

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG

CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO
DE RECURSOS NATURAIS – PPGEGRN**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO SUSTENTÁVEL
PARA O APROVEITAMENTO DE CAULIM POR UMA
PEQUENA EMPRESA DE MINERAÇÃO NO EQUADOR, RN**

ORIENTANDO: ANTÔNIO PEDRO FERREIRA SOUSA

**ORIENTADOR: PROF. Dr. MATHEUS AUGUSTO DE BITTENCOURT
PASQUALI**

CAMPINA GRANDE, PB

2023

ANTÔNIO PEDRO FERREIRA SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO SUSTENTÁVEL
PARA O APROVEITAMENTO DE CAULIM POR UMA
PEQUENA EMPRESA DE MINERAÇÃO NO EQUADOR, RN**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, área de concentração Engenharia de Recursos Naturais, linha de pesquisa Mineração e Sustentabilidade, em cumprimento as exigências legais para a defesa de tese, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais.

**ORIENTADOR: PROF. Dr. MATHEUS AUGUSTO DE BITTENCOURT
PASQUALI**

CAMPINA GRANDE, PB

2023

S725d

Sousa, Antônio Pedro Ferreira.

Desenvolvimento de um modelo sustentável para o aproveitamento de caulim por uma pequena empresa de mineração no Equador, RN / Antônio Pedro Ferreira Sousa – Campina Grande, 2024.

125 f. : il.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Prof. Dr. Matheus Augusto de Bittencourt Pasquali."

Referências.

1. Sustentabilidade. 2. Pequenas Empresas. 3. Caulim. 4. Formalização Célere. 5. Aspectos Ambientais e Socioeconômicos. I. Pasquali, Matheus Augusto de Bittencourt. II. Título.

CDU 502.131.1(043)

ANTÔNIO PEDRO FERREIRA SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO SUSTENTÁVEL
PARA O APROVEITAMENTO DE CAULIM POR UMA
PEQUENA EMPRESA DE MINERAÇÃO NO EQUADOR, RN**

Tese apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento as exigências legais para a defesa de tese e obtenção do título de doutor.

AVALIADO em: 27/12/2023

Professor Dr. Matheus Augusto Bittencourt Pasquali (CTRN/PPEGRN/UFPG)
Orientador

Professora Dra. Viviane Farias Silva (CSTR/PPEGRN/UFPG)
Examinadora Interna

Professor Dr. Sérgio Murilo Santos de Araújo (CH/PPEGRN/UFPG)
Examinador Interno

Professor Dr. Robson Ribeiro Lima (CTG/PPGEMINAS//UFPE)
Examinador Externo

Professor Dr. Marcondes Mendes de Souza (DIAREN/IFRN)
Examinador Externo



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata da **Trigésima Terceira** sessão pública de Defesa de **Tese** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Ao Vigésimo Sétimo dia do mês de Dezembro de 2023, às **08:30** horas **de forma Híbrida** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação “Stricto Sensu” da UFCG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFCG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores Prof.(a) Dr.(a) **Matheus Augusto de Bittencourt Pasquali/PPGEGRN**, como orientador(a) principal; Prof.(a.) Dr.(a.) **Viviane Farias Silva/PPGEGRN** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a.) **Sergio Murilo Santos de Araújo /PPGEGRN** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a) **Robson Ribeiro Lima/UFPE**, como membro externo; Prof.(a.) Dr.(a) **Marcondes Mendes de Souza/IFRN**, como membro externo, a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN 79/2023** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com **Sr Antônio Pedro Ferreira Sousa** candidato(a) ao Grau de **Doutor** em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor (a) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a.) Dr(a). **Matheus Augusto de Bittencourt Pasquali/PPGEGRN**, anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da **Tese** sob o título: **“DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO SUSTENTÁVEL PARA O APROVEITAMENTO DE CAULIM POR UMA PEQUENA EMPRESA DE MINERAÇÃO NO EQUADOR - RN”**. Área de Concentração: **Engenharia de Recursos Naturais**, orientada pelo(a) Professor(a) Dr. **Matheus Augusto de Bittencourt Pasquali**. O(A) presidente concedeu à palavra o(a) candidato(a) para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do(a) candidato(a), o(a) Presidente iniciou a segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição do(a) candidato(a). Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos presentes para, em sessão secreta, avaliar a

apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembléia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito APROVADO (**APROVADO, REPROVADO**), o qual será atribuído após O(a) candidato(a), no prazo máximo de 30 (trinta) dias, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pelo Coordenador, pelo candidato e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande,
27 de Dezembro de 2023.

Assinaturas:

Coordenadora do PPGEGRN _____

Candidato(a) _____

Presidente _____

Examinador _____

Examinador _____

Examinador _____

Examinador _____



Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA, VICE-COORDENADOR**, em 21/02/2024, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ROBSON RIBEIRO LIMA, Usuário Externo**, em 21/02/2024, às 12:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO MURILO SANTOS DE ARAUJO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/02/2024, às 18:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MATHEUS AUGUSTO DE BITTENCOURT PASQUALI, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/02/2024, às 06:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARCONDES MENDES DE SOUZA, Usuário Externo**, em 06/03/2024, às 11:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4102519** e o código CRC **5172AEDC**.

Agradecimentos

A **Deus e Nossa Senhora, Mãe de Jesus** “*Oh! Maria concebida sem pecado, rogai por nós que recorremos a vós*” & “*Maria passa na frente*”.

Aos meus pais, minha Mãe **Maria José** e meu Pai **Aldi Sousa** (*in memoriam*), aos meus irmãos, minhas tias e tios, meus primos e primas, demais familiares por todo carinho dedicado compreensão e confiança no meu trabalho. Sem vocês, eu não seria o que sou hoje.

À minha esposa, **Claudia Simone Bezerra**, pelo inestimável apoio, respeito, resiliência, amor e muito carinho. O meu retorno ao doutorado e construção desse projeto de tese é graças ao seu incentivo permanente e de nossos filhos.

Aos nossos filhos, **Bruno, Daniel, Rebeka, Pedro Gabriel e Mariana**, pela compreensão e apoio nos momentos difíceis. Todo esse esforço dedico a vocês.

Ao meu orientador, **Professor Dr. Matheus Augusto Bittencourt Pasquali**, meu eterno agradecimento por ter cumprido de forma exemplar a sua missão de orientador.

Ao meu amigo, **Professor Dr. Robson Ribeiro Lima**, pelo incentivo e colaboração para o meu retorno ao PPEGRN, elevando de forma permanente a minha autoestima.

À **Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão dos Recursos Naturais – PPEGRN**, em especial à Vice Coordenadora, **Professora Dra. Viviane Farias Silva**, por seus ensinamentos, orientação e apoio ao longo dessa caminhada.

Ao membro interno da banca examinadora desta tese, **Professor Dr. Sérgio Murilo Santos de Araújo**, pelos seus ensinamentos e suas valiosas contribuições e recomendações para a melhoria e o aprimoramento técnico e científico deste trabalho.

Ao membro externo da banca examinadora desta tese, **Professor Dr. Marcondes Mendes de Souza** pelas suas importantes contribuições para a realização, a melhoria e o aprimoramento técnico e científico deste trabalho.

Ao membro interno da banca examinadora de minha qualificação, **Professor Dr. José Agnelo Soares**, pelas suas valiosas contribuições e recomendações para a melhoria e o aprimoramento técnico e científico do projeto de tese.

Ao membro externo da banca examinadora de minha qualificação **Professor Dr. Iure Borges de Moura Aquino**, pelas suas importantes sugestões para a melhoria e o aprimoramento técnico e científico do projeto de tese.

Aos docentes e às docentes **do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão dos Recursos Naturais – PPEGRN** pelos ensinamentos transmitidos e pelo conhecimento construído durante a execução curricular das disciplinas, que contribuíram indubitavelmente para a elaboração e desenvolvimento desta tese.

A todos e todas estudantes **do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão dos Recursos Naturais – PPEGRN**, em especial minhas amigas **Elaine Cristina, Sandra Baía e Nadege**, pelo conhecimento compartilhado durante as disciplinas cursadas, que de forma direta ou indireta contribuíram também para a construção desta tese.

Aos nossos estudantes orientandos e pesquisadores do Projeto Entidades Associadas UFCG/CETEM, em especial os professores **Dr. Elbert Valdiviezo Viera, Dr. José Cesar de Albuquerque Costa, Dr. Marinésio Pinheiro de Lima e Dr. Francisco Wilson Hollanda Vidal**, pelo conhecimento compartilhado e por suas contribuições para a construção desta tese.

Aos nossos estudantes orientandos, pesquisadores e colaboradores do Projeto Aproveitamento dos Resíduos de Caulim e Adequações nas Unidades de Beneficiamento em Pequenas Empresas que Atuam no Arranjo Produtivo de Pegmatitos RN/PB, em especial os estudantes **Hugo Patrício Medeiros Nóbrega, Ronney Dias de Bivar da Câmara Dantas, José Melquisedeque Almeida Cunha, Igo Marinho Serafim Borges, Lilian de Queiroz Firmino, Victor Marcelo Estolano de Lima, Luan Dantas Garrido**, e os professores **Dr. Antônio Acácio de Melo Neto e Msc. Adriano Peixoto**, pelo conhecimento compartilhado e por suas contribuições nesse Projeto e que de alguma forma também contribuíram para a construção desta tese.

Aos mestres e amigos **Aarão, Gopinath, Agraval, Eliezer, Reinhard, Avelino, Bonates, Eudes, João Ramos, Aderaldo, Vicente, Gonzaga, Marco Amaral, Elísio, Ozires, Schuster (in memoriam), Dirceu (in memoriam), Antônio Costa (in memoriam), Jorge Cabral (in memoriam), Francisco (in memoriam), Eliane, Washington, José Nobre, Alcides, Maridete, Claudia, Ângela, Ana Claudia, entre outros**, pelos conhecimentos compartilhados no mestrado e na graduação em Engenharia de Minas, assim como o incentivo para a realização desta tese.

Aos colegas e amigos docentes e servidores **da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia – UAMG** e aos meus orientandos e estudantes **do Curso de Graduação em Engenharia de Minas da UFCG** pelo conhecimento construído durante a execução das atividades curriculares do Projeto Pedagógico do Curso.

Aos associados da **Cooperativa dos Trabalhadores de Minério e Agricultura do Equador e Seridó – COOTMAES**, em especial o **Diretor Presidente Clemente Alves de Sousa**, que permitiram e apoiaram a realização dos trabalhos de pesquisa desta tese na área minerada do Sítio Galo Branco, no Equador, RN.

Aos associados da **Associação dos Produtores de Caulim e outros Minérios do Equador – APCE**, em especial o **Presidente Charles Patrício Nóbrega de Andrade**, que permitiram e apoiaram a realização dos trabalhos de pesquisa desta tese na unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes, situada no Equador, RN.

Aos técnicos da **Empresa PROMINA Projetos de Mineração e Serviços**, em especial o **Engenheiro de Minas Renan Guimarães de Azevedo**, o **Engenheiro de Minas João Bosco Burgos Costa** e o **Engenheiro Agrônomo Rafael Massa Serpa** por suas inestimáveis contribuições no processo de formalização da produção mineral da COOTMAES, que muito contribuíram para a construção desta tese.

À **Associação Técnico Científica Ernesto Luís de Oliveira Júnior – ATECEL**, em especial o atual Diretor Presidente **Professor Dr. Milton das Chagas Bezerra Filho** e o **ex Diretor Presidente Engenheiro Civil José Nilson Feitoza** por suas inestimáveis contribuições nos projetos de formalização da produção mineral da COOTMAES, que contribuíram de forma significativa para a construção desta tese.

À **Fundação Parque Tecnológico da Paraíba – PAQTCPB**, em especial Diretor Geral **Professor Dr. José Nilton Silva** e os servidores dessa conceituada fundação por suas contribuições na gestão dos projetos de extensionismo mineral, que contribuíram também para a construção desta tese.

Ao **Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação – MCTI**, em especial aos analistas em ciência e tecnologia **Dr. Elzvir Azevedo Guerra**, **Dra. Cristina Ferreira Correia Silva**, **Dra. Tássia de Melo Arraes** e **Dra. Eliane Ferreira da Silva** por suas inestimáveis contribuições com o fomento a projetos de inovação e de fortalecimento dos Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral, que contribuíram bastante para a construção desta tese.

“Não chores, meu filho; não chores, que a vida é luta renhida: viver é lutar. A vida é combate, que os fracos abate, que os fortes, os bravos só podem exaltar”.

Gonçalves Dias, Canção do Tamoio

RESUMO

O aproveitamento das substâncias minerais na Província Pegmatítica da Borborema/Seridó era realizado de forma inadequada e predatória, com danos ambientais expressivos e impactos sociais e econômicos bem abaixo do desejável para a comunidade local. Esta tese foi realizada objetivando desenvolver e difundir um modelo constituído de ações para o aproveitamento sustentável do caulim numa área minerada, que está localizada no Sítio Galo Branco, na zona rural do Equador, RN, no âmbito do Arranjo Produtivo Local – APL em Pegmatitos RN/PB. Inicialmente, foram feitos levantamentos do território, onde estão situadas as áreas mineralizadas de caulim, em especial no entorno do município do Equador, no Rio Grande do Norte, mediante visitas de campo e de uma ampla revisão de literatura, para avaliar também a situação legal. A partir desses levantamentos, foi selecionada a área da mina Galo Branco e feito um diagnóstico dos aspectos ambientais e socioeconômicos desse espaço geográfico. Além disso, foram realizados estudos sobre as operações de aproveitamento do caulim, as condições de saúde e segurança no trabalho e os impactos gerados pelas práticas utilizadas, e, a partir daí, foram sugeridas ações para a melhoria do desempenho técnico, ambiental e socioeconômico dessa atividade. Para tanto, o modelo em bases sustentáveis que está sendo implantado é constituído de uma proposta de adequação da legislação mineral de forma a tornar mais célere a formalização de áreas para pequenas empresas de mineração de caulim que atuam nesse território e que integram o APL em Pegmatitos RN/PB. Neste contexto, foram obtidos quatro títulos de Permissão de Lavra Garimpeira – PLG, com as respectivas licenças ambientais. Ao mesmo tempo, foram recomendadas tecnologias inovadoras para as operações de lavra da mina Galo Branco da Cooperativa dos Trabalhadores de Minério e Agricultura do Equador e Seridó – COOTMAES e para adequações na unidade de beneficiamento de caulim da Mineração Nossa Senhora de Lourdes. A implantação dessas tecnologias está propiciando ganhos significativos para a saúde e a segurança do trabalhador, a redução dos danos ambientais e um aumento na recuperação do beneficiamento do minério. Por fim, foi construído um viveiro de mudas para apoiar a recuperação da área degradada por essa atividade mineral, e está em operação um processo para o aproveitamento dos resíduos provenientes do beneficiamento de caulim. Em linhas gerais, as ações desenvolvidas e recomendadas nesta tese já estão contribuindo para o alcance nesse território de alguns dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, propostos pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, visando tornar a vida mais saudável para a comunidade que habita essa região.

Palavras-chave: Pequenas Empresas; Caulim; Formalização; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The use of mineral substances in the Borborema/Seridó Pegmatite Province was carried out in an inadequate and predatory manner, with significant environmental damage and social and economic impacts far below what was desirable for the local community. This thesis was carried out with the aim of developing and disseminating a model consisting of actions for the sustainable use of kaolin in a mined area, which is located in Sítio Galo Branco, in the rural area of Equador, RN, within the scope of the Local Productive Arrangement - APL in Pegmatites RN/PB. Initially, surveys were carried out of the territory where the kaolin-mineralized areas are located, especially around the municipality of Equador, in Rio Grande do Norte, through field visits and an extensive literature review, to also assess the legal situation. Based on these surveys, the Galo Branco mine area was selected and a diagnosis was made of the environmental and socio-economic aspects of this geographical space. In addition, studies were carried out on kaolin mining operations, health and safety conditions at work and the impacts generated by the practices used, from which actions were suggested to improve the technical, environmental and socio-economic performance of this activity. To this end, the sustainable model being implemented consists of a proposal to adapt mineral legislation in order to speed up the formalization of areas for small kaolin mining companies operating in this territory and which are part of the APL in Pegmatites RN/PB. In this context, four mining permits were obtained, along with the respective environmental licenses. At the same time, innovative technologies were recommended for the mining operations at the Galo Branco mine of the Cooperativa dos Trabalhadores de Minério e Agricultura do Equador e Seridó - COOTMAES and for adjustments to the kaolin processing unit of Mineração Nossa Senhora de Lourdes. The implementation of these technologies is leading to significant gains in worker health and safety, a reduction in environmental damage and an increase in the recovery from ore processing. Finally, a seedling nursery has been built to support the recovery of the area degraded by this mineral activity, and a process is in operation to make use of the waste from kaolin processing. In general terms, the actions developed and recommended in this thesis are already contributing to achieving some of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) proposed by the United Nations Development Program (UNDP) in this area, with the aim of making life healthier for the community that lives in this region.

Keywords: Small businesses; Kaolin; Formalization; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | – Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral..... | 19 |
| Figura 2 | – Percentuais anteriores e atuais de distribuição da CEFEM..... | 40 |
| Figura 3 | – A transição dos 8 ODM para os 17 ODS..... | 43 |
| Figura 4 | – Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS..... | 44 |
| Figura 5 | – Os 5 pilares da Agenda 2030..... | 45 |
| Figura 6 | – Objetivos estratégicos do PNM 2030..... | 47 |
| Figura 7 | – Ações estabelecidas no PNM 2030..... | 47 |
| Figura 8 | – Impactos resultantes do rompimento da barragem do Fundão..... | 49 |
| Figura 9 | – Província Pegmatítica do Seridó..... | 51 |
| Figura 10 | – Corpo mineralizado de Pegmatito na Província Pegmatítica do Seridó..... | 52 |
| Figura 11 | – Operação de descida do minerador para extração de caulim..... | 59 |
| Figura 12 | – Operação de extração de caulim por pequenos mineradores..... | 59 |
| Figura 13 | – Frente de lavra da área em estudo no Sítio Galo Branco, Equador, RN..... | 60 |
| Figura 14 | – Mapa de localização da área de estudo..... | 62 |
| Figura 15 | – Representação de espécies da flora na área pesquisada..... | 68 |
| Figura 16 | – Geologia regional da área pesquisada..... | 70 |
| Figura 17 | – Geologia local da mina Galo Branco no Equador, RN..... | 71 |
| Figura 18 | – Medições e coleta da amostra bruta de resíduos de caulim..... | 72 |
| Figura 19 | – Processo de preparação da amostra de caulim..... | 73 |
| Figura 20 | – Processo de peneiramento da amostra de caulim..... | 73 |
| Figura 21 | – Ensaios de bancada com uso de mesa vibratória..... | 75 |
| Figura 22 | – Preparação das amostras para os ensaios tecnológicos..... | 75 |
| Figura 23 | – Moinho de bolas tipo Bond..... | 77 |
| Figura 24 | – Levantamento topográfico na mina Galo Branco..... | 79 |
| Figura 25 | – Mapas topográficos da área selecionada – a) Mapa 2D; b) Mapa 3D..... | 80 |
| Figura 26 | – Representação dos poços e da topografia em 3D..... | 81 |

| | |
|---|-----|
| Figura 27 – Representação de uma seção perpendicular para o modelo geológico..... | 82 |
| Figura 28 – Modelo 3D do corpo de caulim | 82 |
| Figura 29 – Modelo de bloco em 3D do corpo mineralizado de caulim | 83 |
| Figura 30 – Modelo de bloco em 3D com capeamento | 83 |
| Figura 31 – Fluxograma da unidade de beneficiamento da MNSL..... | 88 |
| Figura 32 – Pilha de resíduos da unidade de beneficiamento da MNSL..... | 89 |
| Figura 33 – Espaço selecionado para ensaios de campo com resíduos de caulim..... | 91 |
| Figura 34 – Alteração da paisagem no entorno da mina Galo Branco..... | 92 |
| Figura 35 – Criação do viveiro de mudas no antigo lixão do Equador, RN..... | 97 |
| Figura 36 – Ambiente para realização de experimentos com resíduo de caulim..... | 98 |
| Figura 37 – Critérios para avaliação do pó de rocha como possível remineralizador..... | 101 |
| Figura 38 – Seleção e coleta de amostras de resíduos de caulim..... | 103 |
| Figura 39 – Preparação da amostra de resíduos de caulim no laboratório do IFPB..... | 104 |
| Figura 40 – Placa do licenciamento ambiental de uma área da COOTMAES..... | 111 |
| Figura 41 – Sede do Projeto Socioambiental FOCUS e uma visita da ANM..... | 112 |
| Figura 42 – Método de lavra a céu aberto mecanizado..... | 113 |
| Figura 43 – Ensaios de bancada com hidrociclones..... | 114 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Análises químicas do concentrado por FR-X sem a moagem..... | 77 |
| Tabela 2 – Análises químicas do concentrado por FR-X sem a moagem..... | 77 |
| Tabela 3 – Análises químicas do concentrado por FR-X com a moagem..... | 78 |
| Tabela 4 – Análises químicas do concentrado por FR-X com a moagem..... | 78 |
| Tabela 5 – Parâmetros geométricos do primeiro modelo de lavra..... | 84 |
| Tabela 6 – Parâmetros geométricos do segundo modelo de lavra..... | 84 |
| Tabela 7 – Valores analisados das amostras I e II..... | 105 |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Quadro 1 | – Reservas garimpeiras oficiais..... | 4 |
| Quadro 2 | – Classificação dos portes das minas..... | 11 |
| Quadro 3 | – Valores atuais das alíquotas da CFEM..... | 39 |
| Quadro 4 | – Mercado para os minerais de pegmatitos..... | 54 |
| Quadro 5 | – Variáveis utilizadas nos ajustes das mesas vibratórias..... | 76 |
| Quadro 6 | – Check List dos impactos ambientais observados..... | 93 |
| Quadro 7 | – Representação das áreas em processo de formalização..... | 112 |

LISTA DE SIGLAS

AIA – Avaliação de Impacto Ambiental

ANM – Agência Nacional de Mineração

APL – Arranjos Produtivos Locais

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

CMMAD – Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia

COOTMAES – Cooperativa dos Trabalhadores de Minério e Agricultura do Equador e Seridó

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

DRX – Difração de Raios-X

FRX – Fluorescência de Raios-X

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

ESG – Environment, Social and Governance

EPI – Equipamentos de Proteção Individual

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IFPB – Instituto Federal da Paraíba

IFRN – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

OCB – Organização das Cooperativas do Brasil

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OCERN – Organização das Cooperativas do Estado do Rio Grande do Norte

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

MME – Ministério de Minas e Energia

PAE – Plano de Aproveitamento Econômico

PCA – Plano de Controle Ambiental

PFM – Plano de Fechamento de Mina

PIB – Produto Interno Bruto

PLG – Permissão de Lavra Garimpeira

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

RCA – Relatório de Controle Ambiental

RFP – Relatório Final de Pesquisa

RIMA – Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente

SBA – Small Business Administration

SEBRAE – Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SGB – Serviço Geológico do Brasil

SGM – Secretaria de Geologia e Mineração

UFMG – Universidade Federal de Campina Grande

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA..... | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 7 |
| 1.2.1 Objetivo geral..... | 7 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 7 |
| 1.3 ESTRUTURA DA TESE..... | 8 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 9 |
| 2.1 MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE MINERAÇÃO E GARIMPOS..... | 9 |
| 2.2 ARRANJO PRODUTIVO LOCAL – APL..... | 17 |
| 2.3 FORMALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO MINERAL E A LEGISLAÇÃO..... | 20 |
| 2.4 FORMALIZAÇÃO E A SUSTENTABILIDADE..... | 30 |
| 2.5 OS 17 OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – ODS..... | 41 |
| 2.6 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA MINERAÇÃO..... | 48 |
| 2.7 A PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA/SERIDÓ..... | 51 |
| 2.8 O APL EM PEGMATITOS RN/PB..... | 55 |
| 2.9 O CAULIM DO SERIDÓ NORDESTINO..... | 58 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 62 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA..... | 62 |
| 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS ADOTADOS..... | 63 |
| 4 RESULTADOS ALCANÇADOS..... | 65 |
| 4.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICO..... | 65 |
| 4.1.1 Aspectos fisiográficos..... | 65 |
| 4.1.2 Aspectos bióticos..... | 67 |
| 4.1.3 Aspectos socioeconômicos..... | 69 |
| 4.2 GEOLOGIA DA ÁREA PESQUISADA..... | 70 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.1 Geologia regional..... | 70 |
| 4.2.2 Geologia local..... | 71 |
| 4.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO..... | 72 |
| 4.4 MÉTODO DE LAVRA DA MINA GALO BRANCO..... | 79 |
| 4.5 ADEQUAÇÕES NA UNIDADE DE BENEFICIAMENTO..... | 86 |
| 4.6 IMPACTOS AMBIENTAIS..... | 92 |
| 4.7 RECUPERAÇÃO DA ÁREA MINERADA..... | 94 |
| 4.8 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DO CAULIM..... | 99 |
| 4.9 MODELO PARA A FORMALIZAÇÃO DO CAULIM..... | 106 |
| 5 ANÁLISES E DISCUSSÕES..... | 109 |
| 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 115 |
| 6.1 CONCLUSÕES..... | 115 |
| 6.2 RECOMENDAÇÕES..... | 117 |
| REFERÊNCIAS..... | 119 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA

A mineração é uma das atividades econômicas mais antigas da humanidade, sendo preponderante para o desenvolvimento social e econômico do Brasil, uma vez que fornece os recursos naturais que proporcionam mais conforto para a sociedade. Essa atividade é grande indutora da geração de emprego e contribui para elevar as receitas dos municípios, dos estados e da União. Em linhas gerais, conforme o Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (2023), o setor mineral impulsiona o bem estar social e o desenvolvimento econômico no país, com a geração de aproximadamente 205 mil empregos diretos, 2,25 milhões de empregos indiretos ao longo da cadeia produtiva mineral e do mercado, e com o faturamento de R\$ 250 bilhões (2022).

Segundo Resende (2002), mesmo cercado por muitas críticas, e apesar da ocupação e uso do solo em busca de riquezas minerais ter sido pontual no país, este setor inegavelmente gera muitos postos de trabalho e renda, principalmente o segmento das empresas de pequeno porte, onde as operações de aproveitamento das substâncias minerais são desenvolvidas em territórios de grande vulnerabilidade social, econômica e ambiental. Talvez, por essa razão, esse segmento das pequenas empresas mereça uma atenção especial por parte das autoridades responsáveis pela regulação, planejamento e gestão da atividade mineral no Brasil

O segmento da Mineração em Pequena Escala – MPE serve de base para o fortalecimento de diversas cadeias produtivas, fornecendo insumos para os seguintes setores industriais: metalúrgico, cerâmico, químico, construção civil, entre outros, (BRASIL, 2010). De acordo com os dados do Ministério de Minas e Energia – MME, os empreendimentos de mineração de micro e pequeno porte eram responsáveis por aproximadamente 87,4 % das minas em operação no Brasil (SOUSA *et al.*, 2018). Além disso, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE (2022) considerou esse segmento mineral muito importante para a região onde essas minas estão sendo desenvolvidas.

Nas últimas décadas, o aproveitamento das substâncias minerais por micro e pequenas empresas de mineração cresceu de forma acentuada em todas regiões do país, em especial na Província Pegmatítica da Borborema/Seridó (BRASIL, 2010; SOUSA *et al.*, 2018). Entretanto, devido à ausência de ações consistentes de fomento, de uma fiscalização educativa e de uma gestão mais eficiente por parte dos órgãos governamentais, existe um crescimento desordenado desse segmento que é responsável por uma parcela considerável dos passivos ambientais e sociais nos territórios onde esses empreendimentos estão inseridos, caracterizando-se como um dos maiores problemas da mineração no Brasil (OECD, 2022).

Nesse contexto, a Província Pegmatítica do Seridó localizada na Mesorregião do Seridó, entre os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, merece um olhar especial das autoridades competentes e dos gestores públicos. Essa província mineral é reconhecida como uma das mais importantes do país pelas suas peculiaridades e diversidade de recursos minerais existentes em seu subsolo, como o feldspato, o quartzo, a mica, a tantalita/columbita, o berilo, o espodumênio, o caulim, as gemas (água marinha, turmalina), scheelita, dentre outras substâncias passíveis de aproveitamento social e econômico (BEZERRA *et al.*, 2009).

Sousa *et al.* (2018) ressaltaram que o aproveitamento econômico dessas substâncias minerais tem um peso significativo na economia e no tecido social de vários municípios nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, sendo uma das principais fontes de renda para essa região. Talvez por isso, essa província mineral tem sido muito pesquisada e estudada por cientistas e especialistas da Geociências e de outras áreas do conhecimento.

A Província Pegmatítica do Seridó possui vocação para a atividade mineral em pequena escala, e apesar desse potencial, a sustentabilidade nesse território mineral está comprometida, devido ao elevado nível de informalidade dessa atividade, aos métodos rudimentares de extração do minério e aos processos de beneficiamento das substâncias minerais adotados. Esses procedimentos inadequados de extração e de beneficiamento do minério já provocaram muitos acidentes de trabalho, centenas de mortes e inúmeros danos de natureza social, econômica e ambiental (SOUSA *et al.*, 2021).

Outra peculiaridade da atividade mineral realizada nesse território é que uma parcela considerável de micro e pequenos produtores que atuam nessas áreas mineralizadas se limitam apenas à extração das substâncias minerais. Além disso, as unidades de beneficiamento existentes apresentam baixa produtividade, na maioria das vezes provocando um volume elevado de resíduos, com danos ambientais significativos e uma baixa recuperação do mineral beneficiado, não havendo dessa forma a agregação de valor desejável à produção mineral, provavelmente pela ausência de tecnologias apropriadas (SILVA *et al.*, 2010).

Segundo Soares, Lima e Pereira (2006), na Província Pegmatítica do Seridó existem ocorrências minerais com características geológicas que permitem o seu aproveitamento de forma simplificada. Geralmente, as operações de lavra não necessitam de grandes investimentos e não são exigidos equipamentos de grande porte para a realização dessas operações. Esse cenário estimula micro e pequenos empreendimentos a realizarem esse aproveitamento de forma desordenada e predatória, na maioria das vezes na informalidade, sem o acompanhamento técnico de um profissional habilitado, gerando assim impactos negativos para o meio ambiente e para a comunidade local (LUZ *et al.*, 2003).

Em resumo, esses métodos ou procedimentos adotados são constituídos de operações de lavra de minas e de beneficiamento de minérios que geralmente são executadas de forma rudimentar e improvisada, sem nenhum critério técnico, colocando em risco a saúde e a vida dos trabalhadores, além de causar efeitos negativos no meio ambiente, propiciar baixa recuperação do minério e provocar a geração de um grande volume de resíduos, que modificam a paisagem no entorno das unidades produtivas (PEREIRA, SOUSA & VIDAL, 2022).

Os problemas ocasionados por essa atividade mineral de pequeno porte são justificados pela demanda crescente pela produção de novos materiais para atender as exigências da sociedade. As críticas decorrem porque essa atividade gera impactos ambientais consideráveis, com consequências significativas na flora e na fauna, na qualidade da água, do ar e na degradação do solo, destacando a necessidade da organização social e da formalização da produção mineral, para o exercício dessa atividade com o devido acompanhamento técnico especializado, conforme preconiza a legislação vigente (SOUSA *et al.*, 2021).

Por outro lado, a estiagem prolongada nessa região causa impactos negativos na economia local e no tecido social, com efeitos no desenvolvimento da atividade agrícola e da pecuária, aumentando o desemprego e reduzindo a renda da população (BRASIL, 2012). Esse quadro provoca a vulnerabilidade das atividades econômicas, o enfraquecimento da capacidade de geração de postos de trabalho na zona rural das cidades, o consequente aumento do êxodo rural e o crescimento das desigualdades sociais, contribuindo assim para os níveis reduzidos e preocupantes dos indicadores socioeconômicos regionais.

A partir de 2005, as ações desenvolvidas no âmbito do Arranjo Produtivo Local – APL em Pegmatitos RN/PB têm contribuído para minimizar os impactos provocados pela mineração nesse território. Nesse Programa, foi estimulada a organização social e produtiva dos micros e pequenos mineradores. Ao mesmo tempo, foram realizadas ações para iniciar o processo de formalização de áreas para algumas cooperativas. Além disso, foi recomendada a adoção de práticas de lavra e de beneficiamento de minérios mais racionais, voltadas para o aproveitamento dos minerais em bases mais sustentáveis.

A atividade mineral em pequena escala, mesmo sendo desenvolvida em condições precárias na Mesorregião do Seridó, é indubitavelmente uma alternativa de sobrevivência para a maioria da população que habita os municípios que estão situados no espaço geográfico da Província Pegmatítica do Seridó (BRASIL, 2012). Dentre esses municípios, podem ser ressaltados aqueles que possuem ocorrências significativas de caulim no seu subsolo. Esse recurso tem sido extraído, beneficiado e comercializado por dezenas de empreendimentos de pequeno porte, gerando muitos postos de trabalho e renda (SOUSA *et al.*, 2018).

A extração de caulim ocorre nos municípios de Junco do Seridó, PB, e Equador, RN, desde 1953, e foram intensificadas com a criação da Reserva Garimpeira do Seridó, estabelecida pela Portaria do MME nº 1.524, de 27/10/1982, e publicada no Diário Oficial da União – DOU, em 03/11/1982, que destinou uma área de 35.563, 29 ha para o aproveitamento de substâncias minerais garimpáveis em áreas inseridas nesses municípios, de forma a gerar emprego e renda, minimizar os efeitos da estiagem prolongada, manter a população nesse território, combatendo assim o êxodo rural e as desigualdades sociais (SOUSA *et al.*, 2021).

O extinto Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, órgão que era responsável pela regulação, gestão e fiscalização da Atividade Mineral no Brasil, reconhecia a Reserva Garimpeira do Seridó, conforme demonstrado no Quadro 01, e estabelecia normas para disciplinar o aproveitamento dos recursos minerais garimpáveis como os minerais de pegmatitos e o caulim, por cidadãos ou cooperativas legalmente constituídos, que praticavam a extração mineral de forma empírica e artesanal (BRASIL, 2008).

Quadro 1 – Reservas garimpeiras oficiais

| Mapa (Legenda) | Reserva Garimpeira | Município-UF | Ano | Instrumento Legal | Área (ha) | Minério | |
|----------------|--------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|--|--------------|--------------------|
| 1 | A | Zê Vermelho | Alta Floresta-MT | 1983 | Port. Minist. nº 549; 09.05.83 | 50.000,00 | Ouro |
| 2 | B | Tepequém | Boa Vista-RR | 1984 | Port. Minist. nº 143; 03.02.84 | 12.000,00 | Diamante |
| 3 | C | São Tomé/Lages | Lajes-São Tomé-RN | 1983 | Port. Minist. nº 1.464; 19.10.83 | 60.260,90 | Quartzito |
| 4 | D | São Roque | Vargem Bonita-MG | 1992 | Port. DNPM nº 04; 31.03.92 | 6.710,00 | (não especificado) |
| 5 | E | Cumaru | São Felix do Xingu-PA | 1984 | Port. Minist. nº 25; 10.01.84 | 95.145,21 | Ouro |
| 6 | F | Santa Terezinha | Santa Terezinha-GO | 1984 | Port. Minist. nº 442; 30.03.84 | 2.932,00 | Esmeralda |
| 7 | G | Serra Pelada | Curionópolis-PA | 1987 | Curionópolis(PA) Lei nº 7.599/87 | 100,00 | Ouro |
| 8 | H | Rio Madeira | Porto Velho-RO | 2004 | Port. DNPM nº 262; 07.07.2004 | 14.035,53 | Ouro |
| 9 | I | Rio Madeira II | Porto Velho-RO | 2004 | Port. DNPM nº 245; 07.07.2004 | 20.214,00 | Ouro |
| 10 | J | Rio Jurena | Alta Floresta-MT | 1988 | Port. Minist. nº 338; 21.03.88 | 44.625,00 | Ouro |
| 11 | K | Rejeito Serra Pelada | Curionópolis-Pará | 1991 | Rejeito Serra Pelada(PA) - Port. DNPM nº 08 2/7/91 | 74,41 | Ouro |
| 12 | L | Pedra Azul | Itamaraju-Prado-BA | 1980 | Port. Minist. nº 443; 24.04.80 | 587,25 | (não especificado) |
| 13 | N | Nova Era | 19. Nova Era/Nova Era-MG | 1993 | Port. DNPM nº 04; 06.04.93 | 494,00 | Esmeralda |
| 14 | O | Tapajós | Itaituba-PA | 1983 | Port. Minist. nº 882; 25.07.83 | 28.745,00 | Ouro |
| 15 | P | Junco do Seridó | J.Seridó/Juazeirinho-RN/PB | 1982 | Port. Minist. nº 1.524; 03.11.82 | 35.563,29 | Pegmatito/Caulim |
| 16 | Q | Faina | Faina-GO | 1993 | Port. DNPM nº 05; 15.04.93 | 1.408,16 | (não especificado) |
| 17 | R | Diamantina | Diamantina/Bocaitiva-MG | 1992 | Port. DNPM nº 02; 31.03.92 | 1.178.375,00 | Diamante |
| 18 | S | Peixoto de Azevedo | Colider/Peixoto de Azevedo-MT | 1992 | Port. DNPM nº 237; 16.08.99 | 6.575,00 | Ouro |
| 19 | T | Carnaíba | 15. Carnaíba/Pindobaçu-BA | 1992 | Port. Minist. nº 119; 07.01.92 | 3.692,25 | Esmeralda |
| 20 | U | Cabeças | Alta Floresta-MT | 1983 | Port. Minist. nº 550; 09.05.83 | 121.000,00 | Ouro |
| 21 | V | Alto Coité | Poxoréu-MT | 1979 | Port. Minist. nº 2.230; 12.11.79 | 18.399,96 | Ouro |

Fonte: BRASIL (2008)

Entretanto, a partir de 2009, esses pressupostos legais deixaram de ser respeitados e considerados por analistas técnicos do DNPM, especialmente em relação a essa Reserva Garimpeira, o que passou a dificultar mais ainda o processo de formalização da produção mineral em áreas inseridas nesse território, gerando grandes conflitos e conduzindo os antigos garimpeiros ou os micro e pequenos mineradores a atuarem na ilegalidade, corroborando para elevar o nível de informalidade, com grandes prejuízos para toda região.

Nesse contexto, fica evidenciada a importância social e econômica da Reserva Garimpeira do Seridó para os municípios de Junco do Seridó, Tenório, Juazeirinho e Salgadinho no Estado da Paraíba, e para o município do Equador, no Estado do Rio Grande do Norte, que são produtores de minerais de pegmatitos e caulim e, devido ao alto índice de informalidade dessa atividade, perdem receitas pelo não recolhimento de compensações e tributos.

No entorno do município do Equador existem depósitos caulíniferos de boa qualidade, que tem propiciado uma razoável aceitação no mercado nacional, podendo esse espaço geográfico ser considerado um dos principais polos produtores de caulim da Província Pegmatítica do Seridó. Apesar de sua importância socioeconômica, foi observado nesses depósitos de caulim um processo produtivo que utilizava procedimentos arcaicos de uma lavra artesanal, seletiva, rudimentar, predatória e insegura (SOARES; LIMA; PEREIRA, 2006).

Além disso, a maioria das unidades de beneficiamento de caulim são bastante rústicas e inadequadas, com baixa recuperação no processo de concentração do minério, que afetam a sua comercialização e propiciam ainda a geração de um volume muito grande de resíduos no entorno dessas unidades, causando desperdício e modificando a paisagem, com danos sociais, ambientais e econômicos para a comunidade local (Luz *et al.*, 2003).

Essas características peculiares da mineração de caulim nesse território, evidencia a necessidade urgente de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação, com capacidade de difusão mais célere, de forma a contribuir para a mitigação da maior parte dos gargalos observados no processo produtivo de caulim e o mesmo tempo contribuir para o alcance de alguns dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS nesse espaço geográfico.

Numa das áreas desse território, situada no Sítio Galo Branco, no Equador, RN, há uma área mineralizada de caulim já formalizada, com a licença ambiental em vigor e o título mineral renovado até 2026, e que pertence à Cooperativa dos Trabalhadores de Mineração e Agricultura do Equador e Seridó – COOTMAES. Essa área minerada precisa de acompanhamento científico e tecnológico especializado para a implantação de um projeto de mineração mais racional, em harmonia com a conservação dos recursos naturais, que propicie ganhos significativos para os pequenos mineradores, e para a comunidade local.

Ao mesmo tempo, a Mineração Nossa Senhora de Lourdes é uma empresa de pequeno porte que tem um acordo de cooperação com a COOTMAES e beneficia o minério extraído da Mina Galo Branco e de outras minas de áreas formalizadas dessa Cooperativa. A unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes está localizada numa área bem próxima da Mina Galo Branco, e as instalações operacionais da unidade produtiva dessa Empresa foram gentilmente disponibilizadas para os estudos e ensaios realizados nesta tese.

