



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS-RN
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MARIA KAUANA MESQUITA RODRIGUES

**A OCORRÊNCIA DO MINERAL BERÍLIO NO SEMI-ÁRIDO POTIGUAR:
UM ESTUDO DE CASO EM TENENTE ANANIAS - RN**

PAU DOS FERROS-RN

2017

MARIA KAUANA MESQUITA RODRIGUES

**A OCORRÊNCIA DO MINERAL BERÍLIO NO SEMI-ÁRIDO POTIGUAR:
UM ESTUDO DE CASO EM TENENTE ANANIAS- RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros,
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Marília Cavalcanti Santiago, Prof.
Me.

PAU DOS FERROS-RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M696o Mesquita Rodrigues, Maria Kauana .
A OCORRÊNCIA DO MINERAL BERÍLIO NO SEMI-
ÁRIDO POTIGUAR: UM ESTUDO DE CASO EM TENENTE
ANANIAS -
RN / Maria Kauana Mesquita Rodrigues. -
2017.
54 f. : il.

Orientadora: Marília Cavalcanti Santiago.
Monografia (graduação) - Universidade
Federal Rural do Semi-árido, Curso
Ciência e Tecnologia, 2017.

1. Berílio. 2. Prospecção. 3. Extração.
I. Cavalcanti Santiago, Marília, orient. II.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARIA KAUANA MESQUITA RODRIGUES

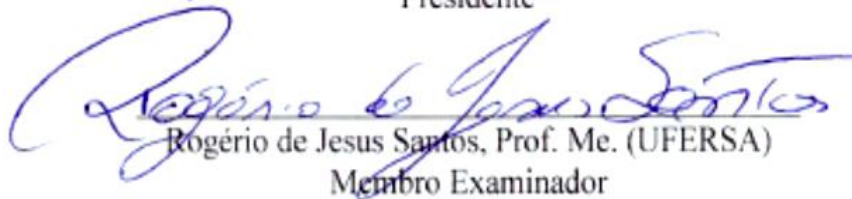
**A OCORRÊNCIA DO MINERAL BERÍLIO NO SEMI-ÁRIDO POTIGUAR:
UM ESTUDO DE CASO EM TENENTE ANANIAS - RN**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido, Centro
Multidisciplinar de Pau dos Ferros,
como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 23/10/2017

BANCA EXAMINADORA


Marília Cavalcanti Santiago, Prof. Me. (UFERSA)
Presidente


Rogério de Jesus Santos, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador


Otávio Paulino Lavor, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Quero iniciar, agradecendo a Deus pela vida, por ter me dado sabedoria, paciência e força para conseguir vencer as dificuldades encontradas durante toda essa caminhada.

Agradeço à toda minha família pelos ensinamentos dos reais princípios da vida, em especial aos meus pais, Antônio Rodrigues Neto e Elza Maria de Mesquita Rodrigues, pois estes sempre apoiam e respeitam as minhas decisões. As minhas irmãs, Maria Kaline Mesquita Rodrigues e Maria Kayza Mesquita Rodrigues, eternas amigas e companheiras de vida. A minha tia, Maria Rodrigues por ser tão presente. Obrigada por tudo, amo vocês!

Agradeço todos os meus amigos pela cumplicidade e por estarem ao meu lado em todos os momentos, sejam quais forem as circunstâncias.

Agradeço, a minha orientadora Marília Cavalcanti Santiago, pelo conhecimento adquirido, ajuda, paciência e compreensão nesses meses.

Agradeço aos meus mestres que tiveram papel fundamental na minha formação. Sou eternamente grata pelos ensinamentos, por tudo que aprendi com vocês, e pela ajuda nesta grande caminhada acadêmica que é o curso de Ciência e Tecnologia.

Enfim, agradeço a todos que, fizeram e fazem parte da minha vida, seja de forma direta ou indireta.

DEDICATÓRIA

Dedico,
À minha família que é a base sólida
na qual me apoio quando preciso.

Algo só é impossível até que alguém
duvide e resolva provar o contrário”.

(Albert Einstein)

RESUMO

O Rio grande do Norte se destaca no setor mineral brasileiro e a ocorrência do mineral berílio, mais precisamente a água marinha, uma de suas variedades, é uma das gemas mais abundantes do estado e, por sua vez, marca a história do município de Tenente Ananias. Neste trabalho foram realizadas pesquisas bibliográficas e de campo na área mineradora, entrevistas com garimpeiros, mostrando a importância do mineral gema, sendo averiguado, também, os principais métodos de extração e prospecção do mineral usados no garimpo, cujos métodos são determinantes para que seja possível explorar sua potencialidade mineral, de forma eficiente e sustentável, em benefício da sociedade potiguar e em prol de uma inserção mais competitiva do Estado na economia brasileira. É sabido que a exploração do mineral berílio requer a utilização maciça do conhecimento científico e dos depósitos minerais, porém, isto não ocorre no município em estudo onde a extração possui caráter rudimentar e precário. Contudo, apesar dos empecilhos das pesquisas relacionadas à exploração mineral e desafios, é preciso repensar neste setor mineral, avaliando a inserção do mesmo no contexto regional, bem como cenários e perspectivas estratégicas futuras para o setor. Foi buscando soluções sobre o atual cenário que foram sugeridas algumas medidas para solucioná-las, como o planejamento, usos de equipamentos de segurança e esclarecimentos aos mineradores e garimpeiros acerca da importância das técnicas de exploração e prospecção e que por sua vez ajudará na preservação e conservação da área, possibilitando assim um menor impacto ao meio ambiente. Este estudo visa contribuir com o desenvolvimento e o fornecimento de informações relacionados a ocorrência de minerais dando destaque ao berílio, e à exploração mineral destes no Alto Oeste Potiguar, pois são poucos os estudos realizados nesta área.

Palavras-chave: Berílio, Prospecção, Exploração.

ABSTRACT

Rio Grande do Norte stands out in the Brazilian mineral sector and the occurrence of the mineral beryllium, more precisely the marine water (one of the mineral varieties) is one of the most abundant gemstones of the state and, in turn, marks the history of the municipality of Lieutenant Ananias. In this work will be carried out bibliographical and field research in the mining area, interviews with prospectors, showing the importance of the mineral gem, being also investigated the main methods of extraction and prospecting of the mineral used in the mining, since such methods are determinant for it to be mineral potential, in an efficient and sustainable way, to the benefit of the Potiguar society and in favor of a more competitive insertion of the State into the Brazilian economy. It is known that the exploitation of the beryllium mineral requires the massive use of scientific knowledge and mineral deposits, but this does not occur in the municipality under study where extraction is of a rudimentary and precarious nature. However, despite the research impediments related to mineral exploration and challenges, it is necessary to rethink the mineral sector, assessing its insertion in the regional context, as well as future strategic scenarios and perspectives for the sector. It was seeking solutions on the current scenario that some measures were suggested to solve them, such as planning, use of safety equipment and clarification to miners and prospectors about the importance of exploration and prospecting techniques and that in turn would help in the preservation and conservation of the area, thus enabling a lesser impact on the environment. This study aims to contribute to the development and supply of information related to the occurrence of minerals and mineral exploration of these in the Potiguar High West, as few studies have been carried out in this area.

Keywords: **Wind:** Beryllium, Prospecting, Exploration.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CM - Código De Mineração

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

CRPM - Serviço Geológica do Brasil

EPI - Equipamento de Proteção Individual

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEN - Instituto de Engenharia Nuclear

IG - Instituto Geológico

MG – Minas Gerais

NRM - Normas Regulamentadoras de Mineração

PA - Pará

PL - Plano de Lavra

PBI - Produto Interno Bruto

USGS - United States Geological Survey

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala De Dureza de Mohs.....	14
Figura 2 - O Bérilio Em Diferentes Cores.....	17
Figura 3 - Principais Estatísticas do Brasil.....	28
Figura 4 – Mapa do Local de Estudo: Tenente Ananias	30
Figura 5 - Etapas da Pesquisa de Campo.....	32
Figura 6 - Mapa do Rio Grande do Norte	33
Figura 7 - Mineral Berílio No Estado Bruto.....	34
Figura 8 - Pedra Contendo Feldspato Na Coloração Rosa.	35
Figura 9 - Cristal De Quartzo	35
Figura 10 - Pedras de Berilo Contendo Água Marinha	36
Figura 11 - Pedras De Água Marinha Onde A Cor Varia Entre O Azul Pavão E O Verde	36
Figura 12 - Entrada Do Túnel	37
Figura 13 - Instalações Elétricas	37
Figura 14 - Entrada De Um Dos Túneis De Água marinha	40
Figura 15 - Área Devastada.....	41

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	111
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1.	Minério	13
2.2.	Berílio: Histórico	15
2.3.	Propriedades e características do Berílio	16
2.4.	Métodos De Prospecção	18
2.4.1.	Métodos Geofísicos de Prospecção	19
2.4.2.	Método Magnético	19
2.4.3.	Método Gravimétrico	20
2.4.4.	Métodos Sísmicos	20
2.4.5.	Método da Eletroresistividade	21
2.5.	Métodos De Extração	21
2.6	Normas Reguladoras De Mineração – NRM	23
2.7.	Gema De Água Marinha	24
2.8.	Principais Minas Brasileiras	26
2.9.	Reservas Nacionais do Berílio	26
2.10	Importação e Exportação	28
2.11.	O Rio Grande do Norte quanto a ocorrência de Minérios	28
2.12.	Tenente Ananías	30
3.	METODOLOGIA DA PESQUISA	32
4.	RESULTADOS	33
5.	CONCLUSÃO	43
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
7.	ANEXO A - QUESTIONÁRIO	50

1. INTRODUÇÃO

Em 1943, o minério berílio de água marinha foi descoberto no município de Tenente Ananias no Rio Grande do Norte, mas o processo de exploração teve início a partir de 1954, e com a chegada dos garimpeiros no ano de 1968, atingiu o seu fortalecimento. Porém, foi na década de 80 que a extração do mineral alcançou o seu auge, consequência disto, foi o apoio técnico garantido pelo governo do Estado (Rêgo, 1991).

