

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**EWERTON HENRIQUE DA SILVA SOUZA**

**PLANO DE FECHAMENTO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREA  
DEGRADADA PELA EXTRAÇÃO DE CALCÁRIO EM CAÇAPAVA DO SUL-RS**

**Caçapava do Sul**

**2024**

**EWERTON HENRIQUE DA SILVA SOUZA**

**PLANO DE FECHAMENTO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREA  
DEGRADADA PELA EXTRAÇÃO DE CALCÁRIO EM CAÇAPAVA DO SUL-RS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia Mineral da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mineral.

Orientador: Mateus Guimarães da Silva

**Caçapava do Sul**

**2024**

**EWERTON HENRIQUE DA SILVA SOUZA**

**PLANO DE FECHAMENTO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREA DEGRADADA PELA  
EXTRAÇÃO DE CALCÁRIO EM CAÇAPAVA DO SUL-RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Dissertação

defendida e aprovada em: 02 de agosto de 2024.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Mateus Guimarães da Silva

Orientador

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich

UFSM

Prof. Dr.Rafael Matias Feltrin

UNIPAMPA

---



Assinado eletronicamente por **MATEUS GUIMARAES DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/08/2024, às 09:56, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MATIAS FELTRIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/08/2024, às 09:39, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **PEDRO DANIEL DA CUNHA KEMERICH, Usuário Externo**, em 11/09/2024, às 08:46, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1506745** e o código CRC **919D0CED**.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

D719p Da Silva Souza, Ewerton Henrique

Planejamento de Recuperação Ambiental de Área Degradada Pela Extração de Calcário em Caçapava do Sul-RS / Ewerton Henrique Da Silva Souza.

80 p.

Dissertação(Mestrado) - Universidade Federal do Pampa, MESTRADO EM ENGENHARIA MINERAL, 2024.

"Orientação: Mateus Guimarães da Silva".

1. Recuperação de Áreas. 2. Plano de Fechamento. 3. Monitoramento Ambiental. I. Título.

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha namorada, professores e todos que de certa forma sempre me apoiaram em busca dos meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer primeiramente a Deus pela oportunidade mais uma vez concluir mais uma etapa na minha vida, agregando cada vez mais conhecimentos e seguir evoluindo.

Aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram em cada decisão tomada e permitiram que desse o primeiro passo em busca da evolução profissional e pessoal.

A minha namorada e amiga Lauriana que está ao meu lado acompanhando e não deixando que eu pare, mas sim que eu continue sempre buscando o melhor e me apoiando nos meus sonhos.

Aos professores Mateus e Pedro por terem acolhido o meu trabalho aceitando o projeto no início do curso e paciência na etapa de conclusão para me auxiliar e agregar ainda mais conhecimento como sempre foi desde a época da minha graduação.

A empresa Dagoberto Barcellos S/A por meio da sua direção e colaboradores, em especial aos meus líderes Bruno Flores e Lucas Tolfo por terem aberto as portas para que o trabalho pudesse ser desenvolvido e todo auxílio desde a minha contratação, me ensinando e agregando todos os dias.

Agradecer a UNIPAMPA por ter aberto as portas e me permitido chegar a mais essa etapa, desde a graduação que seu funcionamento possa seguir por muitos anos e formando muitos alunos.

Por fim, agradeço a todos que de certa forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Você não precisa ver toda escada, basta dar o primeiro passo”.

Martin Luther King

## RESUMO

A atividade de extração de minério para produção de bens de consumo sejam eles para agricultura, construção civil ou demais áreas, é encarada por a maioria da sociedade como algo que atua de forma contrária ao meio ambiente, que não trará benefícios e a partir do momento que se inicia a atividade de mineração em determinados locais, a região será abandonada ao término da exploração. Porém, antes mesmo de se dar início a um processo de mineração, são realizados estudos prévios, durante a operação e após o fechamento do empreendimento no local utilizado para extração do mineral. Esses estudos são objetos essenciais para obtenção das licenças ambientais, alvarás do empreendimento e outros estudos contínuos para que o funcionamento de uma atividade de tal porte siga operando de forma legal e conforme exigências dos órgãos competentes que, mesmo após o fechamento das operações precisam ser continuados. A partir disso, o trabalho visa a elaboração de um plano de recuperação da área degradada e fechamento de mina a partir da extração de calcário, cujas atividades foram suspensas. A metodologia aplicada para realização do trabalho se deu a partir do levantamento de dados junto a um empreendimento, principalmente das informações de campo e na sequência foram realizadas consultas a literatura e legislação vigente com o objetivo da aplicação de etapas para que o plano de fechamento e de recuperação da área degradada pudesse ser bem sucedido. Os resultados demonstraram o caminho a ser seguido para que possa ser realizado o tipo de fechamento da mina que foi classificado como prematuro devido a suspensão das atividades a partir da constatação da inviabilidade econômica e o teor de qualidade do minério disponível. Dessa forma, o trabalho demonstra a importância do planejamento do fechamento de mina e recuperação de áreas degradadas dada a quantidade de pessoas envolvidas no processo, não somente durante a vida útil da mina, mas no uso futuro da região e os monitoramentos que irão garantir a segurança da sociedade que ali ficará e, assim, garantir um procedimento bem sucedido de recuperação ambiental.

Palavras-Chave: Recuperação de Áreas. Plano de Fechamento. Meio Ambiente. Impactos ao meio ambiente. Monitoramento Ambiental.

## **ABSTRACT**

The activity of extracting minerals for the production of consumer goods, whether for agriculture, construction or other areas, is seen by the majority of society as something that goes against the environment, that won't bring any benefits, and from the moment mining activity begins in certain places, the region will be abandoned at the end of exploitation. However, even before a mining process begins, studies are carried out beforehand, during the operation and after the closure of the enterprise at the site used to extract the mineral. These studies are essential for obtaining environmental licenses, enterprise permits and other studies so that an activity of this size can continue to operate legally and in accordance with the requirements of the competent bodies. From this, the work aims to develop a plan to recover the degraded area and close the mine based on limestone extraction, whose activities have been suspended. The methodology used to carry out the work was based on collecting data from the enterprise, mainly field information, and then consulting the literature and current legislation with the aim of applying the steps so that the closure and recovery plan for the degraded area could be successful. The results showed the path to be followed so that the type of mine closure that was classified as premature could be carried out, due to the suspension of activities once the economic unfeasibility and the quality content of the ore available had been ascertained. In this way, the work demonstrates the importance of planning the closure of mines and the recovery of degraded areas, given the number of people involved in the process, not only during the useful life of the mine, but also in the future use of the region and the monitoring that will guarantee the safety of the society that will remain there and thus ensure a successful environmental recovery procedure.

Keywords: Recovering areas. Closure Plan. Environment. Impacts on the environment. Environmental monitoring.

## LISTA DE FIGURAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>FIGURA 1 - Impactos da mineração nos recursos hídricos.</b>   | <b>29</b> |
| <b>FIGURA 2 - Etapas de recuperação de áreas degradadas.</b>   | <b>33</b> |
| <b>FIGURA 3 - Variantes da recuperação ambiental.</b>  | <b>37</b> |
| <b>FIGURA 4 - Resumo PRAD</b>  | <b>38</b> |
| <b>FIGURA 5 - Ilustração das áreas de domínio da empresa</b>   | <b>46</b> |
| <b>FIGURA 6 - Localização da área de estudo - mina corticeira</b>  | <b>46</b> |
| <b>FIGURA 7 - Mapa de localização do município de Caçapava do Sul-RS</b>   | <b>47</b> |
| <b>FIGURA 8 – Mapa geológico regional de Caçapava do Sul/RS</b>  | <b>47</b> |
| <b>FIGURA 9 - Registro ANM com destaque para poligonal do empreendimento</b>                                       | <b>51</b> |
| <b>FIGURA 10 - Mina corticeira</b>   | <b>52</b> |
| <b>FIGURA 11 - Proximidade da área de extração com a via municipal - Próximo a linha de transmissão de energia</b> | <b>54</b> |
| <b>FIGURA 12 - Caminhão pipa para controle de emissões atmosféricas</b>  | <b>55</b> |
| <b>FIGURA 13 - Cortinamento vegetal que impede o avanço de poeira para o meio ambiente</b>                         | <b>55</b> |
| <b>FIGURA 14 - Disposição de solo para plantio de gramíneas e mudas</b>  | <b>57</b> |
| <b>FIGURA 15 - Proporção de impactos ambientais em fechamento de minas</b>   | <b>59</b> |
| <b>FIGURA 16 - Fluxograma de um processo de fechamento de mina</b>   | <b>61</b> |
| <b>FIGURA 17 - Esquema de recuperação de área degradada</b>  | <b>64</b> |
| <b>FIGURA 18 - Modelo de área com recuperação ambiental</b>  | <b>65</b> |
| <b>FIGURA 19 - Modelo de plantio de mudas nativas em talude com processo de recuperação adiantado</b>              | <b>67</b> |
| <b>FIGURA 20 - Lago que será mantido para uso futuro da cava de extração</b>                                       | <b>71</b> |
| <b>FIGURA 21 - Placa de advertência para proibição e controle de acessos</b>                                       | <b>74</b> |
| <b>FIGURA 22 - Placa de advertência para proibição e controle de acessos</b>                                       | <b>7</b>  |

## LISTA DE QUADROS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>QUADRO 1 - Regimes minerais para aproveitamento de bens minerais</b>                    | <b>26</b> |
| <b>QUADRO 2 - Impactos causados pela atividade de mineração</b>                            | <b>28</b> |
| <b>QUADRO 3 - Ciclo de vida de uma mina</b>  | <b>60</b> |
| <b>QUADRO 4 - Total de mudas plantadas no período de 2020 a 2023 e espécies da região.</b> | <b>66</b> |
| <b>QUADRO 5 - Cronograma de plantio seguido pela empresa para o ano de 2021.</b>           | <b>67</b> |
| <b>QUADRO 6 - Análise de riscos para o plano de fechamento</b>                             | <b>68</b> |
| <b>QUADRO 7 - Cronograma físico para o PFM a partir do ano de 2021</b>                     | <b>76</b> |

## **LISTA DE SIGLAS**

ANM - Agência Nacional de Mineração

ART – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

CFEM - Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

DOU - Diário Oficial da União

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental

Ha - Hectare

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

NRM - Normas Reguladoras de Mineração

PAE - Plano de Aproveitamento Econômico

PFM - Plano de Fechamento de Mina

PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental

VCR - Recuo por crateras verticais

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>  | <b>16</b> |
| <b>2 OBJETIVOS</b>   | <b>18</b> |
| <b>2.1 OBJETIVO GERAL</b>                                  | <b>18</b> |
| <b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>                           | <b>18</b> |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                             | <b>19</b> |
| <b>3.1 MINERAÇÃO</b>                                       | <b>19</b> |
| <b>3.1.1 CONTEXTO HISTÓRICO</b>                            | <b>19</b> |
| <b>3.1.2 O QUE É A MINERAÇÃO</b>                           | <b>19</b> |
| <b>3.1.3 TIPOS DE MINERAÇÃO</b>                            | <b>21</b> |
| <b>3.1.3.1 LAVRA A CÉU ABERTO</b>                          | <b>22</b> |
| <b>3.1.3.2 LAVRA SUBTERRÂNEA</b>                           | <b>23</b> |
| <b>3.1.4 REGIMES DE LICENÇAS PARA MINERAÇÃO</b>            | <b>24</b> |
| <b>3.2 IMPACTOS PROVENIENTES DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO</b> | <b>27</b> |
| <b>3.2.1 POLUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS</b>                | <b>28</b> |
| <b>3.2.2 POLUIÇÃO DO AR</b>                                | <b>29</b> |
| <b>3.2.3 POLUIÇÃO DO SOLO</b>                              | <b>30</b> |
| <b>3.2.4 POLUIÇÃO SONORA</b>                               | <b>30</b> |
| <b>3.3 PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS - PRAD</b> | <b>31</b> |
| <b>3.3.1 PLANO DE RECUPERAÇÃO FÍSICA</b>                   | <b>33</b> |
| <b>3.3.2 PLANO DE RECUPERAÇÃO BIOLÓGICA</b>                | <b>34</b> |
| <b>3.3.3 SISTEMA DE DRENAGEM</b>                           | <b>35</b> |
| <b>3.3.4 CONCLUSÃO DO PLANO DE RECUPERAÇÃO</b>             | <b>37</b> |
| <b>3.4 PLANO DE FECHAMENTO DE MINA</b>                     | <b>38</b> |
| <b>3.4.1 PLANO DE FECHAMENTO DE EMPRESA DE MINERAÇÃO</b>   | <b>38</b> |
| <b>3.4.2 PLANO DE APROVEITAMENTO ECONÔMICO - PAE</b>       | <b>41</b> |
| <b>3.4.3 RESUMO DO FECHAMENTO DE MINA</b>                  | <b>42</b> |
| <b>3.4.4 ROTEIRO PARA O PLANO DE FECHAMENTO DE MINA</b>    | <b>43</b> |
| <b>4 METODOLOGIA</b>                                       | <b>45</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4.1 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO</b>                | <b>45</b> |
| <b>4.2 GEOLOGIA LOCAL E REGIONAL</b>                    | <b>47</b> |
| <b>4.3 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO</b>             | <b>48</b> |
| <b>4.4 REALIZAÇÃO DO PLANO DE FECHAMENTO DE MINA</b>    | <b>49</b> |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                         | <b>51</b> |
| <b>5.1 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO</b>              | <b>51</b> |
| <b>5.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DO EMPREENDIMENTO</b>        | <b>52</b> |
| <b>5.2.1 ESTABILIDADE DOS TALUDES</b>                   | <b>53</b> |
| <b>5.2.2 EMISSÃO DE PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS</b>         | <b>54</b> |
| <b>5.2.3 RECURSOS HÍDRICOS</b>                          | <b>56</b> |
| <b>5.2.4 SUPRESSÃO DA VEGETAÇÃO E IMPACTOS NA FAUNA</b> | <b>56</b> |
| <b>5.2.5 IMPACTOS SONOROS</b>                           | <b>57</b> |
| <b>5.2.6 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS</b>                   | <b>58</b> |
| <b>5.3 TIPO DE FECHAMENTO DA MINA</b>                   | <b>59</b> |
| <b>5.4 PROCESSO DE DESATIVAÇÃO</b>                      | <b>62</b> |
| <b>5.5 PROCESSO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL</b>            | <b>63</b> |
| <b>5.6 ANÁLISE DE RISCOS</b>                            | <b>68</b> |
| <b>5.7 USO FUTURO DA ÁREA RECUPERADA</b>                | <b>69</b> |
| <b>5.8 MONITORAMENTO AMBIENTAL</b>                      | <b>71</b> |
| <b>5.8.1 MONITORAMENTOS REALIZADOS</b>                  | <b>73</b> |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                           | <b>77</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS</b>                                   | <b>78</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração surgiu como uma atividade com potencial para uma das áreas que mais se desenvolvem no País desde o século XVII com a busca inicialmente por metais valiosos como ouro, prata e cobre, assim como na procura de pedras preciosas (diamantes e esmeraldas) (Sousa, 2023). Exploração que se expandiu para diversos segmentos e que atualmente influencia diretamente na forma como vivemos e as tecnologias que movem o dia a dia e se tornaram indispensáveis.

A ampliação do campo de pesquisa faz com que as empresas busquem ampliação de suas áreas, a partir da aplicação de programas de pesquisas, sendo o principal deles a sondagem próximas às unidades de operação (beneficiamento) ou minas ativas que podem se tornar novas reservas ou novas aquisições de direitos minerários (Resende, 2009). Os avanços, contudo, criaram um passivo ambiental ao longo dos anos na mesma medida em que ocorria o crescimento da lavra (subterrânea ou a céu aberto) nos territórios com enfoque na exploração (Silva, 2023).

Uma vez que, segundo Silva (2023) com as medidas necessárias para conscientização dos efeitos adversos que tal atividade acarreta, teriam seus impactos atenuados conforme evolução da busca pelo alvo de exploração não somente no local do empreendimento, mas nas comunidades de forma direta e indireta. Por esse motivo, a mineração é vista por parte da população como um fator negativo ambientalmente, mesmo que seja essencial para a fabricação de itens do dia a dia, perspectivas favoráveis e indicadores econômicos. Mas isso de acordo com Resende (2009) se dá devido ao pouco conhecimento da sociedade ou confusão quando comparada a ação predatória causada por garimpos e restrição ao dimensionamento de seu impacto junto ao meio ambiente. (Resende, 2009).

Nas últimas décadas o apelo ambiental a partir dos registros de abandono das áreas de exploração com reservas que não possuem viabilidade econômica, trouxeram à tona discussões para necessidade dos empreendimentos sejam eles em fase de implantação, em desenvolvimento ou fechamento que possuam um plano de fechamento e recuperação para áreas degradadas pela atividade empregada. (Raodel, 2021).

O plano de recuperação se inicia já nas fases de implementação do empreendimento, uma vez que, devem ser entregues documentos que englobam o plano de fechamento da mina para que ocorra a progressão do processo, sendo eles realizados junto a ANM (Agência Nacional de Mineração) antigo DNPM e aos órgãos ambientais competentes, nas esferas estaduais e municipais para que possam ser concedidas as devidas licenças para instalação e operação das empresas (Brasil, 2021).

Já o plano de fechamento de uma mina junto ao plano de recuperação da área que foi degradada pela atividade de mineração, é de grande responsabilidade por parte dos empreendedores por se tratar do futuro de uma área, que abrange desde um solo que será utilizado para recuperação e retorno da topografia original, uma área para plantio ou por fim para recreação visando as gerações futuras (Dias, 2016).