Com base na contextualização do tema e do problema, fica evidenciado que o modelo sustentável para o aproveitamento do caulim desenvolvido nesta tese está em consonância com a missão do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais e é bastante oportuno, uma vez que pode contribuir para transformar a região pesquisada, com elevada vocação para essa atividade produtiva de caulim, num ambiente harmônico, nos aspectos sociais, ambientais e econômicos, com mais segurança e uma vida mais saudável para a população da comunidade local.

Com base nesse contexto, foram levantadas algumas questões que motivaram a construção desta tese:

- 1. Seria possível desenvolver e difundir um modelo sustentável para o aproveitamento de caulim por um empreendimento de pequeno porte em um território localizado no Equador, RN, no âmbito do APL em Pegmatitos RN/PB?*
- 2. Seria possível remover os gargalos que inibem a organização social e produtiva de empreendimentos de mineração de pequeno porte nesse território e, por conseguinte, criam empecilhos para a formalização da produção mineral?*
- 3. No modelo a ser desenvolvido poderia ser incluída a realização de levantamentos geológicos; a construção de um método de lavra mais seguro; a adequação de uma unidade de beneficiamento para agregar valor ao produto; a adoção de ações para a recuperação da área degradada; e a realização de estudos para o aproveitamento dos resíduos gerados?*

Esses questionamentos fundamentam a hipótese abordada nesta tese, na qual a partir da organização social e produtiva de um empreendimento de mineração de pequeno porte, seria possível propor um modelo sustentável para o aproveitamento de caulim, constituído principalmente da implantação de um processo mais célere para formalização de áreas mineradas, de levantamentos geológicos, de tecnologias inovadoras nas operações de lavra e de beneficiamento do caulim, de estudos para o aproveitamento dos resíduos provenientes da unidade de beneficiamento e de ações para recuperar a paisagem degradada.

O fortalecimento da organização social e produtiva da COOTMAES e da Associação dos Produtores de Caulim do Equador – APCE foi fundamental para a formalização de áreas para essa Cooperativa. Ao mesmo tempo, o sucesso da formalização de áreas para a COOTMAES foi preponderante para o desenvolvimento de novas tecnologias para a lavra da mina Galo Branco e para a unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes. Essas ações exitosas foram também essenciais para a construção do viveiro de mudas e para a realização de estudos visando o aproveitamento de resíduos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Propor um modelo para o aproveitamento do caulim em bases sustentáveis, numa área da Cooperativa dos Trabalhadores de Mineração e Agricultura do Equador e Seridó – COOTMAES, no Equador, RN.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um diagnóstico e uma análise sobre a área de aproveitamento do caulim por micro e pequenos mineradores, sob o aspecto ambiental, social e econômico, situada no entorno do município do Equador, RN;
- Selecionar uma área formalizada da COOTMAES e realizar nessa área minerada os levantamentos geológicos básicos e a caracterização tecnológica do minério para construção do modelo de aproveitamento do minério em bases sustentáveis;
- Propor um método de lavra mais racional, inserindo tecnologias inovadoras nas operações de lavra para reduzir os riscos de acidentes no trabalho e propiciar benefícios para a saúde e a segurança do minerador;
- Propor melhorias no processo de beneficiamento de caulim, com a inserção de novas tecnologias para elevar o percentual de recuperação do minério, agregar valor à cadeia produtiva mineral e reduzir a propagação de resíduos no meio ambiente;
- Desenvolver ações para a recuperação da área minerada de caulim, selecionada para os estudos dessa pesquisa, que possibilite a reabilitação da paisagem degradada e o uso sequencial dessa área minerada para outra atividade;
- Efetuar estudos de caracterização, para desenvolver um processo inovador para o aproveitamento dos resíduos provenientes do beneficiamento do caulim, analisando a possibilidade de seu uso como remineralizadores ou outras aplicações, identificando possíveis rotas para o aproveitamento desses novos produtos;
- Recomendar adequações na legislação mineral de forma a tornar mais célere os procedimentos de formalização de áreas para micro e pequenos empreendimentos de caulim que atuam na Província Pegmatítica do Seridó;
- Contribuir para o alcance de alguns dos 17 ODS nesse território, no entorno da área minerada da COOTMAES, que foi selecionada para a realização dos estudos necessários para o desenvolvimento dessa pesquisa, e dessa forma propiciar também ganhos sociais e econômicos para os pequenos mineradores desse espaço geográfico e a melhoria da qualidade de vida da comunidade local.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho de tese está estruturado em seis seções, onde a primeira seção é constituída pela introdução, na qual são abordados de forma abrangente e reflexiva a contextualização do tema e do problema identificado por esta pesquisa, os objetivos destes estudos e a descrição da organização estrutural desta tese.

Na segunda seção é apresentada a fundamentação teórica que discorre de forma genérica sobre a importância de micro e pequena empresa de mineração no Brasil, e o histórico dos tradicionais garimpos. Além disso, é feita uma explanação detalhada sobre Arranjo Produtivo Local – APL, a formalização da produção mineral, a legislação mineral, a formalização como base para o alcance da sustentabilidade e uma breve abordagem sobre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS. Ainda nesse contexto é feita uma abordagem sobre aproveitamento de resíduos na mineração, a Província Pegmatítica do Seridó, o APL em Pegmatitos RN/PB e o aproveitamento do caulim no Seridó.

A terceira seção apresenta uma caracterização da área pesquisada com sua localização, vias de acesso e os aspectos legais dessa área perante às questões minerais e ambientais. Em adição, essa seção também descreve os procedimentos metodológicos adotados nas diversas fases desta tese para o alcance dos resultados obtidos.

Na quarta seção são abordados em nove tópicos os resultados alcançados com os estudos realizados nesta tese. Nesses resultados, estão incluídos um diagnóstico da área pesquisada, destacando os aspectos ambientais e socioeconômicos; os levantamentos geológicos da área em estudo; a caracterização tecnológica do minério; uma proposição de tecnologias inovadoras nas operações de lavra e de beneficiamento do caulim; um processo para o aproveitamento dos resíduos do minério; implantação de ações para a recuperação da área degradada; e uma proposta de adequação da legislação de mineral, de forma a tornar mais célere a formalização de áreas para pequenos empreendimentos de mineração de caulim que atuam nesse território.

A quinta seção é constituída das análises e discussões detalhadas sobre os resultados obtidos nesta tese, verificando as possíveis contribuições desta pesquisa para o alcance nesse território de alguns dos 17 ODS, que possam promover melhorias significativas na qualidade de vida da comunidade da região, onde essa atividade mineral está sendo desenvolvida.

Na sexta seção são apresentadas as conclusões em consonância com os objetivos específicos estabelecidos nesta tese e as recomendações para trabalhos futuros de pesquisa. Por fim, são citados os autores e os seus respectivos trabalhos que contribuíram e deram suporte à pesquisa retratada nesta tese.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE MINERAÇÃO E GARIMPOS

O tema referente a micro e pequena empresa tem sido muito debatido pelas autoridades mundiais, pela sociedade e principalmente pela comunidade científica que passaram a valorizar essas organizações empresariais, devido principalmente a sua importância social e econômica para o desenvolvimento mais racional, equilibrado e com grande potencial de inclusão social em qualquer país ou nação (LEONE, 1991; QUEIROZ, 2016).

Segundo Leone (1991), nos Estados Unidos da América – EUA e em outros países desenvolvidos, esse movimento de apoio para micro e pequenas empresas foi iniciado a partir da década de 1950, com a constatação que esse segmento tinha uma participação expressiva em suas economias, a ponto de ser considerado como um dos pilares fundamentais da economia norte americana.

Conforme Queiroz (2016), no caso específico dos EUA, o marco histórico de fomento a esse segmento econômico foi em 1958, com a promulgação da Lei de Investment Company, denominada a Lei das Pequenas Empresas, com finalidade de estimular e desenvolver a economia nacional. Ao mesmo tempo, o Small Business Administration – SBA, que foi regulamentado em 1953, estabeleceu o Programa Small Business Investment Company – SBIC com a finalidade de disponibilizar fundos para empreendimentos privados. Esse programa possibilitou investimentos de capital de alto risco, a longo prazo, para as pequenas empresas.

Desde a promulgação dessa lei, o SBA tem sido um grande parceiro do governo americano oferecendo programas de assistência financeira e facilitando o acesso ao crédito para as pequenas empresas. Em linhas gerais, essa instituição define as diretrizes para os empréstimos, que são realizados por outras instituições parceiras como organizações de desenvolvimento comunitário e instituições de microcrédito, além disso oferece também as garantias de que esses empréstimos serão reembolsados, mitigando possíveis riscos nas transações financeiras (QUEIROZ, 2016).

Segundo Leone (1991), as micro e pequenas empresas são importantes para a economia de qualquer país, uma vez que geram muitos postos de trabalho, propiciam o aumento da receita, a distribuição de renda e fixam o trabalhador no seu território. Nos países em desenvolvimento, a relevância desse segmento é bem mais significativa não só pelo aspecto econômico, mas também pelo aspecto social. No Brasil, a Constituição Federal de 1988 foi o marco histórico de apoio a esse segmento econômico, estabelecendo um tratamento jurídico diferenciado e incentivando a redução de algumas obrigações que dificultavam o seu desenvolvimento.

Após esse marco histórico, foram realizadas várias ações visando instituir uma regulação específica para as micro e pequenas empresas com a finalidade de tornar mais justa a relação de mercado dessas empresas entre si e com as empresas de um porte mais elevado. A partir dessa demanda jurídica e social, foi criado o regime tributário Simples Federal, bastante simplificado e instituído pela Lei nº 9.317, de 05 de dezembro de 1996, com o objetivo de favorecer as ações das empresas de micro e pequeno porte (BRASIL, 2008; SEBRAE, 2015).

Em adição à criação do regime tributário Simples Federal foi instituído o Estatuto da Microempresa e Empresa de Pequeno Porte, pela Lei nº 9.841, de 05 de outubro de 1999. Esses dispositivos legais ampliaram o apoio a micro e pequenos empreendimentos. Entretanto, apesar de todos esses esforços e dos avanços estabelecidos por essas ações, ficou evidenciada a necessidade de revisar e ajustar periodicamente essas legislações para alavancar o desenvolvimento desse importante segmento econômico do país.

Essa legislação pioneira foi revisada, revogada e ajustada pela Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006, também conhecida como Lei Geral, que instituiu o Estatuto Nacional da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte, para regulamentar um tratamento favorecido, simplificado e diferenciado a esse segmento conforme foi preconizado na Constituição Federal. O objetivo é fomentar o desenvolvimento em bases sustentáveis de micro e pequenas empresas com a geração de emprego, distribuição de renda, inclusão social, redução da informalidade e o fortalecimento da economia regional (SEBRAE, 2015).

A classificação dos portes das empresas no Brasil é realizada de várias formas e por práticas administrativas específicas de diversos órgãos (BRASIL, 2008), que utilizam critérios diferenciados para essa finalidade. O Estatuto Nacional da Microempresa e Empresa de Pequeno Porte adota como critério de classificação a receita bruta anual. Assim, com base nesse critério, uma microempresa deve apresentar uma receita bruta anual igual ou inferior a R\$ 360 mil. A empresa de pequeno porte pode apresentar a receita bruta anual superior a R\$ 360 mil e igual ou inferior a R\$ 4,8 milhões.

O Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE é uma importante instituição privada que tem contribuído muito para o desenvolvimento de micro e pequenas empresas. Essa instituição utiliza o número de funcionários que integram a estrutura organizacional dessas empresas como critério de classificação dos portes das empresas. Sendo assim, por esse critério, uma microempresa deve apresentar no seu quadro funcional o número de funcionários menor ou igual a 19. Por sua vez, a pequena empresa deve apresentar registro de 20 a 99 funcionários. Já a média empresa deve ter registrados entre 100 e 499 funcionários, e a grande empresa deve apresentar registrados a partir de 500 funcionários (SEBRAE, 2015).

O DNPM utilizava a produção bruta anual das minas, ou a quantidade de rocha lavrada em toneladas/ano, como critério para a classificação dos portes das minas das empresas, conforme mostra o Quadro 2 (BRASIL, 2008). A Agência Nacional de Mineração – ANM, criada em 26 de dezembro de 2017, é uma agência reguladora que incorporou as funções do DNPM na gestão da mineração no Brasil. Desde a sua criação, a ANM mantém o mesmo critério, que era adotado pelo DNPM, para a classificação do porte das empresas de mineração.

Quadro 2 – Classificação dos portes das minas

| Portes das minas | Classes | Maior que | Menor ou igual a |
|------------------|---------|-------------|------------------|
| Grandes | G2 | 3.000.000 t | ... |
| | G1 | 1.000.000 t | 3.000.000 t |
| Médias | M4 | 500.000 t | 1.000.000 t |
| | M3 | 300.000 t | 500.000 t |
| | M2 | 150.000 t | 300.000 t |
| | M1 | 100.000 t | 150.000 t |
| Pequenas | P3 | 50.000 t | 100.000 t |
| | P2 | 20.000 t | 50.000 t |
| | P1 | 10.000 t | 20.000 t |

Fonte: BRASIL (2008)

Nesse Quadro, as microempresas não foram inseridas no critério de classificação dos portes das minas, todavia os dados de processos de títulos minerários comprovam que a Atividade Mineral no Brasil é composta majoritariamente por microempresas (MME, 2016). De acordo com esse critério de classificação, as microempresas de mineração devem apresentar uma produção bruta anual menor ou igual a 10.000 t, já as pequenas empresas devem apresentar uma produção bruta anual maior do que 10.000 t e menor ou igual a 100.000 t.

Conforme os dados publicados pelo DNPM/MME em 2016, as micro e pequenas empresas eram responsáveis por aproximadamente 87,4 % das minas em operação no Brasil pelo Regime de Aproveitamento Econômico de Concessão de Lavra. Além disso, existiam ainda 1.820 minas formalizadas pelo Regime de Permissão de Lavra Garimpeira e 13.250 minas funcionando pelo Regime de Registro de Licenciamento, que notadamente são regimes com títulos minerários característicos a empreendimentos mineiros de micro e pequeno porte.

Em 2016, os processos analisados no DNPM indicaram que existiam 9.415 minas em operação pelo Regime de Aproveitamento Econômico de Concessão de Lavra, conforme a distribuição a seguir:

- 154 eram classificadas como grandes (1,6 %), com uma produção bruta anual de mais de 1.000.000 t;
- 1.037 eram classificadas como médias (11,0 %), com uma produção bruta anual maior do que 100.000 t e menor ou igual a 1.000.000 t;
- 2.809 eram classificadas como pequenas (29,9 %), com uma produção bruta anual maior do que 10.000 t e menor ou igual a 100.000 t;
- 5.415 eram consideradas micro (57,5 %), com uma produção bruta anual menor ou igual a 10.000 t.

A análise desses números justifica a necessidade urgente de criação de programas de governo com a finalidade de garantir a sobrevivência e a manutenção dessas empresas de pequeno porte, devido às enormes dificuldades que elas enfrentam para continuarem em atividade no mercado (LEONE, 1991). Além disso, reforça a tese de que é imprescindível o desenvolvimento de estudos e pesquisas voltados a contribuir para a resolução dos principais problemas e obstáculos que cerceiam o desenvolvimento em bases sustentáveis desses pequenos empreendimentos de mineração.

Por outro lado, torna-se indispensável a atuação de profissionais habilitados para a adequada aplicação dos resultados obtidos com esses estudos, e que poderão solucionar alguns dos gargalos que inibem o desenvolvimento dos empreendimentos de pequeno porte. Geralmente, as tecnologias desenvolvidas nessas pesquisas têm um caráter bastante inovador para a região onde essas empresas estão inseridas. A ausência de um profissional capacitado pode comprometer os esforços e recursos envolvidos (SOUSA *et al.*, 2021)

Ao longo dos últimos anos, a história tem registrado inúmeros impactos positivos provocados por empreendimentos mineiros de micro e pequeno porte, espalhados por todo território brasileiro. De acordo como Souza (2011), os empreendimentos desse porte têm a capacidade de promover as bases para o desenvolvimento mais racional e sustentável de territórios esquecidos ou relegados pelas políticas públicas, propiciando a fixação do homem na zona rural ou no seu habitat natural. No caso específico da atividade mineral, esses empreendimentos contribuem para a redução do êxodo rural em áreas com vocação mineral, promovendo a geração de emprego e garantindo uma melhor distribuição de renda.

A definição formal de micro e pequena empresa de mineração sempre foi considerada por cientistas e especialistas um tema bastante complexo no Brasil, dificultando uma análise mais detalhada das questões que inibem o desenvolvimento de suas atividades produtivas em bases mais sustentáveis (VILLAS BOAS, 2009). Esse segmento empresarial está distribuído em todo território nacional e é intensivo em mão de obra, normalmente com baixa qualificação. Esse tipo de atividade, compreende as operações mineiras executadas por micro e pequenos mineradores, por cooperativas e pelos tradicionais garimpeiros (BRASIL, 2010).

O vocábulo garimpeiro é utilizado para denominar os trabalhadores que desenvolvem as operações de lavra rudimentar de forma individual ou coletiva em territórios denominados de garimpos (BRASIL, 2008). Esse vocábulo foi originado do termo “*grimpeiro*”, significando indivíduo que, no século XVIII, atuava de forma clandestina nas “*grimpas*”, na busca por riquezas minerais para a sua sobrevivência. Esse termo “*grimpas*” significava pequenos territórios montanhosos de Minas Gerais, ocupados por trabalhadores que agiam de forma itinerante e à margem da lei, para fugir da fiscalização do fisco (FREITAS & FREITAS, 2021).

Segundo Costa (2007), o vocábulo garimpeiro, por sua origem, remete a ideia de trabalhador que exerce atividade ilegal e marginal. Por sua vez, os garimpos podem também ser definidos como áreas de extração mineral que ocorrem em rochas aluvionares ou primárias, onde as substâncias minerais deveriam ser extraídas apenas por meio de métodos rudimentares. Dentre as substâncias que são lavradas em áreas de garimpos no Brasil cita-se: o ouro, o diamante, as gemas de cor (água marinha, turmalina, esmeralda, topázio), e os minerais de pegmatitos (quartzo, feldspato, mica, tantalita/columbita) e até o caulim (BRASIL, 2008).

No Brasil, a atividade garimpeira foi caracterizada, desde os seus primórdios, por ser uma atividade executada de forma individual, aventureira e nômade, onde o próprio garimpeiro tinha autonomia e instituiu as relações trabalhistas ou os seus contratos de trabalho, ao mesmo tempo, fazia a comercialização das substâncias minerais que eram extraídas das áreas de garimpagem. (FREITAS & FREITAS, 2021).

No contexto sociológico e histórico, nas reservas garimpeiras, estabelecidas por instrumentos legais, sempre existiram críticas pela ausência do Estado nesses territórios e pelo processo crescente de marginalização e até de criminalização das atividades de garimpagem. Para os atores sociais que atuam nessas reservas, essa postura das autoridades governamentais afetou bastante a imagem dos garimpeiros, colocando-os a serviço de grupos inescrupulosos, que almejavam o aproveitamento de minérios dessas áreas sem cumprir as exigências legais. Esse abandono dos órgãos do governo inviabilizou o desenvolvimento em bases sustentáveis de atividades produtivas em áreas com grande potencial mineralógico (BRASIL, 2008).

A Constituição Federal do Brasil, de 05 de outubro de 1988, que delineou os Direitos e Garantias Fundamentais do Cidadão, estabelece nos parágrafos 2º e 3º do Art. 174 que:

- ✓ “A lei apoiará o cooperativismo e outras formas de associativismo”;
- ✓ “O Estado favorecerá a organização da atividade garimpeira em cooperativas, levando em conta a proteção do meio ambiente e a promoção socioeconômica dos garimpeiros”.

Conforme Barreto (2003), a partir de 1990, o Brasil e outros países da América Latina passaram a adotar mais ações de sensibilização para incentivar micro e pequenos mineradores e os garimpeiros, que atuavam na informalidade, a aderirem aos princípios e valores do associativismo/cooperativismo como forma de fomentar a organização social e produtiva de empreendimentos mineiros de pequeno porte.

O Estatuto Garimpeiro foi instituído pela Lei nº 11.685, em 02 de junho de 2008, com o objetivo de assegurar os direitos e deveres elementares dos garimpeiros e, ao mesmo tempo, contribuir para a organização do trabalho e a inclusão social e econômica das comunidades de garimpeiros (BRASIL, 2008), que historicamente sempre foram estigmatizadas e marginalizadas pela sociedade brasileira.

Em 2011, o lançamento do Plano Nacional de Mineração 2030, PNM – 2030, foi uma estratégia importante do governo federal com o objetivo de nortear a formulação das políticas públicas de médio e longo prazo que pudessem contribuir para que o Setor Mineral se tornasse um alicerce para o desenvolvimento em bases sustentáveis do país (BRASIL, 2010). Esse Plano estabelecia também mecanismos importantes para incentivar e contribuir com o desenvolvimento de micro e pequenos empreendimentos de mineração.

Nesse contexto, o PNM – 2030 tem como um dos objetivos estratégicos apoiar e fomentar micro e pequenas empresas, para que elas possam exercer suas atividades produtivas em bases sustentáveis, preferencialmente organizadas na forma de arranjos produtivos locais de base mineral. Esse apoio deve ser aplicado também à atividade mineral em áreas de garimpo, desde que essas áreas estejam formalizadas em relação ao direito mineral e ambiental.

Entretanto, apesar de todas ações estratégicas, estabelecidas nas políticas públicas do governo federal nas últimas décadas, para apoiar e incentivar micro e pequenos empreendimentos mineiros em todo o território nacional, inclusive na área pesquisada, fica evidenciado que os resultados obtidos até agora são incipientes, constituindo-se em um apanhado de ações que integram mais uma lista de desejos pelo não cumprimento de suas metas, por uma série de razões já bem conhecidas, dentre elas a ausência de perenidade das ações.

A afirmativa de Sousa et al. (2021) exemplifica a ineficiência dos resultados obtidos até agora com as ações estratégicas provenientes dessas políticas públicas. Conforme esses autores, o nível de informalidade no segmento da mineração de pequeno porte ainda é muito elevado, os pequenos mineradores têm ainda muitas dificuldades para acesso ao crédito e muitos obstáculos para o uso de novas tecnologias, mesmo aquelas bastante conhecidas e tradicionais.

A expressão Mineração Artesanal e em Pequena Escala passou a ser adotada no Brasil, principalmente em 2021, pelos gestores da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, vinculada ao MME, para descrever a atividade mineral que é realizada de forma individual, em grupos, em famílias ou em cooperativas, que geralmente atuam na informalidade e na maioria das vezes sem acesso a tecnologias.

Conforme Freitas & Freitas (2021), esse modelo de mineração artesanal ocorre também em vários países em desenvolvimento e é bastante diversificado, com a geração de vários postos de trabalho, utilizando a mão de obra local, em sua maioria sem qualificação e sem carteira assinada, provocando impactos ambientais e sociais significativos.

O Decreto nº 10.966, de 11 de fevereiro de 2022, instituiu o Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Mineração Artesanal e em Pequena Escala com a finalidade de propor políticas públicas e estimular o desenvolvimento da mineração em pequena escala com vistas ao desenvolvimento sustentável regional e nacional. Nesse decreto, a Mineração Artesanal e em Pequena Escala é definida como sendo todas as atividades de extração de substâncias minerais garimpáveis, desenvolvidas na forma Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989.

Em linhas gerais, ficou evidenciado que o Programa de Apoio à Mineração Artesanal e em Pequena Escala foi instituído para tentar formalizar a atividade de garimpo ilegal em todo território brasileiro, para atender principalmente as reivindicações de milhares de garimpeiros de ouro, cassiterita e diamantes dos estados de Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Amazonas, Pará, Amapá, Goiás, Tocantins, dentre outros. Entretanto apesar dessas tentativas, os problemas de informalidade nas áreas de garimpos desses estados não foram resolvidos até o momento.

Com base nos fundamentos e especificidades de micro e pequenas empresas de mineração delineados nesse trabalho de pesquisa, e dos princípios históricos, sociais e econômicos dos garimpos aqui expostos, é perfeitamente admissível que os empreendimentos mineiros desse porte apresentem muitas similaridades entre si, com inúmeras características em comum. Todavia, a principal diferença está na imagem marginalizada que a atividade garimpeira tem perante à sociedade brasileira, principalmente devido às últimas incursões de milhares de garimpeiros envolvidos com a extração ilegal de ouro em territórios indígenas no Bioma Amazônia e também no Bioma Cerrado.

Conforme Sousa et al. (2018), podem ser resumidas e listadas algumas características comuns a todos empreendimentos de mineração de pequeno porte, inclusive algumas bastante pertinentes à atividade garimpeira, que precisam de um olhar mais acolhedor, humanizado e criterioso dos gestores públicos para remover os gargalos que inibem o desenvolvimento em bases sustentáveis desse importante segmento da Atividade Mineral no Brasil:

- Emprega grande número de trabalhadores;
- Expressiva articulação com a economia local, regional e nacional;
- Articulação com as comunidades locais;
- Articulação com a sociedade regional;
- Elevadas dificuldades para acesso ao financiamento de créditos;
- Elevado nível ou percentual de informalidade;
- Atividade mineral sem licenciamento ambiental;
- Atividade mineral sem o título minerário adequado;
- Levantamentos geológicos básicos incipientes;
- Operações de lavra de forma inadequadas;
- Baixa recuperação no beneficiamento de minérios;
- Impactos ambientais marcantes;
- Geração de resíduos sem tratamento adequado;
- Ausência de profissionais habilitados nas operações de mineração;
- Baixo nível de escolaridade da mão de obra;
- Baixo nível de qualificação técnica e gerencial;
- Carência de treinamento e capacitação;
- Baixa remuneração dos trabalhadores;
- Reduzida produtividade e competitividade;
- Ausência de controle de qualidade;
- Relações comerciais incipientes;
- Percepção negativa da sociedade.

2.2 ARRANJO PRODUTIVO LOCAL – APL

A gestão de micro e pequena empresa no Brasil e no mundo sempre foi uma tarefa bastante complexa, com obstáculos e exigências de toda ordem, com a necessidade de acesso a competências especiais e da aquisição de competitividade para garantir a sobrevivência e evitar a mortalidade precoce desses empreendimentos (QUEIROZ, 2016).

Nesse cenário, a cooperação entre as empresas passou a ser uma alternativa bastante interessante no processo de acesso e expansão da inovação, da competitividade e da produtividade de ambas organizações. A cooperação entre empresas pode ser realizada por meio de cooperativas, associações, clusters, arranjos produtivos, entre outras formas, e pode contribuir para a resolução de uma série de problemas, onde essas empresas, de forma isolada, teriam mais dificuldades para resolver (AMATO NETO, 2000).

Em 1982, na Inglaterra, o cientista Alfred Marshall pesquisou, analisou e caracterizou os aglomerados locais, mediante a observação da concentração de pequenos estabelecimentos de manufatura no mesmo espaço geográfico e, a partir dessa experiência pioneira, desenvolveu o conceito de distrito industrial para referenciar essas aglomerações. Esses fundamentos dos aglomerados locais desenvolvidos por Marshall passaram a ser difundidos no Brasil, a partir da década de 90, por pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro (QUEIROZ, 2016).

No Brasil, o processo acentuado de reestruturação industrial que ocorreu no início da década de 1990, em função do processo crescente de inserção econômica no mercado internacional e da conseqüente abertura comercial no mundo, passou a exigir da indústria brasileira mais inovação, competitividade e produtividade, forçando a necessidade de transformações no sistema produtivo.

Nesse novo paradigma, os arranjos produtivos são alternativas para o desenvolvimento em bases sustentáveis, valorizando as estratégias de crescimento local e regional, com a cooperação e articulação entre os atores sociais envolvidos e com flexibilidade para as intervenções públicas. Além disso, esses arranjos promovem ações de apoio aos empreendimentos de pequeno porte, com aproveitamento das potencialidades locais para a expansão da inovação, da competitividade, da produtividade, e da geração do emprego e renda.

Inegavelmente, segundo Porter (1999), os aglomerados locais podem contribuir para o desenvolvimento das empresas do mesmo setor, em bases sustentáveis, mediante o acesso a algumas vantagens, tais como: a parceria de várias instituições de apoio, a comunicação entre os atores sociais envolvidos, o aproveitamento da matéria prima local, da infraestrutura e da tecnologia desenvolvida na região.

Um Arranjo Produtivo Local – APL pode ser caracterizado como aglomerações de micro, pequenas ou médias empresas, que atuam na mesma atividade produtiva e no mesmo espaço geográfico, compartilhando algumas formas de cooperação. Em 2003, foram identificados os primeiros arranjos produtivos locais no Brasil, constituídos por empreendimentos que buscavam inovação, ganhos de competitividade e produtividade, embasados na cooperação e usufruindo as vantagens da mesma localização.

Em síntese, os Arranjos Produtivos Locais são aglomerações territoriais de agentes econômicos, políticos e sociais com foco em um conjunto específico de atividades econômicas que apresentam vínculos mesmo que incipientes. Geralmente envolvem a participação e a interação de empresas, cooperativas, associações, sindicatos, agências de fomento, instituições de ensino e pesquisa, órgãos governamentais e outras entidades (BRASIL, 2010).

O Grupo de Trabalho Permanente para Arranjos Produtivos Locais – GTP APL foi criado pela Portaria Interministerial nº 200, de 03 de agosto de 2004, com a finalidade de sistematizar uma metodologia integrada de apoio aos arranjos produtivos locais já existentes. A Portaria nº 958 – SEI, de 01 de junho de 2018, do Ministério da Indústria, Comércio, Exterior e Serviços, regulamentou o GTP APL como instância competente para tratar de estratégias de desenvolvimento produtivo e o fortalecimento dos APLs trabalhados (SOUSA *et al.*, 2023).

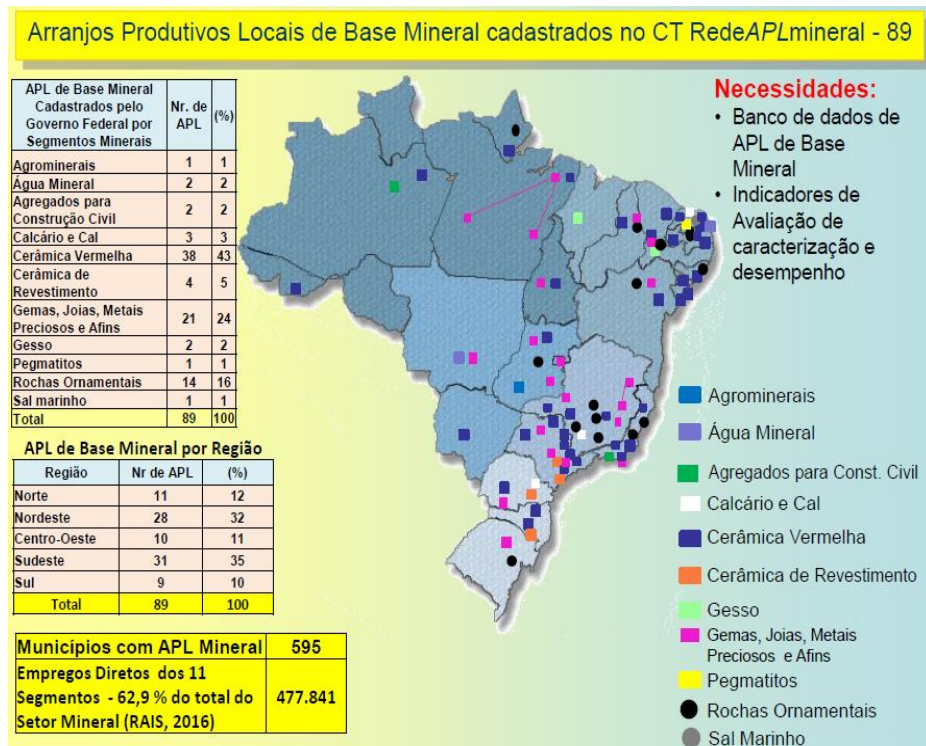
O objetivo da adoção de ações integradas de políticas públicas para arranjos produtivos locais visa alcançar a inovação tecnológica; a elevação da competitividade; o acréscimo da produtividade; a expansão e a modernização da base produtiva; o crescimento dos níveis de emprego e renda; o aumento da escolaridade e capacitação; o desenvolvimento regional; a redução das desigualdades regionais e sociais; e o desenvolvimento sustentável.

Conforme Sousa *et al.* (2018), os Arranjos Produtivos Locais de base mineral podem ser definidos como aglomerados de micro, pequenas ou médias empresas de mineração, que atuam no mesmo segmento produtivo e estão situadas no mesmo espaço geográfico. Em linhas gerais, os princípios básicos para a constituição de um APL de base mineral são a existência de um aglomerado de empreendimentos que atuam no mesmo território, que buscam abranger toda a cadeia produtiva, com potencial para gerar parcerias e assim incrementar a competitividade.

Um APL de base mineral é constituído por uma cadeia produtiva diversificada e que contempla a mineração em pequena escala, envolvendo as etapas de pesquisa mineral, lavra de minas, beneficiamento de minérios, transformação mineral e de comercialização do produto. No Brasil, os produtos minerais inicialmente caracterizados como APLs foram: água mineral, agregados para construção civil, gesso, calcário, cerâmica vermelha, cerâmica de revestimento, gemas e jóias, rochas ornamentais, minerais em pegmatitos e sal de cozinha.

Os APLs de base mineral são apoiados pelo GTP APL e, segundo dados da Rede APL mineral em 2021, existem 89 APLs de base mineral constituídos no Brasil. Os insumos da cadeia produtiva que estão sendo aproveitados nesses APLs estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral no Brasil



Fonte: Rede APLmineral (2021)

Esses APLs foram constituídos a partir de empreendedores do segmento mineral de pequena escala, localizados em uma determinada região, que percebem vantagens em atuar sob a forma de aglomerados produtivos, mediante ações cooperativadas e/ou associativas, para se manterem competitivos e ampliarem as oportunidades de negócio, pelo aumento da escala de produção e conquista de novos mercados (BRASIL, 2008).

Os projetos de APLs de base mineral, no seu processo de constituição, devem inicialmente priorizar o alcance da formalização ampla da produção mineral, com observância ao cumprimento dos dispositivos das legislações mineral, ambiental, do exercício profissional, trabalhista e dos direitos sociais. A informalidade é o principal problema para a consolidação dos APLs de base mineral, inviabilizando o acesso a apoio dos órgãos oficiais (BRASIL, 2010).

De acordo com o Ipea (2014), os APLs de base mineral representam um valioso instrumento estratégico de articulação e integração de políticas de apoio ao desenvolvimento local e regional da mineração de pequeno porte, propiciando as condições favoráveis à geração, adaptação, difusão e uso de novas tecnologias, melhorando a gestão e a capacidade produtiva.

2.3 FORMALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO MINERAL E A LEGISLAÇÃO

A formalização da produção mineral pode ser definida como um processo de regularização das atividades de aproveitamento econômico dos recursos minerais, de acordo com o que preconiza a legislação mineral, a legislação ambiental, a legislação trabalhista, a legislação que regula o exercício profissional e as normas fiscais, previdenciárias, de saúde e segurança no trabalho, de forma a contribuir para a sustentabilidade da região onde essa atividade está inserida (SOUSA *et al.*, 2018).

O Ministério de Minas e Energia é o órgão do Governo responsável pela formulação e execução da política mineral do Brasil. No âmbito federal, o MME tem sob sua jurisdição autarquias, empresas públicas e agências reguladoras, onde algumas delas são encarregadas de executar a política pública do setor mineral, administrar os recursos minerais do país, regulamentar e fiscalizar a produção, a distribuição, o comércio e o consumo de produtos minerais, além dos segmentos de petróleo, gás e energia elétrica (MINAS GERAIS, 2001).

Em 2011, as propostas para a construção de uma política mineral para o Brasil foram apresentadas, com a publicação do Plano Nacional de Mineração 2030. Os objetivos estratégicos desse Plano deveriam contribuir para nortear a política mineral brasileira até 2030, visando o alcance da sustentabilidade em todas as etapas da cadeia produtiva mineral. Dentre esses objetivos, estava a transformação do Departamento Nacional de Produção Mineral em uma autarquia especial, com as características das agências reguladoras existentes nos setores de petróleo, energia elétrica e telecomunicações (BRASIL, 2010).

O DNPM era uma autarquia vinculada à estrutura do MME e tinha como finalidade promover o planejamento e o fomento do aproveitamento dos recursos minerais e gerenciar as pesquisas geológicas e as tecnologias minerais, assim como assegurar, controlar e fiscalizar o exercício das operações de mineração em todo território brasileiro. Dentre as suas competências, o DNPM tinha também a função constitucional de fomentar a mineração de pequeno porte e criar mecanismos para apoiar a formalização da produção mineral desse importante segmento (BRASIL, 2008).

A governança pública do setor mineral compreende aspectos relacionados à gestão da política mineral, bem como à elaboração, implementação e regulamentação de marcos legais. A necessidade de modernização do Estado e a exigência de assegurar a governança pública eficaz do setor mineral brasileiro foram preponderantes para a transformação do DNPM na Agência Nacional de Mineração, de forma a propiciar a criação e a manutenção de um ambiente favorável para o desenvolvimento em bases sustentáveis desse setor (BRASIL, 2010).

A Agência Nacional de Mineração foi criada pela Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017, com a finalidade de substituir o DNPM e realizar a gestão, regulação e fiscalização da atividade mineral em todo território nacional, zelando para que o aproveitamento dos recursos minerais seja realizado de forma racional e sustentável. Essa agência é uma autarquia federal vinculada ao MME com a função especial de fomentar a mineração em pequena escala e criar dispositivos para agilizar a formalização da produção mineral desse segmento. A ANM deve atuar com autonomia, transparência, eficiência, simplificação e integridade.

O Código de Mineração, instituído pelo Decreto-Lei nº 227 de 28 de fevereiro de 1967, está em vigor, e é o diploma que estabelece as normas para o aproveitamento dos recursos minerais no território brasileiro. Esse Código determina que compete à União administrar e normatizar o uso desses recursos, define as jazidas, cita os requisitos para autorizações e concessões, explicita os direitos e deveres dos portadores de títulos minerários, e regula outros aspectos importantes da atividade mineral no Brasil.

Os princípios basilares que disciplinam o aproveitamento dos recursos minerais no Brasil estão estabelecidos e estruturados na Constituição Federal do Brasil, promulgada em 05 de outubro 1988, com as devidas modificações inseridas por emendas constitucionais, aprovadas pelo Congresso Nacional após a sua promulgação.

A Constituição Federal de 1988 propiciou uma nova configuração do Estado brasileiro, entretanto, o Código de Mineração de 1967, em vários aspectos, não se coaduna com o modelo proposto por essa Constituição. A conjuntura atual é bastante distinta da situação vivenciada na década de 1960, quando foi elaborado o Código de Mineração em vigor. Naquela época, a evolução tecnológica e o fomento à produção mineral foram considerados questões fundamentais e prioritárias. Hoje, segundo os preceitos constitucionais, as preocupações principais são com as questões sociais e ambientais.

O artigo 176 da Constituição Federal de 1988 considera a Atividade Mineral no Brasil como sendo de interesse nacional, e o aproveitamento dos recursos minerais deverão ocorrer embasados nesse princípio. Nesse arcabouço jurídico-constitucional, essa atividade também é tratada sob os aspectos da dominialidade dos recursos minerais, das normas legais e de fiscalização do aproveitamento dos recursos minerais, da proteção ambiental, da mineração em territórios indígenas e em reservas garimpeiras, entre outros.

O objeto basilar do direito mineral é a regulação do aproveitamento dos recursos minerais e das relações entre o Estado, os mineradores, os proprietários do solo, o meio ambiente e o tecido social ou a própria comunidade, onde as operações de mineração serão desenvolvidas (MARTINS *et al.*, 2011).

Os recursos minerais inertes e presentes no subsolo cotidianamente são pesquisados, descobertos e avaliados e se transformam em riquezas, mediante as ações de empresas de mineração (IBRAM, 1992), com obediência aos dispositivos legais instituídos na Constituição Federal de 1988, no Código de Mineração de 1967 e na legislação mineral complementar.

Conforme esses dispositivos legais, os bens minerais pertencem a União e são propriedades distintas da propriedade do solo. A pesquisa mineral e a lavra de minas somente poderão ser desenvolvidas por meio de uma autorização e concessão da União, com observância ao interesse nacional. O produto da lavra pertence ao concessionário, mas o superficiário ou o proprietário do solo tem direito à participação nos resultados da lavra.

A diversidade dos recursos minerais, o grau de dificuldade do seu aproveitamento, o destino da produção lavrada e os aspectos sociais envolvidos propiciaram o surgimento das modalidades ou regimes de aproveitamento econômicos dos recursos ou substâncias minerais. Dessa forma, a pesquisa mineral, a lavra de minas, o beneficiamento de minérios, a utilização e a comercialização de recursos devem se adequar a um desses regimes (BRASIL, 2008).