O Rio Grande do Norte tem se destacado na produção, diversidade e qualidade dos minerais que afloram em seu território. O mineral que ocorre com maior frequência no Estado é o berílio, a pesar de Minas Gerais ser o maior produtor nacional, é o Rio Grande do Norte que possui a gema mais abundante e valiosa no território nacional, tanto pela quantidade de jazidas, como pela qualidade e variedade produzida (MORAES, 1999). Os municípios de Tenente Ananias e Lajes Pintadas são os maiores produtores do Estado do Rio Grande do Norte (NESI, 1999), que por conseguinte, caracteriza o crescimento social e econômico para os municípios que possuem tais gemas, como é o caso do município de Tenente Ananias.

O berílio é um mineral que possui as suas variedades, segundo suas colorações, sendo todas consideradas preciosas desde a pré-história destacando-se: a água marinha (berílio azul), a esmeralda escarlate (berílio vermelho), a esmeralda (berílio verde), a morganita (berílio rosa ou alaranjado) dentre outras (WOHLER e BUSSY Apud BLACK, 2016). Essa variação de cores deve a presença de certos minerais em sua composição, como por exemplo: verde – presença de crômio e vanádio; azul – presença de ferro; rosa ou alaranjado – presença de manganês, ferro e titânio. Os minerais são sólidos inorgânicos e cristalino que têm composição química em proporções características e cujos átomos são arranjados em um padrão interno sistemático (CHIOSSI, 2013).

Apesar do município de Tenente Ananias produzir uma grande quantidade de água marinha, a tecnologia para geração de produtos derivados do berílio, de alto valor agregado, não está disponível no país. Porém, no Brasil a maior parte das gemas extraídas são exportadas em seu estado bruto, consequentemente, o valor é muito inferior ao do produto final, embora não se tenha uma estimativa confiável desses valores (PEREIRA, 2004). Por isso, é necessário um estudo mais aprofundado sobre alguns aspectos técnicos de extração e prospecção ainda pouco abordados.

No Alto Oeste Potiguar, há poucos estudos geológicos, especialmente com enfoque voltado para a caracterização de controles e guias prospectivos para a exploração e extração de gemas de água marinha. Diante disso, esta pesquisa visa contribuir para o preenchimento

desta lacuna, tendo sido selecionadas algumas minas para estudos de detalhe. Este estudo representa investigações sistemáticas da caracterização desta região. O intuito desta pesquisa é mostrar os métodos de prospecção e caracterização do mineral berílio, no município de Tenente Ananias, embora na região pesquisada neste trabalho, não exista tecnologia segura para a obtenção e extração do mineral berílio e do sub-produto água marinha.

O objetivo principal neste trabalho é reunir informações tecnológicas e científicas sobre as características física, química e gemológica do mineral berílio, além de analisar o processo de extração do mineral e detecção das gemas de água marinha, no município de Tenente Ananias. Destacam-se como objetivos específicos:

- Identificar o processo de prospecção do mineral berílio;
- Caracterizar os métodos utilizados no garimpo;
- Analisar as condições em que o mineral é extraído e seus impactos no meio ambiente;
- Observar como ocorre o processo de obtenção do berílio;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Minério

Minério é um mineral ou uma junção de minerais que tem valor econômico viável para sua extração (BRANCO). De acordo com o Instituto Geológico (2017), os minerais apresentam peculiaridades químicas, físicas e ópticas moderadamente homogêneas, as quais possibilitam classificá-los por meio de procedimentos específicos, como peso, brilho, cor, dureza, tenacidade entre outros.

A cor não é uma característica decisiva na maioria dos minerais para reconhecê-los, pois estes podem apresentar as mais diversas cores ou tonalidades, pois, muitas vezes, as substâncias que dão a cor são misturas metálicas, como por exemplo: ferro, cobalto, manganês, níquel, cobre e cromo. A cor pode ser influenciada por fatores, como a irradiação atmosférica e as impurezas mecânicas (SCHUMANN, 2008).

O brilho é a aparência de um mineral na luz refletida, como por exemplo, nas pedras preciosas, o brilho é um fator determinante na sua qualidade e este pode ser intensificado se a superfície do mineral for polida. De acordo com WICANDER e MONROE (2009), existem dois tipos básicos de brilho: os metálicos e não metálico. Os materiais sem brilho são determinados materiais foscos. O brilho é prejudicado por sedimentos ou fenômenos de erosão superficiais, porém a cor não sofre influência.

Segundo, SCHUMANN (2008) a fratura é conceituada como a desagregação de um mineral, segundo superfícies irregulares causada por alguma colisão, a qual é diferenciada entre fratura concóide, estilhaçada, serrilhada, irregular, terrosa e fibrosa. Então, qualquer mineral irá fraturar, se uma força suficiente a ele for aplicada, mas a superfície da fratura não será regular como na clivagem (WICANDER e MONROE, 2009).

A clivagem de um mineral pode ser compreendida como a tendência do mesmo a se quebrar ou se dividir, ao longo de um plano liso, ou planos de fragilidade, determinado pelas ligações dentro dos cristais individuais (WICANDER e MONROE, 2009). De acordo com Schumann (2008) conforme a facilidade com que o mineral se deixa fragmentar assim se diz que a clivagem é muito perfeita ou imperfeita.

A densidade de um mineral é a razão do seu peso por um peso de água de igual volume. Como todos os coeficientes, o peso específico não é expresso em unidades, sendo este um número adimensional (WICANDER e MONROE, 2009). A variação da densidade nos minerais depende de sua composição e estrutura. Um mineral com densidade inferior a 2

é considerado leve, o de 2 a 4 é considerado normal, e o superior a 4 é considerado pesado (SCHUMANN, 2008).

A escala de dureza foi criada pelo mineralogista vienense Friedceich Mohs, a qual ficou conhecida como: A Escala de Dureza de Mohs, e é considerada válida até o momento atual (Figura 01), além disso está ilustrado também coo eles se apresentam na natura (Figura 02). A dureza do mineral pode ser identificada riscando-o com minerais comparativos ou com objetos de dureza conhecido, entre 1 e 2 são considerados macios, de 3 a 6 de dureza média e os de dureza superior a 6 são considerados duros. Os minerais de dureza entre 8 e 10 são as pedras preciosas, pois muitas destas possuem a dureza referida (SCHUMANN, 2008).

Figura 1 - Escala de Dureza de Mohs

DUREZA	MINERAL
1	Talco, (pode ser arranhado facilmente com a unha)
2	Gipsita (ou Gesso), (pode ser arranhado com unha com um pouco mais de dificuldade)
3	Calcita, (pode ser arranhado com uma moeda de cobre)
4	Fluorita, (pode ser arranhado com uma faca de cozinha)
5	Apatita, (pode ser arranhada dificilmente com uma faca de cozinha)
6	Feldspato/Ortoclásio, (pode ser arranhado com uma liga de aço)
7	Quartzo, (capaz de arranhar o vidro. Ex: Ametista)
8	Topazio, (a Esmeralda também possui esta dureza)
9	Corindon, (safira e rubi são formas de corindon)
10	Diamante, (é o mineral mais duro)

FONTE: G. Alexandre, 2013

Comumente, os minerais são sólidos e possuem composição química característica, muitas vezes, formado por processos inorgânicos. De modo geral, pode-se dizer que os minerais se encontra em formas de cristais, com faces externas planas. Um cristal é um corpo materialmente uniforme no qual apresenta estrutura regular das suas partículas mínimas, como: átomos, moléculas ou íons e, por conseguinte, os minerais sem estrutura regular são chamados amorfos, isto é, não cristalinos (SCHUMANN, 2008).

Além disso, segundo o mesmo autor, o processo de formação dos minerais é diversificado, sendo resultado de lavas vulcânicas, líquidos e gases em fusão, recristalização e dissoluções químicas.

Mas não é sempre que tais minerais estão presentes na natureza na forma em que serão consumidos pela indústria, pois, muitas vezes, estes estão associados a outros minerais, os quais não possuem interesse ou são indesejáveis para o processo industrial. O beneficiamento dos minérios é usado para a adequação dos minerais aos processos industriais.

Segundo Laserna e Rezende (2013), na civilização moderna, os minerais dão existência aos insumos básicos., fazendo parte das indústrias do aço, de cimento e cal, química, de papel, cerâmica, do vidro, além da construção civil (areia, brita e cascalho), e também na indústria joalheira (gemas).

De acordo com o Instituto Geológico (2004), na natureza existe aproximadamente 2000 espécies de minerais, mas neste trabalho será abordado o mineral berílio, sendo uma de suas variações a água marinha. O mineral pode ser detectado em tipos de depósitos distintos. Frequentemente, o berilo gema está agregado a pegmatitos graníticos, ou seja, formado por micas, quartzo e feldspatos, entretanto, ele pode estar presente também, em depósitos secundários, como aluviões e colúvios (POLLI, 2006).

Porém, muitas vezes, os minerais presentes na natureza não estão na forma em que serão consumidos pela indústria, pois estes podem estar associados a outros minerais, os quais não possuem interesse ou são indesejáveis para o processo industrial. O beneficiamento dos minérios é usado para a adequação dos minerais aos processos industriais.