Segundo Resende (2009) a ausência de um planejamento seguro a longo prazo e implementação dos planos de fechamento e recuperação que vem das empresas, mesmo que durante a vida útil das minas, em que se tem a operacionalidade da extração como ponto forte faz com que a insegurança da população seja constante até o período do encerramento das atividades uma vez que, sem um plano definido não existem os conhecimentos necessários das medidas que serão tomadas para mitigação do passivo ambiental e consequentemente o socioeconômico decorrentes do fechamento da mina.

Mesmo os fechamentos temporários devem ter precauções por parte das empresas, justamente pela variação de tempo da inatividade da mina em questão. Essa precaução se dá devido ao aspecto ambiental do local que pode acarretar na maximização dos passivos ambientais, como é o caso de evolução dos processos de erosão dos taludes, assoreamento dos cursos hídricos e aumento das áreas contaminadas por rejeitos (Camelo, 2006).

Outro ponto de observação de acordo com Resende (2009) que devem ser englobados nos planos de fechamento se volta para o meio socioeconômico, pois a população dependente da mineração pode não conseguir a recolocação no mercado de trabalho ou sofrer devido às restrições geradas como impacto negativo da economia regional.

O município de Caçapava do Sul, conta com grandes empresas que juntas são responsáveis pela extração e beneficiamento de rocha calcária, que

forneem aproximadamente 85% do calcário dolomítico produzido no Estado do Rio Grande do Sul para fins de construção civil e agricultura (Flores, 2017). Devido a essa alta demanda, as áreas de extração carecem de um planejamento a longo prazo que vise o término da frente de lavra após as fases de retirada do minério para indústria (Flores, 2017).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo a realização de um plano de fechamento de mina e recuperação de área degradada pela extração de calcário que teve suas atividades suspensas recentemente. A realização se deu a partir da discussão referente a trabalhos que englobam a situação de solo, espécies vegetais que melhor se adaptam e nativas da região, além de métodos que podem ser aplicados ao local de estudo visando o planejamento do uso futuro da área conforme objetivo dos responsáveis pelo empreendimento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral a realização do plano de fechamento de mina e previsão da recuperação ambiental de uma área degradada por atividade de mineração de calcário no município de Caçapava do Sul/RS.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudo de caso para realização do plano de fechamento de mina;
- Estabelecer as etapas de encerramento de mina;
- Realização do planejamento da recuperação da área degradada;

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 MINERAÇÃO**

##### **3.1.1 CONTEXTO HISTÓRICO**

A mineração no âmbito econômico e social no Brasil teve início no século XVII, com expedições que tinham como objetivo a busca por metais preciosos como os casos de ouro, prata e cobre, além de buscas das chamadas pedras raras, casos de diamantes e esmeraldas. Essas expedições fizeram com que fossem desenvolvidos grandes sistemas de prospecção, que contam com grandes escavações em encostas, cavas a céu aberto e subterrâneas, além de grandes sistemas de drenagem e ventilação (Sousa, 2020).

Segundo Sousa (2020), em 1696 foi possível encontrar jazidas de ouro no Estado de Minas Gerais, região que atualmente é conhecida como Vale do Ouro Preto. A descoberta das jazidas em território brasileiro, tornaram a produção dos minerais metálicos um dos destaques do mundo. De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro, com base no ano de 2017, publicado pela ANM (2018), os minerais metálicos representam 80% de tudo que produzido e comercializado no Brasil, sendo que os principais metais extraídos são, ferro (17%), cobre (9,4%), ouro (8,9%), alumínio (3,7%) e níquel (2,5%), o que faz com que a participação no Produto Interno Bruto (PIB) do País seja de aproximadamente 4%.

Ainda segundo o IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), o Brasil conta com 8 mil mineradoras, com 3 mil minas, uma vez que, 159 dessas minas são consideradas de grande porte. As principais reservas de minério no País estão localizadas nas regiões sudeste, norte e centro-oeste com foco nos Estados de Minas Gerais, Pará, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Sousa, 2020).

##### **3.1.2 O QUE É A MINERAÇÃO**

O setor de mineração no Brasil corresponde a uma atividade econômica e industrial que é constituída por fases como pesquisa, exploração, lavra (extração) e beneficiamento de minérios. Sendo uma atividade de grande

importância para a sociedade como se tem hoje, uma vez que, abrange diversos produtos e recursos utilizados no mundo todo desde a infraestrutura (casos de estradas e estruturas metálicas), tecnologia e informação (casos de computadores e celulares), além de outros itens presentes no dia a dia da população mundial (ANM – Agência Nacional de Mineração).

De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM) (2021), mina é,

“Um empreendimento minerário para a extração de substâncias minerais, localizado em área(s) com título autorizativo de lavra outorgado, estabelecido por um Plano de Aproveitamento Econômico - PAE, Plano de Lavra ou documento similar, aprovado pela ANM, podendo compor um ou mais processos minerários.”

Para cada uma, deve se ter um título autorizativo de lavra que se trata de um documento que ainda conforme a ANM (2021),

“Autoriza a seus detentores o aproveitamento de substâncias minerais, segundo os preceitos do Código de Mineração vigente e das normas especiais, com base nos seguintes regimes: de Concessão; Licenciamento; Permissão de Lavra Garimpeira, admitindo-se, também, a lavra com base na autorização especial por meio da expedição de Registro de Extração e Guia de Utilização.”

O processo de mineração convencional é dividido em 6 (seis) etapas que tem como objetivo, a extração de minério, que de acordo com a ANM, minério é um mineral ou uma associação de minerais (rocha) que pode ser explorado economicamente, podendo um mineral tornar-se um minério dependendo da época e circunstância.

Ainda conforme os objetivos da mineração convencional, as outras etapas envolvidas no processo são o tratamento do mineral extraído através da usina de beneficiamento e por fim, a entrega ao consumidor como produto ou insumos para demais áreas e segmentos da indústria.

- **Prospecção:** A etapa de prospecção mineral consiste na realização de pesquisas a níveis geológicos, que visam a identificação de áreas com potencial mineral, seja qual for o tipo do minério. Isso se dá a partir de

estudos de campo, análises de amostras de solo e dados geofísicos que permitem identificar os possíveis depósitos minerais da área.

- **Exploração:** Já na exploração, se busca maior detalhamento das áreas promissoras identificadas no processo de prospecção mineral. Essa etapa envolve a realização de sondagem através das coletas de amostras subterrâneas que permitem a determinação da extensão do depósito mineral, além do teor de qualidade e a possível viabilidade econômica que a futura mina poderá ter.
- **Desenvolvimento:** O desenvolvimento ocorre a partir da aprovação da viabilidade econômico, com o planejamento e avanço da mina que será lavrada. Isso se dá com a construção da infraestrutura, que envolve os acessos às bancadas e área da mina, instalações, alojamentos e demais estruturas que auxiliam as operações diárias da mineração.
- **Extração:** A extração é tida como uma das principais atividades minerárias, pois é de onde o minério é removido do local da mina para envio ao beneficiamento. Essa etapa pode ser realizada a partir da metodologia de lavra a céu aberto ou a partir de métodos subterrâneos (casos de túneis ou galerias).
- **Processamento:** O processamento compreende a etapa de separação dos minerais valiosos dos resíduos da rocha, em que o minério bruto proveniente da extração será preparado para utilização na produção para que cheguem na sua forma final, envolvendo processos unitários como, moagem, peneiramento, aeresseparação, flotação, além de outros processos físicos ou químicos.
- **Beneficiamento:** Quando o minério processado chega na área de produção, o mesmo pode passar por etapas adicionais de beneficiamento (tratamento) visando melhorias que possam proporcionar mais qualidade ao teor e agregar ao valor dos produtos que serão entregues ao consumidor.

### 3.1.3 TIPOS DE MINERAÇÃO

No Brasil, a mineração é definida como a técnica de extrair minério com valores agregados e para fins econômicos, com vários métodos de lavra que podem ser empregados no desenvolvimento de uma mina, dependendo dos

métodos de extração aplicados ao mesmo (Sousa, 2023). Porém, Lavra se entende como o conjunto de operações que visam o aproveitamento industrial do que é extraído da jazida, passando pelas fases de extração dos minerais até o beneficiamento dos minérios (Silva, 2023). De acordo com Sousa (2023), os dois principais métodos de lavra são os de lavra a céu aberto ou superfície e o de lavra subterrânea.

A escolha de um dos métodos de lavra citados anteriormente, depende da avaliação das condições geológicas do local em que está o corpo do minério a ser extraído, aspectos socioambientais, avaliação do custo que apresenta o projeto e por fim que garantam maior segurança, além dos principais aspectos como são os casos da viabilidade econômica e produtividade (Jr, 2021).

### **3.1.3.1 LAVRA A CÉU ABERTO**

O método de lavra a céu aberto ou superfície, consiste na extração do bem mineral que está localizado em depósitos minerais ou rochas em profundidades consideradas baixas em relação a cota da superfície. Sem que haja a necessidade de abertura de túneis, com foco na extração até o esgotamento da jazida ou de forma que se torne inviável economicamente devido ao valor agregado sobre o volume de minério extraído (Silva, 2023).

Os principais métodos de lavra a céu aberto são divididos pelos métodos de bancada, tiras ou pedreiras (mais comuns), uma vez que, o de bancadas consiste na aplicação de camadas horizontais próximas à superfície, partindo do decapeamento (retirada do solo vegetal) ou material estéril. É desenvolvida a partir da superfície até o limite final do corpo mineralizado de forma mais profunda, sendo aplicado mais usualmente em minerais metálicos (Silva, 2023).

Ainda de acordo com Silva (2023), o método de lavra em tiras é o mais aplicado em depósitos com camadas horizontais e com estéril de pouca espessura, o que facilita na maior escala de produção e baixo custo operacional quando comparado a outras minas. Esse método é usualmente visto na extração de bauxita, fosfato e carvão.

Por fim, a lavra de pedreira tem como foco a produção e o fornecimento de matéria prima, caso dos minerais, para uso direto na construção civil, casos

de britas e rochas para revestimento, que como é o caso da lavra em tiras, não exige grandes profundidades.

### **3.1.3.2 LAVRA SUBTERRÂNEA**

O método de lavra subterrânea consiste na extração de minério que são encontrados em depósitos de rochas mais profundos e com valor econômico agregado que faça valer a pena a retirada do mesmo, com o corpo mineral sendo bem caracterizado por meio de sondagens e galerias com acessos realizados por túnel, rampa e até poços (Jr, 2021).

Segundo Jr (2021), o transporte para retirada do minério até a superfície pode ser realizado por gaiolas, caminhões ou dependendo da profundidade por meio de correias transportadoras devido ao seu custo benefício. Os métodos utilizados nas lavras subterrâneas são divididos em 3 grupos de acordo com a forma em que é feito o acesso às mesmas (poços, túneis e galerias nas rochas encaixantes).

O primeiro método se trata dos que possuem realces autoportantes que costumam exigir continuidade e homogeneidade no teor de qualidade do minério, por se tratarem de métodos de alta produtividade na lavra de minérios com baixo valor unitário, sendo tais métodos conhecidos como câmaras e pilares, subníveis e recuo por crateras verticais (VCR) (Jr, 2021).

O segundo método citado por Jr (2021), se trata do de realces das encaixantes que pode se dar pelo minério ou de forma externa, sendo trazido aos realces colocados, porém, se trata de um método com baixa produtividade devido aos desmontes menores e dificuldade de manuseio do minério. Mas, que são empregados em minérios de alto valor agregado e seus métodos conhecidos como recalque e corte e enchimento.

Por fim, o último método para a lavra subterrânea é denominado de métodos com abatimento, isso porque exigem a continuação e homogeneidade no teor do minério a ser extraído, além de se ter uma face que seja suficientemente instável para desmoronar, visando o preenchimento do espaço do minério que foi retirado para o beneficiamento (Jr, 2021).

Jr (2021) afirma que, devido a sua alta produtividade, o método possui aplicação em minérios de menor valor agregado, sendo os métodos conhecidos como abatimento por subníveis, abatimento por blocos e longwall.

### **3.1.4 REGIMES DE LICENÇAS PARA MINERAÇÃO**

O regimento do licenciamento para implementação e operação do empreendimentos de mineração começou a partir da inserção do texto no Decreto de Lei nº 6.938/81 juntamente com a regulamentação do Decreto de Lei nº 97.632/89 (Brasil, 1989), que estabelece a entrega do planejamento de recuperação ambiental da área que sofreu degradação por parte do empreendimento.

De acordo com a resolução nº 237/97, artigo 1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) licenciamento ambiental tem como definição que:

Licenciamento ambiental é o ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

Cada Município e Estado possuem regulamentação própria que conta com procedimentos e leis para todas atividades que causam impactos ambientais em âmbito municipal (a cargo de administração local - prefeituras) para áreas com um limite de 50 ha para área objeto de licenciamento conforme a Lei Federal nº 6567/78, mas a concessão da licença só terá validade após registro junto a ANM (Brasil, 1978). Já o Estado possui como atribuições em relação às áreas que envolvam a exploração de bens minerais e meio ambiente, licenciamento, controle e fiscalização conforme determinação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2021).

Ainda segundo o Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (CONSEMA) conforme a Resolução nº 237/1997, toda atividade que seja geradora de impacto ambiental está suscetível a um processo de licenciamento e somente poderá ter o funcionamento efetivado após a efetivação das fases de licenciamento prévio, de instalação e operação (MARINA, 2021).

Marina (2021) cita que o artigo 10 da Lei nº 6.938/81 dispõe que:

[...] a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental.

De acordo com Rodel (2021) o empreendimento carece antes de se instalar em uma determinada área de um alvará de localização e funcionamento das atividades junto a prefeitura municipal para somente das prosseguimento nas demais etapas do licenciamento ambiental conforme estabelecido pelo município ou estado.

As etapas de licenciamento são separadas basicamente em Licença Prévia, de Instalação e de operação tendo suas definições conforme descrito abaixo por Rodel (2021):

**Licença Prévia (LP)** - Deve ser realizado todo o planejamento da atividade a ser implantada, tendo como objetivo aprovar a localização e provar a viabilidade ambiental do empreendimento;

**Licença de Instalação (LI)** - É aquela que autoriza a construção do empreendimento, tendo como objetivo informar que os pré-requisitos e condicionantes já relatados na LP foram concluídos, e que a proposta do mesmo será aprovada ou necessita de ajustes;

**Licença de Operação (LO)** - É realizado o pedido, após o término da construção da empresa e a verificação das medidas de controle ambiental e mitigação dos impactos negativos, através de uma vistoria realizada no local pelo órgão licenciador responsável pela autorização da mesma.

Cumpridas todas as etapas citadas, a atividade que foi objeto de licenciamento pode ter início e sua continuação depende do cumprimento das condicionantes que estão estabelecidas nos itens das licenças (Rodel, 2021). O Decreto de Lei nº 227/67 (Brasil, 1967) estabelece o código de mineração que teve como foco, as normas referente à pesquisa mineral e o regimento sobre o aproveitamento mineral (Resende, 2009).

Ainda segundo Resende (2009), o código de mineração o direito sobre os bens minerais pode ser seguido pelos regimes de pesquisa e aproveitamento mineral a seguir:

- 1) Autorização de Pesquisa;
- 2) Concessão de Lavra;
- 3) Licenciamento Mineral;
- 4) Permissão de Lavra Garimpeira;
- 5) Monopolização;
- 6) Extração;

O Quadro 1 apresenta as definições de forma resumida, o regime de pesquisa e aproveitamento mineral conforme citado por Resende (2009).

**Quadro 1** - Regimes minerais para aproveitamento de bens minerais.

| <b>Regime Legal</b>           | <b>Objetivo</b>  | <b>Título Minerário</b>                       | <b>Órgão Para Emissão da Licença</b>  |
|-------------------------------|--|---|---|
| Autorização de Pesquisa       | Pesquisa de todos os bens minerais   | Alvará de Autorização de Pesquisa             | ANM   |
| Concessão de Lavra            | Concessão de Lavra de jazidas de bens minerais   | Portaria de concessão de lavra                | Ministério de Minas e Energia   |
| Licenciamento Mineral         | Aproveitamento das substâncias minerais  | Licença Específica Municipal                  | Prefeitura do Município   |
|                               | Independente de pesquisa mineral   | Registro da Licença da ANM (Publicado no DOU) | Sede ou Distritos Estaduais do ANM  |
| Permissão de Lavra Garimpeira | Aproveitamento imediato de jazimento mineral, que possa ser lavrado, independente de prévios trabalhos de pesquisas fixados pelo ANM | Portaria de Permissão de Lavra Garimpeira     | ANM conforme Lei n 7.805/89, dependendo de consentimento da prefeitura e licenciamento ambiental prévio |

|                               |   |                                    |  |
|-------------------------------|---|------------------------------------|--|
| Permissão de Extração Mineral | Extração de substâncias minerais de emprego imediato respeitando os direitos minerários em vigor nas áreas das obras e vedada a comercialização – Utilizada em obras públicas | Declaração de Registro de Extração | Diretor Geral da ANM   |
| Monopólio ou Monopolização    | Quando em virtude de lei especial, depender de execução direta ou indireta do Governo Federal   | Regimes Especiais (Leis Especiais) | União (Poderão ser contratadas empresas estatais ou privadas conforme a lei de regência) |

Fonte: Adaptado de Resende (2009).

### 3.2 IMPACTOS PROVENIENTES DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO

A mineração é uma atividade que visualmente e pontualmente causam impactos locais que quando vistos causam dimensões de forma que trazem o pensamento para sociedade de forma extremamente negativa, dada a sensibilidade dos ambientes e necessidade de preservação da biodiversidade local, recursos hídricos e demais (Sanches, 2010).

Porém, devido às escavações e necessidade de retirada de maiores quantidades de mineral e suas grandes alterações no meio ambiente, a mineração se tornou um dos grandes fatores que causam os impactos ambientais das regiões em que estão instalados o empreendimento (Flores, 2017).

Os impactos ambientais da atividade de mineração podem ser divididos em grupos considerados como poluição, sendo chamados de poluição do ar, dos recursos hídricos, sonora e descaracterização do solo, conforme Quadro 2 (Gusmão, 2021).