A pesquisa mineral é uma das etapas mais importantes de um projeto de mineração e compreende a execução dos serviços necessários à definição da jazida, sua avaliação e a determinação da viabilidade técnica e econômica do seu aproveitamento.

De acordo com o Código de Mineração de 1967 e a legislação mineral vigente, os serviços de pesquisa mineral compreende trabalhos de campo e de laboratório, envolvendo: os levantamentos geológicos detalhados da área a ser pesquisada, em escala adequada; estudos dos afloramentos; levantamentos geofísicos e geoquímicos; uso de sensoriamento remoto; aberturas de trincheiras e galerias; execução de sondagens no depósito mineral; amostragens; caracterização física, química e tecnológica das amostras; e ensaios de beneficiamento de minérios para obtenção de concentrados de acordo com as possíveis rotas de mercado.

Esses dispositivos legais também definem lavra de minas como sendo o conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração das substâncias úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas. A execução das operações de lavra em bases sustentáveis depende muito da abrangência e da qualidade dos resultados dos serviços de pesquisa mineral realizados na área a ser lavrada.

O beneficiamento de minérios procura agregar valor aos recursos minerais extraídos na etapa de lavra de minas, mediante processos de purificação e enriquecimento dessas substâncias minerais. O beneficiamento é constituído das operações de fragmentação, classificação e concentração de minérios, e é fundamental para o adensamento e a elevação de valor da cadeia produtiva mineral.

No Brasil, a formalização da produção mineral depende da escolha adequada de um dos regimes de aproveitamento dos recursos minerais. Segundo Martins *et al.* (2011), esses regimes de aproveitamento são procedimentos administrativos apropriados que estabelecem os requisitos e as exigências indispensáveis para a obtenção do título minerário.

Entretanto, o segmento da mineração em pequena escala tem tido muitas dificuldades no processo de formalização da produção mineral, porque a legislação em vigor trata, na maioria dos casos, esse segmento, da mesma forma como trata a regularização dos grandes empreendimentos mineiros, provocando assim o aumento da informalidade (OECD, 2022).

Os Regimes de Aproveitamento dos Recursos Minerais disponíveis pela legislação vigente para a formalização da produção mineral são os seguintes:

- Autorização de Pesquisa;
- Concessão de Lavra;
- Registro de Licenciamento;
- Registro de Extração;
- Permissão de Lavra Garimpeira;
- Monopolização.

O Regime de Autorização de Pesquisa é o regime que permite a realização da etapa de pesquisa mineral em todo território nacional, envolvendo as fases de prospecção e exploração, com o objetivo do mapeamento geológico da área minerada e o estudo dos depósitos minerais. O título minerário que formaliza essa autorização é o Alvará de Pesquisa, que possibilita mais segurança jurídica e não necessita de anuência prévia das prefeituras (BRASIL, 2008).

Nesse regime de aproveitamento econômico, o direito de prioridade à obtenção da autorização de pesquisa é concedido ao interessado, cujo requerimento tenha por objetivo uma área considerada livre na data da protocolização do pedido no Cadastro Mineiro da ANM, cumprido os requisitos legais.

De acordo com a legislação mineral vigente, o requerente da autorização de pesquisa mineral precisa ser registrado no Cadastro Mineiro e a área a ser pesquisada não pode estar onerada. Em caso de necessidade de ser realizada uma lavra experimental na etapa de pesquisa mineral, deve ser requerida uma Guia de Utilização para a execução dessa lavra temporária.

O titular do Alvará de Pesquisa deverá pagar aos superficiários ou proprietários dos terrenos, onde serão realizados os serviços necessários de pesquisa mineral, uma renda pela ocupação das áreas pesquisadas e uma indenização pelos danos e prejuízos que possam ser causados por esses trabalhos de pesquisa efetuados, conforme preconiza os dispositivos legais do atual Código de Mineração.

As áreas máximas para a realização dos serviços variam de acordo com a substância e o bioma onde a área ser pesquisada está inserida. O prazo de validade para as autorizações de pesquisa será de dois a três anos, podendo ser prorrogado, desde que atenda as exigências estabelecidas pela legislação mineral.

A definição da jazida possibilitará a medição das reservas e dos teores. A viabilidade do aproveitamento técnico e econômico dependerá da análise preliminar dos custos da produção, dos fretes e do preço de mercado (BRASIL, 2008). Após a conclusão dos serviços de pesquisa mineral, deverá ser elaborado um Relatório Final de Pesquisa – RFP, consolidando e sintetizando os estudos e conclusões obtidas com os trabalhos executados.

Em caso do Relatório Final de Pesquisa Mineral não comprovar a existência de uma jazida técnica e economicamente viável, o processo de requerimento de pesquisa será arquivado, e dessa forma torna-se inviável o requerimento de concessão de lavra. Em adição, quando for constatada a insuficiência dos serviços e estudos na pesquisa mineral ou deficiência técnica na elaboração do RFP, esse relatório não será aprovado e a ANM colocará a área em disponibilidade. Por fim, quando for comprovada temporariamente a inexequibilidade técnico-econômica da lavra haverá o sobrestamento da decisão sobre o RFP, com a fixação pela ANM de novo prazo para apresentação de novos estudos sobre essa viabilidade (BRASIL, 2008).

O Regime de Concessão de Lavra é o regime que concede ao titular do processo administrativo de autorização de pesquisa o direito de requerer a outorga da concessão de lavra e assim poder realizar a extração dos recursos minerais do subsolo. Segundo os dispositivos legais, esse regime é dependente do Regime de Autorização de Pesquisa, uma vez que essa concessão só poderá ser outorgada, se a jazida estiver pesquisada e o RFP for aprovado. As informações obtidas na pesquisa mineral, serão utilizadas para elaboração do Plano de Aproveitamento Econômico – PAE da jazida, que é indispensável para a execução da lavra.

O PAE é um documento obrigatório no processo de requerimento de concessão de lavra, que deverá ser elaborado e ter como responsável técnico um profissional legalmente habilitado. Nesse plano, serão apresentadas as informações exigidas pelo Código de Mineração e também a descrição das instalações de beneficiamento, os números relativos às reservas, à produção anual, ao planejamento de aproveitamento de resíduos e de fechamento da mina.

A Portaria de Lavra é o título minerário que formaliza essa concessão e, ao mesmo tempo, é o documento que assegura ao portador desse título o direito à extração, transformação e comercialização do bem mineral. Ao contrário dos outros títulos minerários, a Portaria de Lavra é outorgada por prazo indeterminado, com vigência até a exaustão da jazida, desde que sejam cumpridas as exigências legais pelo minerador.

Os regimes de Autorização de Pesquisa e Concessão de Lavra aplicam-se a quase todos recursos minerais, em especial os metálicos existentes em grandes depósitos minerais. Em linhas gerais, esses regimes apresentam maior segurança jurídica, são mais completos e complexos, todavia são muito mais onerosos, exigindo profissionais legalmente habilitados. Essas peculiaridades demonstram que esses regimes não são adequados para a formalização de micro e pequenos empreendimentos mineiros.

O Regime Registro de Licenciamento é um regime especial com lei específica, instituído pela Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, que permite o aproveitamento de recursos minerais in natura, de emprego imediato na construção civil (areia, cascalho, saibro e brita), argila e calcário para indústrias diversas, rochas aparelhadas para paralelepípedos, rochas ornamentais e de revestimento. A lavra desses recursos minerais poderá ser realizada sem os serviços prévios de pesquisa mineral, em função da natureza dos depósitos que abrigam esses recursos, do limite espacial das áreas mineradas e da utilização econômica dos mesmos.

Conforme os dispositivos da Lei nº 6.567/1978, o aproveitamento dos recursos minerais pelo Regime Registro de Licenciamento é facultado exclusivamente ao proprietário do solo, ou a quem dele tenha expressa autorização, para a realização desse aproveitamento, restrito à área máxima de 50 ha (cinquenta hectares). Esse regime depende da obtenção, pelo minerador interessado, de uma licença específica, expedida pela autoridade administrativa do Município onde está situada a jazida. Em seguida, deverá ser efetivado o registro dessa licença específica na ANM. O título minerário que formaliza esse regime é o Registro de Licenciamento.

O Regime Registro de Extração é um regime especial, instituído pela Lei nº 9.887, de 27 de agosto de 1999, que permite a lavra de recursos minerais in natura, de emprego imediato na construção civil, por órgãos da administração direta da União, Estados, Distrito Federal e Municípios, para uso exclusivo em obras públicas por eles executadas. Os princípios desse regime estão previstos no Código de Mineração, que possibilita a extração de uma substância mineral, sem fins econômicos, em benefício do interesse social comum da população, restrito à área máxima de 5 (cinco) ha. O título que formaliza esse regime é o Registro de Extração.

O Regime de Monopólio apresenta os dispositivos legais que foram instituídos pelo Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Essas normas, estabelecidas pelo Código de Mineração de 1967, preconizam que esse regime é aplicado apenas para o aproveitamento de substâncias minerais que dependem de execução direta ou indireta do governo federal. No âmbito desses parâmetros normativos, a Constituição Federal de 1988 determina que a pesquisa mineral, a lavra, o enriquecimento, o reprocessamento, a industrialização e o comércio de minerais nucleares e seus derivados constituem monopólio da União (BRASIL, 2008).

O Regime de Permissão de Lavra Garimpeira – PLG foi instituído pela Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e é definido como um regime que propicia o aproveitamento imediato da jazida mineral que, por sua natureza, dimensão, localização e utilização econômica, permite a execução da lavra, sem necessidade de serviços prévios de pesquisa mineral, conforme os critérios fixados pela ANM. Esse regime foi criado para garantir aos garimpeiros o acesso de forma simplificada a uma atividade econômica, que lhes proporcionasse postos de trabalho e renda, fixando-os no campo e assim evitando o êxodo rural.

Em adição, essa Lei nº 7.805/1989, regulamentada pelo Decreto nº 98.812, de 09 de janeiro de 1990, estabelece como substâncias minerais garimpáveis o ouro, o diamante, as gemas de cor (ametista, esmeralda, topázio), a cassiterita e a wolframita exclusivamente nas formas aluvionar, eluvionar e coluvial. Além disso, são consideradas também como substâncias garimpáveis a scheelita, o rutilo, o espodumênio, o berilo, as gemas (água marinha, turmalina), os minerais de pegmatitos (quartzo, feldspato, mica, tantalita/columbita) e outros, com a forma de ocorrência que vierem a ser indicadas antes pelo DNPM, e hoje a critério da ANM.

Nesse Regime de Permissão de Lavra Garimpeira, a área máxima que poderá ser requerida será limitada até 50 (cinquenta) ha para pessoas físicas e até 1.000 (mil) ha para cooperativas de garimpeiros, podendo chegar a 10.000 (dez mil) ha, se a atividade de lavra garimpeira for desenvolvida na Amazônia Legal, segundo o art. 44 da Portaria DNPM nº 155, de 12 de maio de 2016, que fez a Consolidação de Normas do DNPM, atual ANM. A legislação vigente estabelece também que esse regime terá o prazo de validade de 5 anos, podendo ser renovado, a critério das gerências regionais da ANM.

O título minerário que formaliza esse regime é a Permissão de Lavra Garimpeira, também denominado de PLG. Esse regime foi instituído para formalizar a atividade de garimpagem em todo território brasileiro, voltada para o aproveitamento econômico de substâncias minerais garimpáveis, em depósitos de áreas previamente estabelecidas para a realização dessa atividade, pelo Diretor Geral do DNPM, nos termos do que preconiza o art. 11 da Lei nº 7.805/1989 (BRASIL, 2008).

No século XX, a Constituição Federal do Brasil de 1988, a Lei nº 7.805/1989, o Decreto nº 98.812/1990 e o Estatuto do Garimpeiro, instituído pela Lei nº 11.685/2008 foram dispositivos jurídicos modernos e importantes para reconhecer, valorizar, proteger e incentivar os trabalhadores que atuavam nas áreas dos garimpos ou nas reservas garimpeiras, ocasionando uma nova interpretação da figura tradicional e histórica do garimpeiro e da atividade de garimpagem, com reflexos na legislação mineral correlata e na legislação ambiental, responsável pelo controle e proteção do meio ambiente.

A Lei nº 7.805/1989 e o Estatuto do Garimpeiro de 2008, evidenciaram a intenção de alargamento da definição de permissão de lavra garimpeira, utilizando-a na caracterização da atividade de garimpagem e ao mesmo tempo inserindo várias atividades sob o domínio desse título minerário, as quais são equivocadas e incompatíveis com o conceito histórico e tradicional do vocábulo “garimpo”. Essas legislações adotaram novos parâmetros conceituais, redefinindo o conceito de garimpagem e ignorando parâmetros importantes relacionados com a natureza rudimentar e o conteúdo da atividade garimpeira tradicional (BRASIL, 2020).

Em linhas gerais, a Lei 7.805/1989 reformulou a definição de atividade garimpeira, utilizando como principais parâmetros ou critérios para essa nova definição os tipos de minerais a ser lavrado, o local de execução da lavra e a modalidade do título minerário aplicável a essa atividade de extração de substâncias garimpáveis. Curiosamente, essa lei não faz alusão ao caráter rudimentar dessa atividade e nem aos instrumentos utilizados pelos garimpeiros para extração das substâncias minerais, em oposição ao aproveitamento industrial de jazida.

O Estatuto do Garimpeiro de 2008 não mencionou os critérios históricos que fizeram parte da caracterização tradicional da atividade garimpeira de diplomas normativos do passado. Esse Estatuto, inicialmente define a figura do garimpeiro apenas como o minerador que extrai substâncias garimpáveis. Posteriormente, conceitua o garimpo embasado na localização geográfica da área onde as substâncias minerais garimpáveis são extraídas com aproveitamento imediato da jazida, independente dos serviços prévios de pesquisa mineral. Por fim, enumera as substâncias garimpáveis utilizando o critério de tipos de minerais existentes, sem considerar as técnicas de extração utilizadas nessas áreas (BRASIL, 2020).

Em contradição, segundo o Código de Mineração de 1967 e outros diplomas normativos editados no passado, a atividade garimpeira era conceituada como uma atividade de extração individual de metais nobres e pedras preciosas de forma rudimentar, utilizando instrumentos manuais ou máquinas simples e portáteis. Nesse contexto, o garimpeiro é definido pelo caráter histórico e tradicional de sua profissão, a qual seria desenvolvida de forma individual e rudimentar, com o uso de picaretas, pás, carrinhos de mão, bateias, podendo ser incorporados aparelhos ou maquinários simplificados e portáteis (BRASIL, 2020).

Os princípios históricos e tradicionais abordados no Código de Mineração de 1967 consideram como substâncias garimpáveis as pedras preciosas, semi-preciosas, minerais metálicos e não-metálicos, valiosos, em depósitos de eluvião ou aluvião, nos álveos de cursos d’água ou nas margens reservadas, bem como nos depósitos secundários ou chapadas, também conhecidas como grupiarias, vertentes e altos de regiões montanhosas, denominadas no Século VIII de grimpas, conforme Freitas & Freitas (2021).

Nesse aspecto, a diferença entre o garimpo e uma atividade mineral mais avançada é bem significativa, sobretudo se forem consideradas as técnicas rudimentares adotadas historicamente nos garimpos em comparação com as tecnologias modernas utilizadas nas operações de lavra dos empreendimentos mineiros mais avançados. O próprio conceito de lavra estabelecido no Código de Mineração de 1967 não é compatível com a definição de lavra garimpeira instituída pela Lei nº 7.805/1989. Na realidade, existem discordâncias marcantes.

Conforme o Código de Mineração de 1967, a lavra é conceituada como o conjunto de operações coordenadas, objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração das substâncias úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas. Além disso, esse diploma legal estabelece a exigência da necessidade da realização dos serviços prévios de pesquisa mineral da jazida a ser lavrada, antes do início das operações de lavra.

A legislação mineral em vigor, que rege o processo de formalização da atividade mineral “garimpeira”, apresenta uma série de equívocos e contradições. Dessa forma, fica evidenciado que nesses dispositivos legais vigentes não existe considerações ou exigências sobre os critérios relacionados à forma de aproveitamento econômico da jazida, e nem às técnicas utilizadas na extração das substâncias minerais (BRASIL, 2020).

Nessa premissa, o título Permissão de Lavra Garimpeira pode ser emitido independentemente do porte do empreendimento, da natureza e das técnicas adotadas nas operações de extração mineral das substâncias garimpáveis, demonstrando uma contradição enorme em relação aos conceitos e teorias preconizados sobre a atividade garimpeira no Código de Mineração de 1967, embasados principalmente na história e na tradição dessa atividade, que sempre foi reconhecida no setor mineral como uma atividade rudimentar (BRASIL, 2020).

A ausência desses requisitos históricos e tradicionais para a emissão de Permissão de Lavra Garimpeira permite que empreendimentos de grande poder econômico possam se habilitar a requerer áreas com substâncias garimpáveis, concorrendo para esse fim com os garimpeiros individuais e/ou com as cooperativas de garimpeiros. A participação de empresas utilizando equipamentos e maquinários de grande valor econômico, como tratores de esteiras, pás-carregadeiras, escavadeiras hidráulicas, balsas e dragas, na extração de substâncias minerais em áreas garimpeiras é totalmente contraditória com a definição histórica de garimpo.

O investimento inicial para aquisição desses equipamentos e maquinários pode variar até mais de dois milhões de reais, que é incompatível com o poder aquisitivo e a imagem tradicional, rudimentar e simples do garimpeiro, que fazia a extração dos recursos minerais com o uso de picaretas, pás, carrinhos de mão e bateias, conforme preconizava o Código de Mineração de 1967.

Com todos esses argumentos, pode-se afirmar que o Regime de Permissão de Lavra Mineração e a legislação mineral atual ao invés de reconhecer, valorizar, proteger e incentivar a atividade garimpeira, está incentivando o crescimento de cooperativas de empresários altamente capitalizados, que são detentores de muitos títulos de Permissão de Lavra Garimpeira, desmistificando a imagem histórica e tradicional do garimpo do passado (BRASIL, 2020).

Segundo Bicca (2022), a atividade garimpeira é considerada hoje um dos maiores problemas da legislação mineral em vigor, uma vez que existem contradições e um hiato muito grande e evidente nos dispositivos legais instituídos no passado e voltados para um tipo de garimpo tradicional que não existe mais. Aquele profissional garimpeiro, trabalhando de forma rudimentar e individual, utilizando ferramentas manuais e bateia, para extração de diamante, ouro e outros minerais, não existe mais. Atualmente a atividade garimpeira está muito mecanizada, utilizando equipamentos sofisticados de alta tecnologia e alto valor econômico.

Ainda de acordo com Bicca (2022), o termo mais adequado a ser utilizado em substituição ao vocábulo “garimpo” seria adotar o conceito de mineração artesanal em referência a uma atividade mineral mais simplificada e semi-mecanizada. Entretanto, a mineração artesanal em pequena escala, instituída pelo Decreto nº 10.966/2022, foi definida como sendo todas as atividades de extração de substâncias minerais garimpáveis, segundo preconizado na Lei nº 7.805/1989, com peculiaridades similares a atividade garimpeira.

Essa definição de mineração artesanal, preconizado na legislação mineral vigente, é similar ao conceito de lavra ou atividade garimpeira, com os mesmos equívocos e bastante criticada nos dias atuais, e que não resolve o problema de formalização das atividades minerais desenvolvidas por micro e pequenos mineradores em todo território brasileiro.

Conforme Sousa et. al (2021), o mais coerente seria passar a admitir que não existem mais a atividade garimpeira tradicional e rudimentar do passado. Na realidade, o que existe nos dias atuais são micro e pequenos empreendimentos mineiros individuais ou organizados em cooperativas, que executam as operações de lavra das jazidas de forma simplificada e com equipamentos de pequeno porte, sem necessidade dos serviços prévios de pesquisa mineral, em função da natureza aflorante desses depósitos minerais a serem lavrados.

Com base em todas essas reflexões e argumentações expostas no trabalho de pesquisa realizado nesta tese, a questão colocada é qual seria o modelo mais ágil para realizar a organização social e produtiva da mineração de pequeno porte, inclusive as atividades pertinentes ao antigo “garimpo”, e qual seria o regime de aproveitamento econômico mais adequado para a formalização dos empreendimentos que integram esse importante segmento da mineração de pequeno porte no Brasil?

2.4 FORMALIZAÇÃO E A SUSTENTABILIDADE

A Conferência Mundial sobre Meio Ambiente realizada pela Organização das Nações Unidas – ONU, de 05 a 16 de junho de 1972, em Estocolmo, Suécia, teve o objetivo principal de estabelecer uma visão global e princípios comuns, para servir de inspiração e orientação à humanidade, visando a preservação, conservação e a melhoria do ambiente. Nessa Conferência, foi emitida também a Declaração sobre o Ambiente Humano que preconizava como princípio fundamental aos bens minerais que, “os recursos não renováveis da terra deveriam ser utilizados de forma a evitar o perigo de seu esgotamento futuro e assegurar que toda a humanidade participe dos benefícios de tal uso” (IBRAM, 1987; BRASIL, 2008).

A Conferência de Estocolmo, em 1972, foi um dos principais eventos que nortearam os princípios teóricos do ecodesenvolvimento ou desenvolvimento sustentável. A partir dessa Conferência, houve uma evolução acentuada das discussões sobre os limites do desenvolvimento econômico e a inserção das questões ambientais, incluindo-as nas políticas públicas de desenvolvimento de vários países do mundo, principalmente os mais desenvolvidos. Outro avanço importante promovido por essa Conferência da ONU foi a institucionalização do Programa das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente – PNUMA (BRASIL, 2008).

Em 1987, o Relatório Brundtland, elaborado pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMAD da ONU, foi apresentado, na Noruega, com o tema Nosso Futuro Comum. Esse relatório foi responsável pela definição e inserção na literatura mundial da expressão “desenvolvimento sustentável”, substituindo em muitas situações a expressão precursora ecodesenvolvimento (BRASIL, 2008). Esse Relatório emitiu as bases para promover o desenvolvimento social e econômico em harmonia com a proteção ambiental, com o propósito de atender as necessidades das gerações atuais e das gerações futuras.

A Conferência das Nações Unidas do Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada em 1992, no Rio de Janeiro, estabeleceu o conceito histórico de desenvolvimento sustentável como sendo aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades. Essa Conferência consolidou para a humanidade, um novo paradigma de desenvolvimento calcado no trinômio equidade social, eficiência econômica e proteção ambiental (IBRAM, 1992).

A partir das recomendações da Conferência de Estocolmo de 1972 e da Conferência do Rio de Janeiro de 1992, também denominada de Eco 92, o Brasil procurou se adequar a esse novo paradigma universal, definindo uma estratégia para gestão dos recursos naturais mediante a implementação de uma legislação ambiental mais adequada e mais avançada.

A Política Nacional de Meio Ambiente foi instituída pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabeleceu seus fins, mecanismos de formulação e aplicação. Essa Política de Meio Ambiente deveria estimular a compatibilização do desenvolvimento social e econômico com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico. Nessa Lei, estão todos os fundamentos que definem a proteção ambiental no Brasil, que foram regulamentados por meio de decretos, normas, resoluções e portarias (IBRAM, 1992).

A Lei nº 6.938/81 instituiu o licenciamento ambiental, o qual é definido como um procedimento administrativo no qual o órgão ambiental competente licencia a localização, a instalação, a ampliação e a operação de empreendimentos e atividades que utilizam recursos naturais, sendo consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras, ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar danos ou degradação nos ecossistemas, considerando as disposições legais e as normas técnicas aplicáveis (MINAS GERAIS, 2001).

O licenciamento ambiental é um instrumento importante da Política Nacional do Meio Ambiente, sendo obrigatório em todo território brasileiro. Esse procedimento administrativo é considerado fundamental para o empreendedor solucionar os problemas ambientais apresentados por seu empreendimento, uma vez que é por meio do processo de licenciamento ambiental que a empresa toma ciência das suas obrigações para o adequado controle dos impactos ambientais de sua atividade. Atualmente, os órgãos de financiamento e o mercado exigem empresas licenciadas e que cumpram a legislação ambiental (FIRJAN, 2004).

No âmbito da legislação infraconstitucional que disciplina a proteção ambiental e o controle do aproveitamento dos recursos naturais destaca-se a Resolução nº 01 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 23 de janeiro de 1986. Essa Resolução estabeleceu as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para implantação da Avaliação de Impacto Ambiental – AIA como um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 2008). Ao mesmo tempo, definiu os empreendimentos que são obrigados a requerer o licenciamento ambiental junto ao órgão ambiental competente, com as respectivas normas e regras.

De acordo com a Resolução 01/86 do CONAMA, toda atividade mineral é obrigada ao licenciamento ambiental, onde serão exigidos estudos prévios de impacto ambiental, que deverão ser realizados por equipes multidisciplinares ou interdisciplinares e independentes do empreendedor. Esses estudos prévios fazem parte do Estudo de Impacto Ambiental – EIA, os quais deverão ser consolidados no Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente – RIMA. Esse relatório deverá apresentar uma linguagem objetiva e adequada, de forma a facilitar a compreensão da sociedade e dos órgãos interessados (MINAS GERAIS, 2001).

Os dispositivos constitucionais estabelecidos pela Constituição Federal de 1988 estabeleceram alguns princípios basilares para regular o desenvolvimento da atividade mineral em harmonia com a proteção do meio ambiente, definindo os instrumentos legais do Poder Público para o cumprimento desses dispositivos e as obrigações dos empreendimentos mineiros que executam o aproveitamento dos recursos minerais em todo território brasileiro.

O artigo 225 da Constituição de 1988 estabeleceu que o Poder Público deve exigir, na forma da lei, estudos prévios de impacto ambiental para a instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação ambiental, com a devida publicação dos resultados desses estudos. Ao mesmo tempo, deve controlar a produção, a comercialização e o uso de técnicas, métodos e substâncias que possam provocar riscos para a saúde do trabalhador e da população, a qualidade de vida e o meio ambiente (MINAS GERAIS, 2001).

Esse ordenamento constitucional de 1988, em seu artigo 225, no parágrafo segundo, determina que o responsável pelo aproveitamento dos recursos minerais é obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei (BRASIL, 2008).

O Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989, dispõe que os empreendimentos de mineração estão obrigados, na fase de planejamento do projeto de mineração, a elaborar o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD. Esse plano faz parte do Plano de Fechamento de Mina – PFM, do Plano de Controle Ambiental – PCA e do EIA/RIMA, devendo também apresentar a solução técnica adequada para a recuperação do solo da área degradada, considerando o uso futuro da área a ser lavrada.

Com base no que preconiza os dispositivos constitucionais e a legislação infraconstitucional ambiental, fica evidenciado que, independente do porte do empreendimento, a formalização da produção mineral, depende de alguns instrumentos específicos importantes relacionados com a proteção ambiental e que são disciplinados e controlados pelo Poder Público. Dentre esses instrumentos devem ser exigidos o EIA/RIMA ou o RCA, o PCA, o PRAD, que devem apresentar estudos e resultados indispensáveis para a instrução adequada do processo de licenciamento ambiental (MINAS GERAIS, 2001).

O Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990, regulamentou o licenciamento ambiental e concedeu competência aos órgãos estaduais de meio ambiente para expedição e controle das licenças ambientais. Por sua vez, as licenças ambientais são atos administrativos em que o órgão ambiental competente estabelece as normas, condições, restrições e medidas de controle ambiental, a serem obedecidas pelo empreendedor para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos que usam recursos naturais e podem causar degradação ambiental.

As Resoluções 009/90 e 010/90 do CONAMA, de 06 de dezembro de 1990, dispõem sobre o estabelecimento de normas e critérios específicos para a obtenção do licenciamento ambiental para a lavra ou extração de substâncias ou recursos minerais.

As normas estabelecidas na Resolução 009/90 do CONAMA são aplicadas no procedimento de licenciamento ambiental para a formalização do aproveitamento de recursos minerais pelo Regime de Concessão de Lavra, e que geralmente são realizados por empreendimentos de médio e grande porte.

Os critérios específicos dispostos na Resolução 010/90 do CONAMA são adotados geralmente no processo de licenciamento ambiental para a formalização do aproveitamento de recursos minerais de emprego imediato na construção civil, pelo regime de Registro de Licenciamento, e que são executados por empreendimentos de pequeno porte (IBRAM, 1992).

Vale ressaltar, que os procedimentos de licenciamento ambiental estabelecidos por essa Resolução 010/90 do CONAMA também podem ser utilizados para formalizar o aproveitamento de substâncias minerais garimpáveis pelo Regime de Permissão de Lavra Garimpeira, de acordo com as diretrizes dos órgãos ambientais estaduais, e em função do porte, da localização e das especificidades do empreendimento de mineração.

Conforme preconiza a legislação ambiental em vigor, a licença ambiental é um instrumento de proteção e controle ambiental com prazo de validade estabelecido, no qual o órgão ambiental competente disciplina regras, condições, restrições e medidas para minimizar ou mitigar os impactos ambientais provocados por empreendimentos de mineração, as quais deverão ser obedecidas por essas empresas. A partir da data que a licença ambiental é emitida e publicada, o empreendedor se compromete a cumprir as condicionantes ou exigências para manter a qualidade da área onde a atividade mineral será desenvolvida (FIRJAN, 2004).

A Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro 1997, instituiu os procedimentos e os critérios utilizados no licenciamento ambiental de empreendimentos de determinadas atividades econômicas, de forma a efetivar a utilização do sistema de licenciamento como um instrumento de gestão ambiental, preconizado pela Política Nacional do Meio Ambiente. Essa Resolução definiu também os tipos de licenças ambientais, que são exigidas em etapas específicas do processo de licenciamento ambiental.

A Licença Prévia – LP é emitida na primeira etapa do processo de licenciamento ambiental, na fase de planejamento e de estudos de viabilidade do empreendimento, aprovando sua localização e concepção, atestando a sua viabilidade ambiental e determinando os requisitos básicos e condicionantes ambientais que deverão ser atendidos nas próximas fases de implantação do empreendimento (IBRAM, 1992).

Essas exigências são fundamentadas nas normas e nos critérios definidos nas diretrizes gerais para os procedimentos de licenciamento ambiental emitidas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, assim como nos critérios e padrões estabelecidos pelo órgão estadual de meio ambiente, no âmbito de sua competência e na sua área de jurisdição, os quais não devem entrar em conflito com as regras em nível federal (MINAS GERAIS, 2001).

Na etapa de requerimento de licença prévia para um empreendimento mineral, sob o regime de Concessão de Lavra, deve ser apresentado o EIA e o seu respectivo RIMA, acompanhado do PAE e do PRAD, uma vez que essa etapa ocorre de forma simultânea à fase de requerimento de Concessão de Lavra junto à ANM.

No caso de requerimento de Licença Prévia nos regimes de Registro de Licenciamento e Permissão de Lavra Garimpeira, o empreendimento mineral, em função da localização, do porte, e de outras especificidades, poderá ser dispensado da apresentação do EIA/RIMA, a critério do órgão ambiental competente. Nessa possibilidade, deverá ser apresentado um Relatório de Controle Ambiental – RCA, conforme as diretrizes do órgão ambiental.

Conforme preconiza a Resolução nº 01/86 do CONAMA, a elaboração e a apresentação do EIA/RIMA é uma exigência que deverá ser atendida por empreendimentos com significativos impactos ambientais, na fase que antecede a sua implantação, para que seja analisado pelos técnicos do órgão ambiental os impactos que serão provocados no meio ambiente e no tecido social e as respectivas medidas de controle ambiental.

O EIA é um conjunto de estudos mais amplos, realizados por equipes multidisciplinares ou interdisciplinares, sobre a qualidade dos recursos naturais da área onde será desenvolvido o projeto, realizando projeções de como o meio socioeconômico e ambiental será impactado pela implantação do empreendimento. Esse conjunto de estudos desenvolvidos no EIA deverá ser sistematizado no RIMA e posteriormente apresentado em audiências públicas para a sociedade, de modo que os atores sociais possam se manifestar sobre esse projeto.

Em linhas gerais, um EIA voltado para um empreendimento mineral deve abordar no mínimo os seguintes parâmetros (IBRAM, 1987):

- ✓ Estudo inicial da área a ser minerada, com ampla avaliação da qualidade da água, do ar e do solo, classificação do tipo de solo, investigação da biota existente, pesquisa sobre padrões locais para lançamento de efluentes, etc.;
- ✓ Identificação de possíveis impactos na água, no ar e no solo, mediante avaliação do projeto de mineração que deverá ser implantado, com observância aos padrões de qualidade nacional e locais;
- ✓ Propostas de medidas mitigadoras ou compensatórias dos impactos.

Por outro lado, o RCA é um documento mais simplificado que tem a finalidade de caracterizar o empreendimento de mineração de pequeno porte a ser licenciado. Esse relatório deverá realizar a caracterização do pequeno empreendimento mineral, envolvendo a localização, o porte e outras peculiaridades; a descrição do método de lavra e do processo de beneficiamento de minérios que serão adotados; a identificação das emissões do processo produtivo (ruídos, vibrações, efluentes líquidos, efluentes gasosos e resíduos sólidos) e dos impactos observados na área de influência do empreendimento (FIRJAN, 2004).

A Licença de Instalação – LI é emitida pelo órgão ambiental competente na fase de desenvolvimento da lavra dos recursos minerais e autoriza a instalação da unidade de beneficiamento e do restante do complexo minerário, de acordo com as especificações previstas nos planos aprovados. A LI é fornecida após a aprovação do EIA/RIMA ou do RCA, quando são analisados e julgados os impactos positivos e negativos provocados pelo empreendimento de mineração e as respectivas propostas de mitigação e controle desses impactos. Essa licença permite a implantação das medidas mitigadoras constantes do PCA aprovado (IBRAM, 1992).

De acordo com a legislação mineral vigente, a ANM só poderá conceder a Portaria de Lavra para uma jazida após a emissão da LI pelo órgão ambiental competente. Depois da obtenção da Portaria de Lavra e implantação das medidas mitigadoras e de controle ambiental, aprovadas pela LI, o empreendedor estará habilitado para requerer a licença para a execução das atividades previstas no projeto de mineração do empreendimento.

A Licença de Operação – LO é emitida nas etapas das operações de lavra de minas e de beneficiamento do minério, com o acompanhamento dos sistemas de controle ambiental. A LO autoriza o funcionamento do empreendimento, após a comprovação da eficiência das medidas de controle estabelecidas nas condicionantes das licenças anteriores e o cumprimento das condicionantes determinadas para as operações da atividade mineral (FIRJAN, 2004).

Na etapa de pesquisa mineral de um empreendimento, envolvendo as fases de prospecção e exploração, não é exigido o licenciamento ambiental, com exceção quando for requerida uma Guia de Utilização para a execução da lavra de minério em caráter experimental. Nesse caso, deverá ser exigida uma licença especial denominada de Licença de Operação de Pesquisa – LOP (IBRAM, 1992).

Conforme Sousa et al. (2018), para o alcance da formalização da produção mineral é necessário além do atendimento dos dispositivos da legislação mineral e ambiental em vigor, também cumprir o que preconiza a legislação que regula o exercício profissional; a legislação trabalhista, com atenção à saúde e à segurança do trabalhador; atender às normas previdenciárias; às normas fiscais, entre outras.

A legislação federal que regula o exercício de profissionais habilitados para atuarem em projetos de mineração foi instituída inicialmente pelo Decreto nº 23.569, de 11 de dezembro de 1933. Esse decreto criou o Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CONFEA e o Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA, e foi também um marco na regulamentação profissional no Brasil.

O CONFEA atua como instância superior de normatização e julgamento, de verificação, de fiscalização e do aperfeiçoamento do exercício e das atividades profissionais abrangidas pelo Sistema em todo território nacional. Por sua vez, o CREA atua como primeira e segunda instâncias de julgamento, de verificação, de fiscalização e de aperfeiçoamento do exercício e das atividades profissionais em todos estados da federação e no Distrito Federal.

O CONFEA e o CREA são autarquias federais atualmente regidas pela Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966. A atuação integrada do CONFEA e do CREA constitui o Sistema CONFEA/CREA. O objetivo principal desse Sistema é zelar pela defesa da sociedade e contribuir para o desenvolvimento em bases sustentáveis do país, observando os princípios éticos profissionais e garantindo um serviço de qualidade.

A Lei nº 5.194/1966 estabelece, entre outros, que os estudos, planos, projetos e qualquer outro serviço das áreas profissionais abrangidas pelo Sistema CONFE/CREA, quer público ou privado, somente terão valor legal quando os seus autores forem profissionais habilitados de acordo com esta lei, a qual determina também que esses profissionais deverão exercer suas atribuições com respeito aos princípios sociais e humanos.

A Anotação de Responsabilidade Técnica – ART foi instituída pela Lei nº 6.496, de 07 de dezembro de 1977, e foi outro marco importante para a consolidação do Sistema CONFE/CREA. A ART é um documento legal obrigatório para execução de obras ou prestação de quaisquer serviços referentes às profissões reguladas pelo Sistema CONFEA/CREA, e que tem a finalidade de assegurar para a sociedade a qualidade e a segurança jurídica dos empreendimentos projetados e os serviços executados por esses profissionais.

O exercício profissional é regulamentado por normas de fiscalização e atos administrativos editados pelo Sistema CONFEA/CREA e sua adequada utilização é refletida na qualidade de obras, serviços e produtos disponibilizados e realizados, contribuindo assim para a otimização dos resultados.

A presença de profissionais legalmente habilitados, como responsáveis técnicos pelos empreendimentos, proporciona mais segurança para a sociedade e contribui para a realização da atividade mineral em bases sustentáveis e em harmonia com a conservação ou preservação dos recursos naturais, contribuindo para o bem estar social (SOUSA *et al.*, 2021).

No processo de formalização, o empreendimento de mineração deve ser registrado no CREA como empresa, como cooperativa ou como firma individual. A obtenção do registro junto ao CREA depende da apresentação de contrato social (empresa) ou de estatuto social (cooperativa) registrados na junta comercial e em cartório; e no caso de firma individual é necessário apenas a declaração de firma individual registrada na junta comercial.

Além do contrato social ou estatuto social, o empreendimento de mineração deve providenciar a emissão do Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica – CNPJ junto à Receita Federal, a emissão de inscrição estadual junto à secretaria de fazenda do estado, mecanismos para emissão de nota fiscal eletrônica e fazer opção e adesão por um dos regimes tributários (simples, lucro presumido ou lucro real). No âmbito municipal, o empreendimento mineral necessita do alvará de funcionamento e da inscrição municipal.

No objeto social do empreendimento de mineração deve constar uma apresentação das atividades do projeto, e também a indicação de um profissional habilitado para se responsabilizar por essas atividades, podendo ser inicialmente um geólogo que tem atribuição para a execução da pesquisa mineral e um engenheiro de minas que tem atribuição para execução da pesquisa mineral, lavra de minas, beneficiamento de minérios e fechamento de mina. O ideal seria poder contar com esses dois profissionais na condução das operações do projeto de mineração.

O cumprimento da legislação do exercício profissional é tão importante quanto atender os dispositivos da legislação mineral e ambiental. A contratação de um profissional habilitado pelo empreendimento reflete de forma positiva no projeto de mineração com a redução de custos, o aumento da competitividade, a elevação da produtividade, a mitigação dos impactos ambientais, a melhoria dos níveis de saúde e segurança no trabalho, com ganhos significativos para o desenvolvimento em bases sustentáveis da atividade de mineração e para a qualidade de vida da comunidade onde o empreendimento está inserido.

Outro aspecto importante da formalização da produção mineral é o cumprimento da legislação trabalhista, uma vez que o empreendimento tem a obrigação de cuidar da saúde e da segurança do trabalho nas áreas que fazem parte do projeto de mineração. Dessa forma, deverão ser atendidos os dispositivos da Norma Regulamentadora nº 22, NR-22, que trata da saúde e segurança ocupacional na atividade mineral, embasada na Convenção nº 176 da Organização Internacional do Trabalho – OIT, sobre segurança e saúde em minas (OECD, 2022).

De acordo com a Constituição Federal de 1988, a União, os estados e os municípios poderiam instituir impostos e uma compensação financeira pelo aproveitamento e comercialização de recursos minerais em seu território.

Nesse contexto, a Constituição Federal de 1988 aumentou de forma significativa os dispositivos legais relacionados ao setor mineral, estabelecendo normas avançadas para a exploração e o aproveitamento dos recursos minerais no Brasil. Na área tributária, extinguiu o tributo federal Imposto Único sobre Minerais – IUM e concedeu aos estados, ao Distrito Federal e aos municípios o direito de participação nos resultados do aproveitamento de recursos minerais nos seus territórios, garantindo uma compensação financeira por esse aproveitamento.

A finalidade desse dispositivo constitucional era gerar renda para a União, os estados, o Distrito Federal e os municípios, de forma a compensar os danos provocados pela degradação da atividade mineral, e ao mesmo tempo que essa receita possa contribuir para tornar a vida mais saudável na comunidade local e na região onde essa atividade está inserida.