Um silicato do berílio é a bertrandita, apresenta composição química $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$, cujo conteúdo teórico varia entre 0,70 e 1,0% de BeO. Presente na natureza nas seguintes cores: amarela, branca ou incolor, comum na forma de pequenos cristais tabulares, ortorrômbicos, e com granulação muito fina. Com clivagem basal perfeita, tendo um diâmetro de 0,025 mm, dureza 6 e massa específica 2,60 g/cm³ (BEZERRA e NESI, 2005).

2.2. Berílio: Histórico

A etimologia da palavra berílio é antiga: derivada do grego beryllos, que significa “bela cor azul-esverdeada da água do mar” (GANDINI et al, 2001). Sendo uma de suas variantes a água marinha, porém a variante mais conhecida é a esmeralda que apresenta cor esverdeada. Descoberto há mais de 5000 anos por constituir gemas preciosas como a água marinha e a esmeralda. Há vestígios de seu uso datados ao longo das primeiras dinastias faraônicas (OLIVEIRA, 1965).

Através do mineral berílio foi descoberto o “óxido de berílio” pelo francês e químico Nicholas Louis Vauquelin, em 1798. Porém, foi só em 1828, na Alemanha, pelo químico

Friedrich Wöhler que o metal berílio foi obtido em laboratório, pela primeira vez, pela redução de cloreto de berílio com potássio metálico em cadinho de platina. Similarmente, A. A. Bussy, na França, isolou o metal berílio, empregando o mesmo método. Wöhler e Bussy chamaram, respectivamente de berílio e glucínio (Neves, 1987).

A produção do berílio em escala mundial foi observada em 1921, porém a utilização e extração deste não obtiveram sucesso até a segunda guerra mundial (PEREIRA, 2004). Ainda, segundo o autor referenciado, com o progresso tecnológico foi necessário a criação de novos materiais e propriedades, principalmente na época em que o berílio era destaque em diversas áreas de aplicações.

Processos para a obtenção do berílio metálico, e sua transformação para o aproveitamento comercial foram desenvolvidos, por países, como Estados Unidos, França e Rússia, entre 1940 e 1950, sendo que o campo de grande interesse no desenvolvimento do berílio foi a nuclear, decorrente das suas excepcionais propriedades nucleares (Neves, 1987).

São nos solos brasileiros que estão presente as maiores reservas mundiais de berílio e, este mineral apresenta-se agregado a micas, minerais acessórios dos pegmatitos e ao quartzo (OLIVEIRA, 1965).

O minério que existe em grande quantidade no Brasil é chamado de escória (ou berílio industrial, ou seja, a gema não tem valor) pelos garimpeiros, ou seja, ele é usado como minério do metal berílio (GANDINI et al, 2001).

Os estados produtores do minério em questão, segundo Oliveira (1965) e Gandini (2001) são: Minas Gerais (maior produtor nacional), Bahia, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte.

A partir de 1955, o domínio da tecnologia do berílio, e de suas ligas, vem se tornando um objetivo de extrema relevância para os países em desenvolvimento (Neves, 1987). Estabelecendo como um metal estratégico, diante às suas aplicações específicas na área espacial.

2.3 Propriedades e características do Berílio

O Berílio é um dos metais mais leves presentes na natureza, com fórmula química - $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, pertence à família dos alcalinos terrosos, apresentando o mais alto ponto de fusão e em temperatura ambiente, é resistente à oxidação pelo ar. Sendo resultado da passivação da superfície, ou seja, à formação de uma camada de óxido que bloqueia a corrosão (WHITE, 1955).

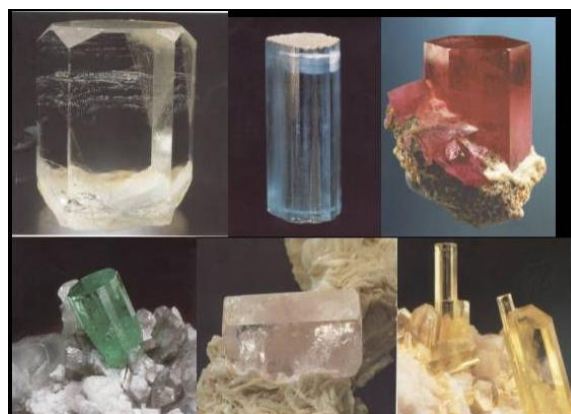
O Berílio é comum sob a forma de silicatos. Sendo composto por silicatos de berílio e alumínio (Deer et al. 1966). As variedades de berílio, muitas vezes, apresentam impurezas são os chamados álcalis, os quais contém Hidróxidos e carbonatos de Lítio (Li), Sódio (Na), Potássio (K), Césio (Cs) e Rubídio (Rb). Contém, também, embora em pequenas quantidades água (H₂O), Cromo (Cr), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Íons ferro (como: Fe²⁺ e Fe³⁺), Hélio (He), Argônio (Ar) e Dióxido de Carbono (CO₂) (Beus 1966).

O Berílio possui divergências quanto à estrutura química e estrutural, já que existem contradições em relação à posição estrutural dos íons. Exemplo disto, é a influência do ferro na cor do berilo, pois mesmo sendo observado e verificado pelos mais diversos autores, não existe resposta específica sobre o fator da valência e/ou número de coordenação do mineral em estudo. De acordo com Goldman et al. (1978), o fator condicionante da mudança de cor da água-marinha desde o azul muito pálido a azul-médio, azul-esverdeado ou verde é resultado das proporções relativas à presença de íons Fe²⁺ associados ou não a Fe³⁺, em coordenação octaédrica, e de íons Fe²⁺ em canais da estrutura do berilo.

Comumente, os berilos são identificados a partir de sua característica principal que é a forma hexagonal e possuem um brilho especial vítreo transparente (Deer et al. 1966). Às propriedades ópticas do berílio: cor do material e transparência, são de extrema relevância para a aplicação do mineral como gema.

A pedra pura é incolor, mas existe também outras variações conhecidas e valiosas, sendo possível visualizar na figura 3 a seguir, como: esmeralda vermelha (ou berilo vermelho), água-marinha (ou berilo azul), morganita (ou berilo rosa); berilo dourado, gochenita (ou berilo incolor, raramente utilizado como gema), e o amarelo-esverdeado, conhecido como heliodoro (POLLI, 2006).

Figura 2 - O berílio em diferentes cores



Fonte: Korbelt e Nývák, 2000.

De acordo com o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN, 1984), a resistência deste metal à tração é maior que a do alumínio e do magnésio e menor densidade que a do alumínio. O calor é praticamente duas vezes maior que a desses metais, mas a expansão térmica é menor que a do magnésio e do alumínio, enquanto o calor específico é quase duas vezes a desses metais, segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 1984).

O berílio possui elevada eletronegatividade, o qual se aproxima do alumínio. (OLIVEIRA, 1965). Similarmente, um dos fatores os quais contribuem para a estabilidade dos retículos cristalino, nos minerais de berílio, é o seu pequeno raio iônico garantindo e fortalecendo a ligação entre os elétrons e o núcleo.

Expondo alta permeabilidade aos raios-X e sendo totalmente transparente aos raios-X, é o mais efetivo endurecedor conhecido para o cobre e contém o maior calor de combustão – menor somente que o do hidrogênio (HAYES, 1969).

Por outro lado, berílio possuem também algumas propriedades que o tornam como material de alto valor. Como por exemplo, as propriedades nucleares com alta seção de choque de espalhamento de nêutrons e sua baixíssima seção de choque de apreensão de nêutrons, que o transformam em moderador e refletor em reatores nucleares (DEMA, 1984).

O berílio possui ampla variedade de usos, como por exemplo, associado ao cobre produz: Instrumentos que produzem fagulhas (explosivos), armas automáticas de rápido acionamento, Escovas de Contato Elétrico, entre outros. O berílio possui grande rigidez e características nucleares, por isso é bastante usado em Sistemas de Orientação, Acelerômetros Giroscópios e Plataformas Estáveis (DDEM, 2003).

Economicamente, o mineral em estudo é extraído do berílio industrial, onde o mineral presente é obtido na cor branca e quando não está cristalizado se apresenta na forma irregular, e também da bertrandita, sendo a maneira mais frequente.

2.4 Métodos De Prospecção

Prospecção é uma atividade fundamental que visa identificar, detectar e descobrir as ocorrências dos minerais, sendo um procedimento de longo prazo, que depende de fatores geológicos, técnicos, ambientais, legislativos, econômicos, sociais e políticos. É um processo de criatividade intelectual e científica, o qual exige desenvolvimento de técnicas analíticas e teste contínuo de ideias geradas (DUTRA, 2012).

Estudos de prospecção são extremamente relevante para o reconhecimento e incorporação de novas reservas. Os instrumentos disponíveis são os métodos diretos:

sondagem, análises químicas, amostragem de solo e rocha; e indiretos: análise de sensores remotos, métodos geofísicos (BETTENCOURT, 1972).

É através do levantamento e análise dos elementos geológicos, como: a estruturas geológicas, a natureza dos fluidos mineralizantes, entre outros, que é possível investigar as estruturas dos depósitos minerais. Tais elementos são extremamente relevantes para o estabelecimento de modelos prospectivos, ou exploratórios apropriados. Além disso, a aplicação dos métodos de prospecção ocasiona redução considerável de custos.

2.4.1 Métodos Geofísicos de Prospecção

A prospecção mineral tem uma de suas mais importante e eficientes ferramentas: a geofísica. Está é a ciência na qual permite distinguir os diferentes tipos de rocha e estruturas geológicas, podendo ser aplicada nos seguintes campos: prospecção de minérios, exploração de petróleo e estudos para prospecção de água subterrânea e investigação (Chiossi, 2013). Segundo o autor referenciados, os métodos geofísicos são: gravimétricos, magnéticos, elétricos, sísmicos.