**Quadro 2** - Impactos causados pela atividade de mineração.

| <b>Meio</b> | <b>Causa</b>  | <b>Impacto</b>   |
|-------------|---|--|
| <b>Água</b> | Retirada de vegetação;<br>Erosão;<br>Captação e uso excessivo de água;<br>Lançamento de efluentes nos corpos hídricos;<br>Lixiviação de poluentes;<br>Acidentes com liberação de poluentes; | Assoreamento dos corpos de água superficiais;<br>Diminuição da vazão de poços e nascentes;<br>Escassez de água;<br>Poluição das águas superficiais e subterrâneas; |
| <b>Ar</b>   | Emissão de poeiras e gases;<br>Emissão de ruídos;   | Contaminação do ar;<br>Poluição sonora;  |
| <b>Solo</b> | Retirada da vegetação;<br>Remoção do solo superficial;<br>Escavações;<br>Deposição de rejeitos;   | Perda de sedimentos e erosão;<br>Perda de fertilidade;<br>Alterações no relevo;<br>Poluição visual   |

Fonte: Adaptado de Gusmão (2021).

### **3.2.1 POLUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

A poluição dos recursos hídricos se dá a partir do bombeamento de água de dentro das cavas, dos sistemas de drenagem dos aterros e bancadas para bacias de sedimentação e claro, devido ao elevado consumo de água para operação da mineração para extração do minério no qual pode variar de 1,1 a 1,4 m<sup>3</sup> por tonelada de material retirado (Gusmão, 2021).

Segundo Gusmão (2021) a necessidade de escavar níveis mais baixos de material pode acarretar na contaminação dos lençóis freáticos devido a composição química das rochas que estão sendo extraídas quando em contato com a água subterrânea ou umidade do ar. Esse contato pode se dar também a partir do rejeito ou estéril que podem dar início a drenagem ácida se tornando mais um fator contaminante dos recursos hídricos.

A Figura 1 apresenta os impactos que são causados nos recursos hídricos a partir da possível contaminação da mesma.

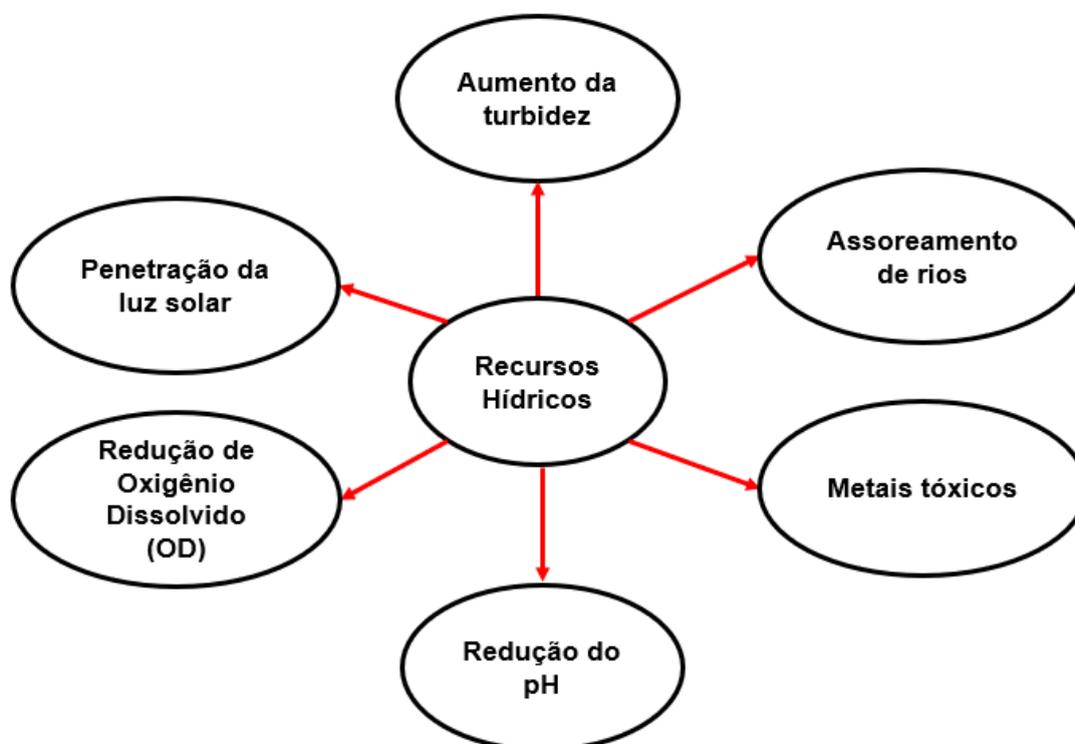


Figura 1 - Impactos da mineração nos recursos hídricos (Fonte: Adaptado de Gusmão, 2021).

### 3.2.2 POLUIÇÃO DO AR

A poluição do ar se dá a partir da poeira gerada a partir da operação dos equipamentos na mina e pequenas partículas geradas a partir da ação dos ventos junto às pilhas de material estéril (Gusmão, 2021). As fontes responsáveis pela poluição atmosférica, são gerados a partir das escavações para extração, detonação de bancadas, trânsito nas vias de acesso das minas para transporte de material proveniente das cavas (Bomfim, 2017).

Por fim, o processo de beneficiamento de minério que conta com os equipamentos com britador, peneiras, moagem e ensacamento, que são responsáveis pela maior geração de poluentes, porém contam também com melhores sistemas de abatimento do problema citado (Gusmão, 2021).

### **3.2.3 POLUIÇÃO DO SOLO**

Uma das etapas da mineração se dá na retirada do solo que faz a cobertura da área em que acontecerá a atividade de extração do bem mineral. Isso devido a descoberta e exposição do solo às ações do tempo que fazem com que ocorra a perda da fertilidade do solo no entorno da área, o que facilita a compactação do mesmo, dada a perda de nutrientes do solo (Sousa, 2023).

De acordo com Rodel (2021), devido às grandes modificações do terreno que conta com o desnivelamento de solo (algumas minas chegam a ter mais de 100 metros de profundidade) que acarretam na descaracterização ambiental e influência na perda de habitats e ecossistemas, fauna e flora. Todos esses efeitos ocorrem devido a retirada do solo que está na superfície da área de extração (Rodel, 2021).

A descaracterização do solo impacta não somente no local em será a cava em si, mas também se existem culturas agrícolas, que podem ser afetadas devido a contaminação que foi transportada por meio da lixiviação na área exposta ou por ação dos ventos que dependendo do composto da poeira, afetam direta e indiretamente a qualidade do solo que será utilizado no plantio (Gusmão, 2021).

### **3.2.4 POLUIÇÃO SONORA**

Os níveis de poluição sonora na mineração são ocasionados em todas as etapas do processo devido ao envolvimento de equipamentos de grande porte para realização das atividades como extração, escavação, transporte e carregamento, mas todos são capazes de efetivar medidas que atenuem seus impactos (Gusmão, 2021).

Conforme a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020) os níveis sonoros para o ruído podem ser separados em 3 classes, sendo elas classificadas,

- i. Ruído com caráter impulsivo: Ruído que contém impulsos, que são picos de energia acústica com duração menor do que 1 s e que se repetem a intervalos maiores do que 1 s (por exemplo martelagem, bate-estacas, tiros e explosões).

- ii. Ruído com componentes tonais: Ruído que contém tons puros, como o som de apitos ou zumbidos.
- iii. Ruído ambiente (Lra): Nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”, no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão.

### **3.3 PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS - PRAD**

Um plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD), é requisitado no período de licenciamento de um empreendimento ou após autuação por parte dos órgãos ambientais devido ao tempo de funcionamento do empreendimento de forma que faça o mesmo a se adequar às novas normas (IMA, 2011).

Mas, o PRAD se trata de uma série de medidas que quando aplicadas, trarão à área degradada condições para que exista um novo equilíbrio dinâmico, de forma que o solo e o corpo hídrico estejam sendo capazes de receberem um uso futuro e de acordo com meio em que está inserido (Raodel, 2021).

Para que um PRAD tenha sucesso é necessário seguir um padrão ou roteiro que indica o funcionamento correto do que será elaborado na área em que passou por alterações, sejam elas motivadas por atividades de mineração ou qualquer outra atividade conforme citada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2013), em que cita que existe uma definição, porém mais de um modelo conforme texto abaixo.

“Recuperação é a restituição de uma área degradada e respectivo ecossistema a uma condição mais próxima possível de sua condição original, mas que pode ser diferente desta.

Existem vários modelos e técnicas para a recuperação de uma área degradada, cuja escolha depende da situação de degradação da área e das condições de regeneração do ecossistema afetado. É por isso que há necessidade, para cada caso, de um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) específico.”

Ainda de acordo com o MMA (2021), o roteiro para elaboração do Plano de Recuperação de áreas degradadas tem por objetivo a orientação e facilitar as análises dos PRADs para cada empreendimento, permitindo a separação entre um plano completo ou simplificado que, segundo o Ministério, a diferença é.

“O roteiro para PRAD apresentado a seguir considera os principais itens a serem contemplados num PRAD completo, no qual a situação de degradação exige a realização de grandes intervenções para viabilizar a recuperação da área. Quando a recuperação da área for de menor complexidade, o interessado poderá optar pela simplificação do PRAD, deixando de desenvolver os itens considerados desnecessários ou não aplicáveis à situação. Neste caso, para a opção pelo PRAD simplificado, deverá ser incluída justificativa para cada item não desenvolvido. A simplificação do PRAD é, portanto, indicada apenas para casos de pequena degradação ambiental.”

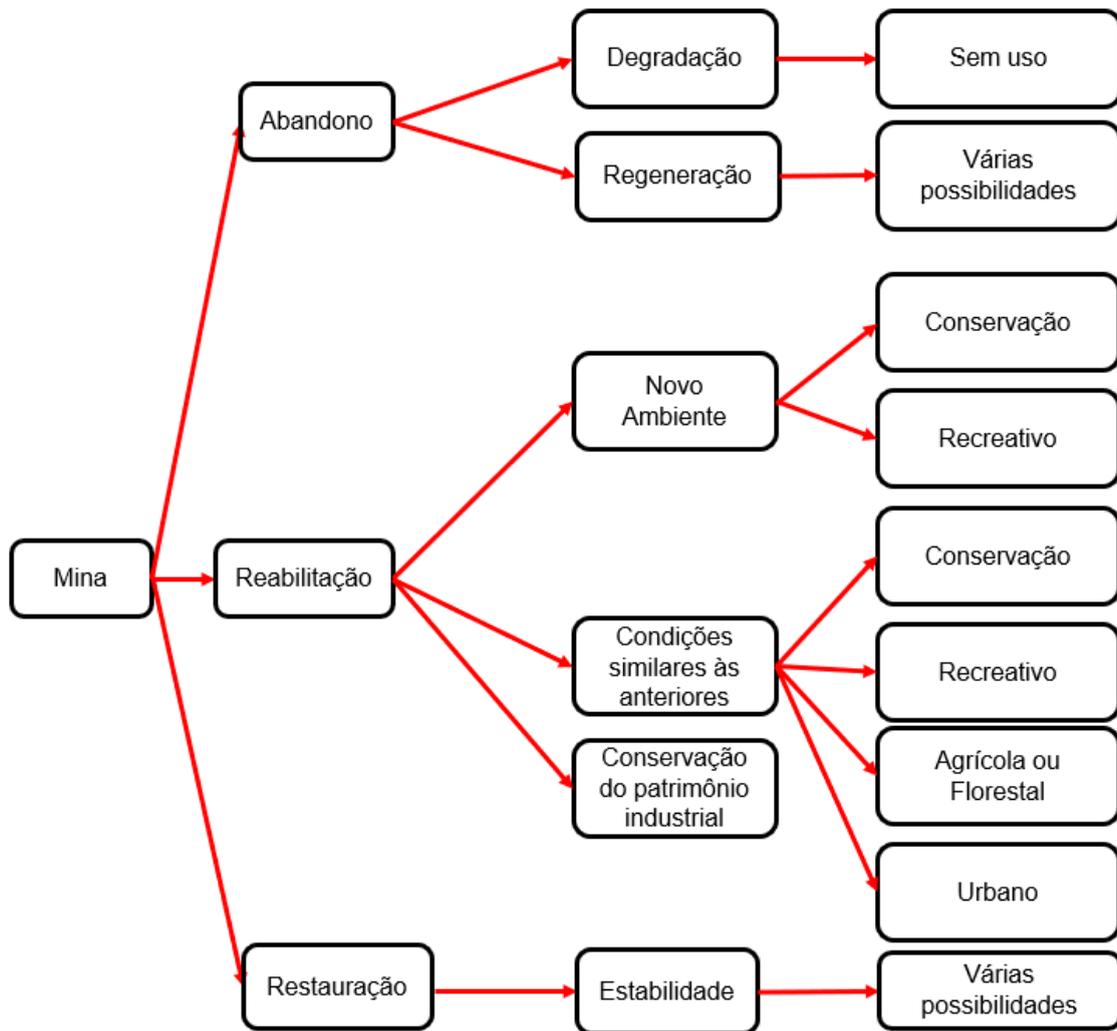
Segundo Almeida (2016), um roteiro básico de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas engloba a inclusão de introdução, objetivos, metas, caracterização da região em que se dá o nível de degradação da área, assim como a descrição da equipe técnica envolvida no projeto.

Já conforme o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA) (Brasil, 2011), na instrução normativa nº 04/2011, o PRAD deve conter:

O PRAD deverá reunir informações, diagnósticos, levantamentos e estudos que permitam a avaliação da degradação ou alteração e a consequente definição de medidas adequadas à recuperação da área, em conformidade com as especificações dos Termos de Referência constantes nos Anexos desta Instrução Normativa.

Deve ser realizada a análise de impactos ou levantamento ambiental do PRAD com inclusão de dados de campo com caracterização do meio físico, biótico e socioeconômico da região em questão, além da realização dos monitoramentos de parâmetros como pH, propriedades dos solos, estrutura

dos solos ou taludes e plantio, por exemplo. Com esses monitoramentos sendo realizados durante e após o processo de recuperação, conforme apresentado na Figura 2 (Almeida, 2016).



**Figura 2** - Etapas de recuperação de áreas degradadas (Fonte: Adaptado de Almeida, 2016).

### 3.3.1 PLANO DE RECUPERAÇÃO FÍSICA

A recuperação da parte física em que o empreendimento está inserido, se dá a partir do preparo das superfícies degradadas de forma que ocorra o controle ou redução de possíveis processos de erosão do solo a curto e médio prazo, visando a viabilidade do plantio e se ter a manutenção do solo que será parte da cobertura vegetal (Figueiredo, 2023).

Ainda de acordo com Figueiredo (2023), os efeitos dos processos erosivos englobam leitos irregulares ou muito inclinados, deslizamentos e carregamento de materiais com granulometria maiores que os inseridos e

dessa forma prejudicam a recuperação satisfatória do local. Dessa forma, se tem a redução do escoamento superficial, estabilização das vertentes e se tem melhores integrações da vegetação no local.

Ainda de acordo com Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (1990), a recuperação topográfica é o preparo do relevo para recebimento para recebimento da vegetação para que se tenha o uso correto do futuro do solo, de forma que atenda a estabilidade dos taludes e solo, aspectos de paisagem, além de alguma semelhança com o relevo original.

Visando a recuperação de taludes e restabelecimento da topografia do relevo, devem ser seguidos alguns passos conforme Figueiredo (2023), sendo eles: Adequação do talude de lavra conforme layout final de lavra, sistema de drenagem na base do aterro, cobertura com material estéril e solo fértil, semeadura de gramíneas e reflorestamento da área.

Por fim, para que esses processos e etapas possam ocorrer de forma contínua e eficiente Almeida (2016) cita que deve ser realizada a caracterização do meio físico a ser recuperado, conforme os seguintes itens,

- a. Geologia e Geomorfologia - Classificação e caracterização geológica da área a ser explorada e vizinhança.
- b. Clima - Informações gerais sobre o clima como precipitação média mensal, relação e média das temperaturas, velocidade dos ventos etc. Grande parte destas informações pode ser obtida nos órgãos estaduais, ligados à Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente, e federais (de pesquisa como EMBRAPA, CEPLAC) que, muitas vezes, possuem estações meteorológicas e têm séries históricas de dados climáticos.
- c. Solos - Tipos de solos existentes na área explorada.
- d. Hidrologia e qualidade das águas superficiais e subterrâneas - Descrição dos recursos hídricos, incluindo bacia hidrográfica na qual a área a ser explorada está incluída.

### **3.3.2 PLANO DE RECUPERAÇÃO BIOLÓGICA**

Para recuperação ambiental das áreas do empreendimento é necessário se basear em vários fatores que respeitem as técnicas de manejo que visam deixar o ambiente de forma que se tenha um novo uso para o solo, desde que seja sustentável (Sanchez, 2019).

Dessa forma, um dos pensamentos deve ser para a restauração florestal que deve ser pensada de três formas, curto, médio e longo prazo, sempre dependendo da área, do nível de recuperação que se deseja atingir e o estágio de degradação que a cava em questão está (Raodel, 2021).

De acordo com Raodel (2021), as fases da recuperação podem ser definidas em algumas metas, sendo elas de curto, médio e longo prazo separados em:

As metas de curto período são baseadas na erosão e na melhoria da fertilidade do solo, estabilizando o ciclo hidrológico e fazendo que tenha um aumento na produção vegetal.

A de médio prazo visa o enriquecimento e aumento da complexidade estrutural do habitat sucessivamente crescendo a biodiversidade.

No longo prazo é estimada a sustentabilidade do ecossistema permanente, incluindo as questões de monitoramento, reavaliações, redirecionamentos e novas definições de metas e inovações nas ações desta restauração neste ambiente.