Em linhas gerais, na comercialização dos recursos minerais deverão ser recolhidos impostos federais, estaduais e municipais, e uma compensação financeira pela exploração desses recursos. Dentre esses impostos federais podem ser citados o Imposto sobre a Renda de Pessoa Jurídica – IRPJ, Programa de Integração Social – PIS, Contribuição Financiamento da Seguridade Social – COFINS. No âmbito da competência estadual deve ser recolhido o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços – ICMS.

A Compensação Financeira pela Exploração Mineral – CFEM foi estabelecida pelo Artigo 20, Parágrafo 1º da Constituição Federal de 1988 e foi regulamentada pela Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, e pela Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, sendo atualizada até os dias atuais por outros decretos, portarias e normas legais. A Medida Provisória nº 789, de 25 de julho de 2017, alterou a Lei nº 7.990/1989 e a Lei nº 8.001/1990, e posteriormente foi convertida na Lei nº 13.540, de 18 de dezembro de 2017, que instituiu novas regras em relação à cobrança e a repartição da CFEM.

A CFEM é o pagamento realizado em contraprestação à utilização econômica dos recursos minerais pelos empreendimentos de mineração. A Lei nº 13.540/2017 considera a CFEM uma participação monetária paga por esses empreendimentos para compensar os efeitos provocados pelas operações desenvolvidas pela Atividade Mineral. Em linhas gerais, toda pessoa física ou jurídica habilitada para o aproveitamento econômico dos recursos minerais tem a obrigação legal de pagar a CFEM. No caso dos recursos minerais lavrados sob o Regime de Permissão de Lavra Garimpeira, o valor da CFEM deverá ser pago pelo primeiro adquirente.

De acordo com essa legislação, a CFEM é calculada sobre o valor da receita bruta resultante da venda do bem mineral, obtido após a última etapa do processo de beneficiamento adotado e antes de sua transformação industrial, deduzidos os tributos incidentes sobre a sua comercialização, o seguro e as despesas de transporte para entrega ao consumidor final.

A CFEM pode ser calculada também sobre o valor bem mineral arrematado em hasta pública. Quando os recursos minerais são aproveitados sob a égide do Regime de Permissão de Lavra Garimpeira, o recolhimento da CFEM terá como base de cálculo o valor da primeira aquisição do bem mineral, conforme preconiza a legislação vigente.

No caso de utilização ou consumo do bem mineral pelo próprio minerador, o valor do recolhimento da CFEM deverá ser baseado na receita bruta, considerando o preço corrente do bem mineral no mercado local, regional, nacional ou internacional, ou o valor de referência, definido a partir do valor do produto final obtido após a conclusão do processo de beneficiamento, conforme a Lei nº 13.540/2017.

As alíquotas da CFEM aplicadas sobre a receita bruta, ou sobre o valor de arrematação do bem mineral, ou sobre o valor do produto final obtido, ou sobre o valor de compra variam de acordo com os recursos minerais aproveitados, arrematados ou adquiridos. O Quadro 01 mostra os valores atuais das alíquotas da CFEM, estabelecidos pela Lei nº 13.540/2017, aplicadas sobre os diversos recursos minerais lavrados no Brasil.

Quadro 3 – Valores atuais das alíquotas da CFEM

| SUBSTÂNCIA MINERAL | ALÍQUOTA |
|---|----------|
| Rochas em forma de brita, areias, argilas, cascalhos, saibros e demais substâncias minerais destinadas ao uso no segmento da construção civil; rochas ornamentais; águas minerais e termais | 1% |
| Ouro | 1,5% |
| Diamante e demais substâncias minerais | 2% |
| Bauxita, manganês, níobio e sal-gema | 3% |
| Ferro | 3,5% |

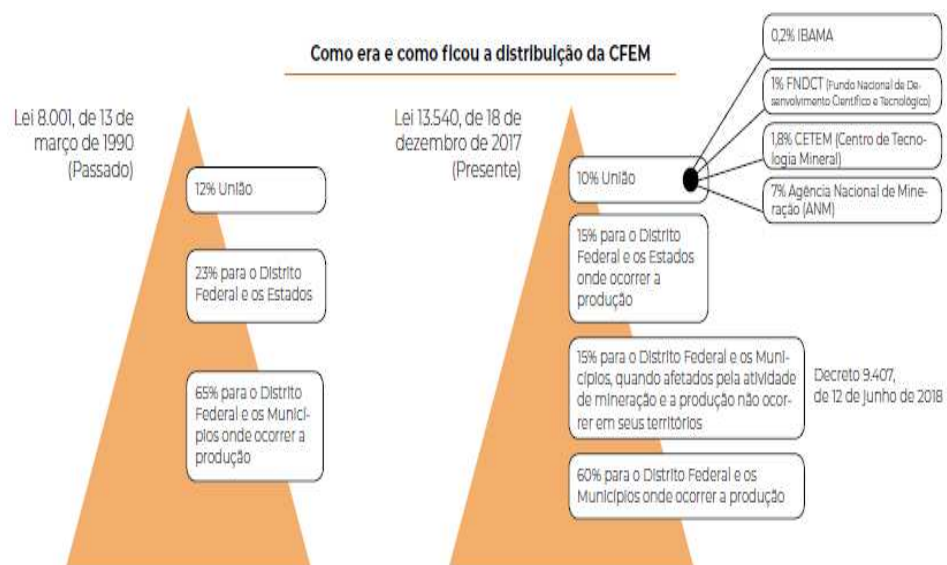
Fonte: Autoria própria (2023)

No caso da alíquota da CFEM do Ferro, existe a possibilidade de redução dessa alíquota da CFEM de 3,5% para até 2%, de acordo com os critérios a serem definidos de forma excepcional pela Agência Nacional de Mineração. O parecer técnico da ANM, relacionados a essa redução de alíquota da CFEM, deverá ser aprovado pelo governo federal e publicado no Diário Oficial da União, entrando em vigor sessenta dias após a essa publicação.

A distribuição do valores da CFEM é realizada aos estados, Distrito Federal, municípios e órgãos da administração da União. Esses valores são creditados automaticamente em contas correntes específicas, até o sexto dia útil que sucede ao recolhimento por parte do fato gerador. Atualmente, os recursos da CFEM são distribuídos em 60% para o município produtor, 15% para os municípios impactados, 15% para o estado de origem e 10% para a União.

A principal mudança na distribuição dos recursos recolhidos pela CFEM foi inserida pela Lei nº 13.540/2017, onde os municípios não produtores de minérios, mas que indiretamente são impactados pelo transporte, embarque e existência de instalações operacionais em seu território, adquiriram o direito de receber 15% dos recursos arrecadados pela CFEM. Assim, o percentual que cabia aos municípios produtores de minérios foi reduzido de 65% para 60%; nos estados que abrigam esses municípios a redução foi de 23% para 15%, e a parcela destinada a União foi reduzida de 12% para 10%. A Figura 2, apresentada a seguir, mostra de forma didática essas alterações.

Figura 2 – Percentuais anteriores e atuais de distribuição da CFEM



Fonte: MME (2018)

Conforme o Decreto nº 1, de 11 de janeiro de 1991, os recursos provenientes da arrecadação da CFEM não poderão ser utilizados para o pagamento de dívidas ou de pessoal do quadro permanente da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios.

As receitas ou os royalties oriundos da arrecadação da CFEM deverão ser aplicados em projetos que direta ou indiretamente possam contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população da comunidade local, com benefícios na infraestrutura, no saneamento básico, na qualidade ambiental, na saúde e na educação.

Em síntese, a formalização de pequenos empreendimentos minerais e a consequente elevação da arrecadação da CFEM podem contribuir bastante para o alcance da sustentabilidade nos municípios mineradores, situados nos territórios com vocação para a mineração de pequeno porte e inseridos preferencialmente em arranjos produtivos de base mineral. A formalização da produção mineral é a base para o alcance da sustentabilidade nesses territórios.

2.5 OS 17 OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – ODS

A partir da Conferência Mundial das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Homem realizada pela ONU, de 05 a 16 de junho de 1972, em Estocolmo, Suécia, seguida pela Conferência Mundial das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio 92 ou Eco 92), realizada de 03 a 14 de junho de 1992, no Rio de Janeiro, Brasil, e pela Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (Rio +10), realizada de 26 de agosto a 04 de setembro de 2002, em Johannesburgo, África do Sul, os líderes mundiais e a comunidade científica global debatem métodos para a integração dos desafios sociais e ambientais com os aspectos econômicos do desenvolvimento (PNUD e IBRAM, 2022).

A superação desses desafios e o consequente equilíbrio dos aspectos sociais, ambientais e econômicos no processo de desenvolvimento de um território possibilitam a execução de uma forma de desenvolvimento em bases rigorosamente sustentáveis, e o alcance da tão sonhada sustentabilidade nesse território.

Conforme Ignacy Sachs (1973), os princípios do desenvolvimento estão diretamente relacionados com a satisfação das necessidades básicas; a solidariedade com as gerações futuras; a participação da população envolvida; a preservação dos recursos naturais; a educação da população; e a elaboração de um sistema social que garanta geração de emprego, segurança social e respeito a outras culturas.

Esses princípios nortearam a construção do conceito de desenvolvimento sustentável, estabelecido no Relatório “Nosso Futuro Comum”, que foi publicado em outubro de 1987, pela Comissão Mundial da ONU sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, coordenada pela então primeira ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland (SOUSA *et al.*, 2018). Nesse Relatório, também denominado de Relatório Brundtland, foi definido que: “Desenvolvimento Sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades”.

Para Cândido (2010), embora essa definição de desenvolvimento sustentável esteja consolidada, observa-se que ela vem sendo reconstruída em função da evolução e da importância desse tema. O que preocupa é que o seu uso indiscriminado e sem critério dificulta na íntegra a sua compreensão e abre margem para significados diversos e inadequados.

Infelizmente, alguns cidadãos comuns tratam o termo “desenvolvimento sustentável” e “sustentabilidade” como se fossem modismos dos tempos modernos, e têm dúvidas sobre o conceito de desenvolvimento sustentável e o verdadeiro significado da palavra ou vocábulo sustentabilidade (SOUSA *et al.*, 2018).

De acordo com Buarque (1999), o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação social e ampliação de oportunidades, compatibilizando o crescimento econômico com a conservação ambiental e com a igualdade social, procurando alcançar a tão almejada qualidade de vida para a sociedade, com o olhar voltado para as futuras gerações.

Conforme Sousa *et al.* (2018), fica evidenciado que a definição de sustentabilidade está relacionada, de forma indissociável, com um modelo de desenvolvimento econômico, diferente do atual, com mais equidade social e com equilíbrio ambiental, e que propicie melhor qualidade de vida para a população. Em linhas gerais, a sustentabilidade de uma região é alcançada, quando é proporcionado à população ou à comunidade que habita esse espaço geográfico níveis elevados de qualidade de vida. Na prática, o desenvolvimento sustentável é o caminho para o alcance da tão desejada sustentabilidade.

Na Conferência Rio 92, os países presentes aprovaram um tratado denominado de Agenda 21. Nesse documento, foi estabelecida uma série de medidas para conciliar o desenvolvimento econômico e social com a conservação do meio ambiente. Uma das diretrizes básicas dessa Agenda foi a exigência da participação da população na determinação de prioridades e nos processos de tomadas decisões relacionadas ao desenvolvimento sustentável.

A Agenda 2021 estabeleceu como um dos principais desafios a necessidade da construção de instrumentos de mensuração, denominados de índices ou indicadores de sustentabilidade, considerando que os instrumentos disponíveis na época, como PIB e IDH, não apresentavam os requisitos suficientes para o alcance dos objetivos dessa medição e análise, e, por conseguinte não forneciam indicações precisas para a avaliação da eficiência do desenvolvimento sustentável e da qualidade da sustentabilidade.

Na Assembleia Geral da ONU denominada Cúpula do Milênio das Nações Unidas, realizada de 6 a 8 de setembro de 2000, em Nova Iorque, Estados Unidos da América, foi aprovado por unanimidade, pelos representantes de 191 países, um documento intitulado “Declaração do Milênio das Nações Unidas”. Esse importante documento foi um marco para a construção dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – ODM, que tinham a finalidade precípua de erradicar a extrema pobreza e a fome no planeta, que afetavam principalmente as populações dos países mais pobres e em desenvolvimento.

Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio foram oito objetivos globais que envolviam ações de combate à fome e à pobreza, em conjunto com outras medidas para melhorar a educação, o saneamento, a saúde, a habitação, a promoção da igualdade de gênero, a conservação do meio ambiente, inserindo também ações para o estabelecimento de uma parceria global para o alcance do desenvolvimento sustentável (PNUD, 2017).

A seguir serão listados os 8 Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – ODM, que foram realizadas de 2000 a 2015:

- Erradicar a extrema pobreza e a fome;
- Universalizar a educação básica;
- Promover a igualdade de gênero e a autonomia das mulheres;
- Reduzir a mortalidade na infância;
- Melhorar a saúde materna;
- Combater o HIV/AIDS, a malária e outras doenças;
- Garantir a sustentabilidade ambiental;
- Estabelecer uma parceria global para o desenvolvimento.

Os 8 ODM foram preponderantes para subsidiar as discussões do desenvolvimento sustentável no planeta, que culminaram com a construção da Agenda 2030. A Figura 3 retrata a transição dos 8 ODM, para os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS.

Figura 3 – A transição dos 8 ODM para os 17 ODS



Fonte: PNUD (2017)

A Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, realizada de 25 a 27 de setembro de 2015, em Nova Iorque, Estados Unidos da América, aprovou um plano de ação com a finalidade ousada de erradicar a pobreza, proteger a qualidade dos recursos naturais do nosso planeta e garantir que as pessoas alcancem a paz e a prosperidade, mediante uma parceria global de várias instituições e atores sociais (PNUD & IBRAM, 2022).

Esse plano de ação foi sintetizado no documento “Transformando Nosso Mundo: Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, sendo constituído de 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS e de 169 metas, com o propósito de solucionar os grandes desafios sociais e ambientais do planeta, em harmonia com o crescimento econômico.

Os 17 ODS foram aprovados em consenso pelos líderes mundiais de 193 países e deverão ser alcançados até 2030. Os ODS são integrados, indivisíveis e aglutinam, de forma harmônica, as dimensões social, ambiental, econômica e institucional. Na Figura 4 são apresentados os 17 ODS, que foram sintetizados na Agenda 2030.

Figura 4 – Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS



Fonte: PNUD (2017)

A Agenda 2030 não estabelece regras rígidas a forma como os países e outros atores sociais envolvidos deverão construir e implantar um plano de ação para o alcance dos 17 ODS. Em linhas gerais, esses ODS podem ser considerados uma lista ousada de ações, que caso sejam cumpridas possibilitarão a erradicação da pobreza extrema e evitarão que as gerações futuras sejam afetadas com os efeitos negativos e adversos das mudanças climáticas.

O alcance das metas estabelecidas pelos 17 ODS em 2030 deverá exigir um processo de articulação e de cooperação bastante consistente, contando com a colaboração entre os governos dos países, os representantes do setor privado, as organizações não governamentais e principalmente com o envolvimento da população das comunidades locais.

A Agenda 2030 é um plano de ação embasado em cinco eixos e voltado para as pessoas, a prosperidade dos cidadãos, o fortalecimento da paz, a proteção dos recursos naturais e a implantação de uma parceria global sólida. Nesse contexto, Pessoas, Prosperidade, Paz, Parcerias e Planeta podem ser considerados os 5 pilares dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Na Figura 5 estão representados os 5 Ps ou pilares da Agenda 2030.

Figura 5 – Os 5 pilares da Agenda 2030



Fonte: PNUD (2017)

Pessoas são consideradas um dos pilares mais importantes da Agenda 2030, uma vez que são os seres humanos que mais sofrem com as desigualdades sociais, assim um dos maiores desafios dessa Agenda é erradicar a pobreza e a fome de todas as maneiras, garantindo a dignidade e a igualdade social.

O segundo pilar da Agenda 2030 é a Prosperidade, com o propósito de garantir que as pessoas possam ter uma vida mais próspera e de plena realização, com o crescimento socioeconômico em harmonia com a natureza.

O terceiro pilar está relacionado com a Paz, onde deve-se buscar mecanismos para promover sociedades pacíficas, mais justas e inclusivas, livres de conflitos.

O quarto pilar diz respeito à Parceria, onde deve haver a articulação e uma cooperação global sólida para implantação dos ODS, com base nas necessidades dos mais vulneráveis.

O quinto pilar é o Planeta, onde devem ser realizadas ações para a proteção dos recursos naturais e o combate às mudanças climáticas no nosso planeta, garantindo melhor qualidade de vida para as gerações futuras.

A aprovação da Agenda 2030 e a necessidade do cumprimento dos 17 ODS provocaram os setores produtivos, dentre eles o setor mineral, a contribuírem com a implementação dessa Agenda e a inserção dos ODS nas comunidades e nos espaços territoriais, onde esses setores desenvolvem suas atividades operacionais.

A mineração é uma atividade considerada essencial para o fortalecimento do desenvolvimento econômico, uma vez que fornece insumos para vários setores industriais, com a geração de milhares de postos de trabalho (IBRAM, 2022). No caso específico da mineração de pequeno porte ela serve de base a indústria da construção civil, cerâmica, metalúrgica, siderúrgica, química, entre outras, e atualmente tem a perspectiva de fornecer um volume significativo de remineralizadores para o agronegócio.

Além disso, o setor mineral tem um papel preponderante na transição energética, que necessita da produção em larga escala de minerais estratégicos como grafite, lítio e cobalto, para atender a demanda crescente pela inovação tecnológica de energia limpa. Nesse contexto, estima-se uma demanda por um volume muito grande de minerais necessários para a implantação de novos projetos de energia eólica, solar e geotérmica. Em adição, a mineração de agregados para construção civil, constituída de areia, brita, argila e outros, é indispensável para dotar as cidades de infraestrutura e de urbanização sustentável (PNUD & IBRAM, 2022).

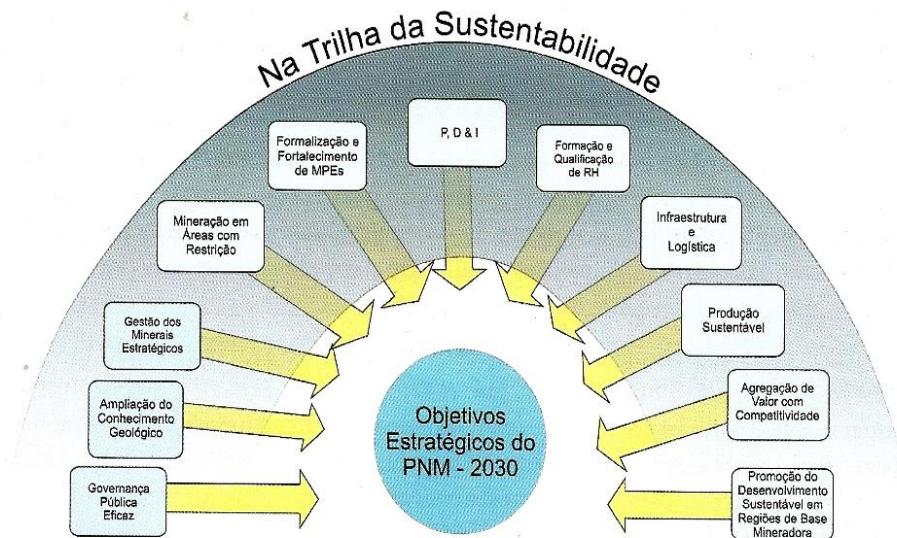
Geralmente esse segmento mineral desenvolve suas operações em áreas de grande vulnerabilidade social, econômica e ambiental, sendo bastante sensíveis a interferências na dinâmica socioeconômica e ambiental. Entretanto, mediante uma gestão eficiente pode gerar vários postos de trabalho, aumentar a renda, reduzir as desigualdades sociais, melhorar a infraestrutura, elevar a qualidade de saúde e educação, contribuindo assim para o bem-estar da comunidade desses territórios onde as empresas desenvolvem suas operações.

O documento “Atlas: Mapeando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável na Mineração”, publicado em língua portuguesa pelo PNUD e MME, em 23 de agosto de 2017, apresenta os desafios e os exemplos exitosos de oportunidades de contribuições do setor mineral para o alcance dos ODS, em todas as etapas do projeto de mineração. Esse atlas demonstra que a atividade mineral tem uma relação direta e indireta com os 17 ODS e dessa forma pode contribuir de forma significativa com a Agenda 2030 (PNUD & IBRAM, 2022).

O objetivo desse documento é incentivar os empreendimentos de mineração de todos os portes a incorporar os ODS em seus negócios e operações. O Atlas contém informações sobre como as atividades de mineração podem contribuir para cada um dos 17 ODS, destacando que a cooperação ou a parceria entre os governos, a iniciativa privada e a sociedade civil é primordial para o cumprimento das metas da Agenda 2030.

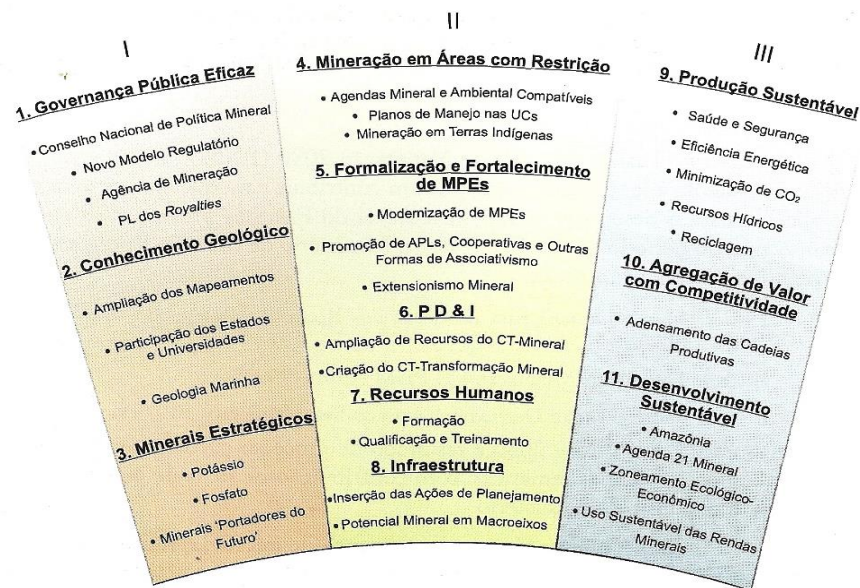
O Plano Nacional de Mineração 2030, lançado em 2011 pelo MME, poderia ser um importante instrumento para contribuir com o alcance dos 17 ODS da Agenda 2030. O objetivo do PNM 2030 foi de nortear a formulação de políticas públicas para o desenvolvimento em bases sustentáveis do setor mineral e, ao mesmo tempo, contribuir para o desenvolvimento sustentável do país (BRASIL, 2010). A Figuras 6 mostra os objetivos estratégicos do PNM 2030 e a Figura 7 mostra as ações estabelecidas nesse Plano para o alcance desses objetivos

Figura 6 – Objetivos estratégicos do PNM 2030



Fonte: Brasil (2010)

Figura 7 – Ações estabelecidas no PNM 2030



Fonte: Brasil (2010)

2.6 O APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS NA MINERAÇÃO

Atualmente, a geração e a disposição de resíduos provenientes das operações na mineração têm sido consideradas por todos atores sociais envolvidos com a atividade mineral no Brasil e pela sociedade civil como um grande gargalo ou obstáculo para o desenvolvimento dessa atividade em bases sustentáveis, uma vez que provocam graves implicações sociais, ambientais e econômicas nos espaços territoriais (BRASIL, 2020).

O atual Código de Mineração estabelecido pelo Decreto-Lei nº 227, de 28/02/1967, não aborda de forma clara sobre a geração, a disposição e o aproveitamento de resíduos na mineração. Em 2001, a Norma Reguladora Mineral – NRM nº 19 instituiu algumas regras para a disposição de estéril, rejeitos e outros produtos. O Decreto nº 9.406, de 12/06/2018, promoveu alteração do Regulamento do Código de Mineração e estabeleceu que a ANM disciplinará em resolução o aproveitamento do estéril, do rejeito e dos resíduos na mineração.

Por fim, a ANM publicou no Diário Oficial da União a Resolução nº 85, de 07 de dezembro de 2021, que define o estéril e o rejeito, estabelece que os estéreis e os rejeitos fazem parte do empreendimento de mineração onde foram lavrados, mesmo quando depositados fora dos limites da área formalizada no título mineral, e ao mesmo tempo determina as exigências a serem observadas no Plano de Aproveitamento Econômico do empreendimento que tiver interesse em aproveitar economicamente esses materiais.

Conforme a Resolução nº 85/2021, os principais resíduos gerados nas etapas de lavra de minas e de beneficiamento de minérios de um projeto de mineração são definidos como estéril e rejeito. O estéril é o material in natura descartado diretamente na operação de lavra, sem ser processado na usina de beneficiamento. Por outro lado, o rejeito é a porção associada ao minério descartada durante e/ou após o processo de beneficiamento de minérios.

Nas áreas mineradas, normalmente o estéril e o rejeito são depositados em pilhas e barragens, necessitando assim de um manejo adequado e de um monitoramento permanente para garantir a estabilidade e segurança dessas estruturas, para evitar acidentes de maior gravidade. Outra alternativa de disposição desses resíduos, pouco utilizada, é a deposição em cavas de minas a céu aberto exauridas, que a princípio apresentam um risco ambiental bem menor do que o uso de barragens para esse propósito (BRASIL, 2020).

Em resumo, a geração e a destinação adequada dos resíduos de mineração representam um custo elevado para o empreendedor, entretanto a mitigação do passivo ambiental oriundos da geração acentuada de resíduos precisa de cuidados especiais para disposição correta desses resíduos e o monitoramento eficaz para evitar acidentes indesejáveis ou contaminações.

As preocupações com a geração e a disposição de resíduos na mineração se tornaram mais acentuadas depois dos desastres sociais e ambientais provocados pelo rompimento da barragem de rejeito de Fundão, que pertence à Empresa Samarco, em novembro de 2015, localizada no Distrito de Bento Rodrigues, em Mariana, Minas Gerais, de onde vazaram 43,7 milhões de m³ de lama de rejeito e provocaram a morte de 19 pessoas, atingiram os afluentes e o próprio Rio Doce, e deixaram milhares de moradores sem água e sem trabalho. A Figura 8 retrata alguns dos impactos causados pelo rompimento da barragem de rejeito de Fundão.

Figura 8 – Impactos resultantes do rompimento da barragem de Fundão



Fonte: G1 (2017)

Em 2020, os dados apresentados pela ANM, revelam que foram gerados no Brasil, de 2010 a 2019, aproximadamente 11,6 bilhões de toneladas de resíduos gerados em mineração de grande porte, principalmente de empresas produtoras de minério de ferro, concentradas em maior percentual no estado de Minas Gerais, onde além do desastre da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana, ocorreu também outro desastre em janeiro de 2019, numa barragem de rejeito em Brumadinho, pertencente a Vale, provocando centenas de mortes e danos sociais, ambientais e econômicos bem mais significativos.

Com base no exposto, ficou evidenciado a necessidade dos empreendimentos de mineração de todos os portes de providenciar uma destinação adequada e sustentável aos resíduos da mineração. Além disso, o conceito de economia circular, inserido com relevância na economia global nos últimos anos (OCDE, 2022), despertou nos órgãos de fomento da atividade mineral no Brasil e nos órgãos ambientais a obrigação de estimular e regulamentar o aproveitamento econômico desses materiais.

No Brasil, o aproveitamento econômico do estéril, do rejeito e dos resíduos da mineração foram regulamentados pela Resolução nº 85/2021 da ANM, disciplinando o aditamento de substâncias minerais ao título mineral por meio de procedimento simplificado, e estimulando os empreendimentos a acelerar o processo de aproveitamento desses materiais.

Ao mesmo tempo, a comunidade científica no Brasil já vem desenvolvendo há alguns anos inúmeros projetos de pesquisa e extensão voltados para o aproveitamento em bases sustentáveis de resíduos, provenientes dos mais diversos projetos de mineração do país, com a finalidade de redução dos passivos ambientais, com alternativas para a disposição inadequada em pilhas de estéril e barragens de rejeito, mas também com o propósito de gerar ganhos sociais e econômicos com a geração de novos postos de trabalho, elevação da renda, redução das desigualdades sociais, fixação do homem no seu território natural, acréscimo dos níveis de segurança, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida nesses territórios.

Na Província Pegmatítica da Borborema/Seridó, em especial no entorno do município do Equador, RN, a atividade econômica predominante é a lavra e o beneficiamento de minerais de pegmatitos e de caulim, que ocorre no âmbito do APL em Pegmatitos RN/PB. Conforme Vidal *et al.* (2017), aproximadamente 75% do minério bruto de caulim, extraído nesse território, não é aproveitado no processo de beneficiamento, sendo os resíduos depositados de forma inadequada nos pátios ou nos terrenos circunvizinhos das empresas, gerando pilhas com volumes consideráveis desses resíduos, onde ocupam um grande espaço, modificam a paisagem do Bioma Caatinga e causam uma série de danos ambientais.

Diante desse panorama regional, torna-se relevante a busca por soluções possíveis para minimizar esses impactos sociais, ambientais e econômicos. Atualmente, existem excelentes possibilidades para assegurar o destino correto dos resíduos e contribuir para desocupar essas áreas de acumulação para outras atividades, promovendo benefícios ambientais quanto a disposição de resíduos, e ainda abrindo a perspectiva de aproveitamento de subprodutos de valor econômico que possam ser aditados aos recursos minerais formalizados.

Em 2017, o “Projeto Integrado de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Voltado para o Aproveitamento Racional e Sustentável de Minerais de Pegmatitos e Rochas de Quartzitos”, realizado pelo CETEM e pela UFCG, pesquisou o aproveitamento desses resíduos para a fabricação de argamassa com resultados bastante satisfatórios. Atualmente, o “Projeto Aproveitamento dos Resíduos de Caulim e Adequações nas Unidades de Beneficiamento em Pequenas Empresas que atuam no APL em Pegmatitos RN/PB”, realizado pelo MCTI e UFCG, com o apoio da UFPE e IFRN, também está pesquisando esse tema e os resultados obtidos até o momento têm sido bastante promissores.

A Província está constituída por uma área principal abrangendo principalmente os municípios de Cubati, Seridó, Sossego, São Vicente do Seridó, Pedra Lavrada, Nova Palmeira, Picuí, Frei Martinho, Pocinhos, Soledade, Juazeirinho, Assunção, Salgadinho, Tenório, Junco do Seridó, Santa Luzia e Várzea no Estado da Paraíba, enquanto no Estado do Rio Grande do Norte a área principal circunscreve os municípios de Equador, Santana do Seridó, Jardim do Seridó, Florânia, Ouro Branco, Caicó, Jucurutu, Carnaúba dos Dantas, Parelhas, Acari, Currais Novos, Cerrocorá, Lajes Pintadas, São Tomé e São Vicente.

Em linhas gerais, alguns dos principais corpos de pegmatitos conhecidos estão localizados nas proximidades dessas cidades, com acesso mediante estradas carroçáveis, e historicamente recebem a denominação de “Alto”. Dentre eles podemos citar: Malhada Grande, Alto da Água, Alto Dois Irmãos, Alto do Sino, Alto do Patrimônio, Alto do Feio, Alto do Caranguejo, Alto Branco, Alto das Cândidas, Alto do Massapê, Alto da Unha, Alto das Ovelhas, Alto do Corredor, Alto das Porteiras, Alto Serra Branca, Alto Tanque dos Bois, entre outros. A Figura 10 retrata um corpo mineralizado de pegmatito da Província Pegmatítica do Seridó.

Figura 10 – Corpo mineralizado de pegmatito na Província Pegmatítica do Seridó



Fonte: Autoria própria (2011)

A primeira exploração desses pegmatitos se deu na época da I Guerra Mundial para extração da mica, posteriormente a procura por minerais de tântalo e nióbio, desencadeou uma onda de exploração dos pegmatitos que durou até o fim da II Guerra Mundial. Na década de 1950 teve início o processo de aproveitamento de caulim.

A produção de alguns minerais pegmatíticos e dos quartzitos nas áreas pesquisadas teve um crescimento acentuado nas duas últimas décadas. Durante esse período, o crescimento urbano, o desenvolvimento e a diversificação do parque industrial brasileiro propiciaram a elevação da demanda por esses insumos em várias regiões brasileiras. Com o advento da transição energética está em alta a procura por lítio nessa Província.

Nos pegmatitos da Província Pegmatítica do Seridó observa-se basicamente a produção de minerais industriais como caulim, feldspato, mica e quartzo; de algumas gemas como água marinha e a turmalina Paraíba e de metais como columbita/tantalita, scheelita, entre outros.

O caulim é uma argila constituída principalmente por caulinita, silicato hidratado de alumínio, resultante do intemperismo ou alteração do feldspato. Pode ser encontrado em mistura com o feldspato nas rochas em processo de alteração ou formando depósitos inteiros, onde essa alteração continuou até ser completada. Apresenta geralmente coloração branca ou clara. A utilização desse mineral é baseada em suas propriedades naturais como: brancura, granulometria muito fina das partículas, pequena abrasão e grande estabilidade química. A cristalinidade influi em muitas propriedades tecnológicas.

O feldspato é um mineral considerado um silicato de alumínio com percentuais diferenciados de potássio, sódio, cálcio e raramente, bário. Grande parte dos feldspatos comerciais apresenta uma composição mista de sódio e potássio. A sua aplicação está relacionada a sua granulometria e a sua qualidade, que depende dos teores elevados de álcalis e reduzidos de óxidos de ferro.

A mica é uma denominação dada a um grupo de minerais silicatos, constituído prioritariamente de alumínio, sódio ou potássio, que possui uma estrutura lamelar, com composições químicas e propriedades físicas variáveis. A utilização da mica depende de algumas características peculiares como: clivagem, condutividade de calor e eletricidade, flexibilidade, elasticidade, transparência, brilho, propriedades lubrificantes, entre outras.

O quartzo é um mineral comum na crosta terrestre e entra na composição de muitas rochas ígneas, metamórficas e sedimentares devido a sua resistência ao intemperismo. O uso do quartzo depende de propriedades como a sua piezoeletricidade, de seu elevado ponto de fusão e de sua alta resistência química.

A tantalita/columbita são minerais que são fonte dos elementos raros como tântalo e nióbio, ocorre normalmente em rochas graníticas, em diques de pegmatitos e em algumas situações em aluviões. A aplicação dessas substâncias minerais depende de sua composição química e dos teores presentes de tântalo e nióbio. Atualmente, tem crescido muito a demanda por esses minerais e os preços no mercado estão bastante atrativos.

O quartzito é uma rocha metamórfica, composta quase que inteiramente de grãos de quartzo. Sua origem está relacionada com a ação de processos metamórficos desenvolvidos principalmente sobre rochas sedimentares ricas em quartzo, tais como arenitos e cherts (rochas ricas em sílica amorfa). De maneira subordinada, podem também derivar do metamorfismo de veios de quartzo ou de rochas vulcânicas muito silicosas. O uso desse bem mineral está relacionado com suas propriedades físicas como: alta resistência mecânica, resistência ao calor e alta resistência à ação de produtos químicos.

As principais aplicações dos quartzitos produzidos nas áreas pesquisadas são revestimento de faixadas, paredes e construção de pisos. Os quartzitos poderão também ser utilizados na construção de mesas, como fundente na indústria siderúrgica, argamassas e como fonte de sílica para usos diversos.

Os minerais produzidos a partir da lavra dos pegmatitos servem de base e são consumidos por diversos segmentos produtivos, destacando-se a indústria cerâmica, de papel e celulose, de borracha, de plásticos e tintas, de vidro, siderúrgica, eletrônica, química, construção civil, entre outras. O Quadro 4 mostra as principais substâncias minerais produzidas nos pegmatitos nas áreas mineradas da Província Pegmatítica do Seridó e os segmentos consumidores (SAMPAIO *et al.*, 2001).

Quadro 4 – Mercado para os minerais de pegmatitos

| Minerais | Segmentos Consumidores |
|---------------------|--|
| Feldspato | Cerâmica, vidro, tintas e esmaltes, porcelanas, eletrodo para soldas. |
| Tantalita/Columbita | Indústria eletrônica, superligas, produtos laminados e fios resistentes à corrosão e a altas temperaturas. |
| Caulim | Cerâmica, plásticos e tintas, papel, borracha, pesticidas e abrasivos, tecidos, produtos farmacêuticos e medicinais. |
| Mica | Indústria elétrica, indústria eletrônica, isolantes térmicos, eletrodos, tintas, borracha, plásticos, lamas. |
| Quartzo | Indústria ótica, indústria elétrica, indústria eletrônica, vidraria, cerâmica, refratários, siderurgia e fundição. |

Fonte: Sampaio (2001)

Em 2005, foi instituído o APL em Pegmatitos RN/PB com o propósito de impulsionar o desenvolvimento da cadeia produtiva de minerais de pegmatitos, que eram aproveitados de forma inadequada na Província Pegmatítica do Seridó, e ao mesmo tempo contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população desse território.

2.8 O APL EM PEGMATITOS RN/PB

A Província Pegmatítica do Seridó vem sendo estudada desde o início do Século XX, quando foram realizados os primeiros estudos geológicos da região pelo Geólogo Roderic Crandall. Em 2010, Crandall publicou o Mapa Geológico dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, tecendo comentários relevantes sobre a topografia e a geologia dessa região. Crandall foi o primeiro pesquisador a estabelecer uma relação estratigráfica, baseada em critérios litológicos, para as rochas desse território onde está inserida essa Província Mineral. Esses estudos representam um marco para literatura geológica brasileira (SOUSA, 1999).

Conforme Bezerra *et al.* (2009), a atividade mineral na mesorregião do Seridó foi iniciada de forma mais intensa na década de 1940, por meio das ações de cooperação do governo brasileiro com as forças aliadas durante a segunda guerra mundial, possivelmente para atender as demandas de minerais metálicos para a indústria bélica, como tantalita, scheelita e outros. Nessa década, houve um grande incentivo para alavancar a produção mineral na região, cuja vocação para essa atividade persiste até os dias atuais.

A partir desse período, ocorreram algumas intervenções governamentais para apoiar o segmento de minerais de pegmatitos e foram realizados vários projetos de extensionismo mineral e tecnológicos com a finalidade de desenvolver essa atividade em bases sustentáveis. Na década de 1970, a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE passou a incentivar o processo de industrialização na região, estimulando o início do aproveitamento do caulim, feldspato e mica. Vale ressaltar, que nessa década foi fundada a Empresa Caulim Caiçara, uma das mais tradicionais empresas de beneficiamento de caulim na região, que desenvolve suas atividades no Equador, RN, e está celebrando 50 anos de existência, em 2023.

Durante a década de 1980, foi desenvolvido o Projeto Estudo dos Garimpos pelo DNPM e pela CPRM, em cooperação com os governos estaduais, quando então foi criada a Reserva Garimpeira de Junco Seridó, com 35.563,29 ha, para o aproveitamento de minerais de pegmatitos e caulim, e a Reserva Garimpeira de São Tomé/Lages, com 60.200,90 ha, para o aproveitamento de quartzito. Essas reservas garimpeiras foram criadas com a finalidade de disciplinar e assegurar o acesso a esses recursos minerais aos cidadãos que exerciam o extrativismo mineral de forma empírica e artesanal (BRASIL, 2008).

Além disso, esse Projeto de fomento a atividade garimpeira propiciou a criação de diversas cooperativas de garimpeiros na região, que receberam subsídios em equipamentos e insumos para alavancar a produção de tantalita/columbita, berilo e gemas. Infelizmente, após o encerramento do Projeto, essas cooperativas foram desativadas (BEZERRA *et al.*, 2009).

Por outro lado, mesmo com o encerramento do Projeto dos Garimpos, a mineração de pequeno porte continuou na região, com alto nível de informalidade, e funciona até hoje para atender as inúmeras demandas de diversos segmentos industriais. Na década de 1990, a CPRM desenvolveu o Projeto Pegmatitos do Nordeste Oriental, onde foi demonstrado a viabilidade do aproveitamento econômico nos pegmatitos de minerais industriais, por empreendimentos de mineração de pequeno porte.

De acordo com Bezerra *et al.* (2009), no segundo semestre de 2003, foram realizadas duas oficinas de trabalho nos municípios de Parelhas, RN, e de Campina Grande, PB, sob a coordenação de representantes do Ministério de Minas e Energia e do Ministério de Ciência e Tecnologia, e com o apoio dos governos dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Nessas oficinas, houve a participação de órgãos governamentais, centros de pesquisa, instituições de ensino e pesquisa, empresas, cooperativas, profissionais liberais, mais de 200 produtores minerais e outros atores sociais envolvidos com a mineração em pegmatitos.

