extração de opala no município de Pedro II, Piauí. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 35, n. 3, p.443-456, 2016.

GUDYNAS, E. **Extractivismos: ecología, economía y política de un modo de entender el desarrollo y la Naturaleza**. Cochabamba: Centro de Documentación e Información Bolivia, 2015.

GOMES, Érico Rodrigues; COSTA, Marcondes Lima da; MARQUES, Gisele Tavares. As opalas de Pedro II e Buriti dos Montes, Piauí. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 3, n. 3, 2022.

GOMES, E. R.; PINTO, D. A. M.; BEZERRA, D. de O. **Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental. EIA/RIMA de uma área para lavra garimpeira (Garimpos Roça e Mamoeiro)**. Pedro II, Piauí, 2005.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de ciência dos minerais**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

LONGO, Mariana Hortelani Carneseca.et al. **Recuperação de áreas degradadas por mineração: associação de técnicas de bioengenharia de solos com geração e manutenção de serviços ecossistêmicos**. Revista Tecnologia e Inovação,v.3,n.12, 2019.

MARQUES, G. T. Modelo genético para as opalas do Piauí. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA*, 3., 2013, Gramado. **Boletim de resumos**. Gramado1 CD-ROM, 2013.

MARQUES, Gisele Tavares. **Opalas gemológicas do Piauí: gênese revelada por microtermometria e minerais associados**. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

MILANEZ, B.; SANTOS, R. S. P. Neoextrativismo no Brasil? Uma análise da proposta do novo marco legal da mineração. **Revista Pós Ciências Sociais**, v. 19, p. 119-148, 2013.

NOGUEIRA, V. M.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Extração da Opala e impactos derivados: uma análise do garimpo Boi Morto no município de Pedro II, estado do Piauí. **Geografia: Publicações Avulsas**. Universidade Federal do Piauí, Teresina, v.4, n. 1, p. 98-118, 2022.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Restauração de florestas tropicais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

SANTOS, L. C. Avaliação dos impactos ambientais causados pela mineração de Opala no município de Pedro II – Piauí. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização – Gestão em Recursos Ambientais do Semiárido – GRAS) – Instituto Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, IFPB – Campus Picuí/Coordenação de Pós Graduação em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido, 2023.

SEPE, J.; HERRMANN, H.; SALVADOR, N. N. B. **SEPE, Josie: Mineração, responsabilidade socioambiental e sustentabilidade**. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v.10, n.4, 2021

SER – *Society for Ecological Restoration*. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. Tucson, 2004.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB/CPRM. **Informe de Recursos Minerais: Opalas de Pedro II, Piauí**. Teresina: CPRM, 2015. Série Pedras Preciosas, n. 08.

SILVA, Romulo Magno da. BOTEZELI, Luciana. **Revegetação de áreas degradadas por atividades minerárias em Divinópolis (SP): Implicações para a biodiversidade**. Revista Contemporânea, v. 3, n.10,2023

SOUSA, R. F., FALCÃO, E. C., & COSTA, E. V. S. (2017). **Metodologia para diagnóstico do uso e ocupação do solo utilizando geotecnologias**. *Geoprocessamento aplicado contexto multidisciplinar*. P.11-32. João Pessoa-PB. IFPB.

SOUSA, A. S. de. *et al.* **A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos**. Cadernos da Fucamp, v.20, n.43, p.64-83/202

SOUSA, L. de M.; COSTA NETO, P. L. O.; DIAS, S. C.; OLIVEIRA, F. das C. Local Productive Arrangement – LPA mineral-based: Supply Chain Study of Opala de Pedro II- PI. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e83984875, 2020. DOI:

10.33448/rsd-v9i8.4875. Disponível em:
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4875>. Acesso em: 10 dec. 2024.

SOUZA, R. M.; LIMA, I. R. Impactos ambientais da mineração artesanal de opala em Pedro II (PI). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 4, 2016.

SOLERA, M. L. *et al.* **Seleção de espécies vegetais para pelletização de sementes com aplicabilidade na recuperação de áreas degradadas pela mineração.** *Revista Tecnologia e Inovação*, v.6.n.19, 2022.