De acordo com Figueiredo (2023) se faz necessário de início o levantamento das características da vegetação e físicas do local em que será realizado o trabalho de recuperação, com a preferência para utilização das espécies da própria região e respeitando a densidade vegetacional das espécies das áreas no entorno.

Para isso deve ser realizada a preparação das bermas e taludes da pilha de estéril que será feita na cava da mina que passará pelo processo de recuperação, que depois de consideradas aptas, receberão cobertura fértil até o alcance da conformidade topográfica. Dessa forma, o relevo final deve atender aspectos de controle de erosão, paisagem e estético para receberem a vegetação e realização do reflorestamento do local (Figueiredo, 2023).

### **3.3.3 SISTEMA DE DRENAGEM**

O sistema de drenagem deve ser dimensionado na época do projeto da mina e conseqüentemente aterro do empreendimento, para que basicamente tenha o objetivo de direcionar a entrada da água de forma que possa haver o impedimento da sua entrada ou ocorrer a minimização da sua entrada no

sistema e que se ocorrer o mesmo, fazer a retirada da água da melhor forma (Silveira, 2014).

Ainda de acordo com Figueiredo (2023), as obras de drenagem para realização do sistema de drenagem da recuperação das áreas degradadas pela atividade de mineração têm como objetivo a realização do desvio das águas superficiais e de acordo com a necessidade das áreas de recuperação.

De acordo com Silveira (2014), alguns dos principais componentes de um sistema de drenagem são,

**Valeta:** Canais que podem ser retangulares, triangulares ou trapezoidais que têm como objetivo interceptar as águas que escorrem pelo terreno natural a montante, impedindo-as de atingir o talude de corte.

**Valas:** São valetas de grande profundidade, são caracteristicamente obras de grande largura e baixa declividade no sentido longitudinal.

**Bacia de Amortecimento:** Pequeno reservatório que armazena o excesso de vazão pluvial, dimensionado para a área contribuinte de um lote, destinado a amortecer o aumento de vazão.

**Bueiros:** São elementos de drenagem superficial construídos transversalmente sob o leito das estradas, destinados a conduzir as águas provenientes de riachos, córregos, açudes ou bacias por elas cortados.

**Reservatório de detenção e retenção:** São dispositivos utilizados para armazenar águas pluviais por um período de tempo, reduzindo os problemas de enchentes durante as chuvas.

**Poço de infiltração:** São dispositivos pontuais que permitem a infiltração do escoamento superficial para dentro do solo.

**Deflúvio (ou escoamento) superficial:** É a parcela do total precipitado que escoar sobre a superfície do terreno, já descontadas as perdas iniciais por infiltração, retenção vegetal e evaporação.

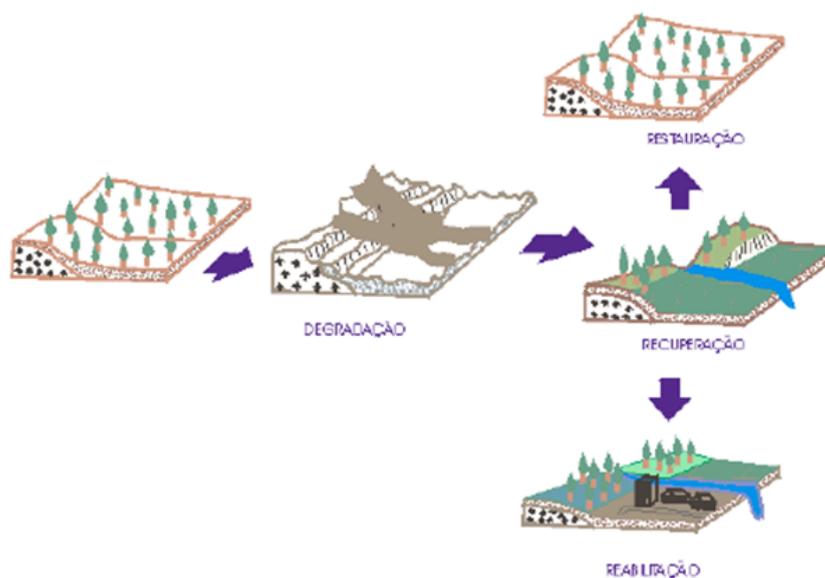
O sistema de drenagem deve evitar sempre ao máximo a ocorrência de processos de erosão, o acúmulo de sedimentos, além de contaminações físico/químicas provenientes da corrente da água (Figueiredo, 2023).

### 3.3.4 CONCLUSÃO DO PLANO DE RECUPERAÇÃO

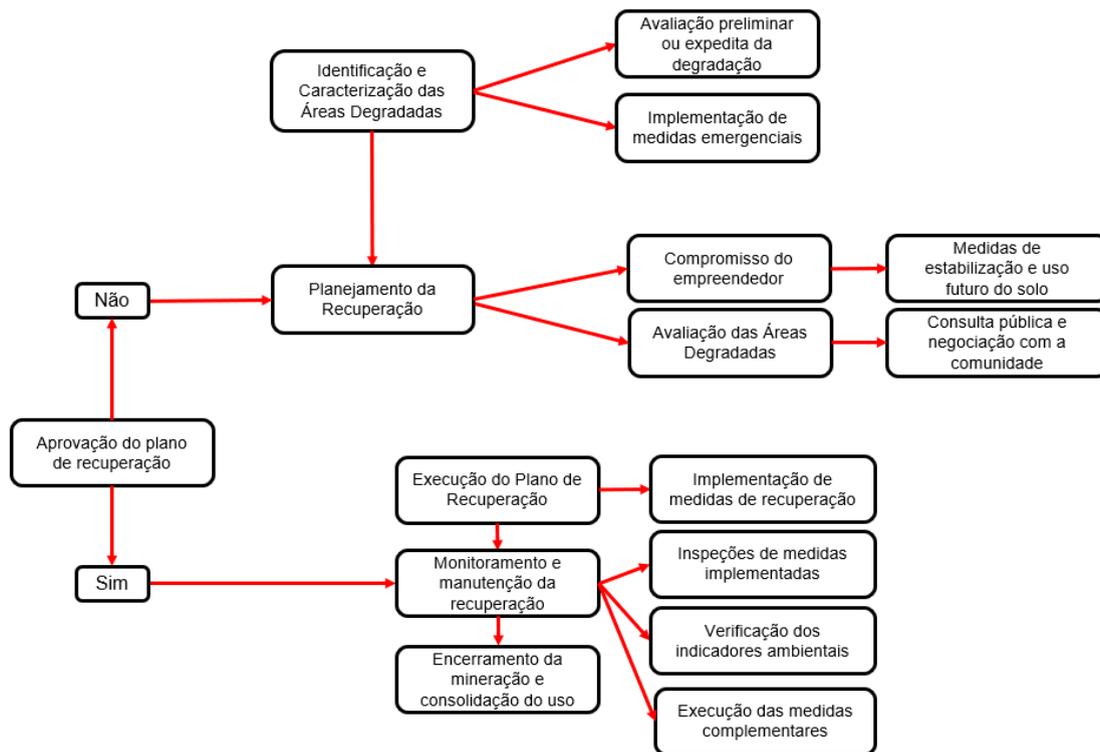
De acordo com o MMA (2016), são exemplos de degradação, áreas de mineração que podem ser recuperadas por meio de aterros e reflorestamento, áreas que contenham taludes de grandes declives em rodovias ou encostas, esses que podem ser recuperados por meio do plantio de espécies herbáceas (Brasil, 2016).

Pode ser citado o caso de grandes erosões e voçorocas provenientes muitas vezes por fluxos das águas, que envolvem além da recuperação do meio biótico dependem de construção de canaletas ou valetas para melhor condução dos fluxos de água (Almeida, 2016).

É necessário a consultoria técnica para avaliação dos níveis de degradação, análises e levantamentos de dados de toda área de extração conforme mostrado nas Figuras 3 e 4. Após este trabalho realizado e disponibilização das informações para os órgãos competentes pode se decidir as técnicas para restauração do meio ambiente respeitando as características iniciais do bioma em que se está inserido e conforme cronograma entregue aos órgãos competentes (Raodel, 2021).



**Figura 3** - Variantes da recuperação ambiental (Fonte: De Freitas, 2014).



**Figura 4** - Resumo PRAD (Fonte: Adaptado de Santos, 2017).

### **3.4 PLANO DE FECHAMENTO DE MINA**

#### **3.4.1 PLANO DE FECHAMENTO DE EMPRESA DE MINERAÇÃO**

O plano de fechamento de mina (PFM), é um documento que remete ao planejamento da desativação das estruturas de um empreendimento (mina), uma vez que envolve aspectos principalmente ambientais e socioculturais. Esse plano é regulamentado conforme a resolução nº 68/2021 elaborada pela Agência Nacional de Mineração (ANM), de forma a estabelecer regras referentes ao PFM.

De acordo com a ANM (2021), o PFM tem como principal necessidade a adoção de medidas claras e transparentes que regulamentem os parâmetros e procedimentos técnicos a serem desenvolvidos em uma área de mineração. Tendo como objetivo o acompanhamento ao longo da vida útil da mina, assim como o estabelecimento de processos para avaliação e validação para o fechamento e o uso futuro das áreas mineradas.

Conforme a resolução 68/2021 da ANM, o plano de fechamento de mina se trata de um:

“conjunto de procedimentos para o descomissionamento da área da mina após a atividade de mineração, envolvendo a desmobilização das estruturas provisórias de suporte às operações de lavra e beneficiamento, a estabilização física e química das estruturas permanentes e seus monitoramentos, bem como a habilitação da área para um novo aproveitamento mineral ou outro uso futuro.”

O plano de fechamento pode ser realizado no momento de exaustão da mina, encerramento antes da exaustão e em minas em operação desde que contenha a expectativa de vida útil do empreendimento (ANM, 2021). O PFM deve conter no mínimo os itens apresentados conforme o artigo 5º,

I - Mapas, plantas, fotografias e imagens, demonstrando a situação atual da área e seu entorno (mapas de uso do solo, geologia, drenagem, limites municipais, edificações, unidades protegidas e/ou com restrições, cartas planialtimétricas, modelo digital de terreno e imagens digitais de satélite, radar ou aérea com alta resolução);

II - Documentação descrevendo a situação atual da área, incluindo:

a) Histórico da área e atividades de mineração, quando for o caso; e

b) Estruturas existentes.

III - Projeto da infraestrutura minerária sobreposto ao contexto atual da área;

IV - Projeto conceitual de descomissionamento das estruturas civis e de estabilização física e química das estruturas remanescentes;

V - Ações de reabilitação da área já executadas;

VI - Principais ações de monitoramento e manutenção planejadas na área; e

VII - Cronograma físico-financeiro do PFM, integrando ações de pré fechamento, fechamento e pós-fechamento.”

Já para os casos em que se tem o PFM por exaustão da mina em que se estava sendo realizada a extração do minério, devem ser acrescentados os itens conforme apresentados no artigo 6º desta mesma resolução,

- I - Caracterização da área do empreendimento, apresentando dados relacionados a estruturas civis, geotécnicas, hidráulicas, instalações elétricas, equipamentos, entre outros, com registros em imagens e plantas digitais;
- II - Avaliação dos riscos decorrentes do fechamento do empreendimento e formas de mitigação dos eventuais danos resultantes da atividade;
- III - Plano de desmobilização das instalações e equipamentos que compõem a infraestrutura do empreendimento minerário;
- IV - Plano de estabilização física e química das estruturas remanescentes;
- V - Medidas para impedir o acesso não autorizado às instalações do empreendimento mineiro e para interdição dos acessos às áreas perigosas, de acordo com a NRM-12, aprovada pela Portaria DNPM nº 237, de 18 de outubro de 2001;
- VI - Ações de manutenção e monitoramento das estruturas remanescentes após o encerramento do empreendimento; e
- VII - Diretrizes para adequação da área ao uso futuro previsto.”

Após o período de extração e cumprimento do que está disposto no PFM, todas as estruturas do empreendimento devem passar por um processo de destinação conforme estabelecido em resolução da ANM, por se tratarem de estruturas provisórias que foram instaladas ao longo da vida útil da mina e se tem a possibilidade de desmobilização das mesmas, casos de infraestruturas civis, usinas de beneficiamento e tratamento de minérios, área de almoxarifado (insumos) e resíduos, redes de água e energia, equipamentos fixos e móveis (ANM, 2021).

Já as demais estruturas que não podem ser remanejadas são tratadas como remanescentes que se manterão na área mesmo após o fechamento sendo elas, as cavas de mina a céu aberto, galerias de mina subterrânea, barragens e bacias de sedimentos, aterros, além dos acessos que faziam a ligação na mina e área de beneficiamento (ANM, 2021).

O plano de fechamento de mina deve ser atualizado a cada 5 (cinco) anos ou conforme o se atualiza o Plano de Aproveitamento Econômico (PAE), com prioridade para o que ocorrer primeiro, o tempo do PFM ou as atualizações do PAE.

### 3.4.2 PLANO DE APROVEITAMENTO ECONÔMICO - PAE

O Plano de Aproveitamento Econômico (PAE), de acordo com Antunes (2020) é definido como um documento que possui todas as informações sobre o processo de extração da jazida, beneficiamento do minério e comercialização do produto proveniente da mina, uma vez que se trata de um item obrigatório do código de mineração conforme artigo 38 (Antunes, 2020). O PAE pode ser definido como um projeto técnico que é constituído por operações coordenadas que envolvem a lavra e tem como objetivo o aproveitamento racional do bem mineral. Outra definição para o Plano pode ser citada que se trata de um conjunto ordenado e que envolve um sistema de estimativas de grandezas técnicas e econômicas que podem ser admitidas para cada caso específico para mineração (Souza & Herrmann, 1980).

O PAE deve incluir informações como vida útil da mina, fatores técnicos, sociais, econômicos e ambientais que poderão por consequência afetar a viabilidade econômica do bem mineral a ser extraído pelo empreendimento. Esses estudos devem ser apresentados até um ano após aprovação do relatório final de pesquisa no Diário Oficial da União (DOU) (Resende, 2009).

Ainda de acordo com Resende (2009), o código de mineração determina os elementos técnicos que devem aparecer no PAE como forma de instruir o técnico que irá fazer a realização do mesmo, conforme descrição a seguir:

- 1) Memorial explicativo;
- 2) Projetos ou anteprojetos referentes a:
- 3) Método de mineração, com referência à escala de produção inicial e sua projeção;
- 4) Iluminação, ventilação, transporte, sinalização e segurança do trabalho, quando se tratar de mina subterrânea;
- 5) Transporte na superfície e beneficiamento e aglomeração do minério;
- 6) Instalações de energia, abastecimento de água e condicionamento de ar;
- 7) Higiene da mina e dos trabalhos;
- 8) Moradias e condições de habitabilidade para os residentes no local da mineração;

- 9) Instalações de captação e proteção das fontes, adução, distribuição e utilização da água, tratando-se de jazidas de águas minerais ou potáveis de mesa.

Assim como as situações em que devem ser atualizados ou alterados conforme as necessidades dos proprietários das áreas ou direitos minerários, em que acarretem em mudanças operacionais ou de técnicas. Situações essas que são citadas por Resende (2009):

- 1) Desmembramento de áreas;
- 2) Disponibilidade para lavra;
- 3) Cessão ou transferência do título de concessão de lavra;
- 4) Expansão das cavas e novo sequenciamento de lavra;
- 5) Novos métodos de processo, visando, por exemplo, aumentar a recuperação em massa das instalações de beneficiamento;
- 6) Novos depósitos de estéril e barragens de rejeito;
- 7) Constituição de novas áreas de servidão minerária;
- 8) Reavaliação de reservas medidas;
- 9) Aditamento de substâncias não-tituladas a título de lavra, etc.

Souza & Herrmann (1980) citam a importância da realização do PAE para o titular ou detentor do direito minerário devido a reserva mineral não possuir um valor, mas sim um potencial econômico que não pode ser mensurado pela variação que cada área de estudo ou futura extração possui. Porém um projeto técnico e economicamente viável para o aproveitamento do bem mineral é o que acarreta valor para jazida.

O plano de aproveitamento econômico deve em sua maioria refletir todo o potencial produtivo em que as reservas minerais devem atender a demanda dos mercados internos e externos, atendendo os interesses do titular detentor do direito minerário e ao País no teor de retorno financeiro daquele bem mineral (Resende, 2009).

### **3.4.3 RESUMO DO FECHAMENTO DE MINA**

Em resumo, a partir das determinações da Agência Nacional de Mineral para o plano, podem ser citadas fases importantes que visam a eliminação do

passivo ambiental do empreendimento que compreende o que ficará após o período de desligamento da empresa (De Freitas, 2014).

De acordo com De Freitas (2014) essas fases são divididas em desativação ou descomissionamento das instalações existentes, recuperação ambiental, monitoramento e manutenção nas áreas que possuem condições de uso futuro por um período de tempo de forma que cumpram os objetivos estabelecidos.

Por fim, a fase de pós fechamento que se trata do momento em que a área está pronta para uso, contando com a certificação dos órgãos competentes que atestam e liberam a empresa responsável pela mineração da área da responsabilidade proveniente dos danos ambientais que virão sobre o local de forma futura em que não haja influência do empreendimento (De Freitas, 2014).

#### **3.4.4 ROTEIRO PARA O PLANO DE FECHAMENTO DE MINA**

O plano de fechamento de mina passa de um simples processo de término de um empreendimento e recuperação das áreas que sofreram degradação a partir da atividade de extração do corpo mineral presente. Se faz necessário o planejamento de uso futuro das áreas impactadas e influência devido a grande esfera envolvida num empreendimento de tal porte (Dias, 2016).

Tal necessidade se faz visando a proteção de acionistas, órgãos competentes, fornecedores de material, sociedade e as gerações futuras que serão impactadas direta e indiretamente na forma econômica local, de forma que seja possível a realização de um balanço positivo para o local de inserção do empreendimento (De Freitas, 2014).