Nesses eventos técnicos, foram debatidos os principais gargalos que inibiam o desenvolvimento em bases sustentáveis dos empreendimentos de mineração de pequeno porte, que atuam na Província Pegmatítica do Seridó. Os resultados dessas discussões foram sintetizados num documento denominado “Carta de Parelhas”, que trazia no seu bojo para reflexão das autoridades competentes e dos atores sociais as seguintes vulnerabilidades:

- ✓ Elevado nível de informalidade e dificuldades para o alcance da formalização da produção mineral;
- ✓ Excesso de burocracia no processo de formalização da produção mineral e o elevado custo para o alcance das licenças ambientais e dos títulos minerários;
- ✓ Dificuldades de interlocução com os órgãos responsáveis pelo processo de formalização da produção mineral, como o DNPM e os órgãos ambientais;
- ✓ Ausência de profissionais habilitados para a elaboração e execução dos projetos necessários para a formalização, tais como PAE e RCA/PCA/PRAD;
- ✓ Inexistência na região do Seridó de laboratórios especializados ou de um centro tecnológico para a realização de ensaios e de caracterização tecnológica;
- ✓ Ausência de articulação ou parceria dos pequenos produtores com outros atores sociais da cadeia produtiva de minerais de pegmatitos;
- ✓ Baixíssima oferta de oficinas, seminários e de cursos de capacitação voltados para a sensibilização dos atores sociais para o cooperativismo/associativismo;
- ✓ Difícil acesso às tecnologias tradicionais para o desenvolvimento em bases sustentáveis das operações de lavra e de beneficiamento de minérios.

Em 2005, o Governo Federal estimulou a criação dos Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral – APLs, com a finalidade de corrigir essas distorções e impulsionar o desenvolvimento de cadeias produtivas minerais, reunidas em aglomerações no mesmo espaço geográfico. A partir das discussões e das linhas de ação recomendadas pela Carta de Parelhas, foi elaborado o Projeto Desenvolvimento em Rede do APL em Pegmatitos RN/PB, fomentado pelo fundo setorial CT Mineral. Esse projeto tinha o propósito de conscientizar os micros e pequenos mineradores à adoção de práticas mais racionais e responsáveis nas operações de lavra e de beneficiamento de minerais de pegmatitos.

A partir desse Projeto, foi constituído em junho de 2005, o APL em Pegmatitos RN/PB, que reconhecia a Província Pegmatítica do Seridó como um território de grande importância para a mesorregião do Seridó, mas que apresentava grandes vulnerabilidades sociais, econômicas e ambientais, as quais restringiam o seu desenvolvimento em bases sustentáveis. As principais linhas de ação desse Projeto destinadas à redução dos gargalos observados foram:

- Estimular a organização social e produtiva da mineração de pegmatitos;
- Impulsionar a formalização da produção mineral;
- Agregar valor à cadeia produtiva dos minerais de pegmatitos;
- Estimular a cooperação e a parceria entre os atores sociais;
- Reduzir riscos à saúde e à segurança do trabalhador;
- Erradicar o trabalho forçado e o trabalho infantil;
- Realizar levantamentos geológicos básicos;
- Inserir práticas mais racionais de lavra;
- Adequar os processos de beneficiamento de minérios;
- Aumentar a recuperação do minério;
- Reaproveitar os resíduos lançados no ambiente;
- Recuperar as áreas degradadas pela atividade mineral;
- Promover a contratação de profissionais habilitados;
- Buscar o acesso permanente à inovação tecnológica.

Em função dessa premissa, instituições como a UFCG, a UFPE o IFRN e o CETEM, dentre outras, celebraram uma parceria, no âmbito do APL de Pegmatitos RN/PB, para a elaboração de projetos com o intuito de oferecer suporte técnico e tecnológico aos pequenos mineradores da região. Essa parceria envolveu a elaboração e o desenvolvimento de uma rede cooperativa de extensionismo mineral e tecnológico para resolver os gargalos desse arranjo e reduzir suas vulnerabilidades.

2.9 O CAULIM DO SERIDÓ NORDESTINO

O caulim é uma argila constituída dentre outros minerais por caulinita e silicato hidratado de alumínio, proveniente do processo de intemperismo ou alteração dos feldspatos. Os depósitos de caulim encontrados na Província Pegmatítica do Seridó são em geral residuais e em algumas áreas estão encaixados na forma de veios na Formação Equador do Grupo Seridó.

A produção de caulim nessa Província Pegmatítica ocorre em grande parte no município do Equador, RN, e é destinada às indústrias de tintas, borracha, cerâmica e papel. Essa produção, em geral, é extraída por pequenos mineradores ou garimpeiros, na informalidade, de forma rudimentar, sem acompanhamento técnico especializado, e que provocam um acentuado processo de degradação ambiental nesse território (SOUSA *et al.*, 2018).

O depósito de caulim, escolhido para a realização dos estudos pertinentes aos trabalhos de pesquisa desta tese, está localizado no Sítio Galo Branco, compreendendo uma área de aproximadamente 12,52 ha e que foi formalizada sob o regime de Permissão de Lavra Garimpeira – PLG, tendo como titular a cooperativa de mineração COOTMAES.

No Sítio Galo Branco, onde foram realizados esses estudos para o desenvolvimento dessa tese, o caulim pode ser encontrado em veios de pegmatitos, bastante intemperizados, misturado com o feldspato nas rochas em processo de alteração. formando depósitos inteiros em processo de alteração ou formando depósitos inteiros de dezenas de metros de extensão, onde essa alteração foi concluída, apresentando uma coloração bastante esbranquiçada.

Nessa região, as operações de extração do caulim sempre foram realizadas por meio de galerias subterrâneas, construídas em condições inadequadas, rudimentares e sem nenhum critério técnico, evidenciando as operações típicas de uma atividade garimpeira. Essas operações de escavação do minério argiloso ocorriam de forma artesanal ou manual mediante o uso de picaretas, pás e carrinhos de mãos, sem o uso de equipamentos de proteção individual.

Nessa etapa de extração, essas operações eram também desenvolvidas em condições de trabalho precárias, com o risco elevado de acidentes fatais e a possibilidade dos mineradores contraírem doenças pulmonares como a silicose que compromete o sistema respiratório e é causada pela inalação contínua de material particulado. Esse tipo de doença pode causar invalidez e evoluir para tuberculose (RODRIQUES, 2012).

Com base neste contexto, ficou evidenciado que esse método de lavra subterrânea utilizado nas operações de extração do caulim não é o mais adequado para essa atividade em virtude dos altos riscos de danos significativos à saúde e à segurança do trabalhador, e também por interferir na qualidade de vida desses trabalhadores.

A seguir, as Figuras 11 e 12 retratam as operações de extração de caulim em galerias subterrâneas, que eram realizadas por micro e pequenos mineradores em quase toda área minerada de caulim, em especial na área no entorno da Mina do Sítio Galo Branco, onde foram realizadas as investigações para a elaboração deste trabalho de tese.

Figura 11 – Operação de descida do minerador para extração de caulim



Fonte: Autoria própria (2011)

Figura 12 – Operação de extração de caulim por pequenos mineradores



Fonte: Autoria própria (2009)

Dessa forma, tornou-se preponderante a escolha por um método de lavra mais racional e de preferência a céu aberto. O método de lavra a céu aberto mecanizado, com o uso de equipamentos como escavadeiras e carregadeiras, tem demonstrado ser uma grande alternativa em substituição ao método manual que utilizava ferramentas como picaretas e pás.

Nesse método de lavra a céu aberto, o minério extraído é transportado por caminhão caçamba até as unidades de beneficiamento da região, conforme o planejamento prévio. Além disso, todas as operações de lavra são desenvolvidas de acordo com os princípios de conservação ambiental, de forma a propiciar condições mais salubres de trabalho.

Os critérios econômicos e sociais são também importantes para a escolha desse método, uma vez que nos depósitos minerais desse território, o caulim está situado próximo à superfície, disposto em camadas sub-horizontais, com a espessura do capeamento de no máximo 1,0 m, propiciando o desenvolvimento das operações com menores custos, mais segurança e a redução considerável de riscos de acidentes fatais nas frentes de lavra (SOUSA *et al.*, 2018).

O pequeno volume de material estéril e orgânico do solo fértil deve ser transportado por caminhão caçamba até um depósito de material controlado, situado em um espaço escolhido nos limites da área de abrangência do título minerário e nas proximidades das frentes de lavra. Esse material pode ser aplicado em diversos usos, dentre eles na recuperação das áreas degradadas, na etapa de fechamento da mina. A Figura 13 retrata uma frente de lavra onde foram realizados os estudos desta tese, situada no Sítio Galo Branco, em Equador, RN.

Figura 13 – Frente de lavra da área em estudo no Sítio Galo Branco, Equador, RN



Em síntese, o caulim do Seridó Nordestino é um produto de alteração das rochas pegmatíticas constituídas majoritariamente por caulinita e quartzo, sendo encontrado na forma de veios, encaixados nas rochas quartzíticas na Província Pegmatítica do Seridó, onde é lavrado de forma rudimentar, inadequada e predatória.

Associado a várias impurezas, o caulim dessa região requer uma etapa de beneficiamento de minérios para que possa atender as especificações do mercado consumidor. As impurezas, como óxidos de ferro e titânio, mica e feldspato, entre outras, influenciam diretamente na alvura do caulim, comprometendo sua qualidade (LUZ *et al.*, 2003). As operações de beneficiamento têm como objetivo purificar e agregar valor ao caulim e tais operações dependerão da aplicação a que se destina.

Devido ao nível de impurezas associado, o processo de beneficiamento do caulim a úmido é o que melhor se adequa ao tipo de caulim existente na Província Pegmatítica do Seridó. Na grande maioria das unidades de beneficiamento dessa região, o processo de concentração é constituído pelas operações de dispersão, desagregação, peneiramento, decantação, filtragem e secagem (SAMPAIO *et al.*, 2001).

Conforme Sousa *et al.* (2021) grande parte das empresas que atuam com o caulim nessa Província, utiliza métodos considerados ineficientes e rústicos, nos quais parte da argila caulínica é descartada em forma de resíduos por deficiência tecnológica em seu processo de classificação. Essa deficiência operacional é uma das causas da baixa recuperação nas plantas de beneficiamento, em média 25%. Um dos principais problemas, segundo Silva *et al.* (2010), é o dimensionamento inadequado do circuito de classificação de polpa, tornando a eficiência de classificação de partículas finas e ultrafinas muito baixa.

Uma das consequências dessa ausência de tecnologia e inovação nos métodos utilizados para o beneficiamento do caulim é que a fração do minério não aproveitada ou recuperada, configura um grande desperdício que afeta a produtividade e a rentabilidade das pequenas empresas. Além disso, gera uma grande quantidade de resíduos finos e grosseiros, denominados respectivamente na região de “siri” e “sarrabulho”, que são depositados de forma inadequada nos pátios das empresas e no solo das áreas circunvizinhas aos empreendimentos minerais, provocando impactos ambientais significativos.

Dessa forma, torna-se relevante a realização de estudos para o desenvolvimento de tecnologias, para solucionar esses problemas operacionais observados. Além disso, é muito importante o tratamento e o reuso da água do processo para minimizar os impactos ambientais. Nesse sentido, a busca pela realização da atividade mineral em bases sustentáveis deverá propiciar o alcance de alguns dos 17 ODS, propostos pela Agenda 2030 da ONU.

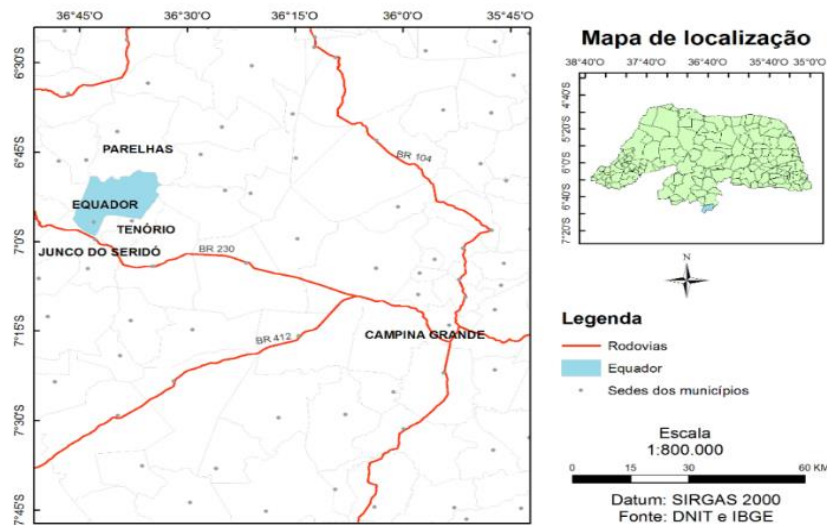
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA

A área objeto desse estudo está localizada próxima ao município de Equador, RN, e se encontra inserida na mesorregião Central Potiguar e na microrregião do Seridó Oriental. O município possui uma área de 264,985 km² (IBGE, 2023), distando 283 km de Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte e situada a 110 km do município de Campina Grande, PB.

A localidade de Equador limita-se ao norte com o município de Parelhas, RN, e ao sul, oeste e leste com os municípios Paraibanos de Junco do Seridó e Tenório. A sede do povoado possui uma altitude média de 572 m e está situada nas coordenadas 06° 56' 42" de latitude Sul e 36° 43' 04" de longitude oeste (CPRM, 2005). O acesso a área estudada, a partir de Campina Grande, é feito através da rodovia federal BR 230, que está em bom estado de conservação, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: DNIT e IBGE (2016)

A área de caulim, escolhida para a realização dos estudos deste projeto de tese, compreende uma área de 12,52 ha e foi formalizada com a emissão da outorga para a COOTMAES extrair feldspato, sob o regime de aproveitamento econômico Permissão de Lavra Garimpeira – PLG n° 02/2011, de 03/08/2011, processo DNPM/ANM n° 848.058/2011. O prazo de validade dessa PLG foi renovado até 05/08/2026. Por outro lado, a Licença de Operação – LO, referente a essa área e necessária para a realização da lavra, foi expedida pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA, com validade até 12/07/2027.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS ADOTADOS

O procedimento metodológico desse estudo foi caracterizado como teórico, com uma abordagem mais qualitativa, exploratória e descritiva, sendo utilizando o método de estudo de caso em uma cooperativa de mineração, a COOTMAES, para desenvolver e aplicar um modelo para o aproveitamento do caulim em bases sustentáveis. Em adição, algumas ações da pesquisa foram realizadas mediante visitas de campo à região pesquisada para a coleta de amostras de forma adequada. Essas amostras foram coletadas para a realização de alguns ensaios em laboratório e para a devida caracterização tecnológica do minério. Ao mesmo tempo, foram feitas revisões da literatura existente, com a finalidade de ampliar o conhecimento sobre o tema de aproveitamento do caulim no entorno do Equador, RN.

Nesse trabalho de campo, foram observados os aspectos ambientais, socioeconômicos, e técnicos envolvidos na atividade de aproveitamento do caulim, avaliando os seguintes aspectos: geologia, lavra, beneficiamento de minérios, impactos ambientais, condições de trabalho, as dificuldades para a formalização dos empreendimentos mineiros, a existência de planos de recuperação de áreas degradadas, dentre outros, mediante a interlocução com os atores sociais envolvidos com as operações de lavra e de beneficiamento do caulim.

Ainda durante este trabalho, foram realizadas ações para conscientizar os pequenos mineradores com relação à necessidade da criação e formalização de uma cooperativa local. A partir dessas iniciativas foi possível constituir e fortalecer a Cooperativa dos Trabalhadores de Minério e Agricultura do Equador e do Seridó – COOTMAES, visando promover a organização social e produtiva dos trabalhadores atuantes nos segmentos de micro e pequena mineração, no âmbito do APL de Pegmatitos RN/PB.

Alguns dos resultados pretendidos com este estudo foram alcançados graças ao apoio das ações realizadas no âmbito do projeto intitulado “Integração de pesquisa e desenvolvimento tecnológico voltado para o aproveitamento racional e sustentável de minerais de pegmatitos e rochas de quartzitos”, desenvolvido numa parceria da UFCG com o CETEM e a UFPE no período de 2013 a 2016. Vale salientar, que mesmo esse projeto tenha sido oficialmente concluído em 2016, as ações de pesquisa para o aproveitamento do caulim em bases sustentáveis continuam até hoje, mantida com recursos próprios.

No decorrer da execução das ações do projeto desta tese, foi desenvolvido também o projeto “Aproveitamento dos Resíduos de Caulim e Adequações nas Unidades de Beneficiamento em Pequenas Empresas que atuam no APL em Pegmatitos RN/PB”, realizado pelo MCTI e UFCG, com o apoio da UFPE e IFRN”.

Os resultados obtidos até o momento têm sido bastante promissores, e algumas ações desenvolvidas nesse projeto de extensionismo mineral e tecnológico foram acompanhadas durante os estudos e as investigações realizados no decorrer dessa tese e os resultados promissores obtidos serão aqui divulgados.

Em resumo, as atividades desenvolvidas no âmbito desta tese estão descritas de forma mais detalhada a seguir:

- ✓ A revisão de literatura que foi realizada no âmbito desta tese contribuiu para a construção de um diagnóstico ambiental e socioeconômico atualizado do território onde está inserida a área pesquisada;
- ✓ Na execução dos trabalhos de campo foram utilizados mapas base do território no entorno da área pesquisada, contendo informações sobre as estradas de acesso, a geomorfologia, o clima, a hidrografia, o solo, a vegetação, e coletado também informações sobre os indicadores socioeconômicos;
- ✓ No âmbito desse modelo, foram realizados estudos para facilitar e tornar mais célere o processo de formalização de áreas mineradas de caulim, especificamente com relação ao direito mineral e ambiental, assim como serão apresentadas as recomendações para a construção de um novo regime de aproveitamento econômico para a formalização de minerais sociais;
- ✓ Realização de um levantamento geológico e recomendação da adoção de um modelo piloto para as operações de lavra na área minerada da mina Galo Branco;
- ✓ Recomendação de adequações nas operações da unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes, selecionada para a realização desses estudos, de forma a elevar a recuperação do minério e minimizar a disposição de resíduos no meio ambiente;
- ✓ Realização de estudos para a caracterização dos resíduos provenientes da unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes, visando o uso desses resíduos como remineralizadores ou como pozolana;
- ✓ Ao mesmo tempo, foram incorporadas sugestões de possíveis rotas para o aproveitamento do volume de resíduos de minério, disposto no entorno da unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes,
- ✓ Construção de um plano, para a recuperação da área degradada pela mineração de caulim, nos domínios da mina Galo Branco;
- ✓ Redação da tese e preparação para a sua defesa. e adequação da pesquisa com as devidas correções recomendadas pela qualificada banca examinadora.

4 RESULTADOS ALCANÇADOS

4.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICO

Conforme Sousa (1999), o aproveitamento dos recursos minerais provoca modificações significativas na estrutura física, biológica e antrópica nos biomas dos territórios onde esses depósitos minerais estão inseridos. Essas alterações podem provocar maior ou menor impacto, e estão diretamente relacionadas com a sua localização geográfica, o tipo de minério a ser lavrado e beneficiado, o método de lavra utilizado e o processo de beneficiamento adotado.

Nesse contexto, os estudos dos aspectos ambientais nas áreas a serem mineradas devem considerar essas especificidades técnicas para a elaboração dos planos de mitigação de possíveis impactos e ao mesmo tempo observar os fatores naturais e antrópicos no seu entorno.

A área onde foram realizados os estudos necessários para a construção dessa tese está situada na Mesorregião do Seridó, no bioma Caatinga. Esse território tem uma extraordinária vocação para o aproveitamento de jazimentos mineiros de pequeno porte, apresenta baixa pluviosidade, altitudes elevadas, com um clima quente e seco, que coloca os empreendimentos de mineração de pequeno porte como uma das atividades econômicas mais viável para a sobrevivência e a melhoria da qualidade de vida das comunidades que habitam esse território.

4.1.1 Aspectos fisiográficos

❖ Geomorfologia

A Província Pegmatítica do Seridó, onde está localizada a área minerada de pegmatito e caulim pesquisada nesta tese, está situada em grande parte na unidade geomorfológica do Planalto da Borborema, que apresenta a estrutura de um maciço, constituído de rochas cristalinas de idade pré-cambriana e deformado pela ação tectônica, propiciando a ocorrência de falhamento com fraturas. Possui um relevo variando de ondulado a muito ondulado, com variação de 260 a 800 metros de altitude e é influenciado por fatores estruturais, dos tipos litológicos e tectônicos, e também por fatores climáticos (SOUSA *et al.*, 2018).

❖ Clima

A área minerada pesquisada nesta tese apresenta alta radiação de energia anual, determinando um clima semiárido quente, do tipo BSh (KOPPEN, 1884), com chuvas de verão, intenso grau de evaporação e com precipitação pluviométrica entre 300 e 800 mm anuais. Caracterizado por um regime pluviométrico irregular, predominando uma estação seca muito longa, com duração aproximada de 9 meses. A temperatura média anual é de 27,5° e a amplitude térmica oscila entre 10° e 12° C por dia. A evapotranspiração média nessa região é de 534 mm e a umidade relativa do ar é baixa (SOUSA *et al.*, 2018).

❖ Recursos hídricos

As bacias hidrográficas que abrangem a área pesquisada são responsáveis pela feição topográfica atual, sendo representada por açudes, rios e riachos, com cursos d'água com direção indefinida e intermitente, que se apresentam caudalosos durante o período chuvoso, porém secam no período de estiagem. O padrão de drenagem é o dentrítico. Essa área também está inserida nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, sendo banhada pelos rios Malhada Grande e dos Quintos. No domínio dessa Bacia do Rio Piranhas nesse território, estão os riachos intermitentes Cajueiro, Verde, Oitis, Bolandeira, Gregório, Boa Vista, Galo, Carneiro entre outros. Além dos açudes Mamão e Equador (CPRM, 2005).

A irregularidade na distribuição das chuvas e a sucessão de períodos prolongados de estiagem são, provavelmente, os maiores problemas desses terrenos com vocação mineral situados no semiárido do Seridó. Toda água necessária para suprir as necessidades básicas da população advém de carros pipas e de alguns poços perfurados.

❖ Solo

O solo é um importante recurso natural, sendo considerado por alguns especialistas a camada viva da terra. Esse recurso recobre grande parte da superfície terrestre, e é um sistema complexo, em constante evolução, composto por uma porção sólida, líquida e gasosa, sendo formado por minerais e matéria orgânica. O solo é resultante da interação de cinco fatores ambientais: material de origem, clima, relevo, organismos e tempo.

Por outro lado, o perfil do solo é formado por um conjunto de horizontes ou camadas paralelas à superfície da rocha. O solo é denominado evoluído quando apresenta normalmente uma sequência de 4 horizontes (O, A, B e C), que assentam sobre a rocha-mãe.

Para Velloso *et al.* (2002), O bioma Caatinga apresenta uma variedade complexa de tipos de solos, desde solos rasos e pedregosos até solos profundos e arenosos, que em conjunto com a disponibilidade hídrica deverão definir os diferentes tipos de vegetação presentes nesse bioma. O solo na área pesquisada é influenciado de forma significativa pelo clima e pela natureza da rocha mãe. Na Caatinga, o clima semiárido influencia a evolução dos solos, que é bastante lenta pela reduzida presença de matéria orgânica ou bloqueada durante o período de estiagem prolongado pela ausência de água.

O tipo de solo predominante na área pesquisada até a espessura de 0,5 m é o Neossolo Litólico Eutrófico. Esse tipo de solo é característico de um relevo com forte ondulação e uma textura arenosa. Se a espessura ultrapassar 0,5 m pode ser do tipo Luvisolos Crômicos. Apresenta a característica de ser um solo pedregoso, bastante raso, muito erodido e fortemente drenado, com baixa aptidão para a atividade agrícola (SOUSA *et al.*, 2018).

4.1.2 Aspectos bióticos

❖ Flora

O território onde foram realizados os estudos da pesquisa desta tese está inserido no bioma Caatinga. Esse bioma compreende uma área aproximada de 845 mil km², equivalente a 10 % da área superficial do Brasil, cobrindo uma grande parcela da área dos estados do nordeste, e uma parte do nordeste do estado de Minas Gerais, no vale do Jequitinhonha. O termo Caatinga é originário do idioma Tupi-guarani e significa Mata Branca, uma vez que no período seco de estiagem a vegetação perde suas folhas, revelando os troncos das árvores desfolhados e esbranquiçados (PRADO, 2003).

As atividades antrópicas têm provocado profundas alterações no bioma Caatinga, levando ao desaparecimento de espécies da flora e da fauna e comprometendo as suas características geológicas. A Caatinga é um dos biomas brasileiros mais degradados, sendo que uma das maiores ameaças à Caatinga é o corte predatório de sua vegetação nativa para a produção de lenha. Essa lenha é a base da matriz energética de propriedades rurais e de empreendimentos industriais de pequeno porte da região. A remoção acentuada da vegetação intensifica o processo de erosão do solo e tem contribuído para acelerar a desertificação desse território, principalmente na mesorregião do Seridó (TRIGUEIRO *et al.*, 2009).

No bioma Caatinga as espécies de vegetação predominantes são constituídas de arbustos e árvores, geralmente espinhosas, com folhas pequenas ou de lâminas subdivididas, existindo algumas sem folhas (áfilas), para reduzir a transpiração de água na estação de seca. Observa-se também a presença de cactáceas, bromeliáceas e de plantas herbáceas

As espécies da flora existentes na região da área pesquisada são o umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), o facheiro (*Pilosocereus pachycladus*), o mandacaru (*Cereus jamacaru*), a faveleira (*Cnidoscolus quercifolius*), a oiticica (*Licania rigida*), o cumaru (*Amburana cearensis*), o pau d'arco-roxo (*Handroanthus impetiginosus*), o xique-xique (*Pilosocereus gounellei*), a macambira (*Bromelia laciniosa*), a coroa de frade (*Melocactus zehntneri ou bahiensis*), o mororó (*Bauhinia cheilantha*), o angico (*Anadenanthera colubrina*), a baraúna (*Schinopsis brasiliensis*), a craibeira (*Tabebuia aurea*), o pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*), o juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), a quixabeira (*Sideroxylon obtusifolium*), a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), a timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*), o jucá (*Caesalpinia ferrea*), a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), o mulungu (*Eritrina velutina*), a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), a jurema branca (*Mimosa verrucosa*), a malva (*Sida galheirensis*), a quebra-faca (*Senna trachypus*), o velame (*Croton heliotropiifolius*), entre outras.

As espécies medicinais passíveis de serem encontradas nesse território são a xanana (*Turnera ulmifolia*), a manjerioba (*Senna occidentalis*), a alfazema-brava (*Lavandula latifolia*), o quebra-pedra (*Phyllanthus niruri*), o fedegoso (*Senna macranthera*), feijão-de-boi (*Dioclea virgata*), a papaconha (*Hybanthus calceolaria*), entre outras. Além das gramíneas (Poaceae), milhã (*Digitaria ciliaris*), carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e com o domínio do capim panasco (*Aristida adscensionis* Linn) (FERREIRA, 2011). A Figura 15 representa algumas espécies da flora do Bioma Caatinga na área pesquisada.

Figura 15 – Representação de espécies da flora na área pesquisada



Fonte: Autoria própria (2016)

❖ Fauna

A fauna da área pesquisada está representada por uma grande variedade de mamíferos, pássaros, répteis e reflete o estado de conservação da área. Nesse território são encontrados representantes das seguintes espécies: tatupeba (*Euphractus sexcinctus*), preá (*Cavia aperea*), mocó (*Kerodon rupestris*), raposa (*Cerdocyon thous*), ticaca (*Conepatus semistriatus*), gato maracajá (*Leopardus tigrinus*), tatu-verdadeiro (*Dasypus novemcinctus*), morcego (*Chiroptera*), rolinha (*Columbina squammata*), tetéu (*Vanellus chilensis*), arribaçã (*Zenaida auriculata*), asa branca (*Patagioenas picazuro*), coruja (*Strigiformes*), galo de campina (*Paroaria dominicana*), anu-preto (*Crotophaga ani*), sabiá-laranjeira (*Turdus rufiventris*), gavião (*Elanoides forficatus*), carcará (*Caracara plancus*), canário da terra (*Sicalis flaveola*), camaleão (*Chamaeleonidae*), cascavel (*Crotalus durissus*), entre outros (FERREIRA, 2011).

4.1.3 Aspectos socioeconômicos

O Rio Grande do Norte apresenta um potencial de desenvolvimento em setores como agroindústria, mineração, pesca, turismo, indústria, infraestrutura e energia. O Estado tem uma localização estratégica em relação aos mercados mundiais e uma política fiscal inteligente, propícia para a atração de investimentos e a descentralização do desenvolvimento

Os indicadores sociais e econômicos, divulgados recentemente por órgãos oficiais, indicam a expansão de vários setores e a melhoria de alguns indicadores socioeconômicos. Segundo dados oficiais, a oferta de empregos com carteira assinada foi ampliada, a renda média domiciliar cresceu e o Índice de Desenvolvimento Humano – IDH divulgado em 2023 pelo IBGE foi de 0,728, e é o 16º entre os estados brasileiros.

A atividade mineral no Rio Grande do Norte tem uma grande tradição, devido em parte à exploração no passado de scheelita. Atualmente, são aproveitados economicamente petróleo, gás natural, sal marinho, argila, calcário, ferro, areia, granito, quartzito, caulim, quartzo, feldspato, mica, tantalita, gemas, entre outros. Segundo o Governo do Estado, existem hoje 30 substâncias minerais passíveis de aproveitamento econômico, todavia as autoridades reconhecem que a grande maioria dos depósitos minerais presentes na Província Pegmatítica da Borborema é ainda explorada na informalidade.

O município de Equador foi criado pela Lei nº 2.799, de 11/05/1962, desmembrado do município de Parelhas. Em 2022, a população estimada era de 5.360 habitantes e a densidade demográfica era de 20,23 hab/ km² (IBGE, 2023). Estima-se que 70% da população reside na área urbana e apresenta ainda mais de 50 % de domicílios sem o saneamento básico adequado.

No campo da saúde, apresenta 01 hospital, 01 unidade mista, 02 postos de saúde e 17 leitos disponíveis. Na área de educação, o município dispõe de 06 unidades de ensino, sendo 01 de ensino pré-escolar, 04 de ensino fundamental e 01 de ensino médio, com mais de 90% da população infantil matriculadas no ensino fundamental. O Equador apresentava em 2010 o IDH de 0,623 e ocupava o 34º lugar no ranking de desenvolvimento do Estado. Em 2021, o Produto Interno Bruto – PIB per capita foi de R\$ 13.518,66, ocupando o 82º lugar no ranking estadual.

O setor produtivo do Seridó, onde está inserido o município do Equador, é caracterizado pelo setor primário, onde se destaca a agropecuária e a atividade mineral. O setor industrial apresenta pouca expressividade e o setor comercial caracteriza-se pela comercialização de bens de primeira necessidade. Vale salientar, que os benefícios sociais e econômicos decorrentes da mineração para os municípios mineradores, como o Equador, são ainda pouco significativos devido provavelmente ao seu alto nível de informalidade na região.

4.2 GEOLOGIA DA ÁREA PESQUISADA

4.2.1 Geologia regional

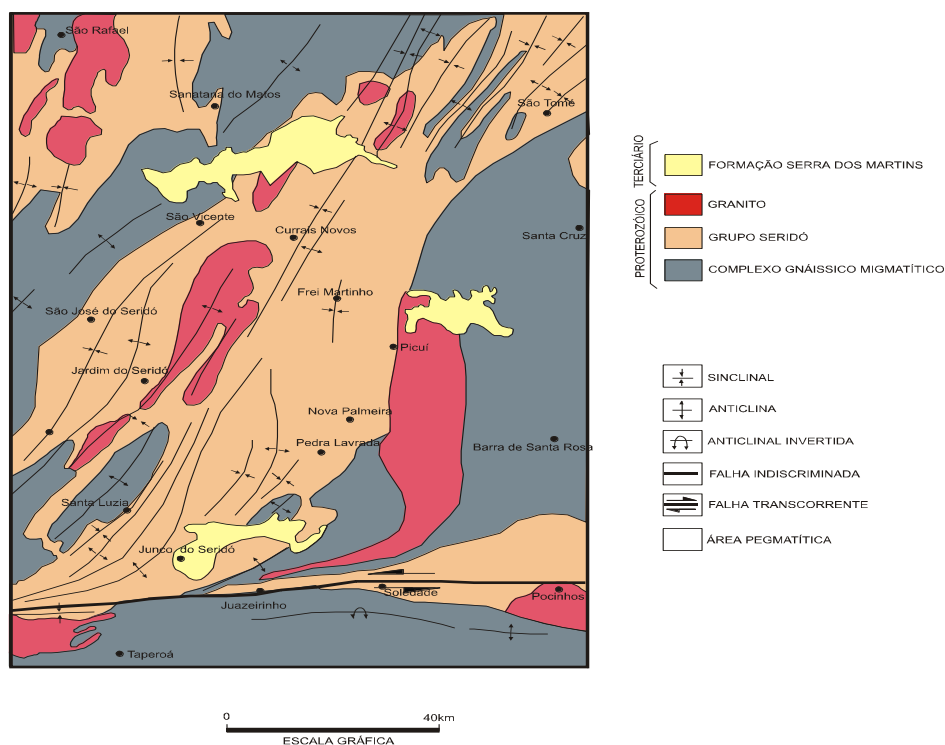
A geologia regional do território da Província Pegmatítica da Borborema/Seridó, nos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, foi objeto de estudo de várias gerações de pesquisadores, onde foi admitida a existência de duas unidades estratigráficas fundamentais: terrenos metassedimentares e complexos gnáissicos-migmatíticos-graníticos.

O arcabouço regional é constituído por formações de rochas pré-cambrianas do Neoproterozóico e Arqueano/Paleoproterozóico, definido por uma associação litoestratigráfica distribuída essencialmente nas unidades denominadas Complexo Gnáissico-Migmatítico basal do Grupo Caicó, os metamorfitos de cobertura do Grupo Seridó e rochas filonianas.

O Grupo Seridó compreende a Faixa de Dobramentos Seridó de Brito Neves (1973), de um modo geral, é denominada de Faixa Seridó, que aflora na região central do Rio Grande do Norte, e Paraíba. Esse Grupo é constituído pelos gnaisses da Formação Jucurutu, pelos quartzitos da Formação Equador e pelos xistos da Formação Seridó no topo da unidade.

Vale ressaltar, que a área estudada e pesquisada nesta tese está situada no Sítio Galo Branco, na zona rural do Equador, RN, e apresenta as características geológicas regionais da Província Pegmatítica do Seridó, as quais estão representadas na Figura 16.

Figura 16 – Geologia regional da área pesquisada



Fonte: Rede APLmineral (2009)

4.2.2 Geologia local

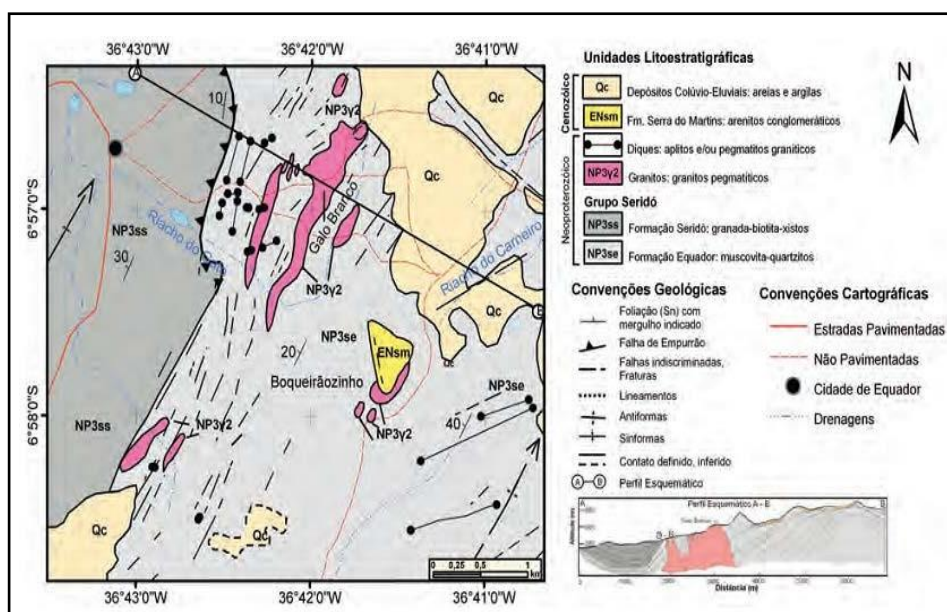
Uma parcela do território do Rio Grande do Norte é geologicamente constituída pelas unidades litoestratigráficas do pré-cambriano, que apresentam granitos pegmatíticos. Essas unidades compõem o quadro geológico da Província Pegmatítica do Seridó, onde são encontrados os depósitos de caulim pesquisados neste trabalho de tese.

Uma análise prévia da litologia da área de influência do município do Equador demonstra a existência de rochas do complexo cristalino, sendo também constituído pelos litotipos da Formação Equador, da Formação Seridó, da Formação Serra dos Martins e dos depósitos Colúvio-eluviais com areia e argila.

Os estudos geológicos preliminares identificaram uma zona de produção de caulim no entorno do município do Equador, RN, num raio de aproximadamente 8 km. Nos levantamentos de campo foram selecionados e delimitados os alvos potenciais, onde foram mapeadas as feições geológicas e coletadas as amostras para os ensaios de laboratório, indispensáveis para a caracterização geológica e tecnológica da área pesquisada (LIMA & VIDAL, 2015).

Os levantamentos geológicos superficiais indicaram que o caulim da área minerada do Galo Branco é proveniente de um processo de dissolução dos feldspatos presentes nos pegmatitos homogêneos existentes nessa área, onde o produto de decomposição é a argila caulínica que migrou para o topo e para os espaços laterais encaixados na Formação Equador. A Figura 17 representa as feições da geologia local da área da mina Galo Branco no Equador.

Figura 17 – Geologia local da mina Galo Branco no Equador, RN



Fonte: Lima & Vidal (2015)

4.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO

Os ensaios necessários para caracterização tecnológica do minério e dos seus resíduos foram realizados no âmbito do Projeto Transferência de Execução Descentralizada – TED nº13/2922 MCTI – UFCG “Aproveitamento dos Resíduos de Caulim e Adequações nas Unidades de Beneficiamento em Pequenas Empresas que atuam no APL em Pegmatitos RN/PB”, que está sendo desenvolvido pela UFCG, UFPE e IFRN e fomentado pelo MCTI.

Nessa primeira fase do trabalho de pesquisa, além do procedimento de obtenção de dados sobre o beneficiamento de caulim na empresa Mineração Nossa Senhora de Lourdes, foram também realizadas medições e coletadas amostras de resíduos de caulim nas pilhas do depósito de rejeitos da Empresa para o desenvolvimento de uma metodologia padrão para a seleção, coleta e preparação dessas amostras.

Assim, foram coletados aproximadamente 100 kg de uma amostra bruta representativa de resíduos de caulim para a realização de estudos de caracterização tecnológica e do beneficiamento de caulim em escala de bancada nos laboratórios do IFRN, em Parelhas e Natal, e no Centro de Tecnologia Mineral do IFRN, em Currais Novos, conforme mostra a Figura 16.

Figura 18 – Medições e coleta da amostra bruta de resíduos de caulim



Fonte: Autoria própria (2022)

A amostra representativa coletada no depósito de resíduos foi acondicionada em sacos e transportada para os laboratórios do IFRN para a preparação das amostras e para a realização de estudos de caracterização tecnológica e de beneficiamento dos resíduos do caulim.

Nesses laboratórios, uma fração da amostra bruta foi submetida aos processos de preparação, pesagem, homogeneização com o método da pilha alongada, de quarteamento e de peneiramento a úmido e a seco, conforme está demonstrado nas Figura 19 e 20.

Figura 19 – Processo de preparação da amostra de caulim



Fonte: Autorial própria (2022)

Figura 20 – Processo de peneiramento da amostra de caulim



Fonte: Autorial própria (2022)

Em seguida, foi realizada a preparação das amostras para os ensaios de caracterização química por fluorescência de raios-x e para os estudos de beneficiamento do minério, em escala de bancada, constituídos das operações de cominuição, peneiramento, homogeneização e concentração gravimétrica utilizando mesas vibratórias, buscando individualizar a tantalita/columbita de outros minerais associados.

Os estudos de beneficiamento do minério envolvendo a concentração gravimétrica foram realizados no laboratório de Tratamento de Minérios do IFRN, em Parelhas, RN. Esses estudos foram realizados envolvendo a moagem de uma fração da amostra, o peneiramento, o quarteamento e foi usado o método de concentração gravimétrica, com o uso de mesas vibratórias, buscando separar a tantalita/columbita e outros minerais associados aos resíduos de caulim como a mica e o quartzo, de forma a investigar alternativas para a redução do volume expressivo dos resíduos de caulim na região, e ao mesmo tempo possibilite o aumento da renda para os pequenos produtores.

Nos ensaios de beneficiamento dos resíduos de caulim foi escolhido o método de concentração gravimétrica ou separação por gravidade porque ele é bastante conhecido na região, onde as partículas de diferentes densidades, tamanhos e formas são separadas umas das outras por ação da força de gravidade, por forças centrífugas ou forças conjuntas. A concentração gravimétrica é um dos métodos de concentração de minérios mais antigo utilizado pelo homem, com grande eficiência, economicidade e grande aceitação.