<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-de-mineracao> acesso em 05 de nov. de 2023

<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-de-mineracao>, acesso em 05 de nov. de 2023

<https://metadados.snirh.gov.br/ana>, acesso 01 de dez. de 2023

"<https://www2.ima.al.gov.br/gestao-florestal/plano-de-recuperacao-de-areas-degradadas>", acesso 20 de out. de 2023

<https://www.gov.br/icmbio/pt-br>, acesso 10 de dez.2023

VIDAL, F. W. H. **As opalas de Pedro II no Piauí e o arranjo produtivo local.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 53p.

VIDAL, F. W. H.; MORAIS, M. G. N. O.; FREIRE, L. C.; SANTOS, C. A. M. **Série Rochas e Minerais Industriais: As Opalas de Pedro II no Piauí e o Arranjo Produtivo Local.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2018.

Nome do Garimpo:			Localização	
Data da visita:			Coordenadas Geográfica:	
Informações Gerais	S	N	NC	Observações:
Ativo				
Qual substancia está sendo extraída?				
Qual a produção				
Impactos ambientais negativos	S	N	NC	
Alteração da topografia				
Supressão da vegetação				
Deposição de estéril				
Riscos de acidentes				
Coleta seletiva de resíduos				
Alteração da paisagem				
Poluição do solo				
Poluição sonora e vibrações				
Processos erosivos				
Perigo de desmoronamento				
Contaminação das águas				
Deslocamento da fauna				
Impactos Ambientais Positivos	S	N	NC	
Geração de empregos				
Quantidade de empregos				
Contratação de mão de obra especializada				

APÊNDICE B – Modelo de Plano de Recuperação de Área Degradada - PRAD

1 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Empreendimento: Garimpo de Opala – Mina do Boi Morto

Atividade: Extração mineral artesanal de opala

Município: Pedro II – PI

Bioma: Cerrado

Responsável pela recuperação:

Órgão ambiental competente:

2 JUSTIFICATIVA

A área denominada Mina do Boi Morto apresenta significativo grau de degradação ambiental decorrente da atividade de garimpo artesanal de opala, caracterizada pela abertura de cavas, remoção do solo superficial, disposição irregular de estéreis e supressão da vegetação nativa. Tais impactos comprometeram a estabilidade ambiental, a paisagem e as funções ecológicas locais, tornando necessária a implementação de medidas técnicas de recuperação ambiental.

A elaboração deste PRAD atende às exigências legais e ambientais vigentes e busca restabelecer a estabilidade física, biológica e paisagística da área, promovendo sua recuperação ambiental e prevenindo novos processos degradantes.

3 OBJETIVOS DO PRAD

3.1 Objetivo Geral

Promover a recuperação ambiental da área degradada pelo garimpo de opala na Mina do Boi Morto, restabelecendo condições mínimas de estabilidade física, qualidade do solo e cobertura vegetal, conforme as diretrizes da IN IBAMA nº 14/2024.

3.2 Objetivos Específicos

- Estabilizar o relevo e os taludes existentes;
- Controlar processos erosivos e o escoamento superficial;
- Recuperar as propriedades físicas e químicas do solo;
- Promover a revegetação com espécies nativas da Caatinga;
- Reduzir os impactos paisagísticos negativos;
- Implantar sistema de monitoramento ambiental da área recuperada.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA

4.1 Meio Físico

A área apresenta relevo irregular, com presença de cavas abertas, taludes instáveis e pilhas de estéril. O solo encontra-se compactado, com baixa fertilidade e reduzida capacidade de infiltração de água, favorecendo processos erosivos.

4.2 Meio Biótico

Observa-se a supressão quase total da vegetação nativa da Caatinga na área diretamente afetada pelo garimpo, restando apenas fragmentos no entorno. A fauna local encontra-se empobrecida devido à perda de habitat.

4.3 Impactos Ambientais Identificados

- Alteração do relevo natural;
- Intensificação de processos erosivos;
- Degradação do solo;
- Supressão da vegetação nativa;
- Perda de biodiversidade;
- Impactos paisagísticos.

5 DIRETRIZES TÉCNICAS (IN IBAMA Nº 14/2024)

Este PRAD foi estruturado com base nos princípios estabelecidos pela IN IBAMA nº 14/2024, que preconiza:

- Adequação das medidas de recuperação ao grau de degradação;
- Prioridade à estabilização física da área;
- Utilização de espécies nativas;
- Definição de indicadores ambientais mensuráveis;
- Monitoramento contínuo das ações implementadas.