O plano é regido usualmente por quatro objetivos principais conforme citado por Dias (2016), separados abaixo:

- a) Localização da área de estudo;
- b) Mitigar ou eliminar os danos ambientais;
- c) Uso produtivo da terra, retorno à sua condição original ou em condição alternativa aceitável;
- d) Propiciar benefícios sociais e econômicos à comunidade.

Assim como garantir a definição do uso futuro da área, considerando os impactos e condicionantes que podem afetar direta e indiretamente os objetivos citados acima, conforme Dias (2016).

- Estabilidade física: edifícios, estruturas, encostas, aberturas subterrâneas, etc.
- Estabilidade geoquímica: minerais, metais ou outros contaminantes.
- Uso da terra: a mina fechada deve ser reabilitada para condições de background anteriores à mineração, ou compatíveis com as terras ao redor. Ou ainda ter um uso produtivo.
- Desenvolvimento sustentável: benefício social e econômico, devem ser mantidos quando da transferência de custódia.

Ainda de acordo com De Freitas (2014), existem diretrizes a serem seguidas para o plano de fechamento de mina ocorrer de acordo com as condicionantes da ANM. Diretrizes essas que podem servir como guia e facilitar o caminho dos técnicos e a inserção do plano junto ao empreendimento, sendo aplicado desde o planejamento ao fim das fases de operações do empreendimento.

Essas diretrizes são divididas em sete etapas, conforme descritos abaixo por De Freitas (2014),

O planejamento do fechamento deve começar desde a concepção do projeto de uma nova mina;

- A empresa deve planejar o fechamento;
- O planejamento do fechamento deve envolver as partes interessadas externas e internas;
- Os resultados do planejamento devem ser registrados em planos de fechamento e outros documentos correlatos;
- A empresa deve estimar todos os custos associados ao fechamento de uma mina;
- A empresa deve acompanhar o desenvolvimento socioeconômico local;
- O plano de fechamento deve ser atualizado sempre que houver modificações substanciais no projeto ou nas condições do entorno.

Para que se possa realizar um plano de fechamento de sucesso, tudo depende da definição, revisão, comunicação e validação contínua dos objetivos estabelecidos no relatório, assim como o alinhamento de tal documento com os requisitos do empreendimento, de forma que todos os envolvidos possam visualizar os benefícios na área mesmo sem a empresa de forma efetiva (Dias, 2016).

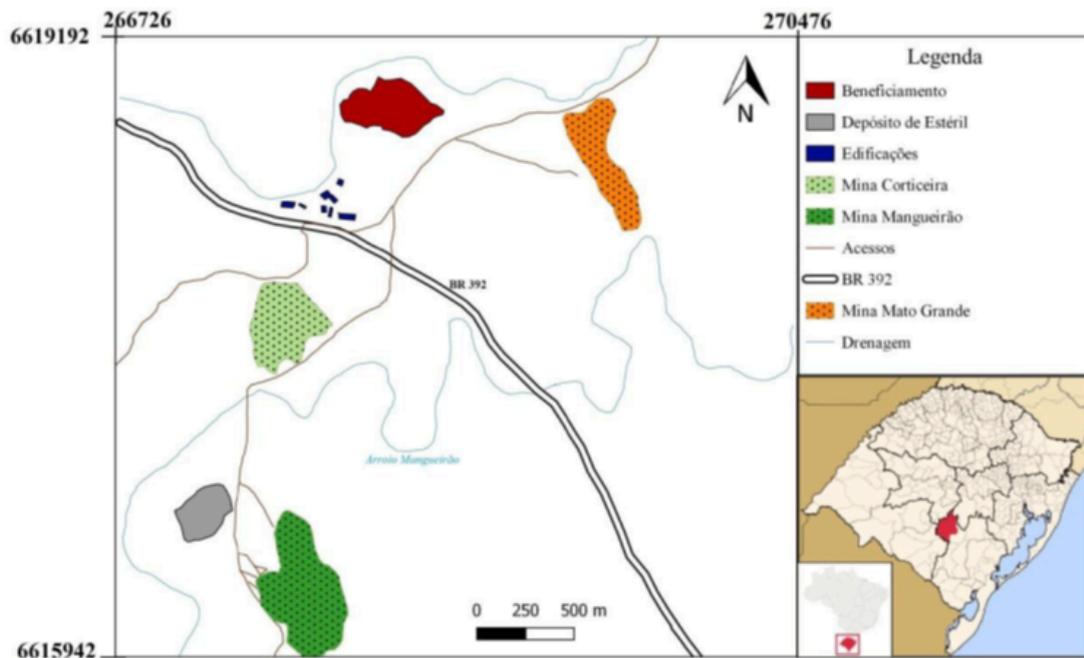
## **4 METODOLOGIA**

O presente trabalho teve como objetivo a realização do plano de fechamento e recuperação de áreas degradadas de uma mina de extração de rocha calcária no município de Caçapava do Sul/RS que está desativada desde o ano de 2014, em que foi atestada a inviabilização econômica da mina pela empresa que explorava.

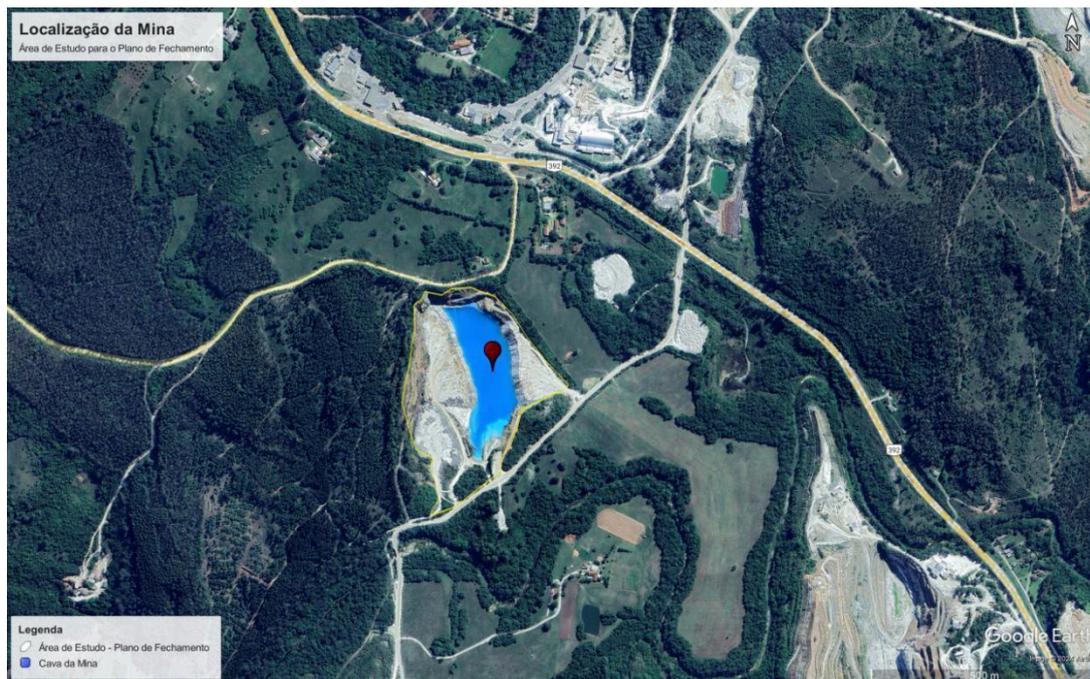
O plano foi realizado seguindo as diretrizes utilizadas como guia para o PFM inserido no item 3.4.3 no referencial teórico, de forma que, apresente o empreendimento após o encerramento definitivo da área de extração.

### **4.1 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

O objeto de estudo trata-se de uma área de extração de calcário desativada localizada no município de Caçapava do Sul, no estado do Rio Grande do Sul conforme as coordenadas de zona 22J, longitude 267.447,51 mE (metros leste) e latitude 6.618.093,11 mS (metros sul), ambas em UTM (Universal Transversa de Mercator), conforme Figuras 5 e 6.

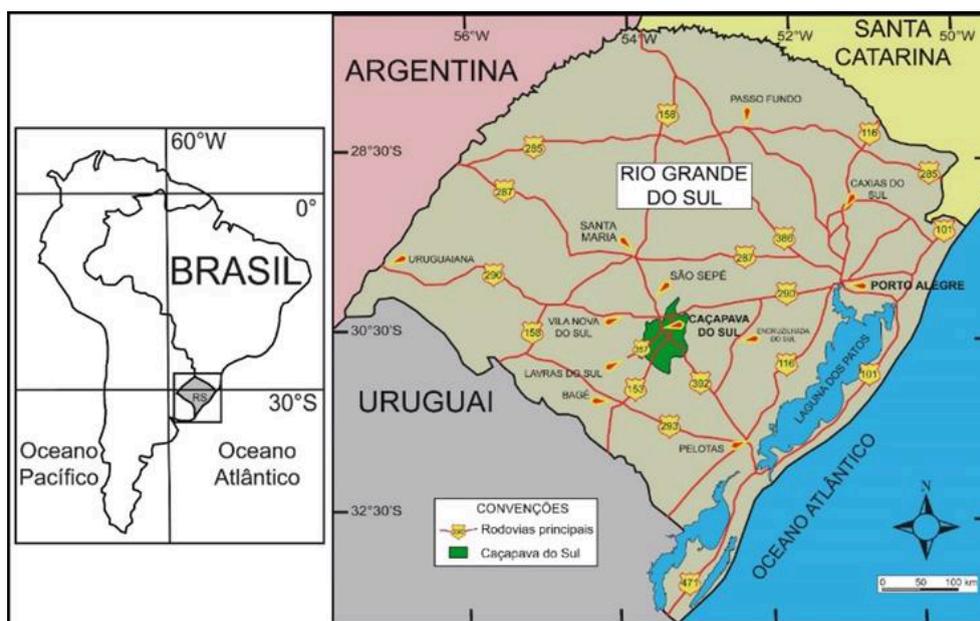


**Figura 5** - Ilustração das áreas de domínio da empresa (Fonte: De Freitas, 2014).

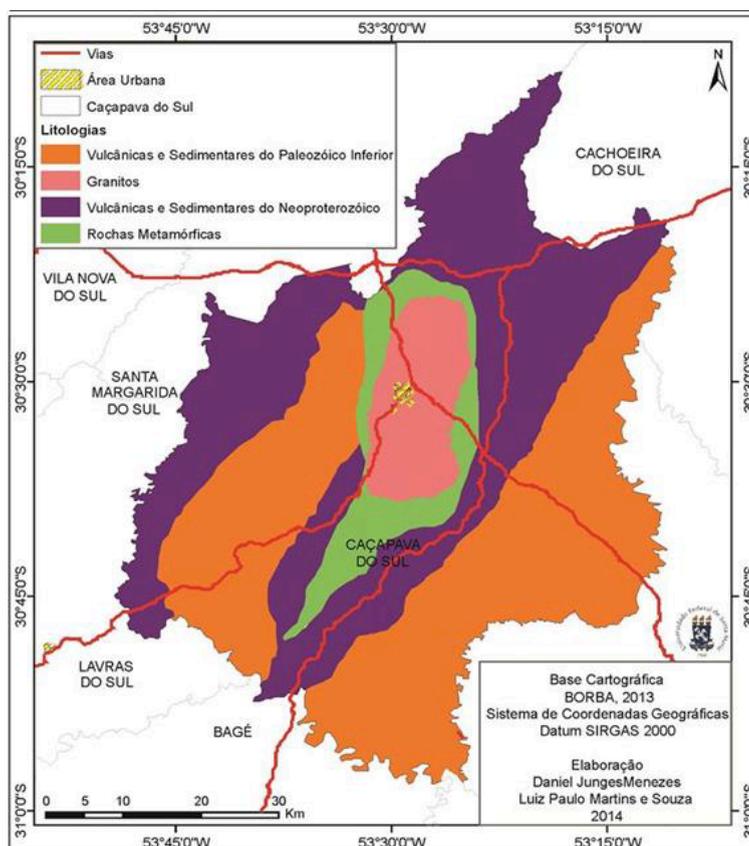


**Figura 6** – Localização da área de estudo - mina corticeira (Fonte: Autor, 2024).

## 4.2 GEOLOGIA LOCAL E REGIONAL



**Figura 7** - Mapa de localização do município de Caçapava do Sul-RS. (Fonte: A experiência do Geodia como ferramenta de valorização e divulgação do conhecimento geológico no município de Caçapava do Sul/RS, BRASIL, 2018).



**Figura 8** - Mapa geológico regional de Caçapava do Sul/RS (Fonte: Borba et al. (2013b), adaptado.)

De acordo com Chemale Jr (2000), o município de Caçapava do Sul está localizado junto ao Escudo Sul-Rio-Grandense que compreende cerca de 65.000 km<sup>2</sup> conforme demonstrado nas Figuras 7 e 8. O Escudo compreende unidades tectono-estratigráficas, que foram resultados de processos de geração e deformação da crosta continental (Oliveira, 2018).

A geologia do escudo consiste em um antigo núcleo cratônico caracterizado que é constituída por duas fases deformacionais, sendo uma fase (paragênese) do primeiro evento geológico compatível com a faces do anfíbolito e já no segundo evento a mineralogia observada remete ao retrometamorfismo em fácies xisto verde, que proporcionou a xistosidade regional (Bitencourt, 1983).

Segundo Bitencourt (1983), a geologia local do município é caracterizada por uma sequência de rochas polimetamórficas que circunda uma associação de rochas graníticas - conhecida como complexo granítico de Caçapava do Sul. As rochas graníticas afloram em uma área de aproximadamente 250 km<sup>2</sup> em condições intrusivas em metamorfitos.

Esses metamorfitos são constituídos por xistos pelíticos, filitos, mármore, rochas anfíbolíticas e metavulcânicas (Oliveira, 2018), marcados por foliação milonítica ao longo das bordas que é concordante com a foliação da sequência metamórfica que as envolvem (Bitencourt, 1983), uma vez que o relevo predominante de Caçapava do Sul/RS é o do tipo coxilha com característica de áreas com elevação baixa ou alta que são cobertas por pastagens.

### **4.3 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

O trabalho se deu na empresa Dagoberto Barcellos S/A, localizada no município de Caçapava do Sul-RS, que trabalha com a extração de rocha calcária mais conhecida como comercialmente como calcário, que é proveniente de uma rocha sedimentar carbonática, constituído predominantemente de carbonato de cálcio, a partir de minerais de calcita e aragonita (Silva, 2023).

O calcário, é fonte de matéria-prima para a produção de calcário agrícola a partir do processo de moagem, cal para construção civil a partir da queima da rocha em fornos, além de ser um agregado na argamassa e

fertilizante para auxílio no fornecimento de nutrientes para o desenvolvimento dos produtos da agricultura.

A empresa Dagoberto Barcellos possui aproximadamente 70% do mercado de cal e 25% do mercado de calcário no Estado do Rio Grande do Sul, com a produção mensal do minério beneficiado, que em períodos de produção e carregamento próximos ao máximo, aproximadamente 100.000 toneladas de calcário, resultando em considerável movimentação de minério bruto e material estéril (Santos et. al., 2015). Material estéril que é armazenado atualmente em pilhas que fazem parte da recuperação ambiental das cavas de extração de minério (Flores, 2017).

#### **4.4 REALIZAÇÃO DO PLANO DE FECHAMENTO DE MINA**

O plano de fechamento foi realizado na cava de uma mina de extração de calcário identificada como mina corticeira, conforme ilustrado na Figura 5, que teve suas atividades paralisadas no ano de 2014 (em torno de 10 anos) devido a inviabilidade econômica para o prosseguimento do processo de extração da rocha calcária por motivos operacionais (aprofundamento da mina, necessidade de aumento na área de supressão, entre outros fatores).

A mina se enquadra no plano de encerramento anterior à exaustão da mina, uma vez que, a continuidade da exploração de forma momentânea se torna inviável economicamente dadas as condições da área em que a mina está localizada, caso de proximidade com a via municipal e rodovia, área que demanda licenciamento com estudo mais aprofundado, além do teor do minério existente no local.

Para isso, será aplicado o modelo estabelecido pela resolução 68/2021 da ANM para uma área de 10,7 hectares (há) sendo realizado o cálculo de recuperação dessa área, estabelecimento de uso futuro para área e demais itens descritos no item 3.4.3 citados no referencial teórico do trabalho. Para o PFM será apresentado o mapeamento da mina, conforme fotografias e imagens que fazem a demonstração da situação atual da área e seu entorno, assim como a disponibilização da situação atual da área assim como as estruturas existentes.

Para as estruturas existentes será citado uma distinção conceitual de descomissionamento das estruturas civis e de estabilização física e química

das estruturas que ficaram no local devido a proporção das mesmas, além de ações de reabilitação da área já executadas, caso da inclusão de um plano de recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração.

Serão apresentadas ações que visam o monitoramento e manutenção das áreas após a recuperação total do local. Será apresentado um plano de estabilização física e química das estruturas remanescentes, uma vez estabelecido um cronograma que irá integrar o período de pré fechamento, fechamento e pós fechamento, de forma que respeite a adequação da área visando o uso futuro do local.

Junto aos dados de monitoramento, serão apresentadas a avaliação dos riscos decorrentes do fechamento e formas de mitigação dos eventuais danos resultantes da atividade que serão aplicados e acompanhados ao longo dos anos para que não se tenham problemas futuros quando for realizada a utilização da área.

Por fim, serão apresentadas medidas para manutenção de segurança visando o impedimento do acesso não autorizado às instalações do empreendimento e interdição dos acessos às áreas perigosas, que evitem ao máximo o acesso da população junto às áreas restritas, seja para caça e pesca ou para banho, casos em que se tem a presença de um volume grande de água.