Os métodos geofísicos terrestres são utilizados em casos de detalhamentos nas ocorrências minerais e para indicação de alvos relevantes para perfuração e amostragem (BETTENCOURT, 1972). Sendo assim, por meio deste método é possível encontrar e delinear feições e estruturas de potencial interesse em sub superfície.

Além disso, os métodos geofísicos possibilitam levantamentos com rapidez, ainda que sob incertezas e ambiguidades comparativamente maiores. De modo geral, são bastante comuns, principalmente pelo baixo custo e à perspectiva de cobertura de amplas áreas, integrando um instrumento fundamental em pesquisa mineral (BETTENCOURT, 1972).

2.4.2 Método Magnético

Um dos métodos usados na detecção de jazidas minerais é o campo magnético terrestre. Por meio desta técnica é possível determinar anomalias do campo magnético da Terra, além de verificações da geologia de superfície e sub superfície, com diversas aplicações, desde sondagens de pequena escala a estudos geológicos regionais com o propósito de prospecção de recursos naturais (ERNESTO e USSAMI, 2002).

Tal técnica é fundamentada no poder de magnetização do campo magnético terrestre e na susceptibilidade magnética, resposta magnética das rochas e dos minerais que é

estabelecida pela porção de materiais magnéticos presentes, diferenciada dos materiais da Terra (CORREIA, 1997).

Existem alguns problemas quanto a interpretação dos métodos geofísicos, consequência disto é o fato do campo magnético está sujeito a variações periódicas. Porém, se tais variações forem controladas, está torna-se uma das ferramentas mais versáteis usadas em prospecção geofísicas (CORREIA, 1997).

2.4.3 Método Gravimétrico

O método gravimétrico consiste em medir variações e caracterizar irregularidades no campo da gravidade terrestre, associada a curtos intervalos de amostragem, resultantes das diferenças de densidade entre as várias rochas situadas em sub superfície (ERNESTO e USSAMI, 2002).

As irregularidades, são chamadas de anomalias, são consequências das variações laterais na densidade dos materiais, causadas por estruturas geológicas de densidades distintas (Telford et al., 1990).

Porém, este método de prospecção não pode ser aplicado ao berílio, já que a densidade relativa deste mineral é quase igual à do quartzo e do feldspato (PEREIRA, 2004).

2.4.4 Método Sísmicos

O método sísmico consiste na emissão de ondas sísmicas, as quais são identificadas a partir de ferramentas capazes de reconhecer os movimentos do solo, construídas artificialmente por meio do impacto de explosões, tiros de ar comprimido e colisões mecânicas (ERNESTO e USSAMI, 2002). Segundo o autor citado anteriormente, os sismógrafos que fazem o registro das ondas, porém, existe versões modernas que fornecem registros digitais, cujos dados estão prontos para serem analisado, além disso, existe dois métodos para analisar as ondas: método sísmico de reflexão empregado para verificar as ondas refletidas ou método sísmico de refração utilizados para as ondas refratadas.

Os métodos sísmicos, por exemplo, são uma ferramenta fundamental para detectar as estruturas que hospedam depósitos minerais a grande profundidade, e também para

planejamento de mina e exploração (MALEHMIR et al., 2012). Tal método, exibe imagens de alta resolução das estruturas geológicas, os quais os depósitos minerais estão presentes.

Sendo uma prática comum nos países, como Austrália, Canadá, África do Sul, a execução de levantamentos sísmicos 3D (PRETORIOUS et al., 2007; MACDOWEL et al., 2007).

2.4.5 Método da Eletrorresistividade

Dos métodos geofísicos, particularmente a eletrorresistividade, vêm se consolidando como uma ferramenta eficaz na prospecção de minérios. Porém, existem vários outros métodos de prospecção. Os mais utilizados são: prospecção geofísica, prospecção geoquímica, prospecção por luminescência (fluorescência, fosforescência e termoluminescência) e prospecção de minerais pesados (BETTENCOURT, 1972).

Contudo, os métodos elétricos e eletromagnéticos são aplicados nos mais variados estudos de minerais, dentre eles, nos estudos de minerais metálicos e prospecção de sulfetos. Enquanto, os métodos geoquímicos são essenciais para a constatação de zonas de concentração, além da associação com estruturas previamente determinadas.

Todavia, nas minas brasileiras os modelos empíricos foram e continuam a ser empregados como uma vantagem estratégica. Vale salientar também que as descobertas são consequências, principalmente, do uso de técnicas reais e já testadas, as quais evoluíram gradativamente devido sobretudo ao desenvolvimento tecnológico e ao conhecimento industrial acumulado (HOLLIDAY; COOKE, 2007).

2.5 Métodos De Extração

Segundo Pereira (2012), a extração geológica tem como objetivo principal de reconhecer a potencialidade mineral de vastas áreas, por intermédio da utilização de mapas geológicos, geoquímicos, metalogenéticos e geofísicos, além de imagens provenientes dos vários modelos de sensores vinculados a satélites ou aerotransportados. Este mesmo autor ressalta ainda que nesta fase são raros os dados primários, conseguido através de levantamentos geológicos de campo expeditos. O fator determinante desta fase é separar as áreas para que possam em seguida ser trabalhadas mais minuciosamente.

As técnicas de extração empregadas na atividade de mineração estão em constante evolução. Segundo Silva (2016), tais técnicas são empregadas com o objetivo de aumentar a segurança, reduzir o trabalho manual repetitivo, ergonomia, e aumentar a eficiência e a produtividade geral.

São três variedades de lavra frequentes: a céu aberto, subterrânea e por dissolução (GERMANI, 2002). No caso do Brasil, são frequentes lavras a céu aberto, mas existem também minas subterrâneas, porém são mais raras.

O plano de lavra é elaborado de acordo com os seguintes aspectos: topografia, dimensões e zoneamento do corpo, a competência das rochas encaixantes, entre outros. Estes são calculados para que não ocorra perdas do mineral a ser extraído.

Os métodos de lavra a céu aberto ocorrem da seguinte forma: o corpo mineral é cortado em posições horizontais, verticalmente equidistantes, a proporção que a aumento de profundidade ocorre o desnível topográfico e é possível obter o pegmatito, enquanto na lavra subterrânea, são escavadas galerias, túnel ou poço para encontrar o pegmatito. (BEZERRA E NESI, 2005).

Nas rochas duras, a perfuração é feita com o uso de explosivos, embora nas rochas brandas seja feita através de ferramentas manuais: trator de esteira, escavadeiras ou pás mecânicas, os quais são empregados no carregamento do minério (BEZERRA E NESI, 2005).

No Brasil, a extração de pedras preciosas ou semipreciosas é desenvolvida também, por uma atividade denominada de garimpo, esta atividade busca a produção do berílio e da água marinha, onde são obtidos minérios como: ouro, diamante, esmeralda, águas marinhas entre outros. Frequentemente, a garimpagem é executada de forma tradicional nas margens de rios, em locais que recebem grande volume de sedimentação e em planícies fluviais.

É possível destacar alguns dos principais métodos de lavra, todavia existem mais de trezentas variações. Os métodos são restritos pela disponibilidade e desenvolvimento dos equipamentos e, como todos os elementos os quais influenciam em sua seleção, precisam ser observados considerando os aspectos tecnológico, econômico, político e social.

A escolha do método de lavra pode ser dividida em duas etapas, são elas: analisar as condições geológicas, sociais e ambientais para permitir a eliminação de alguns métodos que não estejam de acordo com os critérios desejados; escolha do método que apresente o menor custo, sujeito às condições técnicas que garantam uma maior segurança (MACÊDO, 2001).

Geralmente, as minas empregam mais de um método de lavra na sua operação, cuja seleção do método tem como perspectiva os aspectos ambientais, econômicos e sociais. Garantindo condições ambientais apropriadas e fundamentais para os operários, reduzindo

assim, os impactos causados ao meio ambiente, além de assegurar a máxima recuperação de minério com mínima diluição estrutura disponível. (MACÊDO, 2001).

É comum a aplicação do método de lavra subterrânea quando o depósito alcança grandes profundidades e a relação material estéril versus minério é alta (SILVA, 2010).

De acordo com Machado (2011), as minas subterrâneas evidenciam a convergência em adotar grandes profundidade e maiores dificuldades de acesso, ocasionando em riscos do negócio. Embora, as lavras que possuem maior profundidades solicitem técnicas mais modernas de mineração, permitem a expansão de produtividade, visando obter uma margem de lucro de maior. Então, a modernização dos métodos de lavra requer um aumento aceitável da mecanização das atividades operacionais de lavra.

2.6 Normas Reguladoras De Mineração – NRM

De acordo com as Normas Reguladoras de Mineração – NRM, o objetivo principal é controlar e instruir a extração das jazidas de formas que os recursos tenham o máximo aproveitamento possível, tendo em vista as condições técnicas e tecnológicas de operação, de segurança e de proteção ao meio ambiente. Ou seja, melhorando e tornando o planejamento e o desenvolvimento da atividade minerária compatíveis com a constante procura da saúde dos trabalhadores, da preservação ambiental, da segurança e produtividade, conforme previsto na NRM – 01, estabelecendo ainda que a indústria de produção mineral é compreendida, segundo a NRM, de acordo com os seguintes aspectos: lavra, beneficiamento de minérios, pesquisa mineral, comercialização e distribuição de bens minerais.

No país, a atividade mineradora tem que obedecer ao disposto no Código de Mineração – CM e legislação correlativa, sendo que o papel de fiscalizar é através do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM.

A NRM – 02 dedica-se, de modo geral, as medidas a serem aplicadas em trabalhos realizados a Céu Aberto, tratando de assuntos como: abrigo dos trabalhadores para proteção contra intempéries, além de exigência de medidas fundamentais, dentre elas: a insolação excessiva, umidade, ventos, calor e frio.