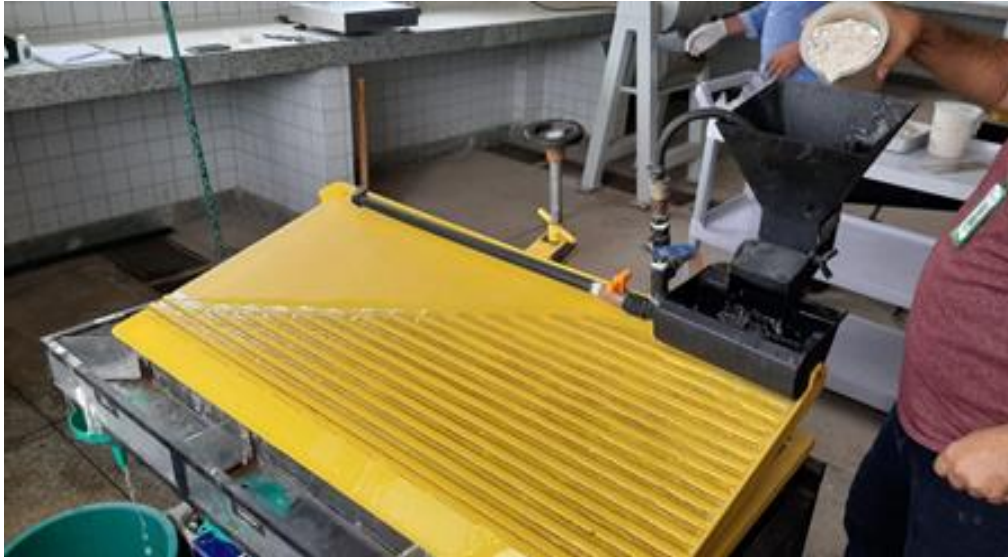
Esse método pode ser realizado com o uso da tecnologia de mesas vibratórias que são bastante utilizadas na concentração de minerais pesados como o ouro, a scheelita, a tantalita/columbita e outros metais pesados. Normalmente, as mesas vibratórias ou de agitação são considerados equipamentos de acabamento, com uso na fase de limpeza de pré-concentrados de jiques e espirais. Devido a sua elevada recuperação e precisão, esses equipamentos são recomendados para materiais finos, pois operam com elevada eficiência. Para alcançar um nível de eficiência operacional ideal essas mesas possuem a frequência e a amplitude de vibrações reguláveis.

A princípio, a proposta era concentrar os resíduos de caulim na unidade de beneficiamento do laboratório Mina Escola da UFCG, numa escala piloto, utilizando o método de concentração gravimétrica com mesas vibratórias de forma a reduzir o volume de resíduos depositados na área pesquisada. Entretanto, para maior conhecimento dos detalhes dessas operações de processamento mineral foram realizados ensaios preliminares em escala de bancada, como esses que foram realizado no laboratório de Beneficiamento de Minérios do IFRN, em Parelhas.

Inicialmente, foram feitos alguns ajustes de algumas variáveis nos equipamentos da pesquisa, tais como: inclinação, velocidade de rotação, amplitude de vibrações e vazão. Em seguida, foram realizados os procedimentos experimentais visando investigar um modelo de mesa vibratória adequado para alcançar a eficiência de separação ideal da tantalita/columbita da fração da amostra dos resíduos de caulim, e assim maximizar a recuperação.

Em síntese, pode-se afirmar que os resultados desses ensaios iniciais foram satisfatórios e, devido à necessidade operacional de aprimorar a calibração das mesas vibratórias, eles foram repetidos inúmeras vezes. A Figura 21 retrata os ensaios com o uso de mesa vibratória.

Figura 21 – Ensaios de bancada com uso de mesa vibratória



Fonte: Autoria própria (2023)

Após os ensaios de concentração gravimétrica, foram feitos os procedimentos de separação sólido-líquido nos baldes coletores dos produtos gerados: Concentrado, Misto e Rejeito. Em seguida, as amostras foram encaminhadas para um forno estufa (100°C) para a retirada da umidade. Por fim, elas foram preparadas, sendo depois conduzidas para os ensaios tecnológicos de análises químicas por fluorescência de raios-X, onde os resultados foram incipientes. A Figura 22 retrata a preparação de amostras para os ensaios tecnológicos.

Figura 22 – Preparação das amostras para os ensaios tecnológicos



Fonte: Autoria própria (2023)

Nessa segunda fase dos trabalhos de pesquisa, foram realizadas novas medições e ensaios com as amostras de resíduos de caulim que foram coletadas também nas pilhas do depósito de resíduos da Mineração Nossa Senhora de Lourdes. Assim, foram realizados novos ensaios do beneficiamento dos resíduos de caulim pelo método de concentração gravimétrica, em escala de bancada, novamente no laboratório de Tratamento de Minérios do IFRN, em Parelhas, para investigar a presença de tantalita/columbita nas amostras coletadas.

Mais uma vez, foram feitos os ajustes necessários na inclinação, velocidade de rotação, amplitude de vibrações e vazão da mesa vibratória, e foram adotados os seguintes valores que estão apresentados no Quadro 5, para tentar otimizar a eficiência desse equipamento.

Quadro 5 – Variáveis utilizadas nos ajustes das mesas vibratórias

| | | | |
|-----------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| Inclinação: 10° | Velocidade: 170 Min | Vibração: 216 Min | Vazão: 106,66ml/Seg |
|-----------------|---------------------|-------------------|---------------------|

Fonte: Autoria própria (2023)

As amostras utilizadas nessa fase da pesquisa pesavam 4 kg e foram divididas em quatro alíquotas para os ensaios preliminares de peneiramento, conforme o Quadro 6.

Quadro 6 – Variáveis Utilizadas nos Ajustes das Mesas Vibratórias

| | | | |
|--------------|-------------|-------------|------------|
| 01: 0,840 kg | 02: 1,380kg | 03: 1,750kg | 04: 0,03kg |
|--------------|-------------|-------------|------------|

Fonte: Autoria própria (2023)

Em seguida, foi realizado um processo de cominuição, utilizando um moinho de bola tipo Bond, para reduzir a granulometria do material que vai alimentar a mesa vibratória utilizada para concentrar a tantalita/columbita no laboratório do IFRN, em Parelhas, e dessa forma garantir a eficiência do processo.

Essas adequações foram necessárias para alcançar a eficiência operacional de separação ideal da tantalita/columbita da fração da amostra dos resíduos de caulim, e assim maximizar a recuperação. Em síntese, pode-se afirmar que os resultados desses ensaios dessa segunda fase foram mais satisfatórios que os ensaios realizados na primeira fase, devido aos ajustes das variáveis das mesas vibratórias, assim como a adoção do moinho de bolas para reduzir a granulometria do material de alimentação da mesa vibratória. A Figura 23 mostra o moinho de bola tipo Bond utilizado no processo.

Figura 23 – Moinho de bola tipo Bond



Fonte: Autoria própria (2023)

Após a concentração gravimétrica na primeira fase dessa investigação, o material concentrado foi submetido a análises químicas por fluorescência de raios-X no laboratório do IFRN. Os ensaios nessa fase foram realizados com os materiais concentrados na mesa vibratória, sem utilizar o processo de moagem. Nos resultados obtidos foram identificados uma grande porcentagem de SiO₂ (73.60%), Al₂O₃ (18.31%) e P₂O₅ (3.90).

Ao mesmo tempo, foram observados pequenos percentuais de Fe₂O₃, MnO, Nb₂O₅ e Ta₂O₅, conforme mostra as tabelas 1 e 2. Apesar dos baixos percentuais desses elementos apresentados especificamente nessas amostras, há indícios de presença de percentuais maiores de tantalita/columbita nessa pilha de resíduos.

Tabelas 1 e 2 – Análises químicas do concentrado por FR-X sem a moagem

| Oxidos | % | Elementos | % |
|--------------------------------|----------------|---------------|----------------|
| SiO ₂ | 73,600 | Si | 34,410 |
| Al ₂ O ₃ | 18,310 | Al | 9,690 |
| K ₂ O | 3,900 | K | 3,240 |
| P ₂ O ₅ | 2,230 | Px | 0,974 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,430 | Fe | 0,997 |
| Rb ₂ O | 0,109 | Rb | 0,100 |
| Cl | 0,095 | Cl | 0,095 |
| CaO | 0,090 | Ca | 0,065 |
| TiO ₂ | 0,080 | Ti | 0,048 |
| MnO | 0,042 | Mn | 0,033 |
| Nb ₂ O ₅ | 0,032 | Nb | 0,023 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,024 | Cr | 0,016 |
| ZnO | 0,016 | Zn | 0,013 |
| Co ₃ O ₄ | 0,014 | Co | 0,010 |
| ZrO ₂ | 0,010 | Zr | 0,007 |
| Total: | 100,00% | Total: | 100,00% |

| Oxidos | % | Elementos | % |
|--------------------------------|----------------|---------------|----------------|
| SiO ₂ | 51,780 | Si | 24,210 |
| Al ₂ O ₃ | 40,950 | Al | 21,670 |
| P ₂ O ₅ | 3,150 | Px | 1,380 |
| K ₂ O | 2,050 | K | 1,700 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,260 | Fe | 0,880 |
| CaO | 0,168 | Ca | 0,120 |
| Nb ₂ O ₅ | 0,134 | Nb | 0,094 |
| Cl | 0,125 | Cl | 0,125 |
| TiO ₂ | 0,063 | Ti | 0,038 |
| SO ₃ | 0,057 | Sx | 0,023 |
| Rb ₂ O | 0,047 | Rb | 0,043 |
| BaO | 0,040 | Ba | 0,036 |
| Bi ₂ O ₃ | 0,033 | Bi | 0,030 |
| MnO | 0,027 | Mn | 0,021 |
| Ta ₂ O ₅ | 0,027 | Ta | 0,022 |
| ZrO ₂ | 0,025 | Zr | 0,019 |
| SrO | 0,016 | Sr | 0,014 |
| ZnO | 0,015 | Zn | 0,012 |
| Co ₃ O ₄ | 0,012 | Co | 0,009 |
| PbO | 0,009 | Pb | 0,008 |
| Ga ₂ O ₃ | 0,008 | Ga | 0,006 |
| Total: | 100,00% | Total: | 100,00% |

Fonte: Autoria própria (2023)

Na segunda fase dessa pesquisa, o concentrado da mesa vibratória foi novamente submetido a análises químicas por fluorescência de raios-X no laboratório do CT Mineral do IFRN. A grande diferença nessa segunda fase é que os ensaios foram realizados utilizando o processo de moagem com o moinho de bolas tipo Bond, antes do processo de concentração na mesa vibratória. Nos resultados obtidos foram identificados percentuais bem maiores de Fe₂O₃, MnO, Nb₂O₅ e Ta₂O₅, conforme mostra as tabelas 3 e 4 abaixo. Essas porcentagens desses elementos apresentados nessas amostras, demonstram indícios significativos da presença de tantalita/columbita nessa pilha de resíduos.

Tabelas 3 e 4 – Análises químicas do concentrado por FR-X com a moagem

| Oxidos | % | Elementos | % | Oxidos | % | Elementos | % |
|--------------------------------|-------|-----------|-------|--------------------------------|-------|-----------|-------|
| SiO ₂ | 84,19 | Si | 39,36 | SiO ₂ | 90,73 | Si | 42,42 |
| Al ₂ O ₃ | 4,72 | Al | 2,50 | Al ₂ O ₃ | 3,25 | Al | 1,72 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,80 | Fe | 2,66 | P ₂ O ₅ | 2,98 | Px | 1,30 |
| P ₂ O ₅ | 2,53 | Px | 1,10 | K ₂ O | 1,05 | K | 0,87 |
| K ₂ O | 1,67 | K | 1,38 | Fe ₂ O ₃ | 0,97 | Fe | 0,68 |
| Nb ₂ O ₅ | 0,93 | Nb | 0,65 | Na ₂ O | 0,31 | Na | 0,23 |
| CaO | 0,72 | Ca | 0,52 | CaO | 0,30 | Ca | 0,22 |
| Ta ₂ O ₅ | 0,56 | Ta | 0,46 | Nb ₂ O ₅ | 0,09 | Nb | 0,07 |
| MnO | 0,20 | Mn | 0,15 | Cl | 0,09 | Cl | 0,09 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,13 | Cr | 0,09 | Ta ₂ O ₅ | 0,04 | Ta | 0,04 |
| Bi ₂ O ₃ | 0,11 | Bi | 0,10 | Cr ₂ O ₃ | 0,04 | Cr | 0,03 |
| Rb ₂ O | 0,07 | Rb | 0,06 | MnO | 0,03 | Mn | 0,02 |
| TiO ₂ | 0,06 | Ti | 0,03 | Rb ₂ O | 0,03 | Rb | 0,03 |
| Cl | 0,06 | Cl | 0,06 | TiO ₂ | 0,02 | Ti | 0,01 |
| SnO ₂ | 0,05 | Sn | 0,04 | ZnO | 0,01 | Zn | 0,01 |
| Co ₃ O ₄ | 0,04 | Co | 0,03 | Co ₃ O ₄ | 0,01 | Co | 0,01 |
| PtO ₂ | 0,04 | Pt | 0,03 | Bi ₂ O ₃ | 0,01 | Bi | 0,01 |
| NiO | 0,03 | Ni | 0,02 | MoO ₃ | 0,01 | Mo | 0,01 |
| MoO ₃ | 0,03 | Mo | 0,02 | NiO | 0,01 | Ni | 0,01 |
| ZnO | 0,03 | Zn | 0,02 | | | | |
| Au | 0,02 | Au | 0,02 | | | | |
| ZrO ₂ | 0,02 | Zr | 0,01 | | | | |
| WO ₃ | 0,02 | W | 0,01 | | | | |
| U ₃ O ₈ | 0,01 | U | 0,01 | | | | |

Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados da concentração gravimétrica na mesa vibratória após a moagem demonstraram que a redução da granulometria vai proporcionar uma melhoria no rendimento do processo de concentração na mesa vibratória, identificando com mais propriedade os elementos que compõem o material pesquisado.

Em linhas gerais, os resultados desses ensaios preliminares dessa pesquisa utilizando, em escala de bancada, o método de concentração gravimétrica, por intermédio de mesa vibratória, permitiu comprovar a existência de uma fração de tantalita/columbita suficiente na pilha de resíduos de caulim na Mineração Nossa Senhora de Lourdes para estimular a realização desses estudos em escala piloto.

Considerando que uma das metas desta pesquisa é concentrar, em escala piloto, os resíduos de caulim utilizando o método de concentração gravimétrica com mesas vibratórias, de forma a reduzir o volume de resíduos depositados na área pesquisada. Assim, pode-se concluir que os resultados obtidos foram bastante satisfatórios.

4.4 MÉTODO DE LAVRA DA MINA GALO BRANCO

Os estudos necessários para elaboração de um plano de lavra em bases sustentáveis para a Mina Galo Branco foram iniciados no âmbito do Programa Entidades Associadas CETEM/MCTI – UFCG no projeto “Integrado de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Voltado para o Aproveitamento Racional e Sustentável de Minerais de Pegmatitos e Rochas de Quartzitos”, que foi desenvolvido numa parceria CETEM, UFCG e UFPE.

No âmbito desse projeto, foi desenvolvido um modelo de um plano de lavra piloto numa área formalizada de caulim da cooperativa COOTMAES, localizada no Sítio Galo Branco, no Equador, RN. As ações do modelo do plano de lavra piloto foram elaboradas pelo Professor Dr. Marinésio Pinheiro Lima da UFPE e coordenadas pelo Dr. Francisco Wilson Hollanda Vidal, pesquisador do CETEM, com a participação de pesquisadores da UFCG. No plano de lavra piloto estava previsto inicialmente a realização dos levantamentos topográficos e geológicos necessários para o planejamento da lavra a céu aberto da mina Galo Branco.

Durante o levantamento topográfico da área minerada, alvo do estudo, foi observado que no local já existiam atividades rudimentares de mineração de caulim, provavelmente executadas por antigos garimpeiros. Nesse contexto, foi selecionada uma área de interesse, onde foi realizado um estudo detalhado por meio de um levantamento planialtimétrico. Nesse levantamento, foram coletados pontos de cotas específicas, por meio de caminhamento. As atividades foram desenvolvidas utilizando um GPS de alta precisão milimétrica. Na Figura 24 está retratado o levantamento topográfico da área alvo na mina Galo Branco.

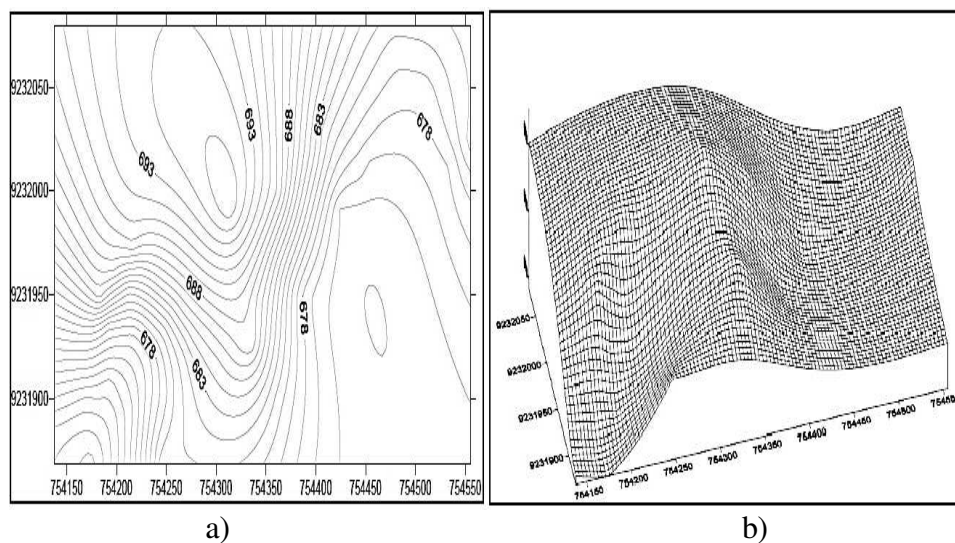
Figura 24 – Levantamento topográfico na mina Galo Branco



Fonte: Lima & Vidal (2015)

A partir as informações coletadas no campo, foi possível criar um banco com os dados topográficos. Esses dados contribuíram para a geração das características da superfície pelo processo de krigagem, como as curvas de nível (mapa 2D) e wireframe (mapa 3D). De acordo com Lima & Vidal (2015), o mapa topográfico gerado foi utilizado para a alocação dos dados importantes coletados em campo, tais como: locação do ponto de amarração e dos vértices da poligonal; curvas de nível com equidistâncias de 5,0 m; acessos principais e secundários; pontos de amostragem e de apoio; e infraestruturas existentes. A Figura 25 mostra o mapa topográfico em 2D e 3D, da superfície da área selecionada.

Figura 25 – Mapas topográficos da área selecionada - a) Mapa 2D; b) Mapa 3D



Fonte: Lima & Vidal (2015)

No mapeamento geológico, foram delimitados os alvos previamente selecionados e foi feito o detalhamento das feições geológicas observadas durante o reconhecimento das áreas. Ao mesmo tempo, foram coletadas amostras em pontos específicos, para reunir e ampliar o leque de informações possíveis. Com os dados plotados em mapas geológicos da região e as características dos poços de extração já existentes foram possíveis identificar e caracterizar todo o corpo mineralizado de caulim. Essas informações geológicas contribuíram para delimitar os limites de mineralização, e para a realização do método de cubagem (LIMA & VIDAL, 2015).

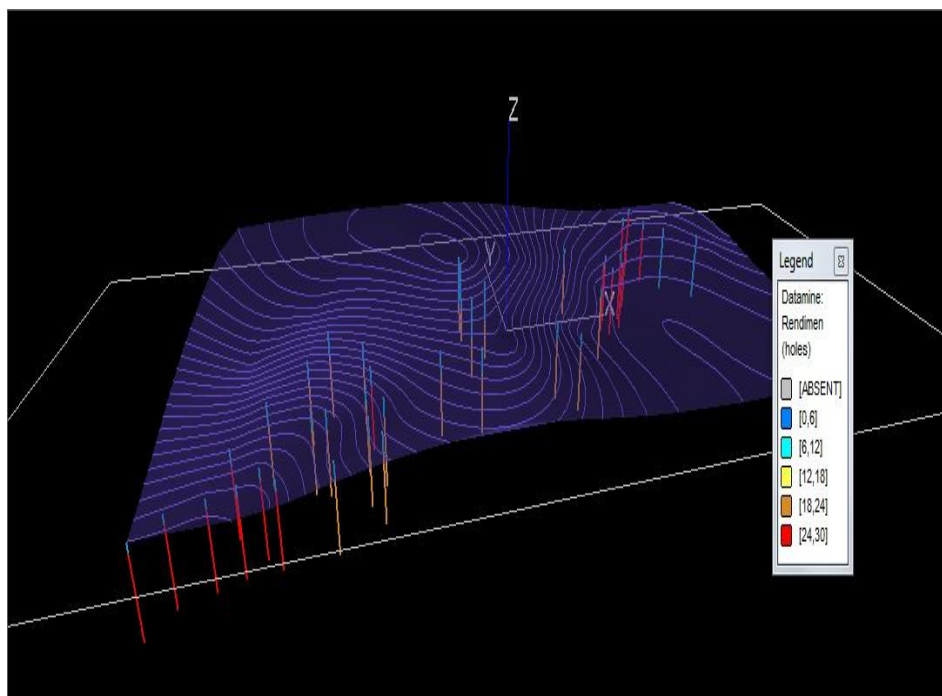
O mapeamento geomecânico realizado teve por objetivo determinar os parâmetros geométricos seguros para o desenvolvimento das operações de lavra, e, por conseguinte a determinação da reserva lavrável de caulim, na área da mina do Galo Branco. Nesse sentido, foi realizado o levantamento das atitudes das discontinuidades dos afloramentos de quartzitos existentes nessa área, que é a rocha encaixante nessa área minerada. Esse levantamento tem um papel preponderante no planejamento das operações de lavra.

Segundo Lima & Vidal (2015), todos os dados coletados foram reunidos em um modelo 3D com o objetivo de propor um método de lavra adequado para as condições do depósito de caulim existente no Sítio Galo Branco. Nesse contexto, foi necessário o desenvolvimento de algumas etapas para a determinação dos possíveis cenários de lavra para o aproveitamento em bases sustentáveis do caulim da mina Galo Branco.

Na primeira etapa, foi realizada a organização do banco de dados contendo as informações obtidas em visitas de campo, nas três fases distintas de: levantamento topográfico; mapeamento geológico e geomecânico; e coleta de amostras. Esses dados foram agrupados em arquivos TXT e em planilhas do Excel com as seguintes informações: localização dos poços existentes, profundidade dos poços, capeamento aparente e rendimento do caulim.

Na segunda etapa, os arquivos dos bancos de dados coletados foram importados e representados graficamente para ser realizada a interpretação geológica. Na Figura 26 os dados dos poços e do levantamento topográfico são visualizados em três dimensões.

Figura 26 – Representação dos poços e da topografia em 3D

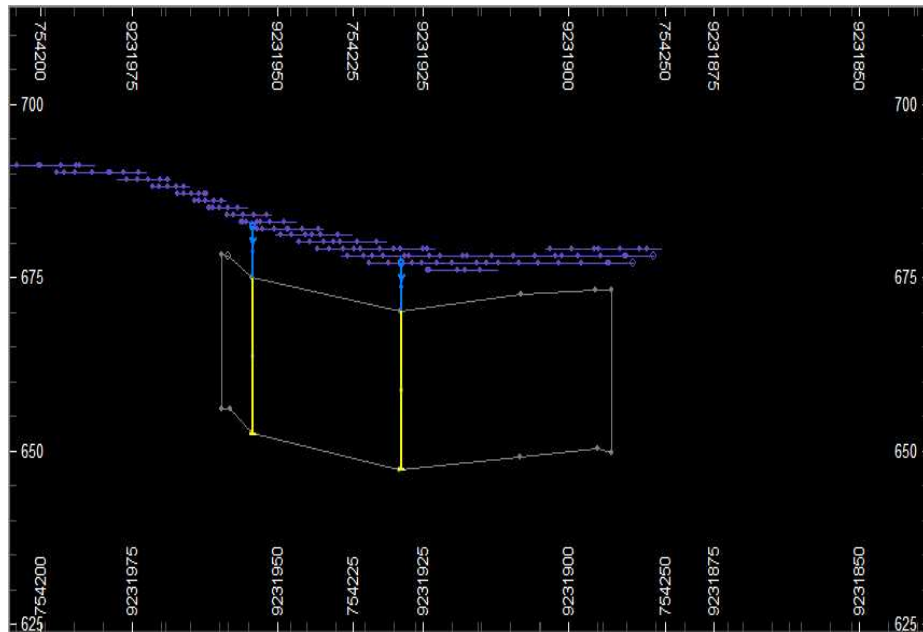


Fonte: Lima & Vidal (2015)

Na terceira etapa, foi realizada a adequada interpretação geológica da área pesquisada de caulim na mina Galo Branco, a partir dessas informações de subsuperfícies obtidas, e mediante a digitalização de segmentos de retas (strings) do contorno do corpo de caulim em seções perpendiculares ao longo desse corpo. A partir dessa última etapa, foi feita a interpolação das espessuras mineralizadas do corpo de caulim.

A interpolação das espessuras mineralizadas foi realizada para cada seção. Cada interpretação resultante foi projetada perpendicularmente para o volume do corpo que se estende até a próxima seção, e assim fazer a cubagem do depósito mineral. A Figura 27 mostra a representação de uma seção perpendicular para a composição do modelo geológico.

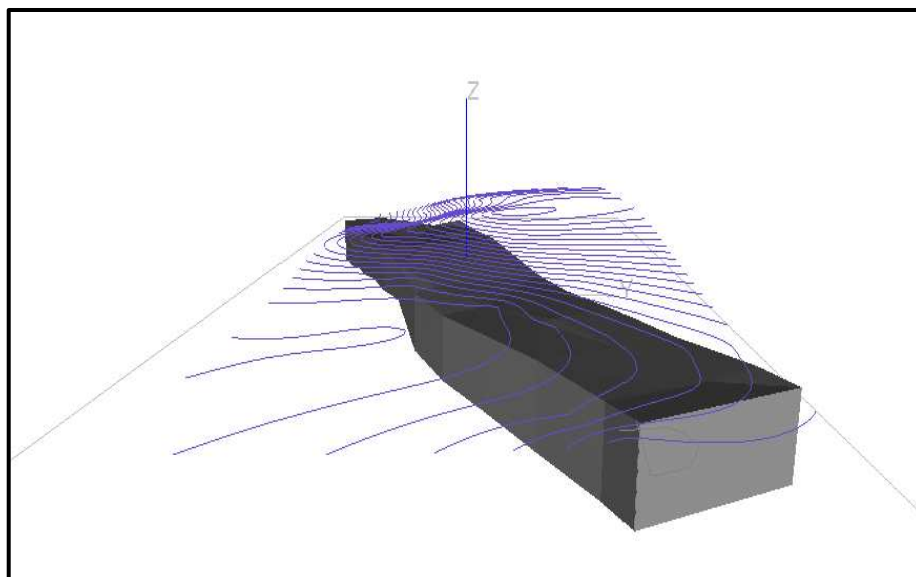
Figura 27 – Representação de uma seção perpendicular para o modelo geológico



Fonte: Lima & Vidal (2015)

Conforme Lima & Vidal (2015), após a interpretação de todas as seções foi criado então o modelo 3D do corpo de caulim. A Figura 28 ilustra o modelo 3D do corpo de caulim.

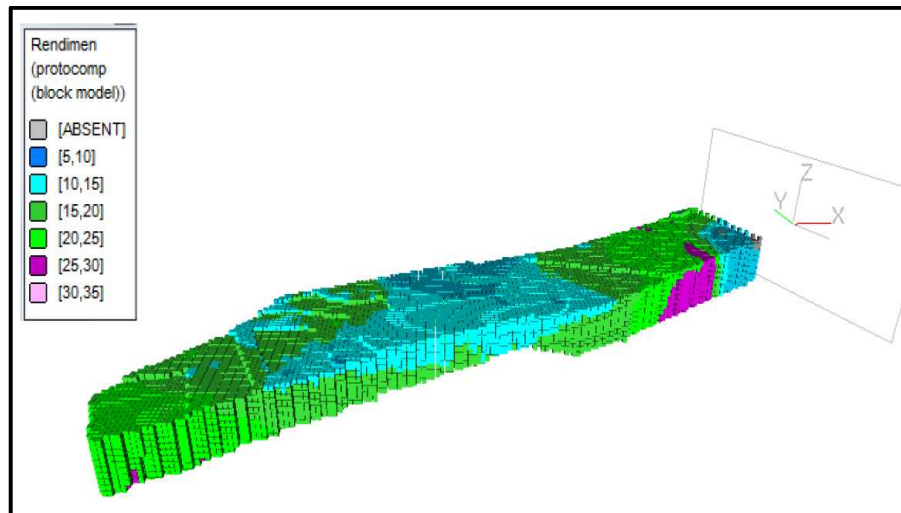
Figura 28 – Modelo 3D do corpo de caulim



Fonte: Lima & Vidal (2015)

Posteriormente, os dados interpretados foram rearranjados em um modelo de blocos, onde cada bloco envolve toda a área mineralizada de interesse e representa o minério juntamente com todo o estéril que compõe a encaixante do corpo. Esse modelo de bloco foi determinado com o uso do Inverso do Quadrado da Distância, e apresenta como parâmetros: o rendimento, o volume, a densidade e a massa (LIMA & VIDAL, 2015). A Figura 29 representa o modelo de blocos em 3 D do corpo mineralizado de caulim.

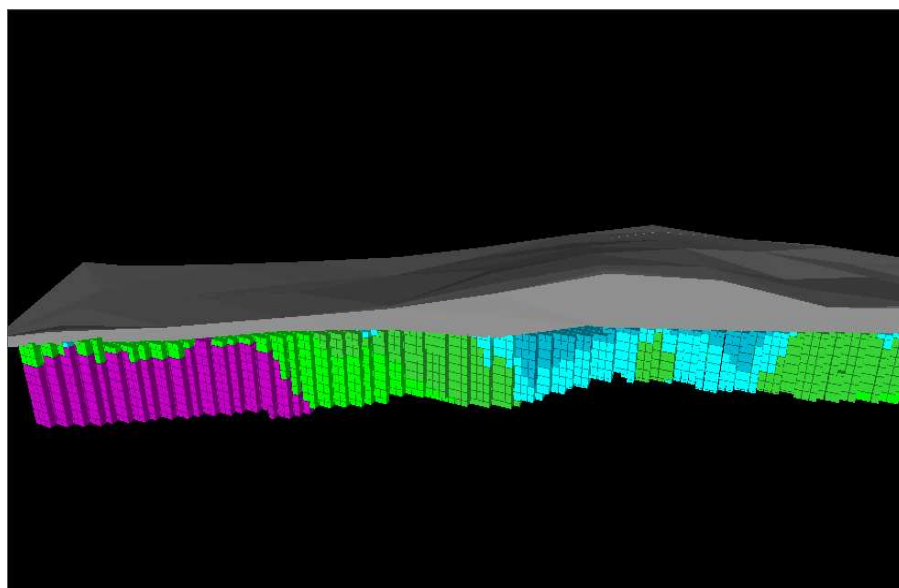
Figura 29– Modelo de bloco em 3D do corpo mineralizado de caulim



Fonte: Lima & Vidal (2015)

Para determinar os cenários de lavra, a melhor opção é iniciar as escavações nos locais onde o rendimento de caulim obteve os melhores resultados e com menor capeamento, utilizando parâmetros mais conservadores para a inclinação final dos taludes. A Figura 30 ilustra um modelo de bloco com o capeamento.

Figura 30 – Modelo de bloco em 3D com capeamento



Fonte: Lima & Vidal (2015)

Com as informações coletadas, interpretadas e modeladas foi então criado dois cenários possíveis para a abertura de lavra do caulim. O primeiro cenário foi desenvolvido prevendo uma recuperação do minério até o nível 658, totalizando quatro bancadas de 5,0 m de altura e largura, com um sistema de rampas em espiral. Os parâmetros geométricos da cava encontram-se descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros geométricos do primeiro modelo de lavra

| Parâmetros para construção do primeiro cenário de lavra | |
|--|---------|
| Elevação mínima | 658 m |
| Número de bancadas | 4 |
| Altura da bancada | 5 m |
| Largura da berma | 5 m |
| Ângulo de talude final | 45° |
| Inclinação da face | 80° |
| Sistema de rampa | Espiral |
| Inclinação da rampa | 10% |
| Largura da rampa | 5 m |

Fonte: Lima &Vidal (2015)

O segundo cenário prevê uma recuperação de minério até o nível 660,00 m, com a utilização de cinco bancadas com 5,0 m de altura e 5,0 m largura, com um sistema de rampas em zig-zag. Os parâmetros geométricos da cava do segundo cenário descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros geométricos do segundo modelo de lavra

| Parâmetros para construção do segundo cenário de lavra | |
|---|---------|
| Elevação mínima | 660 m |
| Número de bancadas | 5 |
| Altura da bancada | 5 m |
| Largura da berma | 5 m |
| Ângulo de talude final | 45° |
| Inclinação da face | 80° |
| Sistema de rampa | Zig-zag |
| Inclinação da rampa | 12% |
| Largura da rampa | 5 m |

Fonte: Lima &Vidal (2015)

A partir das informações dos mineradores e dos valores coletados no campo, foi possível obter um modelo de blocos que gerou importantes informações para análise dos cenários, considerando que foi inserido no modelo informações sobre o rendimento do caulim. Esse acervo de informações fornecidas pelos pequenos mineradores associadas com os dados obtidos em campo propiciou mais respaldo e segurança a estes estudos.

Conforme Lima & Vidal (2015), esse modelo de bloco pode ser alimentado constantemente com a inserção de dados que possam vir a enriquecer o modelo. A representação tridimensional contribui para quantificar os aspectos geológicos e técnico-econômicos propiciando e facilitando o planejamento de lavra do corpo mineralizado.

Em resumo, o levantamento de campo realizado deu origem a um mapa da área minerada, agrupando todas as informações coletadas e os dados georreferenciados existentes. Assim foi criado um banco de dados para que pudesse ser elaborado um planejamento para a lavra de caulim da Mina Galo Branco.

Segundo os pesquisadores envolvidos com a construção desse plano de lavra, os cenários para abertura da lavra apresentaram cavas com geometrias distintas, sendo uma cava retangular com um sistema de rampas de acesso em forma de espiral, e uma cava oval com um sistema de rampas em zig-zag. Analisando os resultados, eles concluíram que não havia uma diferença discrepante entre os dois cenários, todavia havia uma vantagem na cava retangular, por proporcionar uma maior recuperação do minério com uma REM menor. Isso demonstra que o sistema de rampa mais eficiente é o sistema espiral, considerando as condições locais.

Por outro lado, segundo os estudos realizados, o critério de escolha para a localização da cava foram os pontos onde o rendimento de caulim foi maior e o capeamento era menos espesso, por conseguinte esse cenário se mostrou mais atraente sob o aspecto econômico, devendo propiciar também benefícios sociais com a elevação da renda.

Com base nos resultados obtidos nos trabalhos de investigação para identificar um modelo de lavra de caulim em bases sustentáveis, é constatado que é possível fazer o aproveitamento do caulim de forma mais segura, com mais equilíbrio ambiental e com viabilidade econômica.

O aproveitamento do caulim da Mina Galo Branco em bases sustentáveis é inteiramente possível e pode ser viável sob o aspecto social, econômico e ambiental, se as operações de lavra forem desenvolvidas de forma planejada, proporcionando mais segurança para todos atores sociais envolvidos direta ou indiretamente com essa atividade.

Com o êxito das investigações realizadas, o modelo de lavra a céu aberto de caulim poderá ser replicado para outras frentes de lavra de caulim situadas na Província pegmatítica do Seridó, no âmbito do APL em Pegmatitos RN/PB.

Por fim, vale a pena registrar a satisfação dos atores sociais envolvidos com a oportunidade de participar das investigações realizadas para o desenvolvimento de um modelo de lavra de caulim em bases sustentáveis para a Mina Galo Branco, de forma a resolver um dos principais gargalos que afetam a mineração de pequeno porte na mesorregião do Seridó.

4.5 ADEQUAÇÕES NA UNIDADE DE BENEFICIAMENTO

Após uma ampla revisão de literatura, e no âmbito do Projeto "Aproveitamento dos Resíduos de Caulim e Adequações nas Unidades de Beneficiamento em Pequenas Empresas que Atuam no Arranjo Produtivo de Pegmatitos RN/PB", foram realizadas várias visitas técnicas às áreas mineradas, situadas no município de Equador, Rio Grande do Norte, visando o desenvolvimento de algumas ações que foram planejadas e aprovadas no projeto desta tese. Essas ações foram desenvolvidas de forma cooperativa e em parceria por pesquisadores, estudantes e técnicos da UFCG, da UFPE, do IFRN e do IFPB.

As medidas desenvolvidas no âmbito dessa pesquisa tinham por finalidade apresentar um plano e iniciar as ações para reduzir de forma significativa os problemas gerados pelo descarte e/ou deposição inadequada dos resíduos sólidos minerais provenientes do modelo adotado de extração e beneficiamento dos recursos minerais existentes na Província Pegmatítica do Seridó, em especial o aproveitamento do caulim, ressaltando que o objetivo principal dessa iniciativa era o de investigar alternativas sustentáveis para o aproveitamento dos resíduos de caulim e promover adequações nas unidades de beneficiamento de pequenos produtores de caulim que atuam no entorno do município do Equador.

Após a realização de algumas visitas de campo, foi selecionada para objeto de investigação nesta pesquisa a unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes – MNSL, que faz a concentração do minério oriundo das minas formalizadas, situadas no Sítio Galo Branco e em outras áreas na zona rural de Equador, onde os direitos ou títulos minerários dessas minas pertencem à Cooperativa COOTMAES.

A principal razão que motivou a escolha da unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes para a realização dos estudos desta pesquisa de tese foi a parceria celebrada entre a MNSL e a COOTMAES. Assim, foi observado que essa parceria entre esses dois pequenos empreendimentos era bastante salutar para o fortalecimento do APL em Pegmatitos RN/PB, uma vez que eles se complementavam em suas atividades de mineração, ou seja, a COOTMAES executava a lavra do minério de suas minas formalizadas e a MNSL fazia o beneficiamento desse minério para a comercialização do caulim.

Os resultados positivos obtidos demonstraram o acerto da escolha dessas duas unidades produtivas para a realização dos estudos e ensaios que foram executados no âmbito dessa pesquisa. Na realidade, houve uma adição de esforços de todos atores sociais envolvidos, no sentido de contribuírem para a adequação e a inserção de alguns equipamentos de concentração na unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes.

A COOTMAES foi criada em 2008, como fruto das ações de organização social e produtiva de micro e pequenos empreendimentos minerais, propostas pelo APL em Pegmatitos RN/PB. Essa cooperativa está sediada em Equador, RN, possui quatro títulos de Permissão de Lavra Garimpeira – PLG, e apresenta mais seis títulos de PLG em processo de formalização. Atualmente, ela atua na atividade de lavra e comercialização de substâncias minerais in natura, em parceria com pequenos produtores na Província Pegmatítica do Seridó.

Por outro lado, a Mineração Nossa Senhora de Lourdes foi criada no início de 2021 e está também localizada no Equador. Atualmente, possui uma pequena unidade de beneficiamento de caulim, que gera 05 empregos diretos e dezenas de empregos indiretos, contribuindo com a elevação da renda no município e na região. Essa pequena empresa tem procurado desenvolver suas atividades em bases sustentáveis, com o apoio das ações de extensionismo mineral e tecnológico da UFCG.

Conforme já foi mencionado, o caulim do Seridó Nordeste é um produto de alteração das rochas pegmatíticas constituídas na maior parte por caulinita, associado aos minerais de quartzo, feldspato e mica, sendo encontrado na forma de veios, encaixados nas rochas quartzíticas da Província Pegmatítica do Seridó. Em linhas gerais, os pegmatitos dessa região podem apresentar outros importantes minerais como columbita/tantalita, berilo, turmalina, entre outros, que aparecem como impurezas associadas ao caulim.

O uso dessa substância mineral nos diferentes segmentos industriais está diretamente relacionado a esse nível de impurezas associadas à caulinita e também as suas propriedades ópticas, mineralógicas e químicas. Normalmente, o caulim lavrado das minas da COOTMAES e a caulinita beneficiada ou concentrada na Mineração Nossa Senhora de Lourdes são comercializados para aplicação na indústria cerâmica de revestimento em porcelanatos e esmaltes, e em algumas situações são adquiridos pela indústria de calçados como um agente para o fortalecimento de borrachas.

Na Mineração Nossa Senhora de Lourdes, foram observadas e analisadas todas as operações da etapa de beneficiamento do caulim, com a finalidade de atender as especificações do mercado consumidor. Essas operações utilizadas nessa unidade de beneficiamento são realizadas a úmido, uma vez que, segundo os especialistas, o processo a úmido é o mais adequado para essa substância mineral com as características típicas dessa região.