As etapas do PFM estão dispostas da seguinte maneira abaixo:

- Classificação do fechamento de mina de acordo com a classificação ANM;
- Estabelecimento de uso futuro da área de extração;
- Medidas que serão tomadas na desativação;
- Análise dos riscos;
- Estabelecimento do plano de acompanhamento e monitoramento pós fechamento;
- Estabelecimento de cronogramas para o plano de fechamento de mina;

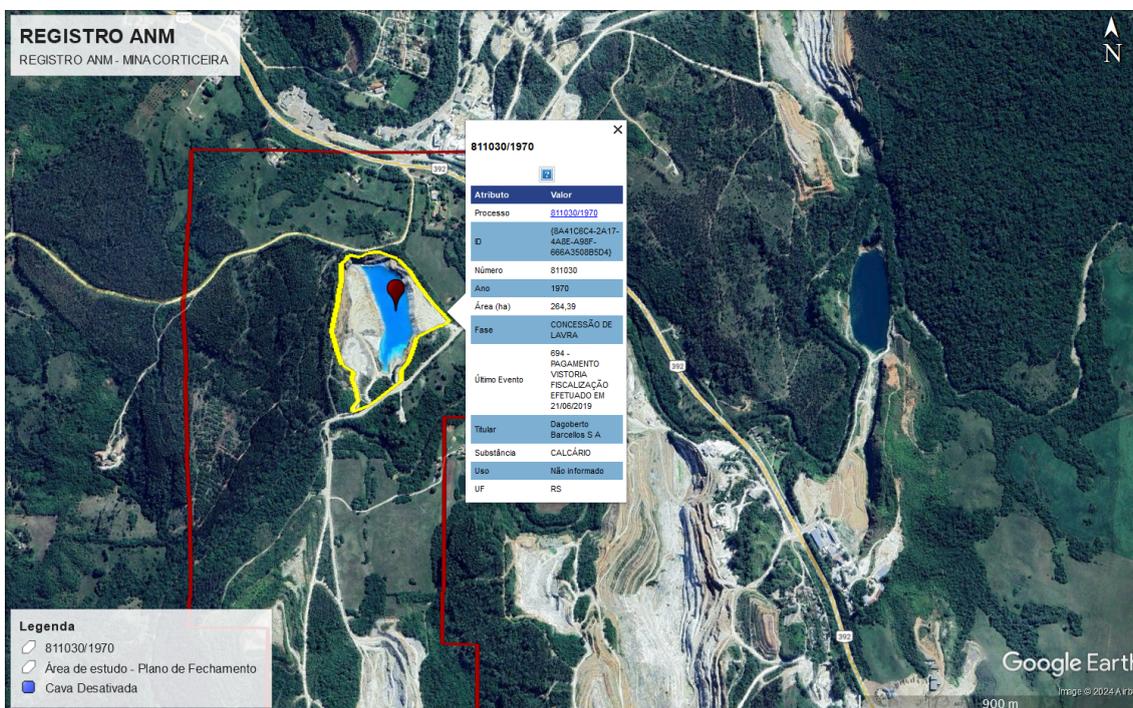
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento conforme licença da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), promove a atividade de Lavra de Calcário, Argila Industrial (Caulim) – a céu aberto e com Recuperação de Área Degradada, e tem como localização a poligonal ANM número 811.030/1970 conforme coordenadas geográficas abaixo e demonstração de pesquisa no site da ANM (Agência Nacional de Mineração):

- Latitude: -30,54761200;
- Longitude: -53,42197100;

A área do polígono está com cerca de 264,39 ha, porém conforme informado na LO (Licença de Operação), a área útil do empreendimento é em torno de 52, 70 ha e por fim, a área de estudo para o presente trabalho é de aproximadamente 11 ha, conforme destacado na Figura 9.



**Figura 9** - Registro ANM com destaque para poligonal do empreendimento (Fonte: Autor, 2024).

A mina corticeira mostrada na Figura 10 teve início das suas atividades junto a Agência Nacional de Mineração no ano de 1970 com a realização da mineração sendo feita a céu aberto (Brasil, 2024).

Com o passar dos anos de extração e o teor de qualidade do minério (poder de neutralização do calcário) extraído apresentando queda de forma significativa, a continuidade da extração se tornou inviável economicamente para o empreendimento.

Dessa forma, era necessário o aprofundamento da cava e isso exigiria o alargamento da área em seu entorno, o que tornou o processo ainda mais complicado, dada a proximidade do local com vias de acessos municipais, fazendo com que a mina suspendesse suas operações no ano de 2014 e optasse por parte da empresa o foco em outras frentes de operação do empreendimento.



**Figura 10** - Mina corticeira (Fonte: Dagoberto Barcellos S/A, 2023).

## **5.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DO EMPREENDIMENTO**

Os impactos ambientais causados pela mineração são ocasionados a partir da movimentação do solo com as escavações. Decorrente disso podem ser citados como parte desses impactos o desmatamento, alteração da superfície que compõe a topografia e sua paisagem, degradação das áreas, instabilidade de taludes e terrenos, alterações na qualidade da água dos

corpos hídricos e níveis dos lençóis freáticos, erosão e o assoreamento das margens (Amaral, 2013).

De acordo com Amorim (2008), a maior parte do material proveniente das minerações visando o material explorado são considerados resíduo/estéril ou rejeito. Termo que é dado para o material retirado sem valor econômico que justifique a exploração ou que não contenha o mineral, já o rejeito é atribuído ao material descartado após o beneficiamento do minério.

O não levantamento dos impactos ambientais causadas nas áreas em que ocorreu a degradação pode acarretar em riscos à população por meio de contaminações ou acidentes envolvendo problemas de drenagem e erosão por causa dos impactos provenientes da atividade de extração (Marina, 2021).

Por se tratar de um empreendimento que possui interferência direta num determinado local, os impactos causados acarretam em mudanças significativas no ambiente de operação da mina, o que torna necessária a adoção de medidas de controle e mitigação dos efeitos do trabalho realizado no local a serem pontuados nos impactos gerais causadas pela atividade de mineração.

Os impactos ambientais das minas que devem se ter a mitigação citados a partir dos itens 5.2.1 do presente trabalho, estão de acordo com o artigo 1º da resolução CONAMA de 86 (Brasil, 1986) em que considera:

[...] impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem: a população, as atividades sociais e/ou econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

### **5.2.1 ESTABILIDADE DOS TALUDES**

O primeiro impacto se deu na instabilidade dos taludes da mina, que devido a proximidade da via de trânsito municipal, área de vegetação em que a poligonal de extração tem a autorização e a inclinação das bancadas, pode acarretar no processo de erosão e prejudicar a segurança do local visando o uso futuro conforme Figura 11. Se fez necessária a reconfiguração dos taludes

ampliando a área do aterro de acordo com a demonstração na Figura 10, essa ampliação traz a melhoria da estabilidade, auxiliando principalmente para evitar a erosão do solo por meio da passagem da água.



**Figura 11** - Proximidade da área de extração com a via municipal - Próximo a linha de transmissão de energia (Fonte: Autor, 2024).

Para que a água não se tornasse um problema junto ao talude e trouxesse instabilidade para a pilha de estéril feita junto ao aterro, foram feitos valetas e canais de drenagem com sentido para o lago que será mantido no local onde era a cava e será parte da configuração depois de finalizada a recuperação ambiental.

### **5.2.2 EMISSÃO DE PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS**

O impacto causado pela movimentação dos equipamentos em função da disposição do estéril e solo para recuperação da área e trânsito dos equipamentos (caminhões e trator de esteira) nas vias de acesso foi contido a partir da utilização de caminhão pipa nos dias mais secos para que a poeira sofresse o abatimento Figura 12.



**Figura 12** - Caminhão pipa para controle de emissões atmosféricas (Fonte: Autor, 2024).

Já para as bancadas, em que não houve eficiência com o caminhão pipa, houve a implementação do cortinamento vegetal que não permite que a poeira avance por grandes distâncias além da área do empreendimento demonstrado na Figura 13.



**Figura 13** - Cortinamento vegetal que impede o avanço de poeira para o meio ambiente (Fonte: Autor, 2024).

### **5.2.3 RECURSOS HÍDRICOS**

A possível contaminação dos recursos hídricos próximos se deu a partir da exposição do solo e do arraste da composição química da rocha a partir das ações do tempo. Para isso, o lago formado a partir da água da chuva na área da cava que foi suspensa, serve como uma bacia de sedimentação não permitindo que os possíveis contaminantes possam ir para os recursos hídricos próximos.

Isso se dá a partir da decantação dos sedimentos que estão presentes na água, de forma que são direcionados para o fundo da bacia e a superfície tem a redução dos agentes contaminantes, sendo essa água utilizada também como forma de controle de poeira por meio do caminhão pipa que faz a umidificação das vias de acesso do empreendimento.

### **5.2.4 SUPRESSÃO DA VEGETAÇÃO E IMPACTOS NA FAUNA**

Quanto aos impactos causados a partir do desmatamento e da supressão da vegetação que existia na área da cava, sua recuperação se dará por meio da ampliação da área do aterro, disposição de solo natural proveniente de outras áreas de avanço do empreendimento, ou mais conhecido como estéril por não ser aproveitado como produto.

O solo será disposto no local para que possa ocorrer a semeadura de gramíneas como forma de criar a resistência no solo transportado e após a conclusão dessa etapa, será realizada o plantio de mudas nativas e também outras espécies de árvores para que a recuperação seja feita de forma correta conforme demonstrado na Figura 14.



**Figura 14** - Disposição de solo para plantio de gramíneas e mudas (Fonte: Autor, 2024).

Já quanto o afugentamento da fauna, a partir do momento em que ocorrer a diminuição dos efeitos sonoros das movimentações dos equipamentos, o retorno da vegetação, conseqüentemente haverá o retorno dos animais que viviam no local anteriormente, assim como já é possível a visualização de animais na área da cava.

### **5.2.5 IMPACTOS SONOROS**

Os impactos sonoros no local se dão de forma pontual, uma vez que se tem a influência dos equipamentos que trabalham durante o dia no local, realizando o transporte e descarga do material estéril na área do aterro, além do trator de esteira e patrola que visa o acerto da topografia das bancadas e alinhamento dos taludes.

Como forma de atenuação do impacto sonoro, a área que passa pelo processo de recuperação ambiental tem sua operação restrita à operação no período diurno, sendo paralisada durante a noite em que o limite para níveis de ruído é reduzido.

## 5.2.6 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

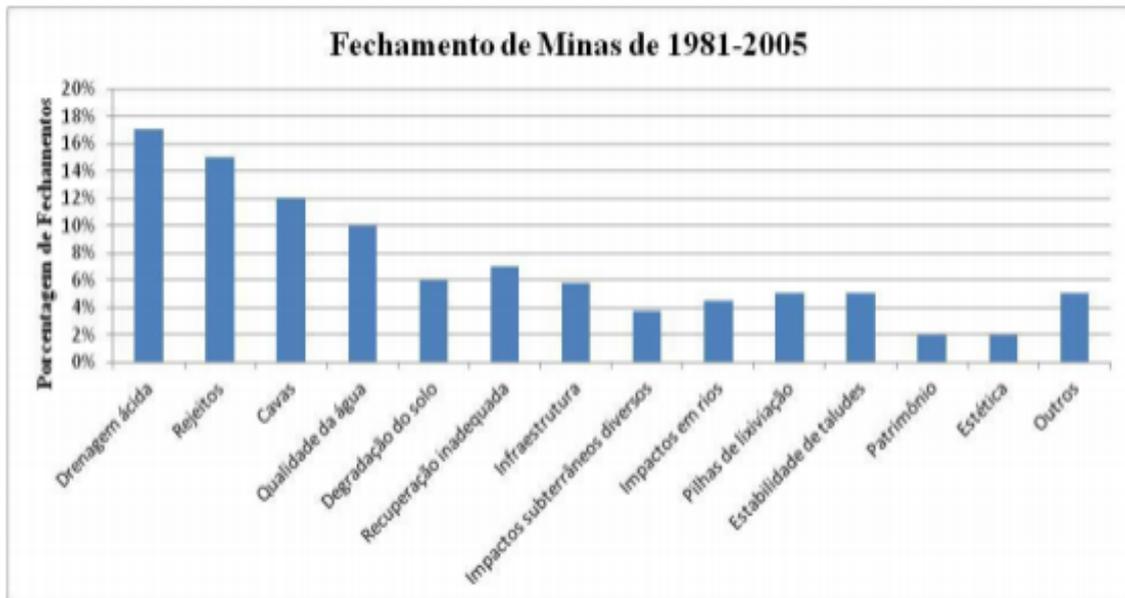
Os impactos socioambientais que podem influenciar na economia da região serão atenuados mesmo com a desativação da mina corticeira, devido o empreendimento possuir mais duas áreas de mineração em operação junto ao beneficiamento de minério.

Isso faz com que o efetivo que operava no local, fossem remanejados para os demais setores da empresa, de forma que não fosse necessário a realização de demissão dos colaboradores e a mina de estudo não ser a de maior produção do empreendimento.

As ocorrências dos impactos ambientais e a necessidade de serem realizados tais estudos se dão devido às consequências do fechamento de mina ocorrer de forma variada, principalmente quando em áreas ambientalmente mais frágeis a alterações fazendo com que aparentam os impactos de forma mais acentuada (Pinto, 2017).

Ainda de acordo com Pinto (2017), a extensão da exploração de minério contribui para ocorrências mais acentuadas, principalmente em atividades que possuem vida útil de exploração maiores - que passam séculos de operação, com potencial de impactos maiores as de pequeno porte no momento de encerramento das atividades.

Na Figura 15, é apresentado um gráfico a partir de um estudo que possui relação com os principais impactos ambientais a partir do fechamento de minas na Austrália entre 1981 e 2005, uma vez que demonstra a importância da atenção para o período de pós fechamento das mineradoras pelo mundo sendo que no Brasil, ainda são necessários estudos mais aprofundados por se ter muitos empreendimentos ainda em operação ou sem a realização do encerramento de forma correta. (Dias, 2013).



**Figura 15** - Proporção de impactos ambientais em fechamento de minas (Fonte: Dias, 2013).

### 5.3 TIPO DE FECHAMENTO DA MINA

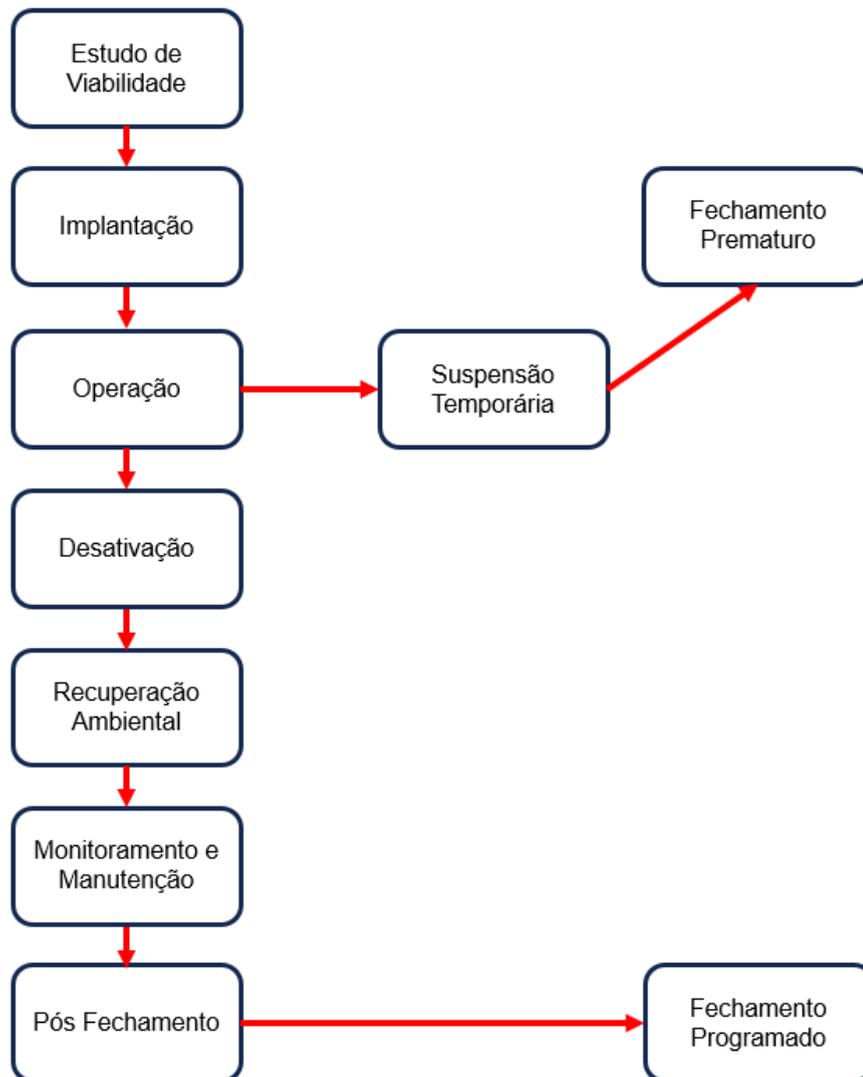
O plano de fechamento de mina se tornou uma ferramenta imprescindível para a continuidade das atividades de mineração e antes do início das mesmas, considerando que toda mina terá seu final e a partir desse tópico se tornou uma preocupação (Pinto, 2017).