A NRM-18 especifica o beneficiamento dos minérios é através dos métodos físicos ou químicos e, não há alteração da constituição química dos minerais. Além disso, o projeto de beneficiamento deste buscar obter o máximo aproveitamento do minério e dos insumos. Esta norma ainda prevê algumas medidas adotadas de extrema relevância para a saúde e

integridade física do trabalhador na ocorrência de agentes químicos, físicos e biológicos, e importante também fornecer Equipamentos de Proteção Individual – EPI.

No que tange as especificações da NRM – 19 apresenta-se o Plano de Lavra – PL é fundamental presumir a disposição de estéril, rejeitos e produtos e, estes são determinados de acordo com a constituição mineralógica da jazida, as condições de mercado, a economicidade do empreendimento.

A construção dos depósitos de estéril, rejeitos, produtos, barragens e áreas de armazenamento, deve ser implementado por dispositivos de drenagem interna, de tal forma que não provoque a saturação do maciço, sendo fundamental que o profissional seja legalmente habilitado, atendendo a norma em vigor.

Em casos de ruptura de barragens e taludes, esta área deve ser evacuada e isolada em que o processo de monitoramento e todo o pessoal potencialmente afetado deve ser informado imediatamente.

Segundo a norma NRM - 20 o objetivo é estabelecer técnicas administrativas e operacionais em caso de fechamento de mina, suspensão e retomada das operações mineiras. Em que o termo fechamento de mina é usado para a interrupção definitiva das operações mineira, assim como, suspensão é a extinção de caráter temporário das operações mineiras.

Sem prévia comunicação e autorização do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM não há possibilidades de serem posto em prática a suspensão, o fechamento de mina e a retomada das operações mineiras. Além disso, é obrigatório o pleito ao Ministro de Estado de Minas e Energia, em requerimento justificativo. Enquanto que na retomada das operações é preciso comunicar ao DNPM, dentro do prazo de validade da suspensão autorizada, e conforme o Projeto de Retomada das Operações Mineiras.

Na norma NRM - 21 são tratados os procedimentos administrativos e operacionais como: reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas. Sendo importante ressaltar que a área pesquisada compreende a atividade de pesquisa geológica enquanto a área minerada é a atividade mineira. Já na área impactada ocorre graus de alteração dos fatores bióticos e abióticos, sendo resultantes da atividade de mineração.

É preciso que os projetos de reabilitação sejam desenvolvidos por técnicos legalmente capacitados e antecipadamente devem ser submetidos à avaliação do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

2.7 Gema De Água Marinha

São vários os tipos de depósitos em que o berilo pode ser encontrado. De modo geral, o berílio gema está associado a pegmatitos graníticos, formada por quartzo, feldspatos e micas, em que a mineralogia básica é similar à do granito, porém, muitas vezes, ele é encontrado em depósitos secundários, como aluviões e colúvios (Cameron et al. 1949). Ainda, de acordo com o autor citado, o berilo industrial é comum na zona gráfica ou mural dos pegmatitos, já que a zona intermediária pode ser portadora tanto de cristais de berilo industrial quanto de qualidade gemológica, embora em dimensões menores.

As principais características da gema são raridade, beleza e durabilidade. Segundo Juchem e Brum (2014), no estado bruto os geólogos podem verificar vários aspectos, dentre eles: cor, brilho, densidade, formas cristalinas, dureza, clivagem, tenacidades, entre outros. São a partir destes que é possível identificar e caracterizar, tais gemas.

Outra questão importante é à qualidade do berílio quanto a gema, pois ele pode ser encontrado na forma límpido, bem cristalizado, transparente e translúcido, com belas colorações, de brilho intenso, vítreo, constituindo as variedades preciosas (gemas) que, por sua vez, são muito apreciadas e procuradas tanto no mercado nacional quanto internacional (JUCHEM E BRUM, 2014).

As mais importantes jazidas de água marinha do mundo estão concentradas no Brasil. Porém, o Rio Grande do Norte possui, aproximadamente, dois mil jazimentos minerais, desde minas, depósitos minerais e garimpos (MORAES, 1999).

A mineralização de água marinha acontece em pegmatitos homogêneos, pouco diferenciados, intrusivos em que os principais hospedeiros dos cristais de berilo, fontes de água-marinha são os bolsões de quartzo leitoso, translúcido e enfumaçado, ocorrendo também, em menor proporção, nos bolsões de cristais gigantes de feldspato e, por sua vez, são formados principalmente de quartzo, feldspato potássico róseo e biotita (BARRETO, 1991).

Segundo Moraes (1999), no Rio Grande do Norte a cor mais comum da água marinha é azul claro, mas o azul médio é mais valioso e menos frequente, esta variação de tonalidade é consequência dos íons de ferro presente na estrutura cristalina. A água marinha exibe boa transparência e excelente qualidade.

Outra gema de grande importância que foi encontrado também, nessa Região, foi a esmeralda, produzida em um antigo garimpo, no município de Paraná, na Fazenda Pitombeiras (MORAES, 1999). Ainda, segundo o autor referenciado, na mesorregião do Oeste Potiguar, no município de Antônio Martins foi identificado uma ocorrência de coríndon, variedade do rubi ou da safira rosa, classificado de acordo com as propriedades

químicas e óticas do mineral, dispersa em um fuchsite-xisto, porém tal ocorrência não foi prospectada.

2.8 Principais Minas Brasileiras

Segundo Maia (2013), os recursos minerais brasileiros são relevantes e engloba uma produção de 72 substâncias minerais, das quais 23 são metálicas, 45 não metálicas e 4 energéticas. No Brasil existem aproximadamente 3354 minas, das quais 159 minas são de grande porte, 837 são de médio porte e 2358 minas são de pequeno porte, onde destas minas cerca de 3146 minas exporão minerais não metálicos.

De acordo com Walter Lins Arcoverde, Diretor do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), o número de minas cadastradas no órgão são 10.841. Nas quais, 98,1% são representadas por britas, areias, cascalhos, argilas que são utilizados na construção civil, além de água mineral. E apenas 1,4% de minas de commodities minerais de grande e médio porte.

Dentre as várias províncias existentes no país, são responsáveis pela maior parte das minas e depósitos minerais de porte significativo: Província Mineral Ferro-Aurífera do Quadrilátero Ferrífero (MG), Província Mineral Polimetálica de Carajás (PA), distritos de greenstones belts auríferos de Goiás, Minas Gerais e Bahia, e distritos de maciços básico-ultrabásicos do Pará, Goiás e Bahia. Transformando os Estados de Minas Gerais, Pará, Goiás e Bahia responsáveis pela produção de 80%, em valor, das commodities minerais brasileiras (Melfi et al, 2016).

2.9 Reservas Nacionais do Berílio

Segundo o DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineira), o Brasil é classificado como o sexto maior país do mundo em produção mineral do mundo. Mas apenas 30% do seu território foi explorado por meio de mapeamento geológico (PINHEIRO, 2011).

O berílio é um elemento incomum, no planeta Terra, apresentando distribuição heterogênea, cujas localidades de ocorrência são raras e de difícil condições de exploração do mineral (DIAS, 1973). Porém, o Brasil é portador de uma das mais importantes potencialidades geológicas para depósitos de berilo industrial e gemas, que são os jazimentos de pegmatitos.

Os pegmatitos são os jazimentos de berílio, sendo o mineral do elemento o berílio. Os acessórios pegmáticos estão agregados geralmente ao quartzo, feldspato, micas entre outros minerais acessórios (OLIVEIRA, 1965).

O DNPM destaca que as reservas oficiais destes pegmatitos estão localizadas nas maiores províncias pegmatíticas brasileiras, como, as Províncias Oriental do Brasil, que abrange os Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia e Ceará.

De acordo com o DNPM, as reservas nacionais são formadas por berilo que são classificados como de excelente a boa qualidade, os teores variam entre 10,0 e 12,0 % BeO, apresentando uma exceção, em Minas Gerais, chegando a atingir aproximadamente 14,0 % BeO. Porém, as reservas deste minério no país possuem pouca representatividade.

Entretanto, em alguns Estados não existe referência sobre reservas oficiais conhecidas e aprovadas pelo DNPM de berilo industrial, como por exemplo, as províncias da Borborema – Seridó, nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, e em outros campos pegmatíticos menores, no Estado de Alagoas e Pernambuco, Estados localizados na região Nordeste do Brasil.

Países como China, Rússia, Índia, França, Cazaquistão, Argentina, África do Sul, Austrália, dentre outros. Detêm reservas de berilo industrial em depósitos de pegmatitos.

As reservas de esmeralda e berilo verde, foram estimadas em aproximadamente 2.040 toneladas de esmeralda/berilo. Foram estimadas também em Santa Terezinha, Goiás, reservas geológicas de 300.000 toneladas de talco-xistos esmeraldíferos (BEZERRA e NESI, 2005). Os recursos mundiais de berílio metálico presentes nos minerais berilo e bertrandita são de 80.000 toneladas, aproximadamente.