Em linhas gerais, o processo de beneficiamento do caulim tem como objetivo purificar e agregar valor ao produto e, no caso dessa pequena empresa pesquisada, esse processo é constituído das operações de dispersão, desagregação, peneiramento, hidrociclonagem, decantação, filtragem e secagem.

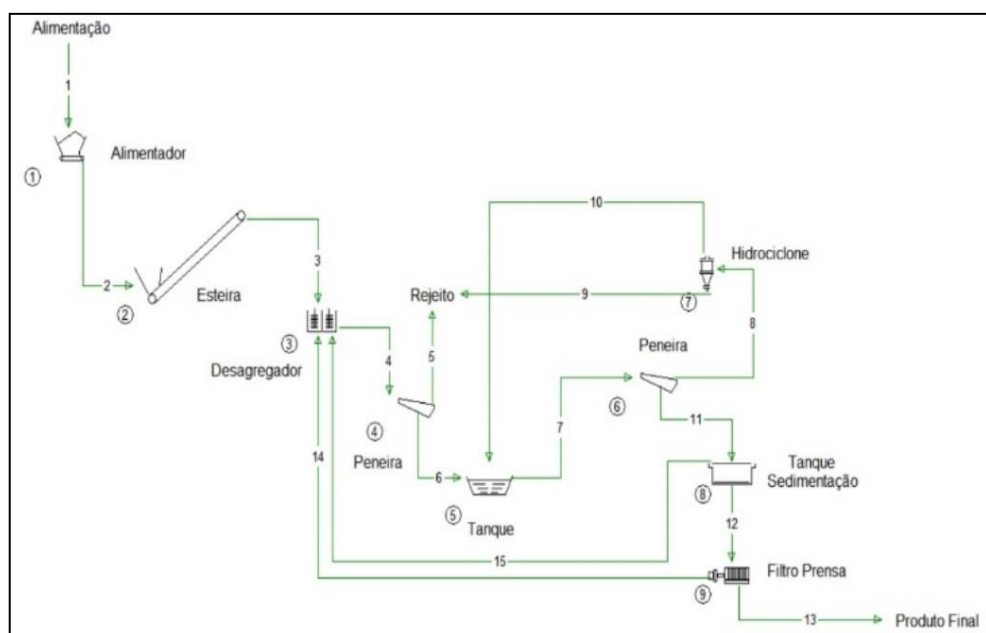
Nessa unidade de beneficiamento, a alimentação do caulim bruto, proveniente das minas supracitadas, é realizada de forma contínua e esse minério é distribuído com uma espessura adequada para uma lavagem mais eficiente. Nessa lavagem, utiliza-se uma mangueira com uma vazão de água controlada para que o minério em forma de polpa possa se dispersar e escoar por gravidade para o desagregador mecânico constituído de um batedor helicoidal de faca.

Na operação de desagregação é formada uma polpa homogênea, e o produto dessa operação do batedor é direcionado a um conjunto de peneiras com abertura de 40 #. A fração retida nessa malha vai para o hidrociclone, enquanto a fração passante é direcionada para tanques que alimentam um conjunto de peneiras de 200 # (0,074 mm).

O passante das peneiras com essa malha de 200 # é o concentrado de caulinita, que é encaminhado aos tanques de decantação, já o retido retorna à operação de hidrociclonagem. Nessa fase de hidrociclonagem, o “overflow” é encaminhado aos tanques e junta-se ao passante do conjunto de peneiras de 40 #, por outro lado o “underflow” forma uma carga circulante com as peneiras de 40 #. Após o processo de decantação com tempos definidos, o concentrado de caulinita é direcionado à filtragem com filtro prensa para a redução do teor de umidade, para se adequar ao padrão exigido pelo mercado consumidor.

Vale ressaltar, que toda a água utilizada nessa unidade de beneficiamento de caulim é recuperada para reuso no próprio circuito, de modo a racionalizar esse recurso que, é bastante escasso nessa região do Seridó, e garantir mais sustentabilidade nesse território. A Figura 31 mostra o fluxograma da unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes.

Figura 31 – Fluxograma da unidade de beneficiamento da MNSL



Fonte: Mineração Consultoria Junior (2022)

Após análise desse fluxograma com as operações do beneficiamento de caulim, foi concluído que essa unidade de beneficiamento demonstrava uma eficiência maior do que as unidades de outras empresas da região, com recuperação em torno de 30 %. Entretanto, foi observado que o volume de resíduos gerados ainda é elevado, conforme pode ser visualizado na Figura 32, e, ao mesmo tempo, foi constatado a necessidade de uma adequação nas operações dessa unidade de beneficiamento.

Figura 32 – Pilha de resíduos da unidade de beneficiamento da MNSL



Fonte: Autoria própria (2022)

No processo de adequação da unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora Lourdes, foram levados em consideração os estudos realizados por Vidal *et al.* (2017), no Projeto Entidades Associadas MCTI & UFCG, e as sugestões dos técnicos que atuam no processo de beneficiamento de caulim na região. Assim, a primeira reflexão foi com relação a operação de lavagem para dispersão do minério que alimenta a unidade de beneficiamento.

Numa das primeiras observações foi identificado que a baixa recuperação do minério não está associada apenas a ineficiência do processo de concentração, mas também à baixa eficiência da lavagem inicial do minério, uma vez que vai propiciar uma alimentação para a planta com baixa concentração de caulinita. Com base nessa teoria, foi recomendado à Mineração Nossa Senhora de Lourdes a realização de ensaios e ajustes no processo de lavagem de minério da sua unidade de processamento de caulim.

No Projeto Entidades Associadas MCTI & UFCG, foram realizados estudos e ensaios em escala de bancada, a partir de análises granulométricas, mineralógicas, imagens de microscópio eletrônico de varredura e ensaios de classificação no hidrociclone foram obtidos resultados exitosos no processo de classificação do caulim.

Em função desses resultados, foi possível identificar as vantagens de uso dos hidrociclones no processo de beneficiamento do caulim, com a obtenção de teores superiores no minério aos teores obtidos com o uso apenas de peneiras no processo de classificação, proporcionando uma elevação significativa na recuperação, passando dos usuais 25% ou 30% para mais de 80%, com a possibilidade de redução considerável do lançamento de resíduos no meio ambiente.

Continuando a análise da unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes foi identificado a existência de um hidrociclone, entretanto a recuperação no processo de concentração do caulim ainda era baixa, em torno de 30 %. Ness contexto, com base nos estudos e ensaios realizados recentemente em escala de bancada, foi sugerida a aquisição e inserção de pelo menos mais um hidrociclone no circuito de classificação do caulim, dessa unidade de beneficiamento.

Por outro lado, os estudos de beneficiamento do caulim em escala de bancada, utilizando mesas vibratórias para a separação da tantalita/columbita, a mica e o quartzo foram bastante satisfatórios. Esses estudos tinham a finalidade de investigar alternativas para a redução do volume dos resíduos de caulim, mediante a concentração de outras substâncias minerais passíveis de aproveitamento econômico e, que ao mesmo tempo pudessem propiciar o aumento da renda para os mineradores de pequeno porte da COOTMAES e da região.

Conforme já foi mencionado neste trabalho de tese, o método de concentração gravimétrica para o beneficiamento dos resíduos de caulim tem grande aceitação porque ele apresenta grande eficiência e economicidade. Esse circuito de mesas vibratórias, é muito utilizado no processo de concentração de minerais pesados como o ouro, a scheelita, a tantalita/columbita, entre outros.

As mesas vibratórias são consideradas equipamentos de acabamento, utilizadas na fase de limpeza de pré-concentrados de jígues e/ou espirais. Esses equipamentos são recomendados para materiais finos, em função de sua elevada capacidade de recuperação e precisão, uma vez que operam com elevada eficiência. Essas mesas possuem a frequência e a amplitude de vibrações reguláveis, para alcançar um nível de eficiência operacional ideal

Após os resultados promissores desses ensaios em escala de bancada, utilizando o método de concentração gravimétrica com mesas vibratórias, está sendo feita uma adaptação na unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes com a inserção de três mesas vibratórias e um jigue para a concentração e o aproveitamento da tantalita/columbita, quartzo e mica, de forma gerar mais produtos minerais para comercialização, elevar a renda dos pequenos produtores e reduzir o volume de resíduos a ser descartado na pilha de rejeitos.

Em adição, ficou constatado nessa pesquisa desta tese que existiam evidências, de que os resíduos oriundos da unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes poderiam também ser aproveitados em outras atividades produtivas, e, ao mesmo tempo, existiam também fortes indícios sugerindo que esses resíduos poderiam também ser aplicados como remineralizadores ou fertilizantes de solos.

A hipótese de que os resíduos de caulim oriundos das pilhas de rejeitos da Mineração Nossa Senhora de Lourdes poderiam ser utilizados como fertilizantes de solos está embasada na premissa que esses depósitos de caulim estão associados à alteração de pegmatitos ricos em potássio. A caulinita é formada pela alteração do feldspato potássico dos pegmatitos e a presença desse potássio na composição mineralógica desse minério poderá comprovar a sua possível aplicação como um eficiente fertilizante de solos.

As amostras dos resíduos de caulim foram coletadas, nessa unidade de beneficiamento pesquisada, e foram submetidas a uma rigorosa caracterização tecnológica, de acordo com as exigências das instruções normativas em vigor, de forma a verificar também a viabilidade de aplicação desses resíduos como remineralizadores de solos degradados, podendo ser usado no processo de recuperação das áreas degradadas na região.

O remineralizador é um material de origem mineral que sofreu apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de nutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo. Nesses estudos, foi selecionado um espaço, para a realização desses ensaios, conforme mostra a Figura 33.

Figura 33 – Espaço selecionado para ensaios de campo com resíduos de caulim



4.6 IMPACTOS AMBIENTAIS

A avaliação dos impactos ambientais nesses estudos levou em consideração as operações das etapas da lavra de minas e do beneficiamento do minério, e dessa forma foram observados os impactos provenientes do processo de lavra e de concentração do caulim, que depositam um volume considerável de resíduos no solo, modificando a paisagem rural.

As áreas onde ocorrem as operações de lavra, nas proximidades da área da Mina Galo Branco, pesquisada nesta tese, recebem também um volume considerável de resíduos provenientes de unidades de beneficiamento de caulim bem rústicas, com baixa recuperação do minério e que lançam no solo esse material.

O impacto mais significativo causado pela extração e o beneficiamento de caulim é o que se refere à degradação visual da paisagem, ocasionada por esse descarte indiscriminado de resíduos, que provocam alterações significativas nos ecossistemas, degradam o solo, aceleram o desmatamento na região, compromete a evolução da fauna e da flora, provocam assoreamento nos mananciais, causando inúmeros prejuízos às comunidades que habitam no entorno desses empreendimentos que executam o aproveitamento do caulim.

Em linhas gerais, a paisagem de áreas onde estão situadas essas frentes de lavra é modificada numa extensão quilométrica. Os recursos hídricos têm seus percursos alterados, vegetações são extintas e animais se deslocam ou morrem devido aos impactos no solo, no ar e nas águas. A Figura 34 ilustra a alteração da paisagem em virtude do descarte de resíduo do caulim extraído de forma clandestina no passado, que deixaram esse passivo ambiental na área pesquisada, no Sítio Galo Branco.

Figura 34 – Alteração da paisagem no entorno da mina Galo Branco



Fonte: Pereira (2022)

Em resumo, os principais impactos ambientais observados no processo de aproveitamento de caulim no entorno do Equador, RN, foram: a remoção da cobertura vegetal nas áreas de lavra, a modificação do relevo natural, a desconfiguração da paisagem, o impacto visual, a aceleração do processo de erosão, a alteração do habitat da fauna local, provocando o seu êxodo para outras áreas adjacentes, entre outros (PEREIRA, SOUSA & VIDAL, 2022), conforme demonstra o Check list apresentado no Quadro 07, em consonância com a legislação ambiental vigente.

Quadro 6 – Check List dos impactos ambientais observados

| ATIVIDADE MINERÁRIA | IMPACTOS AMBIENTAIS |
|---|--|
| Limpeza do terreno (retirada da cobertura vegetal e da camada fértil do solo) | Alteração do ecossistema; Alteração da qualidade do solo; Alteração da qualidade das águas; Susceptibilidade do terreno a erosão e assoreamento; Aumento da taxa de evaporação; Perturbação a fauna terrestre; Emissão de poeiras fugitivas e gases; Poluição sonora (ruídos) |
| Disposição do solo fértil e restos vegetais | Transporte de sedimentos; Perda das características do solo fértil; |
| Desmonte | Degradação da morfologia; Erosão; Assoreamento; Alagamento; Instabilidade; Perturbação da fauna terrestre; Susceptibilidade a acidentes de trabalho |
| Manuseio do bem mineral | Adensamento do solo; Emissão de poeiras e gases no ar; Poluição sonora (ruídos); Acidentes de trabalho (de percurso); Perturbação à fauna (Ornitofauna) |
| Suspensão ou término da atividade | Degradação visual da paisagem; Alagamentos; Vulnerabilidade da área minerada à erosão; Vulnerabilidade ao assoreamento; Alteração da morfologia do terreno. |

Fonte: Autoria própria (2022)

Além desses impactos ambientais, foi observada nas áreas mineradas a presença em larga escala de pequenos mineradores que trabalham sem o uso de Equipamentos de Proteção Individual – EPIs, como botas, capacetes, máscaras, com sérios danos para a saúde e a segurança desses trabalhadores. Para completar esse quadro, muitos mineradores atuam ainda na informalidade com relação às normas trabalhistas, tributárias, previdenciárias e até do exercício profissional.

4.7 RECUPERAÇÃO DA ÁREA MINERADA

Os projetos de aproveitamento das substâncias minerais promovem a degradação do solo e atualmente, diante do desafio de mineração sustentável, o processo de revegetação e recuperação deve ser um desafio a ser encarado com estudos contínuos e saberes interdisciplinares a fim de aplicar os conhecimentos necessários para alcançar, a tarefa complexa de recuperação dessas áreas mineradas (SOUSA et al., 2021).

Inicialmente, mudanças estruturais e funcionais podem ser encontradas, dentro deste cenário e daí a necessidade de estudos interdisciplinares de modo a comparar os resultados alcançados em outros cenários. Estudos sobre definição de espécies que podem ser aplicadas em revegetação de áreas mineradas podem ser úteis.

Em 2012, foi desenvolvido um projeto piloto com o objetivo de orientar tecnicamente as atividades de caracterização, de dimensionamento, de planejamento e de extração de matérias-primas argilosas (FERREIRA *et al.*, 2012). Na segunda etapa desse projeto, foram abordados temas relacionados com a recuperação de áreas de preservação permanente que foram degradadas no passado por quatorze olarias, devido ao processo predatório de extração de argila nas várzeas dos cursos de água.

Os estudos realizados por Harantová (2017), ressaltavam outro aspecto que enfatiza a importância da interdisciplinaridade da prática de recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração. Este trabalho verificou que, ecossistemas florestais complexos se desenvolveram ao longo de 54 anos no solo originalmente estéril da zona temperada e isto indicou um papel importante das bactérias na fase inicial de desenvolvimento do solo, e, embora a chegada da vegetação tenha afetado substancialmente as comunidades de fungos e bactérias, foram principalmente os fungos que responderam bem ao desenvolvimento contínuo da vegetação em uma área de depósito de entulho de uma mina de carvão marrom.

A formalização das atividades de extração mineral é um passo importante para a reabilitação ou recuperação ambiental que por sua vez permite mensurar com mais detalhe a real circunstância do ambiente degradado. Nesse contexto, existem na literatura programas de apoio à legalização ou formalização de áreas de jazidas minerais.

A Constituição Federal de 1988 estabelece que o objetivo da recuperação da área degradada é definir uma nova forma de utilização do espaço degradado, de acordo com um plano previamente elaborado para o uso do solo, visando o equilíbrio do ambiente. Isso significa que o ambiente degradado poderá apresentar um novo equilíbrio dinâmico, com o desenvolvimento de um novo solo e de uma nova paisagem (TAVARES, 2008).

O Plano de Recuperação de Área Degradada – PRAD representa a descrição formal da proposta de soluções técnicas de recuperação definidas pelas empresas de mineração, conforme estabelece a legislação brasileira, sendo um elemento básico para monitoramento e avaliação dos aspectos principais do planejamento da recuperação.

De acordo com Bitar (1997), a atividade de recuperação envolve uma série de procedimentos, tais como:

- a avaliação das áreas degradadas;
- o planejamento da recuperação;
- o desenvolvimento de métodos e técnicas de recuperação;
- a adoção de medidas geotécnicas;
- a realização do monitoramento e manutenção da área.

Em síntese, segundo Sánchez et al. (2013), os trabalhos de recuperação de áreas degradadas na mineração podem ser classificados em quatro grupos:

- as práticas edáficas que são relacionadas ao manejo e proteção do solo;
- as práticas topográficas e geotécnicas que envolvem o remodelamento do terreno afetado pelas operações de mineração e visam a priori à estabilidade física das áreas recuperadas;
- as práticas hídricas que propiciam à conservação da quantidade e da qualidade das águas superficiais e subterrâneas;
- as práticas ecológicas que são referentes ao manejo da vegetação e da fauna, buscando estabelecer comunidades vegetais em áreas designadas na mina ou no seu entorno.

Os aspectos levantados e apresentados nesta tese serão de grande importância na reabilitação ecológica de áreas de mineração visto que, dependendo das características da exploração do solo, algumas espécies de plantas terão maior ou menor grau de resistência às características e ao grau de degradação desse solo. Por conseguinte, este trabalho aborda apenas uma área minerada de caulim situada no Equador, Rio grande do Norte.

A área degradada pela mineração de caulim está inserida no bioma Caatinga, que atualmente é considerado por cientistas e especialistas um dos biomas brasileiros mais alterados pelas atividades antrópicas. Conforme Trigueiro *et al.* (2009), a paisagem natural deste bioma tem perdido as suas características geológicas e algumas espécies da biota. Isso ocorre devido à ocupação humana e às atividades socioeconômicas desenvolvidas nesse espaço geográfico de forma completamente desordenada.

Dentre essas atividades, são mencionadas: a extração ilegal de madeira para ser utilizada como fonte de energia em unidades industriais na região; o desmatamento da vegetação nativa para a realização de cultivos que adotam práticas de manejo inadequadas; a atividade mineral rudimentar e desordenada.

Essas práticas inapropriadas são muitas vezes desenvolvidas de forma ilegal e têm contribuído para acelerar o processo de desertificação em inúmeras áreas da Caatinga, a exemplo da região do Seridó, onde em várias situações o solo já perdeu a sua capacidade de regeneração e de manter a vegetação nativa (BRASIL, 2002).

Para Velloso *et al.* (2002), a Caatinga apresenta uma grande diversidade de tipos de solos, que podem ser pedregosos ou arenosos, e associados com a disponibilidade hídrica deverão influenciar o desenvolvimento das espécies da flora que são encontradas nesse bioma. Vale ressaltar, que todas essas características, objetos dessas análises e discussões, foram consideradas para a elaboração da proposta para a recuperação da área degradada pela extração de caulim, no Sítio Galo Branco.

A proposta do plano de recuperação da área degradada pela mineração de caulim, situada no Sítio Galo Branco, tem por objetivo geral reativar os processos ecológicos que garantem a estabilidade ambiental dessa área degradada e contribuem para resgatar a sua capacidade de resiliência, visando o uso futuro da área minerada, como área de lazer e recreação para a sociedade e para as comunidades circunvizinhas ao empreendimento da COOTMAES.

A técnica ou método proposto nesse PRAD é bastante simples e será desenvolvida inicialmente numa área piloto de 1 (um) hectare, já degradada no passado por outras atividades clandestinas antes da COOTMAES assumir a titularidade da área de abrangência outorgada.

Nessa área piloto deverá ser realizado o plantio de espécies nativas florestais como craibeira, mulungú, baraúna, jucá; de espécies frutíferas nativas como umbuzeiro, juazeiro, oitizeiro; e de espécies frutíferas exóticas adaptadas ao clima do bioma Caatinga como acerola, caju, graviola, dentre outras. Ressaltando, que essa técnica está sendo desenvolvida de forma pioneira pela Mineração Jaramataia, numa área de calcário, localizada em Taperoá, PB.

A supressão vegetal será efetuada concomitantemente com os serviços de decapeamento da frente de lavra, utilizando trator de esteiras, carregadeira ou escavadeira, onde também serão removidos e armazenados os fragmentos de rochas e a matéria orgânica do solo fértil para ser utilizada numa etapa posterior, e para possibilitar de forma mais rápida a cobertura do solo da área em recuperação. A remoção da matéria orgânica do solo fértil e dos fragmentos de rocha deverá ser realizada de forma cautelosa e esses produtos deverão ser armazenados em um depósito de material controlado para evitar perdas dessas substâncias.

Nesse processo de recuperação da área degradada pela mineração de caulim deverão ser utilizadas também outras estratégias como o isolamento da área por meio do cercamento para evitar o pisoteio na vegetação em regeneração por animais, e por meio da construção de aceiros para evitar a propagação de incêndios.

Em resumo, o método de recuperação proposto para essa área piloto, degradada pela mineração de caulim, será desenvolvido de acordo com as seguintes etapas: marcação dos berços ou covas com piquetes, abertura dos berços, adubação de fundação no berço, plantio de mudas, controle de pragas e doenças, cobertura morta, adubação em cobertura, irrigação, realização do monitoramento e manutenção da área em processo de recuperação.

Uma das estratégias mais importante a ser adotada no processo de recuperação de áreas degradadas será a produção de mudas de espécies nativas florestais e frutíferas com qualidade, seguindo rigorosamente os padrões técnicos mais avançados para gerar mudas com boas condições fitossanitárias e bom desenvolvimento, para posterior plantio no campo em locais bem definidos. Lembrando que em áreas de taludes, esse plantio deverá ser realizado em curvas de nível, com o adequado acompanhamento topográfico.

Nesse contexto, a Associação dos Produtores de Caulim do Equador – APCE, em parceria com a UFCG, criou o Projeto Socioambiental “Focus”, funcionando em um ambiente onde funcionava o antigo lixão da cidade de Equador, RN. Esse Projeto Focus teve a iniciativa de transformar esse ambiente num viveiro de mudas, com o acompanhamento técnico e científico especializado de pesquisadores da UFCG. A Figura 35 mostra a criação do viveiro de mudas onde funcionava o antigo lixão no município do Equador, RN.

Figura 35 – Criação do viveiro de mudas no antigo lixão do Equador, RN



Fonte: Autoria própria (2023)

Outra iniciativa importante do Projeto Focus foi utilizar esse viveiro de mudas, como um tipo de ambiente de vegetação, para a realização de estudos e experimentos de germinação de espécies, investigando a possibilidade também dos resíduos de caulim serem utilizados como remineralizadores ou fertilizantes de solo.

No âmbito da UFCG, o Projeto Socioambiental “Focus” é coordenado de forma brilhante e dedicada pela Professora Dra. Viviane Farias Silva, Vice Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da UFCG, que em parceria com a APCE, a COOTMAES e a Prefeitura Municipal de Equador, está desenvolvendo vários projetos de caráter social e ambiental. Dentre esses projetos, podem ser citados: o projeto de arborização de áreas críticas do município do Equador e o projeto de transformar o viveiro de mudas em um importante centro de educação ambiental sobre o bioma Caatinga.

Além disso, está sendo desenvolvido um projeto de pesquisa científica sobre a germinação da espécie florestal “*Mimosa caesalpinifolia*”, com o uso de resíduos de caulim, que conta com a participação de estudantes de graduação, de mestrado e de doutorado. A metodologia aplicada nesses estudos foi a de observar a germinação da espécie mediante 5 tratamentos de níveis de caulim em proporção com o solo, conforme ilustra a Figura 36.

Figura 36 – Ambiente para realização de experimento com resíduo de caulim



Fonte: Autoria própria (2023)

A partir dos resultados iniciais, foi observado que as sementes germinadas da espécie florestal da Caatinga *Mimosa caesalpinifolia*, também conhecida, como sabiá, obtiveram uma germinação bem-sucedida com o uso do resíduo de caulim. Esses resultados demonstram que as iniciativas recomendadas neste trabalho de tese para a recuperação da área degradada da mina Galo Branco, poderão ser sustentáveis e bem sucedidas.

4.8 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE CAULIM

Os ensaios para a caracterização das amostras de resíduos com finalidade de uso agrícola são regulamentados pela Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. O cumprimento das exigências dessa normativa é condição indispensável para viabilizar a análise de aplicação dos resíduos de caulim como possíveis fertilizantes ou remineralizadores de solos. Com base no exposto, será feita uma breve abordagem sobre os remineralizadores, a revisão de algumas normas técnicas e a apresentação de um plano de trabalho para a realização desses estudos.

O estudo da aplicação do pó de rocha, também denominado de rochagem, ou do uso resíduos provenientes das unidades de beneficiamento de minérios em solos agrícolas vem sendo realizado por institutos de pesquisa e inúmeras empresas, como uma alternativa a melhoria das condições de fertilidade dos solos, diminuindo a pressão econômica e a dependência do país à importação de fertilizantes e seus insumos.

Atualmente, grande parte da agricultura brasileira é dependente de fertilizantes químicos solúveis, e esse consumo representa um dos maiores custos dentro de toda cadeia produtiva, uma vez que, a maioria dos fertilizantes solúveis são importados dos EUA, Marrocos, Canadá e Rússia (Theodoro *et al.*, 2013). Devido a lixiviação de nutrientes que ocorrem após o uso de fertilizantes solúveis, constata-se que há uma certa dependência de aquisição destes produtos por parte dos produtores, sendo necessário a cada ciclo, uma reposição de nutrientes através do uso destes fertilizantes (Brito *et al.*, 2019).

O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de alimentos, entretanto a maioria dos solos brasileiros são muito intemperizados, ácidos e com baixa reserva mineral, tornando o país dependente da importação de fertilizantes, que são considerados matérias-primas finitas, não renováveis e escassas para atender atualmente a crescente demanda do setor agrícola. De acordo com Theodoro & Leonardos (2011), o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, ou seja, de NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), sendo que mais de 90% desses insumos são importados, resultando em custos de produção elevados e perda de competitividade em relação a outros países concorrentes no mercado.

Com base no exposto, torna-se imperativo a pesquisa por outros métodos de fertilização, e, por conseguinte ser incentivada em todas regiões do país a procura por novos fertilizantes ou remineralizadores de solos agrícolas, os quais deveriam ser testados e aplicados nos diversos tipos de solos que existem nos biomas brasileiros. Para isso torna-se necessário também a ampliação de centros de pesquisa e inovação tecnológica especializados no tema.

Devido as condições climáticas, o emprego de fertilizantes com alto grau de solubilização pode resultar em baixa eficiência de uso, entre outras razões, devido às perdas por lixiviação. Em consequência, essas perdas podem contribuir para a redução da qualidade da água, e, por conseguinte pode provocar um impacto ambiental significativo. O uso de pó de rocha ou rochagem apresenta-se como uma alternativa ou complemento aos fertilizantes solúveis (THEODORO *et al.*, 2013).

Conforme Theodoro et al. (2013), alguns estudos mostram que o uso de pó de rochas na agricultura tem sido uma alternativa viável para atingir esses objetivos, visto que a sua utilização fornece nutrientes por um período maior quando comparado com o efeito promovido pelo uso de fertilizantes solúveis, principalmente em manejos que permitam o incremento de matéria orgânica e que promovam condições favoráveis para o estabelecimento de microrganismos do solo, onde por meio de ácidos orgânicos podem contribuir para o aumento da solubilidade de nutrientes, favorecendo maior efeito residual e uma liberação gradual de nutrientes para o solo.

O pó de rochas silicáticas, com potencial para ser usada na agricultura para promover a remineralização e o condicionamento de solos, passou a ser considerado como um tipo de fertilizante a partir da Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013, que instituiu esse novo tipo de insumo mineral para a agricultura. Posteriormente, com as instruções normativas nº 5 e 6, de 10 de março de 2016, do MAPA foram determinadas as especificações e garantias desse produto (BRASIL, 2016). Por outro lado, o uso de pó de rochas silicáticas disponível em pilhas de resíduos das unidades de beneficiamento de minérios colabora para reduzir o impacto ambiental da atividade mineral e proporciona ganhos significativos de sustentabilidade.

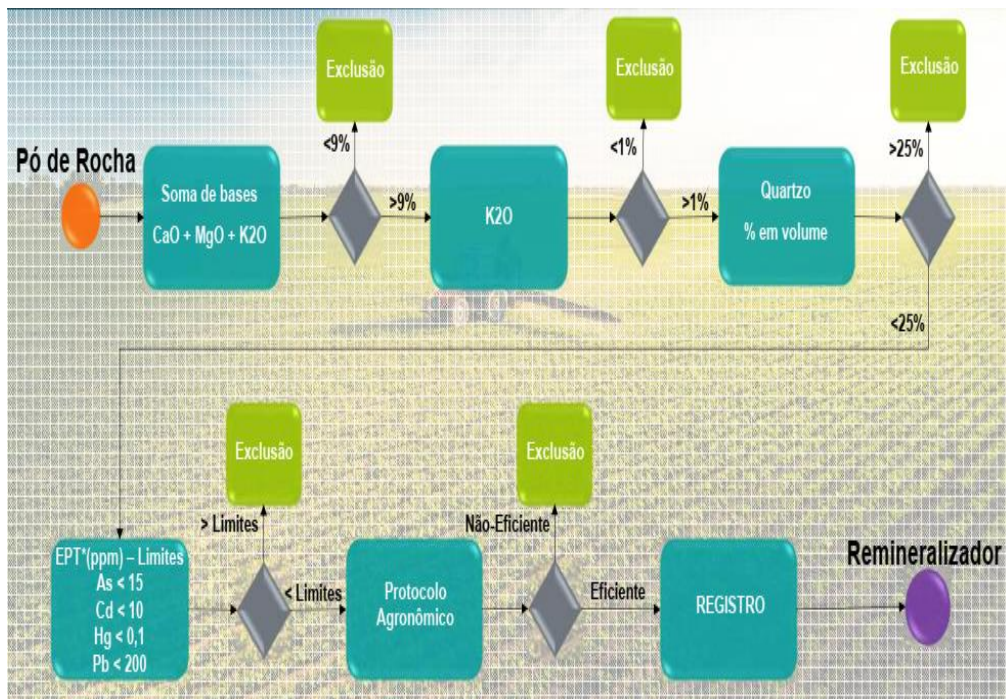
Na Província Pegmatítica do Seridó, em especial no entorno dos município de Equador, a atividade econômica predominante é aproveitamento de minérios não metálicos, como o caulim, que atuam no âmbito do APL em Pegmatitos RN/PB. Segundo Vidal *et al.* (2017), aproximadamente 75% do run of mine de caulim extraído nesse território não é aproveitado no processo de beneficiamento, o que gera pilhas consideráveis de resíduos finos e grosseiros, que são depositados nos pátios ou nos terrenos circunvizinhos das empresas, onde ocupam grande espaço, modificam a paisagem do bioma Caatinga e causam uma série danos ambientais.

Essa postura das pequenas empresas da região vem sendo alvo de severas fiscalizações por parte dos órgãos de proteção ambiental, fazendo com que o resíduo gerado se torne um passivo ambiental, uma fonte de custos para as empresas e um limitante no aumento de suas produções. Diante desse panorama regional, torna-se relevante a busca de soluções possíveis para minimizar esses impactos sociais, econômicos e ambientais.

Atualmente, existem excelentes possibilidades para contribuir e assegurar o destino correto dos resíduos e desocupar áreas de acumulação para outras atividades, promovendo benefícios ambientais quanto à disposição de resíduos, e ainda abrindo a perspectiva de subprodutos de valor econômico que possam ser aditados à substância mineral.

No caso do aproveitamento dos resíduos de caulim como remineralizadores de solos é necessário que esse material seja submetido a uma avaliação específica e atenda aos critérios estabelecidos pela Instrução Normativa nº 5, de 10/03/2016, do MAPA, que determina os índices dos macronutrientes Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg); os limites máximos de elementos potencialmente tóxicos, como Chumbo (Pb), Arsênio (As) e o Mercúrio (Hg); assim como os parâmetros teor sílica, granulometria e pH abrasão. Na Figura 37 está retratado um fluxograma indicando o roteiro e os critérios exigidos para avaliação e registro do pó de rocha como remineralizador no MAPA.

Figura 37 – Critérios para avaliação do pó de rocha como possível remineralizador



Fonte: Metso (2017)

Conforme a legislação vigente, o remineralizador deverá atender aos seguintes critérios: soma de bases totais (CaO + MgO + K₂O) no mínimo 9%; teor mínimo de K₂O total de 1%; conteúdo máximo de 25% de quartzo (sílica livre); concentrações máximas de elementos potencialmente tóxicos (arsênio - As, <15 mg kg⁻¹; cádmio - Cd, <10 mg kg⁻¹; mercúrio - Hg, <0,1 mg kg⁻¹; chumbo - Pb, <200 mg kg⁻¹); e a classificação granulométrica das partículas dos possíveis remineralizadores deverá obedecer as especificações de natureza física (filler, pó e farelado), em atendimento às normas da ABNT.

Com base nessa breve explicação, foi elaborado um plano de trabalho para a caracterização de amostras dos resíduos de caulim, de modo a propiciar a análise de viabilidade de aplicação desses resíduos como remineralizadores de solos. Neste contexto, foram e continuam sendo realizadas a Caracterização Geoquímica, Mineralógica e Físico-Química, em consonância com as etapas descritas a seguir:

1. Pesquisa bibliográfica;
2. Seleção, coleta e preparação de amostras;
3. Caracterização mineralógica mediante análise petrográfica e ensaios por Difratomia de Raios-X (DRX);
4. Caracterização química mediante análise de espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX) dos resíduos;
5. Análise química da composição de elementos potencialmente tóxicos, tais como: As, Cd, Pb, Cr, Hg (em ppm);
6. Análises Físicas.

Os procedimentos experimentais preliminares para as devidas caracterizações necessárias para o teste de remineralizador foram realizados nos laboratórios da UFCG, da UFPE, do IFPB, do CT Mineral do IFRN e em um laboratório de referência, credenciado pelo MAPA, onde possibilitarão que sejam feitas as seguintes análises e avaliações:

- ✓ As análises química, mineralógica e de qualidade do material para a determinação dos teores dos elementos químicos em formato de óxidos, a caracterização química dos elementos potencialmente tóxicos, a determinação da mineralogia e a identificação do teor de sílica livre;
- ✓ A análise físico-química do material visando a quantificação e a determinação da granulometria do material, a determinação do pH de abrasão do pó de rocha e a adequada quantificação da umidade máxima;
- ✓ A verificação de viabilidade, de acordo com as exigências mínimas da Instrução Normativa nº 5, de 10/03/2016, do MAPA, para avaliar se poderá ou não ser dada a continuidade das avaliações do resíduo de caulim como remineralizador de solo;
- ✓ Teste agrônomo que demonstre a eficiência em modificar as propriedades de fertilidade do solo e no desenvolvimento das plantas;
- ✓ Em resumo, para fins de registro do produto e para a obtenção de um nível de confiabilidade maior, é recomendável que essas análises sejam realizadas por laboratórios devidamente cadastrados no MAPA.

Na pilha de resíduos de caulim da Mineração Nossa Senhora de Lourdes, foram realizadas a seleção e a coleta de material adotando uma nova metodologia. Esse material coletado foi utilizado para a caracterização das amostras de resíduos de caulim, de acordo com as exigências das instruções normativas do MAPA, de forma a possibilitar a análise da viabilidade de aplicação desses resíduos como remineralizadores de solos.

Essa seleção e coleta de amostras da pilha de resíduos de caulim foi realizada utilizando uma escavadeira hidráulica com profundidade máxima de escavação de 4 metros, devido a elevação da pilha. A escavação foi realizada em três linhas horizontais, cada uma com quatro coletas, despejando o material um sobre o outro, com o objetivo de otimizar o blend, considerando que o material que foi processado na unidade de beneficiamento constitui uma pilha de resíduos, que são oriundos de duas jazidas diferentes, mas muito próximas.

Em seguida, a amostra foi selecionada e coletada pela equipe do projeto de pesquisa com o uso de pá manual e acondicionado em sacos de 50kg. Ao todo, foi coletada uma amostra bem representativa de aproximadamente 500 kg de resíduos de caulim, que foi transportada para os laboratórios da UFCG e do IFPB, em Campina Grande, para ser submetida inicialmente aos processos de secagem, pesagem e amostragem. Posteriormente, essa amostra foi preparada para a realização de alguns ensaios de caracterização tecnológica no CT Mineral José Yvan Pereira Leite, em Currais Novos, e para o laboratório da UFPE. A Figura 38 ilustra o processo de seleção e de coleta de amostra da pilha de resíduos de caulim na empresa que foi grande parceira nessa pesquisa, a Mineração Nossa Senhora de Lourdes.

Figura 38 – Seleção e coleta de amostras de resíduos de caulim



Fonte: Autoria própria (2023)

No laboratório do IFPB, a amostra bruta dos resíduos do caulim foi inicialmente submetida ao processo de secagem por exposição natural ao sol. Em seguida, uma fração dessa amostra bruta foi submetida aos processos de pesagem, de homogeneização, de quarteamento e de peneiramento, para preparar essa amostra para a caracterização química por análise de espectroscopia de Fluorescência de Raios-X – FRX, no CT Mineral Professor José Yvan Pereira Leite do IFRN, em Currais Novos, RN. A Figura 39 ilustra a preparação da amostra de resíduos de caulim no laboratório do IFPB.

Figura 39 – Preparação da amostra de resíduos de caulim no laboratório do IFPB



Fonte: Autoria própria (2023)

No laboratório do CT Mineral do IFRN, inicialmente a amostra passou por um processo de identificação e pesagem para controle de massa. Após esses procedimentos de preparação física, a amostra foi submetida, na forma de pó solto, à análise de espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX), usando um aparelho denominado espectrômetro, em escala de bancada, de Energia Dispersiva (EDXRF), da marca Thermo Fisher Scientific, Modelo ARL QUANT’X. O método adotado foi a vácuo para a leitura de elementos leves.

Os resultados da análise química em %, por espectrometria de Fluorescência de Raios-X com energia dispersiva, estão descritos no laudo de análise emitido pelo CT Mineral do IFRN. Nos resultados desse laudo, embora tenha sido verificado um percentual considerável de quartzo, observa-se também percentuais significativos de Potássio (K) e Fósforo (P), que são excelentes nutrientes para as plantas, reforçando a tese de que existem fortes indícios de que nesses resíduos existem elementos que poderão ser aplicados como fertilizantes ou remineralizadores de solos. Assim, acredita-se que a continuidade dessa pesquisa poderá comprovar essa hipótese.

Nesses ensaios realizados, foi observado que cerca de 71,1% da granulometria do resíduo de caulim está enquadrado em 0,2-0,05 mm, o pH em água de 4,8, considerado ácido para as amostras analisadas. Os valores dos elementos potencialmente tóxicos foram inferiores ao estabelecidos pela IN nº 5, de 10/03/2016, do MAPA, estando assim dentro do permitido. A saturação por base recomendada para a maioria das culturas fica entre 50 - 80%, estando assim este resultado favorável para incorporar ao solo. A baixa saturação por alumínio encontrada não é considerada prejudicial a planta e com apenas 15% de saturação por sódio. Em resumo, esses valores comentados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores analisados das amostras 1e II.

| Granulometria (g.kg ⁻¹) | Resíduos de caulim | |
|---|--------------------|------------|
| | Amostra I | Amostra II |
| 2-0,2 mm | 86 | 97 |
| 0,2-0,05 mm | 711 | 700 |
| 0,05-0,002mm | 93 | 93 |
| <0,002 mm | 110 | 110 |
| pH em água | 4,8 | 4,8 |
| Complexo sortivo (cmolc.dm ⁻³) | | |
| Cálcio | 0,40 | 0,30 |
| Magnésio | 0,40 | 0,40 |
| Potássio | 0,08 | 0,07 |
| Sódio | 0,35 | 0,34 |
| Soma de bases (SB) | 1,23 | 1,11 |
| Hidrogênio | 1,04 | 1,04 |
| Alumínio | 0,06 | 0,06 |
| Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 | 2,33 | 2,21 |
| Saturação por base (V)% | 53 | 50 |
| Saturação por Alumínio % | 4,65 | 5,13 |
| Saturação por Sódio % | 15,02 | 15,38 |
| Fósforo assimilável mg.dm ⁻³ | 1 | 1 |
| Chumbo ppm | 17 | 14,4 |
| Cádmio ppm | <0,1 | <0,1 |
| Arsênio ppm | <1 | <1 |
| Mercúrio ppm | <0,05 | <0,05 |

A análise química de elementos minerais por difração de raio X foi encaminhada para análise para outros laboratórios credenciados pelo MAPA. Esses resultados serão avaliados por outros pesquisadores que irão continuar essa investigação científica em outros trabalhos de pesquisa. O importante para investigação no âmbito desta tese foi comprovar que existem fortes evidências que os resíduos de caulim podem ser utilizados como fertilizantes ou remineralizadores de solo.