Dessa forma, surgem definições sobre as etapas que compõem a vida útil de uma mineração demonstrada no Quadro 3 e que, de acordo com Pinto (2017), o fechamento de mina é uma etapa com características distintas a todas as outras que a antecedem.

| <b>Etapas da vida da mina</b>    | <b>Descrição das etapas</b>   |
|----------------------------------|---|
| Estudo de viabilidade            | Inclui a exploração, estudos de pré viabilidade, desenvolvimento de rotas de processo e estudos de viabilidade técnica e econômica e socioambiental                                 |
| <b>Início da implantação</b>     |   |
| Implantação                      | Atividades de construção e preparação da mina e da infraestrutura necessária, aquisição de terras e execução de programas compensatórios.   |
| <b>Início da produção</b>        |   |
| Operação                         | Produção, que contempla a expansão, mudanças de processos, novas atividades de pesquisa e a gestão do empreendimento.   |
| <b>Encerramento da produção</b>  |   |
| Desativação                      | Início pouco antes do término da produção mineral e é concluída com a remoção de todas instalações desnecessárias, estabilidade da área, recuperação ambiental e programas sociais. |
| <b>Fechamento</b>                |   |
| Pós Fechamento                   | Realização de monitoramento, manutenção e cuidados temporários ou permanentes e objetivos de fechamento.  |
| <b>Transferência de custódia</b> |   |
| <b>Uso futuro da área</b>        |   |

**Quadro 3** - Ciclo de vida de uma mina (Fonte: Adaptada de PINTO, 2017).

De Freitas (2014) apresenta um fluxograma na Figura 16, que remete aos dois principais tipos de fechamento de mina de acordo com a ANM, que separa em dois tipos principais, do tipo prematuro que se trata do estudo do presente trabalho e o fechamento programado, que remete ao plano apresentado no início do empreendimento, ou seja, nas fases de implementação.



**FIGURA 16** - Fluxograma de um processo de fechamento de mina (Fonte: Adaptado de De Freitas, 2014).

O tipo de PFM que se enquadra na mina, que é objeto de estudo do trabalho, é o de fechamento prematuro, uma vez que não foi planejado pela equipe técnica do empreendimento através do plano de fechamento da empresa.

Isso devido a suspensão temporária das atividades com a inviabilidade econômica no processo de extração da cava e o custo que é envolvido no processo de secagem da água e avanço da lavra.

A suspensão temporária depois de um determinado tempo leva ao fechamento definitivo da mina e se enquadra no fechamento prematuro por ser anterior ao previsto no plano inicial.

A partir das afirmações feitas referente aos tipos de fechamento que se definiu que o fechamento da mina que teve suas atividades suspensas se enquadraria como prematuro, por ser anterior ao período citado pela empresa nos planos anteriores.

#### **5.4 PROCESSO DE DESATIVAÇÃO**

A etapa que envolve a desativação de um empreendimento do porte da atividade de mineração, pode ser definida como uma das partes do processo do encerramento das atividades de extração, sejam elas por exaustão da reserva mineral, inviabilidade econômica da continuidade da extração (Dos Reis & Barreto, 2001).

Resende (2009) afirma que na América do Sul, o único País que possui regulamentação específica sobre gestão ambiental do fechamento e desativação de mina, é a Bolívia. A regulamentação desse processo, dispõe de conteúdo técnico e reforça que essa fase seja aplicada ainda durante a fase de lavra.

Sanchez (2013) cita que a desativação pode ser definida também como o período que se inicia antes do encerramento, tempos antes da confirmação do encerramento das atividades minerárias e tem como conclusão, a remoção de todas instalações que são consideradas como desnecessárias e permita o processo de recuperação da área.

É possível a realização do procedimento de desativação a partir de estruturas pontuais com a mina ainda em funcionamento e como exemplo disso, são as retiradas de estruturas que envolvem as pilhas e barragens (Sanchez, 2013)

Assim, De Freitas (2014) utiliza a etapa de desativação como precedente ao fechamento de mina e como guia para o mesmo, realizando o auxílio e introdução das etapas do fechamento de forma sustentável, sendo elas:

- 1) Remediação de solos e águas contaminados;
- 2) Estabilização dos taludes;
- 3) Preenchimento das escavações;
- 4) Reflorestamento.

Dessa forma, a desativação da mina envolve fatores desde a destinação e acompanhamento de itens que poderão influenciar negativamente e positivamente dentro da área em que o empreendimento está inserido e pode variar entre um caso e outro.

Porém para o caso atual da empresa utilizada como base no estudo, para o caso dos equipamentos, estruturas da mina (obras, escritórios, estocagem de suprimentos) que serão desativados, passaram por um processo de realocação para outras áreas em atividade do empreendimento.

Para os equipamentos móveis (escavadeiras, pá carregadeiras e caminhões), pode ocorrer ainda um dimensionamento de frota, fazendo com que possa haver um processo de venda dos mesmos para outras empresas dando uma destinação para os mesmos.

## **5.5 PROCESSO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL**

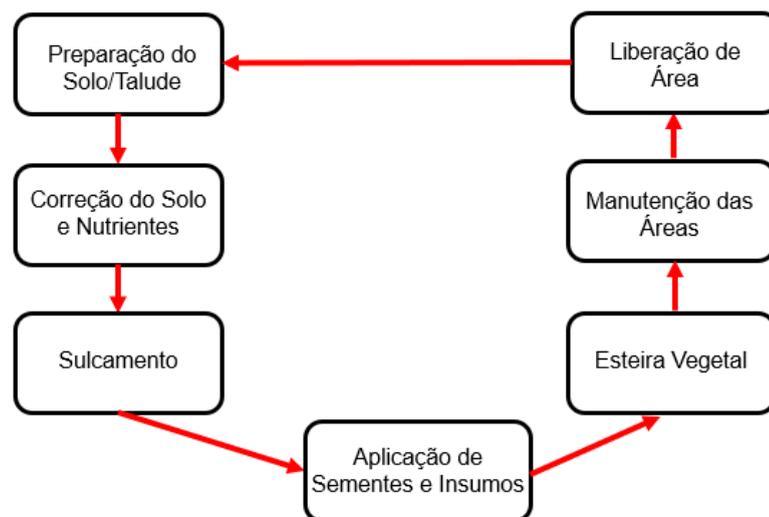
Conforme estabelecido em manual do IBAMA (1990), o preenchimento da cava pode ser realizado por disposição de estéril a partir da retirada de material de outras minas e ter cuidado com a espessura das camadas com a inclusão do sistema de drenagem já nesta etapa visando o desvio de possíveis corpos hídricos e dessa forma protegendo da ação de erosões ou do tempo (Brasil, 1990). A depender do tipo do solo a recuperação ambiental, é sugerido que os taludes tenham inclinação de 40% de declividade e assim se ter a melhor recomposição da topografia (Brasil, 1990).

A recuperação das áreas degradadas está na sua parte relacionada a movimentações de terra, alteração na topografia e revegetação em todas as estruturas da mina (Cavas, barragens e pilhas de estéril) de forma que se tenha a garantia de recuperação não somente ao fim das operações, mas durante os processos de produção (Flores, 2006). A necessidade de recuperação se dá a partir de projetos que sejam adequados e coerentes com as características do ambiente em que o empreendimento está inserido. Para elaboração do projeto, Simoni (2017) cita fatores importantes:

- 1) Avaliação fitogeográfica da região que contém a área que se deseja recuperar;

- 2) Definição prévia do uso que se pretende destinar à área a ser recuperada;
- 3) Identificação da vegetação de origem da área a se recuperar;
- 4) Levantamento topográfico da área a ser recuperada;
- 5) Estudo físico-químico do solo;
- 6) Definição das espécies que deverão ser introduzidas;
- 7) Escolha do modelo de plantio mais adequado;

Dessa forma, para cada superfície degradada deve se ter um projeto, mesmo que não seja possível que a área retorne para a formação vegetal semelhante anteriormente ao início das atividades. Sendo elaborado na Figura 17 um esquema geral das etapas de recuperação ambiental de forma que possa haver a garantia das condições necessárias para o plantio e crescimento de vegetação saudável (Simoni, 2017).



**Figura 17** - Esquema de recuperação de área degradada (Fonte: Adaptada de Simoni, 2017).

O processo de recuperação ambiental no estudo de caso referente às áreas degradadas se dará a partir do preenchimento da cava por material estéril ou rochoso, logo após será disposto um sistema de drenagem visando a não sobrecarga do escoamento da água superficial e por fim será posto solo orgânico (cobertura vegetal) conforme demonstrado na Figura 18.



**Figura 18** - Modelo de área com recuperação ambiental (Fonte: Autor, 2024).

Todo o material utilizado na recuperação ambiental da mina corticeira é proveniente das outras minas da empresa que estão em operação e tem como objetivo a recuperação da topografia original da área ou o mais próximo dela.

Os taludes que não possam ser cobertos de tal maneira e por consequência ficarem expostos, receberão o solo orgânico nos pés dos taludes que auxiliarão na reconstituição da área e regeneração de gramíneas de espécies nativas para grama comum (casos de azevém, milho ou capim sudão).

A técnica de aplicação se dá a partir do lançamento das sementes das gramíneas em proporções de 10 kg/ha. Esse tipo de semeadura pode auxiliar na estabilidade do talude, estabilidade e no reflorestamento do local, com o desenvolvimento atrelado ao clima e a adaptação ao local de plantio.

Já o reflorestamento se dará a partir do plantio de árvores nativas e eucaliptos nas áreas do entorno da mina corticeira, casos de pilhas de estéril e margens dos arroios mangueirão e salso, como medidas compensatórias e após taludes bem estabilizados e com as gramíneas em estágio avançado de semeadura.

Sendo descrito o plantio compensatório realizado no período de 2020 a 2023 no Quadro 4.

**Quadro 4** - Total de mudas plantas no período de 2020 a 2023 e espécies da região.

| <b>Espécie Nativa</b>           | <b>Total</b>    |
|---------------------------------|-----------------|
| Aroeira-piriquita               | 265             |
| Pitangueira                     | 215             |
| Salgueiro                       | 80              |
| Açoita-cavalo                   | 80              |
| Cedro                           | 80              |
| Aroeira-preta                   | 60              |
| Guabiroba                       | 105             |
| Araçá                           | 230             |
| Araticum                        | 100             |
| Aroeira-vermelha                | 175             |
| <b>Total de mudas plantadas</b> | <b>1.390,00</b> |

Como parte do processo de manutenção do plantio das mudas nativas, serão tomadas medidas quanto aos tratos culturais das mesmas visando o sucesso do plantio e recuperação das áreas, a partir da realização das etapas citadas abaixo:

- Tutoramento com estrutura para orientar o desenvolvimento da muda (Figura 19);
- Coroamento;
- Combate a pragas (formigas);
- Replântio, se necessário;
- Irrigação em períodos prolongados de seca;

As mudas necessitam de uma altura mínima de 1,0 metro de parte aérea com admissão de perda de 10% da quantidade em que foi realizado o plantio.

O Quadro 5 demonstra o cronograma utilizado pelo empreendimento para o processo de plantio e reflorestamento para recuperação ambiental das áreas de aterro da empresa.

**Quadro 5** - Cronograma de plantio seguido pela empresa para o ano de 2021.

| Operações / Mês       | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coveamento            |   |   |   |   | X | X | X |   |   |   |   |   |
| Plantio               |   |   |   |   | X | X | X |   |   |   |   |   |
| Instalação de tutores |   |   |   |   | X | X | X |   |   |   |   |   |
| Replântio             |   |   |   |   |   |   |   | X | X |   |   |   |
| Combate à formiga     |   |   |   |   | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Tratos Culturais      |   |   |   |   | X | X | X |   | X |   | X |   |
| Monitoramento         |   |   | X |   |   | X |   |   | X |   |   | X |



**Figura 19** - Modelo de plantio de mudas nativas em talude com processo de recuperação adiantado (Fonte: Autor, 2023).

Bitar (1997), cita ainda a importância da manutenção das áreas preservadas no entorno, que podem contribuir para a diversificação do local, a

partir do fornecimento do banco de sementes para o ecossistema degradado pela extração mineral.

## 5.6 ANÁLISE DE RISCOS

Durante a fase de fechamento são levantados os possíveis riscos que o empreendimento pode causar ou sofrer ao meio ambiente e o entorno da área da cava de extração de minério enquanto ocorre o fechamento e após o período. Os riscos podem englobar agentes físicos, químicos e biológicos e dentro de cada grupo existem riscos que podem ocorrer com certa frequência enquanto outros possuem uma possibilidade remota de acontecerem quando em grande quantidade. Dentre esses riscos ambientais que podem ser citados a instabilidade de taludes que possam formar erosões e deslizamentos, vazamento de óleos e graxas proveniente da movimentação dos maquinários, contaminação dos recursos hídricos e assoreamento das valetas dos sistemas de drenagem de águas da chuva.

De acordo com De Freitas (2014), no Quadro 6 é possível ser citado os demais riscos que podem ocorrer na região devido a realização do plano de fechamento em mina próxima, porém da mesma empresa estudada. As análises de riscos envolvem uma metodologia que torna possível elencar níveis para os tipos de riscos da região, mas com uma particularidade entre a mina mato grande e a corticeira que foi objeto de estudo.

**Quadro 6** - Análise de riscos para o plano de fechamento (Fonte: De Freitas, 2014).

| <b>Eventos Perigosos</b>  | <b>Categoria de Risco</b> |
|---|---------------------------|
| Afogamento de pessoas   | Baixo                     |
| Ataque por animais  | Médio                     |
| Atropelamento de animais  | Baixo                     |
| Atropelamento de pessoas  | Baixo                     |
| Derramamento ou vazamento de óleos e graxas de veículos e equipamentos durante a movimentação, abastecimento e manutenção | Médio                     |
| Derramamento ou vazamento de produtos químicos  | Baixo                     |
| Desabamento de estruturas   | Baixo                     |
| Erosão e/ou assoreamento das drenagens de águas pluviais  | Baixo                     |

Ainda segundo De Freitas (2014), às categorias de riscos foram determinados da seguinte forma:

1. Baixo: de 0 (zero) a 2 (dois) incidentes no período de 12 meses;
2. Médio: de 2 (dois) a 10 (dez) incidentes no período de 12 meses;
3. Alto: acima de 10 (dez) incidentes no período de 12 meses.

Mas por se tratar de uma área de mineração mais próxima de residências, indústrias vizinhas e maior trânsito devido aos acessos menores, foram englobados maiores eventos de perigo. Já na mina alvo de estudo, tem o acesso com maior restrição e menos trânsito de veículos ou pedestres, restringindo somente a operação e sendo definidos os riscos somente voltado à estrutura de taludes da mina e problemas a partir de maquinários.

E após o período de fechamento a análise de risco segue, porém com os monitoramentos realizados no item 4.8 do presente trabalho.

## **5.7 USO FUTURO DA ÁREA RECUPERADA**

Bitar (1997) afirma que existem dois tipos de situações que podem influenciar o uso futuro de áreas degradadas pela atividade de mineração, sendo elas de forma desordenada caracterizado pelo abandono da área e áreas com implementação de projeto pós fechamento sendo dividido em 24% para o primeiro caso e 76% para os encerramentos planejados.

Isso se dá em áreas com maior índice populacional em que se tem a necessidade de moradia, por exemplo, mas de acordo com Bitar (1997), as características das áreas degradadas com fechamento desordenado possui grande variação no processo de degradação em que alguns já existiam antes da desativação.

Os tipos de uso desordenado são moradias ou descarte irregular de resíduos que geram riscos para população geral e meio ambiente dada a instabilidade do local. Tendo os riscos de erosões e escorregamentos que são agravados pela instabilidade do bloco rochoso, além da contaminação de solo e água não somente do local, mas de áreas próximas (Bitar, 1997).

Já o uso futuro planejado, de acordo com estudo de PRADs realizado por Bittar (1997), muitos deles são voltados para preservação e conservação ambiental com foco em pastagens, atividade agrícolas, reflorestamento comercial, áreas de tratamento de água e esgoto e disposição de resíduos. Porém, são englobados também os usos como lazer, recreação, sistema viário e áreas que visam a educação.

Todos esses usos apontados têm como condicionante o caráter de uso público ou privado da área, assim como em função da propriedade do solo e comunidade local no entorno do empreendimento e contexto de crescimento e evolução dos contexto metropolitano (Bitar, 1997).

Com a finalização do processo de fechamento de mina e recuperação ambiental da área, o local pode receber diversos fins de uso futuro, desde áreas de lazer, agricultura, entre outras. Isso devido ao fato de que não haverá nenhuma degradação que a torne inutilizável ou que não haja vegetação nativa que seja originada de plantio compensatório.

A área em questão não passará por descomissionamento por se tratar de um local de propriedade do empreendimento e não existe previsão de utilização da área para fins econômicos quanto ao plantio ou uso do solo, tendo como o primeiro objetivo sendo a recuperação para manter a sustentabilidade e qualidade ambiental do local.

O objetivo de uso futuro do empreendimento é a utilização do local como área de lazer a partir da exploração do potencial turístico da região e o lago formado a partir da água da chuva e escoamento do entorno que faz com que se forme o lago mostrado na Figura 20.

Dessa forma, a partir do momento em que o objeto de estudo tem como principal característica de ser uma área de propriedade privada e distância relevante da população do município, o uso futuro será a criação de uma área de lazer voltado para o contexto turístico em que a região possui a partir da manutenção do lago no centro da área em que era realizada a extração do minério, se encaixando no uso futuro planejado, mesmo se tratando um encerramento prematuro.



**Figura 20** - Lago que será mantido para uso futuro da cava de extração (Fonte: Autor, 2023).

## **5.8 MONITORAMENTO AMBIENTAL**

O monitoramento ambiental se trata da organização e do acompanhamento das medidas recomendadas para prevenir e mitigar os impactos da operação do empreendimento durante e após o fechamento de mina e desativação.

Tem como um dos objetivos a garantia do desempenho ambiental adequado, integrando todos os programas de monitoramento necessários além do cumprimento dos compromissos ambientais assumidos mediante aprovações anteriores a isso, evitando uma visão baixa do processo de recuperação (Diamond, 2005).

O monitoramento deve contar com ações coordenadas, que sigam a legislação aplicável e avaliando continuamente a qualidade ambiental, o monitoramento ambiental que desenvolva os mecanismos eficientes para minimização ou eliminação das fontes de impacto encontradas durante o processo e se tornar um mecanismo que acrescente conhecimento sobre os fatores relacionados com o restabelecimento da fauna e flora (Simoni, 2017).