Segundo o DNPM, no ano de 2013, os recursos minerais mundiais de berílio foram estimados superiores a 80.000 t, de acordo com o United States Geological Survey (USGS). Mas os principais consumidores e fornecedores de concentrado e de produtos manufaturados de berílio são os Estados Unidos da América, por sua vez, são detentores de 65% dos recursos mundiais desse elemento químico. Como pode ser visto na figura 3:

Figura 3 - Principais Estatísticas do Brasil

Discriminação		Unidade	2011	2012	2013 ^(p)
Produção ⁽¹⁾	Concentrado (BeO)	(kg)	0	0	0
Importação	Manufaturados de berílio ⁽²⁾	(kg)	2	2	109
		(US\$-FOB)	46.000	8.710	171.854
Exportação	Berilo na forma de esmeralda ⁽³⁾	(kg)	n.d	81,7	81,6
		(10 ⁶ US\$-FOB) ⁽⁶⁾	n.d	3,3	3,8
	Manufaturados de berílio ⁽²⁾	(kg)	0	0	0
		(US\$-FOB)	141	0	0
Consumo Aparente ⁽⁴⁾	Manufaturados de berílio	(kg)	2	2	109
Preço Médio ⁽⁵⁾	Ligas de berílio/cobre	US\$/kg	205	204	209

Fonte: DNPM/DIPLAM; MDIC/SECEX; empresas de mineração e publicações especializadas. (1) Trata-se Berílio (BeO) contido na produção bruta; (2) Fonte: MDIC, (3) Fonte: DNPM-RAL, (4) produção + importação – exportação; (5) refere-se aos preços internos norte-americanos; (6) conversão para Dolar Americano com taxa de câmbio médio de 2013 de: US\$ 1,00 = R\$ 1,9544 (p) preliminar, (nd) dado não disponível.

2.10 Importação e Exportação

De acordo com o DNPN, em 2013, dados do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), revelam que as importações brasileiras foram de produtos manufaturados de berílio eram originadas de países como os Estados Unidos (97%) e Japão (3%), atingindo em 109 Kg, no valor de US\$ 172.000, (%).

Segundo dados do DNPM, em 2013, mostram que a maior parte da produção comercializada de berílio foram exportados para países, como: China (60%), Israel (32%) e França (4%). A exportação de berílio na forma de esmeralda no Brasil, atingiu um valor de (≈R\$ 7,2 milhões).

2.11 O Rio Grande do Norte quanto a ocorrência de Minérios

O Rio Grande do Norte está inserido em um ambiente geológico antigo e as formas de relevo predominante é o planalto da Borborema, além de grandes áreas contíguas que dão origem a depressão Sertaneja, das serras, os tabuleiros costeiros, faixa litorânea ornamentada com extensos cordões de dunas (MORAES, 1999). A formação vegetal presente nesse ambiente é a caatinga, vegetação típica do semiárido nordestino.

O Rio Grande do Norte é referenciado como um dos principais produtores de minerais e de bens energéticos (petróleo e gás) do país, além de produzir sal marinho, concentrado de scheelita, berílio, feldspato, mica e telhas. O Estado é referência também, por ter um amplo

número de pedras preciosas, dentre elas, água marinha, berílio para coleção, turmalina, esmeralda, ametista, lazulita, quartzo róseo, euclásio, cordierita e granada (MORAES, 1999).

No Estado aproximadamente duas mil jazidas são destaque, incluindo minas, ocorrências e garimpos, depósitos minerais. Mas apenas 134 minas são cadastradas, incluindo ativas e inativas (PFALTZGRAFF, 2010).

Nos pegmatitos do Rio Grande do Norte o berílio é o minério mais abundante, ocorrendo em formas de cristais de tamanho variável. O Estado se destaca no cenário regional, sendo o maior produtor de minério de ferro do Nordeste e por produzir grandes quantidade de minerais e rochas industriais, como a argila, feldspato, caulim, mica, calcário, rochas ornamentais e gemas. O metal nobre principal é o Ouro, há o registro de 12 jazidas conhecidas: três minas, sete garimpos e duas ocorrências no Estado. Sendo a forma de extração mais comum a garimpagem (PFALTZGRAFF, 2010).

O Estado já foi considerado um dos maiores produtores de berílio do País, além de se destaca como o maior produtor mundial do mineral berílio, durante as décadas de 1940 e 1960 (MORAES, 1999). O berílio ocorre na forma de cristais com os mais diversos tamanhos. Porém, as gemas mais comumente encontradas no Estado são a água marinha, esmeralda e turmalina. Os depósitos destas gemas, estão presente em diversos municípios do estado, sendo Lajes Pintadas, Tenente Ananias, Parelhas e Equador os principais portadores destas gemas (IDEMA, 2007).

No Rio Grande do Norte as rochas e minerais industriais relevante são o caulim, diatomita, mica, feldspato, gipsita, o quartzo, calcário e mármore. Além do amianto, barita, enxofre nativo, fluorita, celestita, marga dolomítica, quartzo, talco e vermiculita, embora estes estejam presente em menores quantidade (PFALTZGRAFF, 2010).

De acordo com Suguio (2013), o feldspatos é considerado um dos minerais mais abundante na natureza, onde a dureza é caracterizada aproximadamente, seis e clivagem em três direções, sendo um mineral bastante frequente em nas rochas ígneas, porém desprovido em sedimentos, isto é resultado da capacidade de decomposição deste material, principalmente em climas úmidos quentes e secos. O feldspato comumente apresenta coloração creme ou cor de carne, este é uma variedade potássica, representada pela microclina, com intercrescimento pertítico de albita (PFALTZGRAFF, 2010).

Micas são silicatos de alumínio de composição química complexa e variada, cristalizam no sistema monoclinica, possui como característica principais: fácil clivagem em lâminas finas, flexíveis e elásticas, elas ocorrem nas rochas sedimentares, estas são comuns em arenito finos e silticos, apresenta baixa grau de dureza entre 2 e 3 e clivagem basal

proeminente, é um mineral bastante resistente, de arredondamento muito difícil e fragmento praticamente impossível (SUGUIO, 2013).

Dentre as micas mais comuns estão a muscovita e a biotita. A muscovita possui como características principais: leveza, transparência, além de ser quimicamente estável, enquanto a biotita apresenta composição variada, escura, cinza ou preta, e a durabilidade é menor do que a muscovita (SUGUIO, 2013).

Quartzo é um mineral o qual se apresentam grande frequência e abundância na natureza. Geralmente sem cor ou branco, podendo também ser colorido pela presença de impurezas. Não possui clivagem, já quanto a dureza é elevada aproximadamente (7), apresentando alta resistência física (SUGUIO, 2013).

3.10 Tenente Ananias

Tenente Ananias é um município localizado no interior do Estado do Rio Grande do Norte, mais precisamente, na mesorregião do Oeste Potiguar e microrregião de Pau dos Ferros, Região Nordeste do País. Com uma população de 9.883 habitantes e densidade demográfica de 44.19 habitantes por km², ocupando uma área de aproximadamente 224 km², de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

Figura 4 – Mapa da área de estudo- Tenente Ananias



Fonte IBGE – 2014

De acordo com o IBGE (2014), o município apresentou na economia um Produto Interno Bruto (PIB) per capita de R\$ 6861.77. O município possui criação de bovinos, equinos, caprinos, galináceos, suínos e ovinos. Além de ser destaque nos setores de

cosméticos e variedades, a cidade também já foi referência no setor de minérios, produzindo a maior quantidade de minérios, dentre eles, a água marinha. Hoje, o mineral está escasso, mas o comércio deste ainda é praticado.

Segundo o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2008), Tenente Ananias está inserido em um ambiente geológico, comumente conhecido como Província da Borborema, apresenta terrenos antigos, datados da Era Pré-Cambriana, sendo constituído por rochas metamórficas e magmáticas ou ígneas (MORAES, 1999).

Quanto ao aspecto geomorfológico está situado sobre uma superfície plana formada por processos de periplanação, o qual é comum em regiões de clima árido e Semi - Árido, que gera o desenvolvimento de áreas aplainadas, gerada a partir de processos erosivos (IDEMA, 2008). Ainda segundo a referência citada, a formação vegetal do município é caracterizada pela caatinga hiperxerófila.

A água marinha é uma pedra bastante cobiçada no mundo inteiro e é no município de Tenente Ananias onde se encontra as maiores reservas do Brasil, logo é considerada uma das melhores do planeta pelo grau de pureza e transparência. No mercado a pedra preciosa é muito valorizada (MORAES, 1999).

Sendo a cor da pedra de extrema relevância, principalmente quanto à beleza e também na avaliação dos preços de mercado. Todavia, por meio de processos de tratamento e lapidação é possível melhorar a aparência do material pela mudança da cor, da diafaneidade, ou por disfarçar imperfeições.

Na aplicação do tratamento térmico, os aspectos fundamentais para apreciação são os físico-químicas do material, à medida que modificações indesejáveis e irreversíveis não aconteçam futuramente (PEREIRA, 2004). Ainda, segundo esta autora, é importante destacar, também, a aptidão que determinadas gemas possui em alterar suas cores, quando submetidas a processos de melhoramento, podendo ocorrer de modo total ou parcial, da uniformidade de suas cores e de suas diafaneidades ou transparências.

Segundo o Serviço Geológica do Brasil (CPRM), as águas-marinhas que detém maior um maior valor econômico são as de cores azuis e quanto mais escuras, mais valiosa. Os preços variam de US\$ 1 a US\$ 750 por quilate (um quilate = 200 mg) para gemas lapidadas de 0,50 a 50 quilates.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia utilizada neste estudo está fundamentada na pesquisa bibliográfica e visita de campo.

A pesquisa bibliográfica teve o seu suporte por meio da consulta de algumas literaturas relativas ao assunto, objeto desse estudo, normas técnicas, artigos publicados na internet em sites científicos, dentre outras bases e referências bibliográficas. Esta pesquisa possibilitou a fundamentação deste trabalho, através de meios que auxiliam na definição e nas propriedades do mineral em destaque, o berílio, bem como o entendimento de sua ocorrência na natureza e suas variedades e, também, os métodos de prospecção utilizados no Estado do Rio Grande Norte.

Desenvolvendo, assim estudos bibliográficos os quais visam reunir informações técnicas e científicas do mineral e conseqüentemente, proporcionando mais conhecimento sobre este assunto, pois são poucos os estudos realizados e publicados nesta área.