6 MEDIDAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

6.1 Recuperação do Relevo e Estabilização de Taludes

- Reconfiguração topográfica das cavas;
- Suavização de taludes;

- Redistribuição e compactação controlada do material estéril.

6.2 Controle de Erosão e Drenagem

- Implantação de valetas e canais de drenagem superficial;
- Construção de barreiras físicas e biológicas;
- Uso de cobertura morta para proteção do solo.

6.3 Recuperação do Solo

- Descompactação mecânica;
- Adição de matéria orgânica;
- Correção do pH, quando necessário;
- Adoção de práticas conservacionistas.

6.4 Revegetação

- Plantio de espécies nativas da Caatinga;
- Uso de espécies pioneiras e secundárias iniciais;
- Regeneração natural assistida.

7 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Etapas	Atividades Principais	Prazo
1	Reconfiguração do relevo	0–6 meses
2	Controle de erosão e drenagem	3–9 meses
3	Recuperação do solo	6–12 meses
4	Revegetação	9–24 meses
5	Monitoramento ambiental	12–36 meses

O monitoramento ambiental seguirá as diretrizes da IN IBAMA nº 14/2024 e será realizado por meio dos seguintes indicadores:

- Estabilidade dos taludes;
- Redução de processos erosivos;
- Taxa de sobrevivência das mudas;
- Percentual de cobertura vegetal;
- Evolução da diversidade vegetal.

9 RESULTADOS ESPERADOS COM A IMPLEMENTAÇÃO DO PRAD

A implementação do Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) proposto para o garimpo de opala da Mina do Boi Morto, no município de Pedro II – PI, espera gerar resultados ambientais, sociais e paisagísticos positivos, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela Instrução Normativa IBAMA nº 14/2024. Os resultados esperados estão diretamente relacionados aos objetivos definidos no plano e aos indicadores de monitoramento adotados.

Do ponto de vista físico, espera-se a estabilização do relevo e dos taludes, com a eliminação ou significativa redução de processos erosivos, sulcos e ravinas. A reconfiguração topográfica das cavas e a implantação de sistemas de drenagem superficial deverão proporcionar maior segurança ambiental à área, reduzindo o risco de assoreamento e de instabilidades do terreno, especialmente durante o período chuvoso.

Em relação ao solo, os resultados esperados incluem a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas, evidenciada pelo aumento do teor de matéria orgânica, maior capacidade de infiltração de água e redução da compactação. Essas condições são essenciais para garantir o suporte adequado ao desenvolvimento da vegetação e para favorecer os processos naturais de ciclagem de nutrientes.

No componente biótico, espera-se a recomposição gradual da cobertura vegetal, por meio da implantação de espécies nativas da Caatinga e da regeneração natural assistida. A sobrevivência e o crescimento das mudas, aliados ao aumento progressivo da cobertura vegetal, deverão contribuir para a melhoria do microclima local, a proteção do solo e a retomada das funções ecológicas. Como resultado indireto, prevê-se a retomada gradual da fauna silvestre, atraída pela reestruturação do habitat.

Sob o aspecto paisagístico, a implementação do PRAD deverá promover a integração visual da área recuperada ao entorno, minimizando os impactos visuais negativos associados às atividades de garimpo. A recomposição do relevo e da vegetação contribuirá para a melhoria da qualidade ambiental e estética da paisagem local.

No âmbito legal e institucional, espera-se que a execução do PRAD possibilite o atendimento às exigências dos órgãos ambientais competentes, fortalecendo a regularização ambiental da atividade minerária e demonstrando o compromisso com a responsabilidade socioambiental. A adoção dos procedimentos previstos na IN IBAMA nº 14/2024 permitirá maior transparência, controle e efetividade das ações de recuperação.

Por fim, no contexto socioambiental, os resultados esperados incluem a redução de passivos ambientais associados ao garimpo artesanal, a melhoria das condições ambientais locais e a possibilidade de uso futuro sustentável da área, seja para fins de conservação, educação ambiental ou outras atividades compatíveis. Assim, a implementação do PRAD na Mina do Boi Morto representa um avanço significativo na mitigação dos impactos ambientais da mineração de opala em Pedro II – PI, servindo também como referência para a recuperação de outras áreas degradadas por atividades garimpeiras na região.