4.9 MODELO PARA A FORMALIZAÇÃO DO CAULIM

Segundo Sousa et al. (2023), o caminho para o alcance da sustentabilidade em um território com vocação para a atividade mineral, tem como estrutura basilar a formalização da produção mineral. Essa formalização pode ser definida como o processo de regularização das atividades de aproveitamento dos recursos minerais, de acordo com o que preconiza a legislação mineral, a legislação ambiental, a legislação trabalhista, a legislação que regula o exercício profissional e as normas fiscais, previdenciárias, de saúde e segurança no trabalho, de forma a contribuir para a sustentabilidade da região onde ela está inserida e o bem estar da comunidade.

Em 2011, o Governo Federal estabeleceu o PNM – 2030 que tinha como um dos objetivos estratégicos apoiar e fomentar micro, pequenas empresas e cooperativas de garimpeiros para que pudessem exercer suas atividades produtivas em bases sustentáveis. Entretanto, para que esse apoio pudesse ser aplicado era exigido que esses empreendimentos estivessem formalizados em relação ao direito mineral e ambiental.

Até o momento, um dos maiores gargalos para os pequenos empreendimentos minerais alcançar a formalização da produção mineral é obter em tempo razoável o título minerário. Conforme uma análise já feita no início deste trabalho de tese, a atual legislação mineral com os seus regimes de aproveitamento econômico dos recursos minerais dificulta muito a obtenção do direito mineral para pequenos empreendimentos minerais, em especial os empreendimentos que atuam com o aproveitamento de caulim na Província Pegmatítica do Seridó.

Conforme os dispositivos legais vigentes, a formalização para o aproveitamento do recurso mineral caulim em qualquer área mineralizada em território brasileiro só poderá ser realizado inicialmente pelo Regime de Autorização de Pesquisa. Posteriormente, vários anos depois, caso o Relatório Final de Pesquisa Mineral - RFP dessa área requerida seja aprovado, o titular da Autorização de Pesquisa e portador do título Alvará de Pesquisa, vai poder de forma legal requerer a Concessão da Lavra dessa área requerida e receber, o título de Portaria de Lavra, que lhe outorga o direito lavrar ou extrair o caulim dessa área minerada, por tempo praticamente ilimitado desde que sejam cumpridas as condicionantes ou exigências legais.

A afirmativa de que o caulim só poderá ser formalizado inicialmente pelo Regime de Autorização de Pesquisa é em função de que o Cadastro Mineiro da ANM, onde é iniciado os processos de regularização formalização dos recursos minerais no Brasil, não disponibiliza, em hipótese alguma, na plataforma ou no site da ANM, a opção por qualquer outro regime de aproveitamento econômico no processo de formalização dessa substância, e dessa forma dificulta muito esse processo para empreendimentos de pequeno porte.

De acordo com o Código de Mineração de 1967, a pesquisa mineral compreende a realização dos serviços necessários para a definição da jazida, sua avaliação e a determinação da exequibilidade do seu aproveitamento. Em linhas gerais, esses serviços de pesquisa mineral compreendem os levantamentos geológicos detalhados, em escala adequada, da área minerada a ser pesquisada; estudos de aforamentos; levantamentos geoquímicos e geofísicos; aberturas de poços e trincheiras; realização de sondagens; análises e caracterizações das amostras; ensaios de beneficiamento de minérios, entre outros.

Conforme já foi descrito, o Regime de Autorização de Pesquisa é o mais comum, pode ser utilizado para a formalização de praticamente todos os recursos minerais, inclusive o caulim, exige a realização dos serviços prévios de pesquisa mineral supracitados, além disso é um processo adequado para grandes depósitos minerais, sendo mais complexo, mais demorado e muito mais oneroso, devido aos altos custos para execução de todos esses serviços com qualidade, precisão e credibilidade.

Com base nessas características, fica totalmente evidenciado que esse regime não é adequado para empreendimentos de pequeno porte e nem para cooperativas de garimpeiros ou mineradores que atuam no segmento de minerais baixo valor unitário, como é o caso do caulim e da grande maioria dos minerais de pegmatitos aproveitados na Província Pegmatítica do Seridó, que são considerados minerais sociais.

Conforme Ferreira (2011), os minerais sociais são encontrados em pequenos jazimentos economicamente aproveitáveis, inseridos numa grande extensão territorial, possibilitando trabalho a um número elevado de micro e pequenos mineradores, de forma isolada ou em pequenos grupos. O aproveitamento desses recursos minerais não depende das operações de grandes empresas, mas sim predominantemente das atividades desenvolvidas por pequenos mineradores, que no passado eram denominados tradicionalmente de "garimpeiros".

Esse segmento dos minerais sociais geralmente fornece a garantia de preços estáveis, oscilando em faixas de preço admissíveis por um longo período, possibilitando um comércio mais sólido e de grande perenidade, assegurando assim a credibilidade para manter a estabilidade econômica e social desse segmento.

Por outro lado, o Regime de Registro de Licenciamento é um regime de aproveitamento econômico adequado para minerais de aplicação imediata na construção civil como brita, areia, saibro, rochas para paralelepípedo, rochas ornamentais, argilas, carbonatos de cálcio e magnésio para indústrias diversas. Numa rápida análise, fica também evidenciado que esse regime de aproveitamento econômico não é adequado para a formalização do caulim existente na Província Pegmatítica do Seridó e objeto de estudos nesta pesquisa.

Em adição, o Regime de Registro de Extração é adequado aos recursos minerais de uso imediato na construção civil, todavia é concedido exclusivamente aos órgãos da administração direta ou autárquica do Estado. Por essas razões, esse regime de aproveitamento econômico também não é adequado para a formalização do caulim que ocorre no Seridó nordestino.

De acordo com a Lei 7,805/1989, o Regime de Permissão de Lavra Garimpeira é adequado para a formalização ou regularização de recursos minerais provenientes de depósitos minerais que, por sua natureza, dimensão, localização e utilização econômica, possa ser lavrado sem que seja necessário a realização de serviços prévios de pesquisa mineral. Por essa definição, os minerais de pegmatitos e o caulim da Província Pegmatítica do Seridó poderiam ser formalizados por esse regime de PLG, entretanto o Cadastro Mineiro da ANM, instituído pelo antigo DNPM, não permite o acesso de processos requerendo a formalização de caulim do Seridó por esse tipo de regime.

Diante desse quadro e dos inúmeros gargalos para a formalização do caulim na Província Pegmatítica do Seridó, torna-se imperativo e necessário a busca por uma alternativa estratégica ou um modelo para a formalização do caulim dessa região do Seridó, que poderia ser adotado no processo de formalização de outros recursos, com características similares.

Nesse contexto, os estudos realizados nesta tese de dourado recomendam uma reestruturação no Código de Mineração de 1967, ainda em vigor, e a construção de um novo regime de aproveitamento econômico dos recursos minerais que poderia formalizar de forma mais simplificada e ágil o caulim do Seridó e os minerais de pegmatitos, assim como dezenas de outros recursos minerais considerados como minerais sociais.

Dessa forma, é sugerida a criação de um modelo de regime de aproveitamento econômico, denominado “Regime de Lavra de Minerais Sociais”, que seria aplicado para formalizar os recursos minerais, como o caulim da mina Galo Branco, que estão aflorando na superfície, com capeamento reduzido e não dependem dos serviços prévios de pesquisa mineral para serem lavrados, e, por essa razão, deveria ser um regime bastante simplificado, onde sua análise para a concessão do título de “Autorização ou Permissão de Lavra de Minerais Sociais” deveria ser bem mais ágil e célere pela ANM.

Vale enfatizar que os recursos minerais para serem formalizados por esse novo regime deveriam ter baixo valor unitário e estar preferencialmente inseridos no âmbito de um arranjo produtivo local de base mineral. Com esse modelo de regime aproveitamento de recursos minerais proposto nesta tese, a formalização de empreendimentos de pequeno porte seria bem mais eficiente e possibilitaria o desenvolvimento desse segmento em bases mais sustentáveis.

5 ANÁLISES E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com os estudos e investigações, que embasaram a pesquisa desta tese, serão analisados e discutidos neste capítulo. Essas análises e discussões serão realizadas por meio de um breve resumo sobre esses resultados alcançados e as reflexões subjetivas pertinentes aos mesmos.

A área pesquisada está situada na unidade geomorfológica do Planalto da Borborema, com um relevo muito ondulado, influenciado por fatores estruturais e climáticos. Ela apresenta um clima quente, com intenso grau de evaporação e com precipitação pluviométrica irregular, em média 400 mm. Por essa razão, os cursos d'água têm direção indefinida e intermitente, sendo caudalosos no período chuvoso e secos no período de estiagem. O tipo de solo é geralmente muito erodido, pedregoso e raso, com baixa aptidão para atividade agrícola.

O tecido social desse território é bastante vulnerável, com baixo nível de escolaridade, elevado índice de mortalidade infantil e uma ineficiente cobertura de saneamento básico. As atividades econômicas predominantes são a agricultura, a pecuária e a mineração. O setor industrial é pouco expressivo e o setor comercial é caracterizado pela comercialização de bens de primeira necessidade.

O aproveitamento do caulim surgiu na década de 1950, com a perspectiva da geração de emprego, renda, e, por conseguinte a fixação do homem na região. Entretanto, essa atividade apresentou, por um longo período, alto risco para a saúde e a segurança dos trabalhadores, provocando doenças respiratórias, acidentes e centenas de mortes. Além disso, os mineradores eram mal remunerados e sem acesso aos direitos trabalhistas garantidos em lei, sendo observado em algumas situações o trabalho infantil e o trabalho forçado.

A geologia regional da área pesquisada é caracterizada por duas unidades estratigráficas fundamentais constituídas pelo Complexo-Gnáissico-Migmatítico basal do Grupo Caicó, os metamorfitos de cobertura do Grupo Seridó e as rochas filonianas.

O caulim do Seridó é proveniente de alteração das rochas pegmatíticas, constituídas de caulinita, quartzo, feldspato, entre outros minerais, sendo encontrados como veios. Esse tipo de caulim encontra-se associado a várias impurezas como ferro e titânio, que podem comprometer a sua qualidade e a sua inserção no mercado.

As operações de lavra do caulim geralmente eram realizadas no passado em aberturas subterrâneas de até 50 m, de forma manual e rudimentar, sem o uso de Equipamentos de Proteção Individual – EPI. A extração era executada por picaretas e pás, com o transporte de pessoal e do minério para a superfície sendo feitos por guinchos.

Por outro lado, a instabilidade do minério provocava desabamentos nas galerias subterrâneas com o registro de centenas de vítimas fatais, até 2008, quando tiveram então início as ações de extensionismo mineral e tecnológico da UFCG, em parceria com o MME, nas áreas mineradas de caulim, situadas no entorno do Equador na Província Pegmatítica do Seridó.

O processo de beneficiamento do caulim sempre foi realizado a úmido, com o objetivo de remover impurezas e agregar valor ao produto. Uma parcela das unidades de beneficiamento da região ainda utiliza métodos ineficientes e rústicos com baixa recuperação do minério, normalmente 25%, gerando um grande volume de resíduos que são depositados de forma inadequada, modificam a paisagem, provocam impactos ambientais significativos e comprometem a sustentabilidade na região.

Vale ressaltar, que o extensionismo mineral e tecnológico tem por finalidade articular os órgãos públicos e a sociedade civil para implantar ações que disponibilizem informações, capacitação, assistência técnica e disseminação de tecnologias inovadoras para o produtor mineral de pequenas unidades, em seu território de atuação.

O caminho para o alcance da sustentabilidade em um território com vocação para a atividade mineral, tem como alicerce a formalização da produção mineral. Essa formalização compreende o processo de regularização das atividades de aproveitamento dos recursos minerais, de acordo com o que institui a legislação mineral, a legislação ambiental, a legislação trabalhista, a legislação que regula o exercício profissional e as normas fiscais, previdenciárias, de saúde e segurança no trabalho, de forma a contribuir para a sustentabilidade da região onde ela está inserida e o bem estar da comunidade local.

A primeira ação de extensionismo mineral no Equador, RN, foi em 2008, com a finalidade de estimular a organização social e produtiva dos empreendimentos de pequeno porte, mediante a interlocução e a realização de oficinas de sensibilização com os pequenos mineradores e os demais atores sociais envolvidos com esse segmento mineral. Logo em seguida, foi criada a Cooperativa COOTMAES, e foi iniciado o processo de formalização de quatro áreas para essa Cooperativa pelo Regime de Permissão de Lavra Garimpeira.

Em 2021, no âmbito das ações estabelecidos por esta tese, foi mantida a formalização da área da mina Galo Branco, com o Processo ANM nº 848.058/2011, com área de 12,52 ha, e o título da PLG nº 02/2011, que foi prorrogado por mais 5 anos, com validade até 05/08/2026. Além disso, no segundo semestre de 2022, a área da mina Tanquinho foi finalmente formalizada, com o Processo ANM nº 848.473/2010, com área de 639,87 ha, por meio da PLG nº 208/2022, com validade até 01/07/2027.

Por outro lado, no início de 2023, após o cumprimento de várias exigências, o IDEMA finalmente concedeu para a COOTMAES as licenças ambientais, na classe de Licença de Regularização de Operação – LRO, das áreas da mina Coqueiros, com o Processo ANM nº 848.471/2010, com área de 622,51 ha, e da mina Condado, com o Processo ANM nº 848.472/2010, com área de 446,03 ha. A Figura 40 ilustra uma placa do licenciamento ambiental de uma área da COOTMAES.

Figura 40 – Placa do licenciamento ambiental de uma área da COOTMAES



Fonte: Autoria própria (2022)

Com essas licenças ambientais foi possível instruir os processos já protocolizados na ANM, requerendo a emissão da PLG para cada uma dessas áreas, e assim, ainda em 2023, a área da mina Coqueiros, com o Processo ANM nº 848.471/2010, foi formalizada em definitivo, por meio da PLG nº 65/2023, com área de 622,51 ha, e validade até 25/07/2028, e, da mesma forma, a área da mina Condado, com o Processo ANM nº 848.472/2010, foi formalizada em definitivo, por meio da PLG nº 66/2023, com área de 446,03 ha, e validade até 25/07/2028.

Atualmente, estão em processo de formalização na ANM mais cinco áreas que foram obtidas pelo Edital nº 1/2022 – 6ª Rodada de Disponibilidade de Áreas, pelo critério de avaliação social, com o resultado sendo publicado no Diário Oficial da União – DOU, em 31/07/2023. Nesse processo, os estudos desenvolvidos no âmbito desta tese, para o alcance de um modelo de desenvolvimento em bases sustentáveis para um empreendimento de pequeno porte de caulim, foram preponderantes para o êxito de mais essa conquista para a COOTMAES. O Quadro 8 representa essas áreas que estão em processo de formalização na ANM.

Quadro 7 – Representação das áreas em processo de formalização

| COOPERATIVA REQUERENTE | Nº TÍTULOS MINERÁRIOS | SITUAÇÃO ANM | PROCESSO | NUP | Município (S) ESTADO | ÁREA |
|------------------------|-----------------------|--|--------------|-----------------------|---|------------|
| | | Área em Disponibilidade Lavra – PLG (Arrematada em Avaliação Social) | 848.004/2007 | 48414.848.004/2007-11 | Equador - RN | 249,49 ha |
| | | Área em Disponibilidade Lavra – PLG (Arrematada em Avaliação Social) | 300.516/2014 | 27215.300.516/2014-04 | Junco Do Seridó - PB | 7,39 ha |
| COOTMAES | 05 | Área em Disponibilidade Lavra – PLG (Arrematada em Avaliação Social) | 846.127/2009 | 48415.846.127/2009-79 | Equador - RN, Junco Do Seridó - PB e Tenório/PB | 1875,80 ha |
| | | Área em Disponibilidade Lavra – PLG (Arrematada em Avaliação Social) | 300.178/2020 | 48415.300.178/2020-64 | Junco Do Seridó - PB e Tenório/PB | 252,63 ha |
| | | Área em Disponibilidade Lavra – PLG (Arrematada em Avaliação Social) | 300.310/2022 | 48414.300.310/2022-18 | Equador - RN e Tenório - PB | 1054,89 ha |

Fonte: Bivar (2022)

Um dos maiores desafios enfrentados pelos empreendimentos minerais de pequeno porte é o cumprimento das exigências legais. Assim, para o cumprimento de algumas dessas condicionantes, a APCE, em parceria com a UFCG, está desenvolvendo o Projeto Socioambiental FOCUS, onde as mudas de espécies nativas, provenientes desse projeto, serão utilizadas no processo de recuperação das áreas degradadas e em processos de arborização, na zona urbana de Equador. A Figura 41 mostra a sede do Projeto FOCUS.

Figura 41 – Sede do Projeto Socioambiental FOCUS e uma visita da ANM



Fonte: Autoria própria (2023)

Os trabalhos de sensibilização desenvolvidos nesta tese contribuiram para que a COOTMAES, com o apoio da APCE, iniciasse um processo de organização de seus procedimentos administrativos, mediante a sua inscrição na Organização das Cooperativas do Estado do Rio Grande do Norte – OCERN, de forma a otimizar a autogestão dos negócios, para elevar a produtividade e a competitividade, e contribuir com o aumento da arrecadação de tributos e da compensação da CFEM para o município do Equador, RN.

Do mesmo modo, as ações da pesquisa contribuiram de alguma forma para a APCE apoiar a COOTMAES a fazer a contratação de um profissional qualificado da área contábil para implantar um sistema para emissão de nota fiscal eletrônica, e providenciar a regularização e o cumprimento imediato de todas as obrigações tributárias junto à Secretaria de Fazenda do Estado do Rio Grande do Norte e à Receita Federal, conforme estabelece a legislação vigente.

Outra ação importante desta tese, foi a apropriação de tecnologias tradicionais, desenvolvidas no Projeto Entidades Associadas CETEM – UFCG, por pesquisadores da UFPE, do CETEM e da UFCG, para a inserção de operações de lavra mais seguras na mina Galo Branco em substituição às escavações subterrâneas rudimentares e perigosas.

Assim, foi adotado um planejamento de lavra para a mina Galo Branco por meio do método de blocos, com o modelamento geológico e topográfico, que recomendou para esse depósito um método de lavra a céu aberto mecanizado, orientado por princípios geomecânicos. A Figura 42 ilustra a um método de lavra a céu aberto mecanizado

Figura 42 – Método de lavra a céu aberto mecanizado



Fonte: Aatoria própria (2022)

No beneficiamento de minérios, foram realizados estudos e ensaios em escala de bancada no Projeto Entidades Associadas CETEM – UFCG, que resultaram na ampliação da recuperação na unidade do beneficiamento do caulim, onde foi observado nos ensaios realizados, que a inserção de hidrociclones no circuito de beneficiamento pode aumentar a concentração de caulinita de 25% para mais de 80%.

Esses estudos foram utilizados nesta tese para adequar a unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora de Lourdes, e assim contribuir para compor o modelo proposto de aproveitamento em bases sustentáveis do caulim no Equador. Ao mesmo tempo, está em fase de ensaios a otimização da eficiência nas operações de lavagem e desagregação do minério realizada com batedor helicoidal, mediante a inserção de células de atrição mecânica para ampliar a desagregação das partículas de caulinita, e aumentar a sua liberação. A Figura 43 ilustra os ensaios em escala de bancada com hidrociclones.

Figura 43 – Ensaios de bancada com hidrociclones



Fonte: Lima &Vidal (2017)

Os resultados dos ensaios em escala de bancada, utilizando mesas vibratórias para a concentração da tantalita/columbita, do quartzo e da mica possibilitaram a realização de uma adaptação na unidade de beneficiamento da MNSL com a inserção de três mesas vibratórias e um jigge para a concentração e o aproveitamento econômico dessas substâncias minerais, propiciando a redução do volume de resíduos a ser descartado no meio ambiente.

Os estudos desenvolvidos nesta tese estão contribuindo também para a inserção de princípios humanitários e éticos no aproveitamento do caulim na mina Galo Branco, em grande parte devido ao notável espírito de cooperação e parceria entre à COOTMAES e a APCE.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

Em síntese, neste trabalho de tese foi proposto e já está sendo implantado, com bastante êxito, um modelo em bases sustentáveis para o aproveitamento do caulim, numa área formalizada, com licença ambiental e título minerário PLG, da Cooperativa dos Trabalhadores de Mineração e Agricultura do Equador e Seridó – COOTMAES, situada no Sítio Galo Branco, na zona rural no município do Equador, RN, contribuindo de forma especial para o fortalecimento do APL em Pegmatitos RN/PB.

No território típico do bioma Caatinga, onde as áreas mineradas de caulim estão inseridas, foi realizado um diagnóstico ambiental e socioeconômico. Nesse diagnóstico, foi feita uma análise sobre as potencialidades e vulnerabilidades desse espaço geográfico, mediante os estudos dos aspectos fisiográficos, bióticos e socioeconômicos, que estão presentes no entorno do município do Equador, RN, contribuindo para atender esse objetivo específico.

Após a seleção de uma área formalizada da COOTMAES, localizada no Sítio Galo Branco, foram realizados nessa área minerada de caulim os levantamentos topográficos e geológicos básicos para o estudo das feições geológicas nessa área. Ao mesmo tempo, foram coletadas amostras para a caracterização tecnológica do minério. Essa caracterização foi indispensável para a construção do modelo de aproveitamento do caulim em bases sustentáveis.

A partir da conclusão dos levantamentos topográficos e geológicos, foi possível fazer o planejamento de um método de lavra céu aberto, mecanizado e mais racional, em substituição ao método de extração subterrânea, rudimentar e predatória, com elevados riscos para a saúde e segurança do minerador, e que no passado já provocou centenas de acidentes fatais. Assim, foi realizado o planejamento de lavra com uso do método de blocos, com o modelamento topográfico e geológico da mina Galo Branco, orientado por princípios geotécnicos e adotando a tecnologia de lavra de bancadas, de forma a propiciar ganhos de produtividade, competitividade e benefícios significativos para a saúde e segurança do minerador.

A caracterização tecnológica do minério e os ensaios de bancada, realizados nos laboratórios, possibilitaram propor adequações no processo de beneficiamento de caulim, com a inserção de tecnologias tradicionais para classificação do caulim e para concentração gravimétrica de outras substâncias minerais como a tantalita/columbita, o quartzo e a mica. Essas tecnologias inovadoras foram preponderantes para elevar de forma significativa o percentual de recuperação do caulim, agregar valor à cadeia produtiva mineral e reduzir o descarte do volume de resíduos valiosos no meio ambiente.

As ações desenvolvidas no âmbito do Projeto TED nº 13/2022 contribuíram para a construção de um viveiro de mudas que está produzindo espécies nativas arbustivas e frutíferas que deverão ser bastante úteis para a recuperação das áreas mineradas de caulim desse território, e não apenas da área degradada na mina Galo Branco. Nesta tese foi desenvolvido um plano para a recuperação da área minerada da mina Galo Branco, adotando o processo de revegetação para a reabilitação da paisagem degradada, de modo a possibilitar o uso sequencial dessa área para outra atividade. Esse processo deverá ter continuidade em outros projetos de pesquisa.

Os estudos de caracterização tecnológica minério e dos resíduos provenientes do beneficiamento do caulim realizados nessa tese comprovaram que existem fortes evidências que os resíduos de caulim poderão ser utilizados como fertilizantes ou remineralizadores de solo. Esses estudos indicaram a possibilidade de outras aplicações do caulim, identificando possíveis rotas para o aproveitamento desses novos produtos. Esses estudos foram parcialmente concluídos e deverão ter continuidade em outros trabalhos futuros de pesquisa.

O processo de formalização de áreas para empreendimentos de mineração de pequeno porte é bastante complexo e lento, entretanto utilizando algumas estratégias desenvolvidas durante a realização desta tese foi possível concluir plenamente a formalização de quatro áreas para a COOTMAES, com licenças ambientais e os títulos de PLG com validade até 2027, e está em andamento a formalização de mais cinco áreas.

Por fim, para tornar mais célere os procedimentos de formalização de áreas para empreendimentos de pequeno porte foram recomendadas adequações na legislação mineral. Dentre essas adequações, foram sugeridas alterações nos regimes de aproveitamento econômico de recursos minerais e a criação de um novo modelo de regime, denominado “Regime de Lavra de Minerais Sociais”, voltado para a formalização de áreas de minerais de baixo valor unitário ou sociais, a exemplo das áreas de caulim e de minerais de pegmatitos, no Seridó nordestino.

Os resultados obtidos até agora com essa pesquisa demonstram que essas ações estão contribuindo para um ambiente mais saudável no Seridó nordestino, e ao mesmo tempo promovendo, ainda que de forma discreta, o alcance de alguns dos 17 ODS, propostos pela Agenda 2030 da ONU, como os objetivos que tratam da erradicação da pobreza e da fome.

Por fim, espera-se a continuidade dos procedimentos de fomento à projetos de extensionismo mineral e tecnológico por parte, principalmente, do Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação – MCTI e do Ministério de Minas e Energia – MME em apoio aos empreendimentos de mineração de pequeno porte de caulim e de minerais de pegmatitos, no âmbito do APL em Pegmatitos RN/PB.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Os resultados alcançados com este trabalho de tese recomendam a continuidade das ações para consolidar o processo de inserção de tecnologias tradicionais e inovadoras para o aproveitamento do caulim na mina Galo Branco em bases sustentáveis. Ao mesmo tempo, é recomendável a continuidade dos ensaios e investigações para o aproveitamento dos resíduos de caulim da pilha de rejeitos da Mineração Nossa Senhora de Lourdes com o objetivo de aplicação como fertilizantes ou remineralizadores do solo. No mesmo contexto, deverão continuar em outros projetos científicos os ensaios para a determinação do potencial pozolânico e sua possível aplicação na indústria cimenteira e/ou em outras aplicações.

A consolidação do modelo proposto nesta tese para o aproveitamento do caulim em bases sustentáveis por um empreendimento de mineração de pequeno porte, localizada no Equador, RN, depende também de ações e do protagonismo de outros atores sociais que atuam ou pelo menos deveriam atuar com mais determinação e envolvimento para atender as principais demandas dos mineradores de pequeno porte de caulim, no âmbito do APL em Pegmatitos RN/PB. Nesse contexto, recomenda-se as seguintes ações emergenciais:

- Estimular o desenvolvimento e a implantação no município do Equador de um programa emergencial de escolarização de jovens e adultos;
- Inserir a dimensão das questões ambientais nas escolas da região em todos os níveis, de forma multidisciplinar e transversal, possibilitando a construção do conhecimento embasado na percepção ambiental e social do indivíduo;
- Fortalecer a organização social e produtiva dos empreendimentos de mineração de pequeno porte, mediante os princípios do cooperativismo/associativismo, preferencialmente organizados em arranjos produtivos locais de base mineral;
- Impulsionar a formalização da produção mineral e promover adequações no atual Código de Mineração de 1967, propondo mudanças imediatas nos regimes de aproveitamento econômico dos recursos minerais, não se restringindo apenas a inserção do caulim no Regime de Permissão de Lavra Garimpeira;
- Reivindicar dos governos federal, estadual e municipal um programa permanente de fomento ao empreendimento mineral de pequeno porte, com a inserção da concessão de incentivos fiscais para essa atividade;
- Desenvolver mecanismos eficazes que possibilitem aos empreendimentos de mineração de pequeno porte o acesso a uma linha de crédito especial, junto aos bancos oficiais, para a expansão e a modernização das unidades produtivas;

- Estimular a parceria e a cooperação entre atores sociais, como o SEBRAE e a OCERN para a promoção de cursos de capacitação para os associados da COOTMAES e da APCE nos temas de empreendedorismo, gestão de negócios, saúde e segurança no trabalho, entre outros;
- Lutar pela realização de levantamentos geológicos básicos, numa escala adequada, nas áreas formalizadas da COOTMAES, por intermédio de uma parceria entre a UFCG e a SGB/CPRM, tendo como base a criação de um núcleo da SGB/CPRM em Campina Grande, PB;
- Promover ações emergenciais para a redução dos riscos à saúde e à segurança do trabalhador, estimulando a inserção de tecnologias mais racionais de lavra e desenvolvendo a cultura para o uso cotidiano de Equipamentos de Proteção Individual – EPIs e Equipamentos de Proteção Coletiva – EPCs;
- Incentivar a agregação de valor à cadeia produtiva dos minerais de pegmatitos e do caulim, mediante a adequação dos processos de beneficiamento de minérios e de concentração do caulim, desenvolvendo e inserindo novas tecnologias para aumentar a recuperação do minério e o reaproveitamento dos resíduos gerados;
- Estimular a contratação de profissionais habilitados nas áreas de engenharia de minas e geologia, visando uma assistência técnica sistemática e permanente nas frentes de lavra e nas unidades de beneficiamento do minério;
- Apoiar a COOTMAES para o adequado cumprimento das condicionantes exigidas pelas licenças ambientais emitidas e estimular a recuperação das áreas degradadas pela atividade mineral;
- Buscar novas rotas comerciais para o escoamento da produção de caulim e de outros minerais de pegmatitos;
- Desenvolver ações para a erradicação do trabalho forçado e do trabalho infantil nas áreas mineradas de caulim na mesorregião do Seridó;
- Criar mecanismos para o fortalecimento dos Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral e tentar sensibilizar as autoridades governamentais para inserir os APLs de Base Mineral na Política Mineral do Brasil.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. C. S.; RAMOS, A. J. S.; DINIZ, M. T. M. 2010. A problemática ambiental da extração de caulim no alto do chorão em Junco do Seridó/PB. Recuperado de: www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=1605.

AMATO NETO, J. Redes de cooperação produtiva e clusters regionais: oportunidades para as pequenas e médias empresas. São Paulo: Atlas, 2000.

ARAÚJO, S. M. S. de. Minerais e rochas: conceitos e características gerais para iniciantes. Campina Grande/PB: Oxente, 2022. 86 p.; il.

BARRETO, M. L. Formalização da mineração em pequena escala na América Latina e Caribe. Estudo financiado pelo Programa Minería Artesanal y Pequeña Escala do IDRC/CRDI/MPRI/IIPM, 2003.

BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, 1987. 185 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas.

BRASIL. Código de Mineração 1967. Código de Mineração: e o Mineral no Brasil: e legislação correlata. – 2. ed. – Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2011. 112p. – (Coleção ambiental; v.2)

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Cooperativismo Mineral no Brasil: o caminho das pedras, passo a passo. Ministério de Minas e Energia. Coordenação Antônio Fernando da Silva Rodrigues. Brasília: DNPM/DIDEM, 2008. 132p.: il. 21 x 29,7 cm. – Bússola Mineral/ISSN 1981-8513.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Gabinete do Ministério. Brasília, 2016.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Desenvolvimento Regional. Plano de Ação Integrada e Sustentável da Mesorregião do Seridó. Brasília, 2012. 176p.: il. A.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidades e Florestas – MMA/SBF. Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. Câmara de Coordenação e Revisão, 4. Mineração ilegal de ouro na Amazônia: marcos jurídicos e questões controversas – Brasília: MPF, 2020. 259p. – (Série manuais de atuação; v.7) ISBN 978-85-85257.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. Contratação de Consultoria para realizar o diagnóstico socioeconômico e ambiental da mineração em pequena escala no Brasil.

Termo de Referência nº 30. 2013. Recuperado de: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1869028/Termo+de+Refer%C3%Aancia+30.pdf/0283d3c1-32f7-4bd6-afbe-832cd021204a>.

BRASIL. Ministério Público Federal. Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM – 2030). Brasília: MME, 2010. 178p. 1v.: il. Anexos.

BEZERRA, M. S.; LIMA, A.A.; CORTEZ, C. M. B.; SILVA, F.O.; BRITO, J.S.; SOUZA, R.F.; PETTA, R.A.; SIQUEIRA, S.M.R. Arranjo produtivo local de minerais de pegmatitos RN/PB. Plano de Desenvolvimento Preliminar da Governança – PDP no âmbito do Projeto Desenvolvimento em Rede do Arranjo Produtivo em Pegmatitos RN/PB, Convênio FINEP nº 01.04.1125.00. Campina Grande, 2009.

BRITO, J.S.; LIMA, A.A.; PEREIRA, E.B. Diagnóstico sobre a produção de bens minerais na Província Pegmatítica da Borborema/Seridó RN/PB. Relatório Técnico dos Grupos de Lavra e Economia Mineral no âmbito do Projeto Desenvolvimento em Rede do Arranjo Produtivo em Pegmatitos RN/PB, Convênio FINEP nº 01.04.1125.00. Campina Grande, 2006.

BRITO NEVES, B. B. de. Elementos da geologia precambriana do Nordeste Oriental. In: 27º Congresso Brasileiro de Geologia, Aracaju, SE. Anais Sociedade Brasileira de Geologia, 1973. v. 2, p. 105-134.

BRITO, R. S.; BATISTA, J. F.; MOREIRA, J. G. V.; MORAES, K. N. O.; & SILVA, S. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação complementar. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 6(1), 528-540.

BUARQUE S. C. Metodologia de planejamento do desenvolvimento local e municipal sustentável. 2. Ed. Recife: IICA, 106 p. 1999.

CÂNDIDO, G. A. Desenvolvimento Sustentável e Sistema de Indicadores de Sustentabilidade: Formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas. Campina Grande: Editora UFCG, 469p. 2010.

COSTA, L. R. Homens de ouro: o metier de garimpeiro e os garimpos em Minas Gerais. In: 12º Congresso Brasileiro de Sociologia. Anais...SBS, p. 1-15, Recife, PE, 2007.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Paraíba. Diagnostico do Município de Equador. 2005. Recuperado de: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/rgnorte/relatorios/EQUA039.PDF>.

FERREIRA, G. C., et al. Programa de apoio à legalização mineral de olarias da região de Rio Claro, São Paulo. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 65(1), 119-126, jan. mar, 2012.

FERREIRA, J. A de M. Trilhas da Mineração no Seridó. – Campina Grande, PB. SEBRAE, 2011. 236 p.; il.; 24 cm.

FIRJAM. Manual de Licenciamento Ambiental: guia de procedimentos passo a passo. Rio de Janeiro: GMA, 2004. 23p.: il. ISBN

FREITAS A. F. de; & FREITAS A. F. de. Cooperativismo mineral no Brasil: características, desafios e perspectivas. – Viçosa, MG: Editora Asa Pequena, 212 p. 2021.

HARANTOVÁ, L. et al. Desenvolvimento da comunidade microbiana durante a sucessão primária em áreas degradadas por atividades de mineração. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Senso 2010. Recuperado de: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=240340>.

Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. Comissão Técnica de Meio Ambiente. Mineração e meio ambiente: impactos previsíveis e formas de controle. 2 ed. rev. Belo Horizonte, 1987.

Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. Comissão Técnica de Meio Ambiente. Grupo de Trabalho de Redação. Mineração e meio ambiente. Brasília, 1992. 126p.: il.

Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. Guia de Relacionamento Socioinstitucional para o Setor Minerário. – Brasília: Ibram, 2022. 131p.: il. Color; 31 cm. ISBN 978-85-61993-15-3.

IPEA. Boletim regional, urbano e ambiental/Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais. – n.10 jul.-dez., 2014 – Brasília: Ipea. Dirur, 2014 – ISSN 2177-1847

LEONE. N. M. C. P. G. A dimensão física das pequenas e médias empresas: a procura de um critério homogeneizador. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 53-59, abr. – jun. 1991.

LIMA. M. P.; & VIDAL, F. W. H. Relatório dos trabalhos de lavra desenvolvidos na área de caulim Galo Branco. Relatório técnico final elaborado para o Programa Entidades Associadas CETEM-UFCG. RRT 0011-00-16. Rio de Janeiro: CETEM, 33p., 2015.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F; PIQUET, B.; COSTA, M. J.; COELHO, J. M. Pegmatitos do Nordeste: diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2003. 49 p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 9).

MARTINS, J.; LIMA, P. C. R.; FILHO, A. P. de Q.; SCHÜLER, L. C.; PONTES. R. C. M. Setor mineral rumo ao um novo marco legal. – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2011. 276 p. – (Série cadernos de altos estudos; n.8).

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Minas e Energia. Manual de orientação básica ao pequeno e médio minerador. – Belo Horizonte: 2001. 60p.

NASCIMENTO, I. B. Problemáticas ambientais e aplicações à saúde do trabalhador. O caso do garimpo de Esmeraldas em Campos Verdes – GO. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

OECD. Governança regulatória no setor de mineração no Brasil. OECD Publishing, Paris, 2022.

PEREIRA, H. de L.; SOUSA A. P. F.; & VIDAL F. W. H. Contexto Produtivo do Caulim de Galo Branco em Equador, RN. HOLOS, Ano 38, v.8, e9376, 2022.

PORTER, M. E. Competição: estratégias competitivas essenciais. Rio de Janeiro: Campos, 1999.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. Guia metodológico: construindo pontes entre os ODS e a mineração. Brasília, DF: Luciana Bruno, 2022. 59p.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds). Ecologia e conservação da Caatinga. Ed. Universitária UFPE, Recife, PE, pp. 03-74, 2003.

QUEIROZ, C. A de. P. Estudos sobre as possibilidades de cooperação entre os atores nas micro e pequenas empresas do arranjo produtivo local de gemas e joias de Teófilo Otoni – MG. Teófilo Otoni: UFVJM, 2016. 183 p. il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade, 2016.

RESENDE, M. 500 anos de uso do solo no Brasil / Quintino Reis de Araújo (organizador). Capítulo 1. 605 p. – Ilhéus, Ba: Editus. 2002.

RODRIGUES, C. C.; GARCIA, M. F. Garimpo: extrativismo e precariedade das relações sociais de produção no Seridó paraibano. 2012. Recuperado de: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/jtrab/n1/22.pdf>.

SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 398p.: il.; 29cm.

SÁNCHEZ, L. E.; SILVA-SÁNCHEZ, S. S.; NERI, A. C. Guia para o planejamento do fechamento da mina. – 1. ed. – Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração, 2013. 224 p.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Expectativas do Mercado. In: Estudos & Pesquisa. SEBRAE – UGE. Número 48 – Dezembro, 2015.

SCORZA, E. P. Província Pegmatítica da Borborema. Rio de Janeiro, DNPM – DGM, 1944. 58p. (Bol., 112).

SILVA, F. A. N. G.; BERTOLINO, L. C.; LUZ, A. B. Estudo de beneficiamento do rejeito de caulim da região do Seridó. In: SIMPÓSIO DE MINERAIS INDUSTRIAIS DO NORDESTE, II, 2010, Campina Grande, PB.

SOUSA, A. P. F.; FARIAS, L. K. G. de; COSTA, J. B. B.; AZEVEDO, R. G. de.; SOUSA, D. D.; BEZERRA, C. S. A formalização da mineração em pequena escala no Seridó PB/RN e a sustentabilidade dessa atividade. In: 9º Congresso Brasileiro de Minas a Céu Aberto e Minas Subterrâneas (CBMINA) – IBRAM. UFMG, Belo Horizonte, MG, 2018.

SOUSA, A. P. F. Geologia, lavra e aproveitamento racional dos quartzitos da região de Várzea e Junco do Seridó – PB. Campina Grande – PB, 1999. 82 p. il. Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Minas – Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba.

SOUSA, A. P. F.; SILVA, V.F.; LIMA, R. R. O extensionismo mineral no aproveitamento do caulim no Equador, RN, e o caminho da sustentabilidade. In: 11º Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto e Mina Subterrânea (CBMINA) – IBRAM. UFMG, Belo Horizonte, MG, 2023.

SOUSA, A. P. F.; FARIAS, C. G. de; PASQUALI, M. A. de B.; MOURA, I. B. de A.; ARAÚJO, S. M. S. de; FERREIRA, D. D. de A. Use of kaolin and proposal to recover the mined area at Sítio Galo Branco, Ecuador, RN. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 7, 2021.

TAVARES, S. R. L. Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação – Sílvio Roberto Tavares de Lucena [et al.]. – Dados eletrônicos. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228 p.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. Rochagem uma questão de soberania nacional. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, Gramado, RS, 2011.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; RGEO, K. G.; MEDEIROS, F. P.; TALINI, N. L.; SANTOS, F. & OLIVEIRA, N. Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Rochagem, Poços de Caldas, MG, 2013, 32-41.

TRIGUEIRO, E. R. C.; OLIVEIRA, V. P. V. & BEZERRA, C. L. F. Indicadores biofísicos e a dinâmica da degradação/desertificação no bioma Catinga: estudo de caso no município de Tauá, Ceará. Revista Eletrônica do Prodepa, 3:62-82, 2009.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B. & PAREYN, F. G. C (Eds). Ecorregiões: propostas para o bioma Caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental –The Nature Conservancy do Brasil, 76p., 2002.

VILLAS BÔAS, R. C. Indicadores de desenvolvimento sustentável para a indústria extrativa mineral. Guia Prático. Rio de Janeiro: CETEM/MCT/CNPq/CYTED, 28p., 2009.