A visita e o estudo de campo foram fundamentais para coletar dados e, assim, identificar os principais métodos de detecção do mineral, resultantes da aplicação um questionário (Anexo A) com os garimpeiros presentes no local, constituindo uma ficha descritiva contendo a localização geográfica, características principais da mina, além de perguntas sobre o garimpo, como se dá a extração do minério entre outras informações relevantes ao estudo.

O estudo de campo, conforme a figura 5, concentrou-se no levantamento de cada uma das etapas, através das respostas dadas ao questionário aplicado.

Figura 5 – Etapas da pesquisa de campo



4 RESULTADOS

Este trabalho é um estudo de caso, realizado no município de Tenente Ananias-RN, em um garimpo, onde é feita a exploração do mineral berílio que obtém, como substrato, a água-marinha. Com base nas informações colhidas na pesquisa bibliográfica, realizou-se o trabalho de campo realizado na Mina dos Jorges, administrada pela Associação dos Garimpeiros, situada no Sítio Mata de Baixo, no município de Tenente Ananias (RN), que apresenta uma área aproximada de 20 Hectares. O mapa do Rio grande do Norte e o mapa das cidades as quais o município de Tenente Ananias faz divisa, estão representas na figura 6.

Figura 6 - Mapa do Rio Grande do Norte



Fonte IBGE – 2014

Contudo, no Rio Grande do Norte, são relativamente raros, estudos de mapeamento de detalhe de áreas potenciais para a ocorrência de minerais. Diversos fatores contribuíram para esta circunstância, dentre eles a abundância de depósitos minerais em outros estados brasileiros.

A visita de campo a Mina dos Jorges foi realizada no dia 06 de agosto de 2017. Apesar de existir os processos de prospecção como o geofísico, por exemplo, o qual permite um estudo mais detalhado do tipo de rocha, permitindo a análise dos dados obtidos, o método de prospecção na mina, em estudo, é realizado de maneira empírica, sem o domínio do conhecimento técnico-científico, o que causa perdas acentuadas do mineral, e consequências como prejuízos, por não se obter o resultado esperado. Para os garimpeiros entrevistados “É a

esperança que os move”, pois, o método utilizado por estes é apenas a experiências adquirida ao longo dos anos.

Uma forte indicação de que existe o berílio (o mineral é mostrado na figura 7), no local é a presença de granada, caulín, o quartzo branco, mica, feldspato e, principalmente as gemas bem cristalizadas de água marinha. No município de Tenente Ananias, o feldspato está presente em pegmatitos homogêneos, contendo poucas diferenciações, sendo uma das variedades microclima (PFALTZGRAFF, 2010).

Figura 7 - Mineral berílio no estado bruto



O método de lavra, utiliza técnicas para a extração de minérios, tendo como objetivos principais: planejamento, organização e dimensionamento das tarefas, para que o projeto de mineração tenha resultados positivos. Porém, na mina em estudo a técnica para a obtenção do mineral berílio é a garimpagem, consiste no processo de a separação manual dos cristais e dos minerais ocorrentes nos pegmatitos, já que é economicamente viável em virtude do baixo custo da mão de obra da área produtora.

O processo de separação manual de berílio da mica, do feldspato (mostrado na figura 8), do quartzo (mostrados na figura 9), entre outros minerais acessórios, por exemplo, é difícil pelo fato destes serem silicatos e evidenciarem propriedades e aparência semelhantes.

Figura 8 - Pedra contendo feldspato na coloração rosa e mica na coloração cinza.



Figura 9 - Cristal de Quartzo



A classificação manual (como mostrado na figura 10, onde houve a seleção de algumas pedras de água marinha) confere aos minerais alta qualidade, porém baixa recuperação, causada principalmente pela restrição do tamanho das partículas a serem selecionadas. Ademais, muitas vezes, a separação manual provoca a rejeição de minerais com valor secundário e até mesmo sem valor que poderiam ser comercializados, como por exemplo a mica.

Figura 10 - Pedras de Berilo contendo Água Marinha

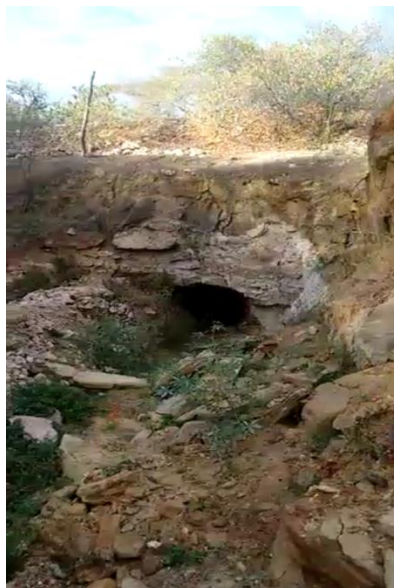


Figura 11 - Pedras de água marinha onde a cor varia entre o azul pavão e o verde



Desta forma, o processo de extração da água marinha sempre foi realizada de maneira rudimentar, com uso exclusivo de ferramentas manuais, como: mareta, picarete, pixote, equipamentos para esvaziamentos dos túneis e com aplicação de explosivos caseiro.

As galerias de exploração chegam a medir cerca de vinte metros de profundidade, sem nenhuma estrutura de segurança exigidas pela norma e, até mesmo, sem a garantia da ocorrência de minérios nos locais de garimpo. Na Mina dos Jorges, os operários trabalham em banquetas, em que cada banquetta é composta por 3 operários. Em Tenente Ananias, os tuneis cavados horizontais são extensos impossíveis de definir com precisão a área, porém atingem aproximadamente 300 metros.

Figura 12 - Entrada do Túnel

Através da pesquisa de campo foi possível observar a precariedade os quais os túneis são escavados, sem estrutura adequada que garantisse a segurança dos mineradores, garimpeiros ou qualquer outra pessoa que venha a visitar o local. Os instrumentos de trabalho utilizados para a descida nos túneis e entrar na mina é bastante rudimentar, são utilizados guinchos e cordas sem nenhum tipo de segurança. Tanto dentro como fora dos túneis é evidente a precariedade das instalações elétricas, como mostra a figura 13 a seguir, as quais podem acarretar riscos de acidentes no trabalho.

Figura 13 - Instalações elétricas

Segundo o relato de um dos entrevistados, um dos sócios da mina, a primeira coleta do mineral berílio na mina ocorreu a aproximadamente 75 anos. Existem vários métodos para avaliação da água marinha, porém eles utilizam apenas a lupa. Os garimpeiros trabalham de segunda a sexta, sendo os turnos de trabalhos das 7:00 às 11:00 horas e das 13:00 às 16:00 horas.

A descoberta do berílio, mais precisamente do seu substrato água marinha no município de Tenente Ananias de água marinha ocorreu no ano de 1943, porém na época foi chamada de “Ipueiras”, embora a exploração só tenha iniciado bem depois em 1954, tornando-se frequente a partir do ano 1968 (Rêgo, 1991). Enquanto na Mina dos Jorges, segundo o relato um dos entrevistados, a data da primeira coleta do mineral berílio ocorreu a aproximadamente, 75 anos.

De acordo com alguns garimpeiros entrevistados, vários testes já foram feitos para comprovar a qualidade da água marinha no município de Tenentes Ananias, inclusive da Mina dos Jorges. Os testes são feitos com base na cor, cristalização, grau de dureza e outros aspectos relevantes.

Atualmente, a produção de água-marinha na mina em estudo é inferior a 500 gramas por ano, fato que faz com que o município viva hoje a decadência da exploração mineral, que parecia inesgotável e representava exportação para outras cidades do Brasil e até do exterior.

Segundo relatos de garimpeiros, durante o auge da mineração pessoas de diferentes localidades brasileiras vem para o município de Tenente Ananias, além das pessoas do próprio município que eram envolvidas nessas atividades. No início as pedras eram encontradas em cima da terra, devido a sua grande abundância e, à medida que as pedras eram extraídas, e estas já não estavam mais presente expostas em cima da terra, mas ainda era muito raso, trabalhavam com instrumentos manuais, ocorrendo de duas formas, inicialmente é utilizado instrumentos como: pá, picareta, aço, pixote, carro de mão, entre outros e em seguida para a extração da gema: compressor, marreta e ponteiro. A exploração continuou por muitos anos.

Com a exaustão das descobertas de depósitos aflorantes do mineral berílio na Mina dos Jorges, estes depósitos se encontram em profundidades cada vez maiores. Desta forma seria fundamental a utilização dos processos geofísicos de prospecção, atendendo as normas regulamentadoras de mineração e consequentemente preservando o meio ambiente, além de reduzindo o impacto ambiental.

Na mina os únicos processos de lapidação existentes são a máquina de corte e máquina de polimento para fazer os detalhes das pedras. A pedra bruta é muito barata em

relação à beneficiada (lapidada e/ou tratada). De modo geral, o tratamento e a lapidação são feitos fora do estado, na maioria das vezes no exterior para serem tratadas, lapidadas ou em forma de jóias.

Então, para a comercialização é fundamental o tratamento térmico do mineral-gema berilo, sendo usado com o intuito de melhorar a cor natural e, assim, agregar valor à gema de água-marinha (azul e verde).

Entretanto, é perceptível que ao longo dos anos, o processo de melhoramento de gemas vem sendo desenvolvidos, principalmente por pesquisadores de universidades e centros de pesquisa no Brasil, isto é, consequência dos financiamentos de projetos por instituições públicas federais e estaduais, além do incentivo por parte do governo.

O setor mineralógico nacional está sendo ampliado, mas apesar da importância da pesquisa tecnológica e científica dos diversos tipos específicos de extração e prospecção, até recentemente, no Brasil pouco tinha sido desenvolvido nessa área.