Simoni (2017) cita quatro componentes que fazem parte de diretrizes de monitoramento da recuperação de áreas degradadas, que são consideradas como bons programas.

- 1) Controle e monitoramento constante das áreas de referência sem influência operacional da mineração;
- 2) Registros dos procedimentos de recuperação ambiental realizados;
- 3) Monitoramento inicial da recuperação ambiental;
- 4) Monitoramento a longo prazo (dois ou três anos depois), a depender do nível de sucessão do ecossistema da região;

A eficácia do monitoramento deve ser acompanhada preferencialmente por meio de indicadores que podem ser definidos como indicadores de desempenho, para que os mesmos sejam ajustados e se tenha o conhecimento do sucesso da recuperação (Bitar, 1997).

De acordo com Bitar (1997), os resultados insatisfatórios devem exigir a reavaliação e a reformulação das medidas executadas, assim como a complementação ou substituição.

Um exemplo de monitoramento com base na literatura é referente ao retorno da fauna que ocorre conforme diretrizes estabelecidas pelo IBAMA (1990), com acompanhamento a partir de levantamento periódico para se ter conhecimento das espécies que estão se estabelecendo no local e a realização de verificação de falhas que possam ocorrer (Brasil, 1990).

Ainda conforme o IBAMA (1990) esse monitoramento deve ser realizado com a técnica indireta de atração da fauna, dessa forma o monitoramento foi estabelecido de forma mensal para acompanhamento próximo.

O monitoramento é realizado por técnico responsável pelo projeto de recuperação a partir do monitoramento do desempenho dos elementos vegetativos, biodiversidade das espécies, comparação de tempos de espaço diferentes, questões de solo e avaliação da continuidade ou troca do tipo de intervenção (Rodel, 2021).

### 5.8.1 MONITORAMENTOS REALIZADOS

Os monitoramentos ambientais que serão realizados têm como base os parâmetros de maior influência junto a população e podem impactar direta e indiretamente nas comunidades vizinhas próximas ao empreendimento, dessa forma se faz necessário a realização dos monitoramentos descritos na sequência:

- a) **Topografia / Estabilidade dos taludes:** O monitoramento da topografia dos taludes após o fechamento se dá visando a estabilidades do aterro e sua medição é feita através da utilização da estação total ou equipamentos com funcionamento via satélite que alcançam áreas de maior distância com frequência mensal.
- b) **Recursos hídricos:** O monitoramento dos recursos hídricos se dá devido a possibilidade de contaminação dos corpos hídricos do entorno do empreendimento. Para isso são realizadas análises químicas da água superficial em pontos que ficam localizados junto às drenagens próximas a área da mina (Esses monitoramentos englobam a análise de alcalinidade, condutividade, demanda bioquímica e química de oxigênio (DBO e DQO), pH, sólidos suspensos e sólidos totais) possuindo frequência semestral).
- c) **Solos:** O monitoramento dos solos engloba a qualidade do solo que foi disposto na área da mina para que pudesse ser feito o reflorestamento do ambiente e sua qualidade se torna importante para conhecimento da evolução do mesmo que condiciona o sucesso do manejo, sendo realizado análises físicas e químicas com frequência trimestral.
- d) **Emissões Atmosféricas:** As emissões atmosféricas englobam os gases e poeira gerado após a finalização empreendimento devido o transporte de sedimentos a partir das ações do tempo (ventos) para áreas do entorno do empreendimento, os monitoramentos dos níveis de poeira podem se dar por meio de visualização de campo e sua evolução com frequência mensal.

- e) **Vegetação:** O monitoramento da vegetação se dá a partir do acompanhamento do desenvolvimento das mudas contando com registros fotográficos, manutenções e irrigação se necessário. Além da realização do controle de pragas, principalmente formigas que costumam causar danos aos tipos de mudas plantados, esse monitoramento terá frequência mensal.
- f) **Retorno da Fauna:** Os monitoramentos serão realizados até o momento em que os órgãos responsáveis pelas fiscalizações e regulamentação dos processos liberem a empresa da responsabilidade da área e conseqüentemente de danos à área depois do período de recuperação da área finalizado.

O monitoramento da fauna na área da cava recuperada se dá a partir da análise da abundância, avanço e comportamento das espécies nas áreas recuperadas, contando com frequência trimestral do monitoramento.

**Conservação e Preservação Ambiental:** O plano de conservação e preservação ambiental envolve os controles de acesso à área que passou pelo processo de recuperação ambiental, passaram por monitoramento por câmeras e vigilância presencial durante 24h diárias, de forma que evite a realização de caça e pesca no local conforme as Figura 21 e 22.



**Figura 21** - Placa de advertência para proibição e controle de acessos (Fonte: Autor, 2023).



**Figura 22** - Placa de advertência para proibição e controle de acessos (Fonte: Autor, 2023).

De acordo com Rodel (2021), a etapa de monitoramento do processo de recuperação de áreas degradadas é um dos mais importantes por se tratar de um processo que envolve o diagnóstico, tomada de decisões e intervenção a partir da análise dos resultados apresentados após a conclusão do mesmo.

Segundo Rodel (2021), Rodrigues et al (2013) cita a importância do monitoramento pelo fato de auxiliar na recuperação e melhoria dos processos de recuperação.

“O monitoramento é capaz de trazer o entendimento dos parâmetros e os processos envolvidos na recomposição. Esse processo se repete no tempo, portanto, a recomposição deve acontecer em etapas, iniciando com áreas relativamente pequenas. Os resultados fornecem orientação para novas intervenções, permitindo encontrar erros e corrigi-los nos próximos plantios. Ações importantes no monitoramento: testar, aprender e corrigir. A Estrutura, diversidade e composição da vegetação são parâmetros comumente avaliados na restauração ecológica, pois são capazes de predizer o sucesso de recomposição da vegetação. Parâmetros simples para

avaliar sucesso são densidade (número de indivíduos/ área) e riqueza (número de espécies) de plantas e cobertura do solo por diferentes formas de vida (vegetação competitiva, solo exposto e árvores, arbustos e herbáceas nativas).”

Dessa forma, as medidas de recuperação carecem de vistorias periódicas, para manutenção das condições necessárias visando o cumprimento dos objetivos preestabelecidos no plano de recuperação (Bitar, 1997).

### 5.9 CRONOGRAMA FÍSICO DO PLANO DE FECHAMENTO DE MINA

O cronograma físico apresentado no Quadro 7 representa o planejamento do que será realizado na cava de extração durante o fechamento e recuperação ambiental da área desde o início do presente trabalho em 2021 ainda sem prazo para conclusão do mesmo.

**Quadro 7** - Cronograma físico para o PFM a partir do ano de 2021 (Fonte: Autor, 2024).

| Operações  | Cronograma para os anos de 2021 / 2022 / 2023 / 2024 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | meses  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|  | J  | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| Carregamento e transporte                                      |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Disposição de estéril  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| ConFIGURAção de taludes da pilha de estéreis                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Revegetação com gramíneas e arbóreas                           |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Manutenção da vegetação implantada                             |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Manutenção dos sistemas de drenagem da pilha                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Manutenção nas estradas e acessos                              |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Controle dos processos erosivos na pilha                       |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Programa de monitoramento de pilhas de estéril                 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Programa de monitoramento de águas superficiais e de efluentes |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Monitoramento das medidas implantadas                          |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades de mineração são consideradas como prejudiciais muitas vezes da forma como ocorre o processo de desativação dos empreendimentos e suas estruturas, em que é deixado com um caráter e aspecto visual de abandono na região em que ocorria a extração de determinado bem mineral o que muitas das vezes torna complexa a inserção atualmente de novas empresas de mineração nos municípios e era de certa forma uma característica comum de minerações antigas no País.

A partir desse ponto é que o plano de fechamento de mina se tornou um processo vital para o estabelecimento de um empreendimento em diversas regiões do Brasil, por envolver toda a comunidade e um planejamento a longo prazo que não discute somente a vida útil da mina ou do empreendimento no local (caso da empresa que foi objeto de estudo do presente trabalho que possui mais de uma área de extração), mas também o período pós extração.

A elaboração do plano de fechamento de mina e a consequente recuperação das áreas degradadas pela atividade de mineração tornou-se uma tarefa complexa e essencial para servir como forma de garantia de sustentabilidade da região que sofrerá os diversos impactos de um empreendimento do porte de uma mineradora sem a exclusão de nenhum bem mineral.

O plano evidencia a necessidade de contemplação desde a recuperação ecológica das áreas, mas principalmente dos impactos socioeconômicos nas comunidades que estarão no momento de funcionamento do empreendimento sendo beneficiadas com a geração de empregos e desenvolvimento da região.

Para isso, deve se ter o engajamento por todas as partes envolvidas no processo e principalmente demonstrar a relevância que eles têm e o papel de cada um para que o processo possa ter evolução, contando com consultas públicas, reuniões frequentes, necessidades de todas as partes e transparência dos processos.

Outro ponto crucial para que o plano de fechamento possa ocorrer de forma responsável está na forma em que ocorrerá a recuperação da área degradada a partir da restauração do ambiente que deve ser planejada

englobando o restabelecimento da biodiversidade e funcionalidade ecológica da área o mais fiel possível ao antes do empreendimento, uma vez que, a recuperação de solos e reflorestamento se tornam essenciais para esse processo acompanhados de medidas de controle de erosão e prevenção de contaminação dos corpos hídricos são prioridades.

A necessidade da promoção da sustentabilidade econômica das comunidades locais após o fechamento da mina se torna essencial devido a possibilidade de criação de programas de treinamento e capacitação, o que permite que os trabalhadores se realoquem para outras áreas de trabalho, além de incentivar o empreendedorismo local.

Dessa forma, para que o plano de fechamento de mina e recuperação das áreas degradadas carece de uma abordagem completa e integrada de maneira que os principais aspectos da região em que um empreendimento está instalado sejam integrados, sendo eles ambientais, sociais e econômicos.

A partir do momento em que esses pilares da sustentabilidade e transparência com todos os envolvidos em um projeto são capazes de garantir o sucesso de maneira eficaz e com benefícios para todos e na vida útil visando o médio e longo prazo.

## **7. REFERÊNCIAS**

\_\_\_\_\_. **Decreto n. 62.934, de 2 de julho de 1968.** Aprova o Regulamento do Código de Mineração. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2 jul. 1968.

\_\_\_\_\_. **Decreto n. 97.632, de 10 de abril de 1989.** Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 12 abr. 1989.

**A importância da mineração no Brasil.** (2020, novembro 12). Verum Partners. <https://verumpartners.com.br/a-importancia-da-mineracao-no-brasil/>

ALMEIDA, D. S. **Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD).** In: **Recuperação ambiental da Mata Atlântica [online].** 3. ed. rev. e ampl. Ilhéus, BA: Editus, 2016, p. 140-158. ISBN 978-85-7455-440-2. Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 20 de dezembro de 2023.

AMARAL, Luise Andrade. **Estratégia de utilização de topsoil na restauração ambiental**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.

BITAR, Omar Yazbek. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo**. 1997. 185 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BRASIL, Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 2006.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil DE 1988**. Nós, representantes do povo brasileiro, reunidos em Assembleia Nacional Constituinte para instituir um Estado Democrático [...]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm#art225](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm#art225). Acesso em: 20 de Maio de 2024.

BRASIL. **LEI NÚMERO 6.567, DE 24 DE SETEMBRO DE 1978**. Dispõe sobre regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais [...]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6567.htm#:~:text=L6567&text=LEI%20No%206.567%2C%20DE%2024%20DE%20SETEMBRO%20DE%201978.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20regime%20especial%20para,especifica%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6567.htm#:~:text=L6567&text=LEI%20No%206.567%2C%20DE%2024%20DE%20SETEMBRO%20DE%201978.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20regime%20especial%20para,especifica%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs). Acesso em: 22 nov. 2021.

BRASIL. **Lei NÚMERO 9605, DE 12 DE FEVEREIRO DE 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente [...]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm). Acesso em: 28 nov. 2022.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em 04 dez. 2023.

CAMELO, M.S.M. **Fechamento de mina: Análise de casos selecionados sob os focos, ambiental, econômico e social**. 2006. 107p. Dissertação

(Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

DAGOBERTO BARCELLOS. **DB Histórico**. Disponível em: <<http://www.grupodb.com.br/historico.ph>>

Diamond, J. M. 2005. Colapso como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso. São Paulo: Record.

DIAS, Elvira Gabriela Ciacco da Silva. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no estado de São Paulo: a etapa de acompanhamento**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, 2001.

DIAS, Jardel Carvalho. **Avaliação do fechamento de mina a partir dos processos minerários da Superintendência do DNPM de Minas Gerais**. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, 2013.

DOS REIS . N.L.; BARRETO. M.L., **Desativação de Empreendimento Mineiro no Brasil**. São Paulo: Signus Editora, 2001.

Elizabeth, C. (2022, maio 20). **Plano de Fechamento de Mina (PFM) Quando Devo Apresentar? Jazida**.  
<https://blog.jazida.com/plano-de-fechamento-de-mina-pfm-quando-devo-apresentar/>

FLÔRES, J. C. do C. **Fechamento de mina: aspectos técnicos, jurídicos e sócio- econômicos**. 2006. 309p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FREITAS, Joiceane Leão de. **Plano de Fechamento para a Mina de Calcário do Mato Grande, Caçapava do Sul**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em tecnologia em mineração) – Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2014.

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente. 1990. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: Técnicas de revegetação**. Brasília.

Disponível em:<  
<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/ManualdeRecuperacaodeareasDegradadaspelaMineracao.pdf>>.

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente. 2001. **Manual de Normas e Procedimentos para o Licenciamento Ambiental no Setor de Extração Mineral.** Brasília. Disponível em:<  
[http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/MANUAL\\_mineracao.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/MANUAL_mineracao.pdf)>

Jr, C. (2021, fevereiro 3). **Lavra subterrânea: O que é, quais são os métodos e sua regulamentação.** Cristal Jr. <https://cristaljr.com/lavra-subterranea/>

**Lavra a céu aberto: tudo o que você precisa saber sobre a NRM 02.** (2020, novembro 11). Com.br. <https://www.igneabr.com.br/noticias/procedimentos-tecnicos/lavra-a-ceu-aberto-tudo-o-que-voce-precisa-saber-a-nrm02/>

MARINA, Carine. **A responsabilização civil das empresas de mineração e o dever de recuperação de áreas degradadas.** 2021. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade de Caxias do Sul, Centro de Ciências Jurídicas, Bento Gonçalves, 2021.

Minera Jr. **SAIBA MAIS SOBRE O PLANO DE APROVEITAMENTO ECONÔMICO (PAE)** Disponível em:<  
[https://minerajr.ufop.br/blog.plano\\_de\\_aproveitamento\\_economico.html#:~:text=O%20que%20%C3%A9%3A](https://minerajr.ufop.br/blog.plano_de_aproveitamento_economico.html#:~:text=O%20que%20%C3%A9%3A)>. Acesso em: 11 jun. 2024.

NERI, Ana Claudia. **Tratamento de incertezas no planejamento do fechamento de mina.** 2013. 369 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

NRM 20: Suspensão, **Fechamento de Mina e Retomada das Operações Mineiras.**, Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

Oliveira Júnior, J. B. 2001. **Desativação de empreendimentos mineiros: estratégias para diminuir o passivo ambiental.** Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, p.19

PARANHOS, R. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração em regiões de interesse patrimonial**. Dissertação de Mestrado—Escola de Arquitetura e Urbanismo da UFMG: [s.n.].2012.

PEREIRA, Amanda de Sales. **Plano de fechamento de mina e adequação legal: O caso da mina de Águas Claras, Nova Lima, Brasil**. 2020. 185 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

PINTO, Gabriela Salazar Silva. **Fechamento de mina e a reabilitação do espaço urbano afetado**. 2017. 136f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Direito, Belo Horizonte, 2017.

**Plano de Fechamento de Mina. ([s.d.]**. Agência Nacional de Mineração. Recuperado 4 de junho de 2024, de <https://www.gov.br/anm/pt-br/acao-a-informacao/perguntas-frequentes/plano-de-fechamento-de-mina>

**Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD**. (2015, março 17). IMA - Instituto do meio Ambiente. <https://www2.ima.al.gov.br/gestao-florestal/plano-de-recuperacao-de-areas-degradadas-prad/>

POVEDA, E. P. R.; **A eficácia legal na desativação de empreendimentos minerários**. São Paulo: Signus Editora, 2007. 238p.

POVEDA, Eliane Pereira Rodrigues. **A eficácia legal na desativação de empreendimentos minerários**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de mestrado, 2006.

RESENDE, Alessandro Gomes. **Análise da aplicabilidade do plano de fechamento de mina no plano de aproveitamento econômico**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia de Minas, Ouro Preto, 2009.

RÖDEL, Jéssica Teifke. **Plano de recuperação de área degradada pela mineração de saibro: estudo de caso no município de Sentinela do Sul (RS)**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gestão Ambiental) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Universitária em Tapes, Tapes, 2021.

SÁNCHEZ, L. E.; SILVA-SÁNCHEZ, A. C. N. **Guia para o planejamento do fechamento de mina**. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração, 2013.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

Silva, J. L. (2023, março 20). **Calcário: Veja como ele pode ser aplicada em diversas soluções para o agro, indústria e construção**. Com.br. <https://www.gecal.com.br/calcario-veja-como-ele-pode-aplicado-em-diversas-solucoes>

SIMONI, Bruno Stefan De. **Avaliação do desempenho da recuperação de áreas degradadas pela mineração utilizando análise multicritério: estudo de caso da Mina Córrego do Sítio**. 2017. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental) – Núcleo de Pesquisas e Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

Sousa, R. (2019, abril 25). **Mineração**. Mundo Educação. <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/mineracao.htm>

SOUZA, P. A.; HERRMANN, H. **Avaliação econômica dos direitos minerários – documento preliminar**. Brasília, Divisão de Fomento da Produção Mineral, 1980. 62p.