Segundo Pereira (2004), o progresso advindo dos avanços tecnológico beneficia à proporção que possibilita conferir cor a gemas naturais e, então produzir gemas sintéticas, cujas pesquisas e tecnologias estão em desenvolvimento para diferenciar cores naturais de artificiais e, também materiais naturais de sintéticos.

A água marinha desta jazida é constituída por ocorrências de grande beleza, sendo exportada para vários países do mundo como peças para coleção ou como gemas lapidadas. A gema pode ser lapidada para o uso em joalheria, sendo um processo comum de beneficiamento o tratamento térmico que causa a mudança de cor tornando-a uma pedra de grande valor econômico.

Lembrando que quando é identificado o mineral berílio na mina, este é tido como um subproduto. A amostra do mineral obtida no município se manifesta com belas colorações, límpida, translúcida e transparente, com manchas entre o verde claro e o azul marinho, bem cristalizada, sendo muito apreciadas e procuradas.

Segundo o relato dos garimpeiros, os compradores do mineral no estado bruto afirmam que quanto ao grau de dureza da água marinha do município é classificada como uma das melhores do mundo.

Outro problema é que os minerais-gemas extraídos da Mina dos Jorges é vendido em seu estado bruto, sendo uma desvantagem, que acarreta prejuízos consideráveis, sendo consequências da falta de tecnologia e de investimentos. A maioria das gemas potiguar por se apresentarem em seu estado natural, precisam de tratamentos especiais para adquirir valorização de mercado, cor e beleza.

A Mina dos Jorges é considerada um garimpo pelas as condições de trabalho precárias, como falta de infraestrutura e segurança oferecidas aos trabalhadores, além disso, as ferramentas de trabalho são primitivas e repetitivas. As entradas dos túneis também são rudimentares, como pode ser visto na figura 14, a seguir:

Figura 14 - Entrada de um dos túneis de água marinha



Sendo alguns problemas comuns para os garimpeiros causados pelos impactos da atividade, como uso inadequado dos explosivos, algumas vezes não explodiam e ao tentar repô-los corria-se grande risco de perder a vida, alagamentos das galerias que dificultava o trabalho; além de problemas respiratórios, causadas pela fumaça das explosões no interior da mina pela falta de correntes de ar.

Outra desvantagem da extração do mineral são os impactos ambientais que estas causam na região e, consequentemente desertificação na área mineradora, o empobrecimento do solo, e a poluição de cursos d'água, afetando o lençol freático provavelmente, já que as águas correm em direção a açudes próximos e que são fontes de abastecimento para população. Os efeitos da erosão natural e o assoreamento do local vêm dificultando a realização de atividades agrícolas que poderiam ser uma das medidas econômicas que deveria funcionar como solução para diminuir o índice de desemprego causado pela interrupção da atividade de mineração.

As extrações das pedras preciosas causam alteração do meio físico, a proporção que produz rejeitos, e estes, por sua vez, não obtêm destino apropriado para a sanidade do meio ambiente, além de gerar a poluição do ar por particulados suspensos pela atividade de lavra, beneficiamento, transporte, ruídos, vibrações no solo associados à operação de equipamentos,

explosões, logo são diversos os impactos causados ao meio ambiente, outros fatores estão associados a mineração.

Logo, seria fundamental que todos os minerais contidos na rocha extraída, de alguma fossem aproveitados economicamente. Porém, isso não ocorre no município de Tenente Ananias, não ocorrendo também nas demais regiões mineradoras, onde os minerais de valor econômico vêm acompanhados na rocha, de outros não aproveitáveis.

No local da mineração é perceptível os impactos causados pela mineração, dentre eles: muitos locais com solos superficiais removidos (solos nus e sem vida), ficando expostos aos processos erosivos os quais podem gerar assoreamento, a vegetação suprimida não podendo ser regenerada, afetou também o habitat das espécies animais, extensas áreas foram desmatadas para dar acesso ao local da mineração. Além da degradação ambiental causada pelo depósito de rejeito de mineração, do rebaixamento de calha de rios com a lavra de seus leitos cansando a instabilidade e, consequentemente a supressão das matas ciliares.

É visível na mina as escavações para a extração de minério, são cavas limitadas por taludes íngremes e elevados, ocasionando riscos aos garimpeiros, além de ampliar na degradada ambiental.

Na Mina dos Jorges, não existe Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (Prad), embora de acordo com a norma eles sejam exigidos, logo, são poucas as que seguem realmente esse plano, e as que seguem tem caráter incipiente e se alicerça, em particular a execução de medidas restritas de revegetação, tendo em vista atenuar o impacto visual gerado,

O Impacto visual é notório, como mostra a figura 16, abaixo:

Figura 15 - Área devastada



É de grande relevância socioeconômica a atividade mineradora de água-marinha no Rio Grande do Norte, principalmente no município de Tenente Ananias, já que é uma forma dos recursos minerais serem aproveitados e revertidos em uma fonte alternativa de renda, em especial, onde se têm populações de classe menos favorecida, as quais dependem do trabalho no garimpo.

Caracterizado pela exportação de grandes quantidades de pedra bruta e de pequenas quantidades de produtos de baixo valor agregado, o município de Tenente Ananias apresenta em sua história o marco do ciclo da mineração, entre as décadas de 70 e 80 que movimentou a economia deste, onde a água-marinha era o principal minério extraído do subsolo.

Segundo arquivos encontrados na Prefeitura Municipal do município de Tenente Ananias-RN, descrevem que no auge da produção mineral, muitas pessoas enriqueceram com o minério, os garimpeiros chegavam a garantir renda alta, em que os trabalhadores dispensavam outras atividades para se dedicar exclusivamente ao garimpo, mas com o tempo a produção foi declinando. O Centro de lapidação criado na época foi um fato de grande importância e relevância, pois as pedras preciosas, ou melhor os berilos que antes eram lapidados no estado de Minas gerais em outras regiões brasileiras passaram a ser lapidados em Tenente Ananias, vários cursos de lapidação foram realizados.

Porém, no momento atual a extração da água-marinha reduziu muito quando comparado com o auge da atividade mineradora. Porém ainda existem garimpeiros trabalhando e extraindo estás, a pesar dos riscos que a mina oferece.

Vale salientar que através da pesquisa foi possível observar e identificar perdas tanto no processo de extração da lavra como no beneficiamento, pois os garimpeiros trabalham sem nenhuma garantia de encontrar o minério, causando prejuízos que resultam no aumento dos custos finais e dos impactos ambientais. Surgindo assim uma série de medidas de melhoria da exploração e do beneficiamento, de forma a resultar em economia e minimização dos impactos. Entre as medidas preconizadas destacam-se o desenvolvimento do trabalho de prospecção para a definição da jazida e a aplicação de técnicas de extração.

5 CONCLUSÃO

O Rio Grande do Norte já foi considerado um dos maiores produtores nacionais da gema de água marinha, sendo que o município de Tenente Ananias teve destaque quanto a produção e exploração do mineral. Porém, houve um declínio atualmente na exploração do mineral, provocado pela falta de planejamento e uso de equipamentos que garantam um menor risco para os garimpeiros, além da falta do uso de técnicas eficazes no processo de exploração e prospecção do mineral, além da falta de investimento e recursos do governo. Neste trabalho foram avaliados a cor do mineral, características, os processos de extração e prospecção do mineral berílio, visto que os garimpeiros não utilizam esses métodos, empregam apenas a técnica da garimpagem, por meio de instrumentos rudimentares, causando consequências, como os correspondentes impactos ambientais gerados pela extração, por exemplo, o desequilíbrio do meio, provocando a erosão das margens. Todavia, a exploração mineral se caracteriza nas minas, de modo geral, pelo sistema de mercado vigente, cujo interesse é pelo valor do minério no substrato geológico, almejando a reprodução do capital, mas é impossível explorá-lo sem o controle total da área, sem provocar mudança nos recursos da superfície, ou desestruturar os espaços e a paisagem. Ademais, uma das soluções para que os impactos ambientais possam ser minimizados é pelo planejamento da lavra e o emprego de equipamentos que visem reduzir os impactos durante a operação da atividade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, S. B. **Caracterização químico-mineralógica dos berilos de Tenente Ananias – RN**. Recife, 1991. 194p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 1991.

BLACK, D. V. **Uso e mineração do berilo**. Disponível em < <https://www.tabelaperiodica.org/usos-e-mineracao-do-berilio/> >. Acessado em 27 de outubro de 2017.

BEZERRA, S. B., NESI, J. R. **BERÍLIO**. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1104/1/15%20BERILO.pdf>. Acessado em: 05 de outubro de 2017.

BRASIL. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Localização do Município de Tenente Ananias - RN. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=241410>. Acessado em 17 de junho de 2017.

BRASIL. IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Disponível em: < <http://www.idema.rn.gov.br> >. Acessado em: 17 de junho de 2017.

BRASIL. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/>. Acesso em 08 de agosto de 2017.

BRASIL, Secretária do Meio Ambiente. IG - Instituto Geológico. Disponível em: < <http://www.igeologico.sp.gov.br> >. Acessado em: 1 de junho de 2017.

BETTENCOURT, J. S. **A mina de cobre de Camaquã, Rio Grande do Sul**. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, 1972. 175 p. (Tese de Doutorado). Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-446720110003000008 >. Acessado em 14 de setembro de 2017.

Beus A. A. 1966. **Geochemistry of beryllium and genetic types of beryllium deposits**. San Francisco, W. H. Freeman and Company. 401p. (English translation)

BRANCO, Pércio de Moraes. **Algumas Gemas Clássicas**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Algumas-Gemas-Classicas-1104.html>>. Acesso em: 9 de outubro 2017.

CHIOSSI, Nivaldo. **Geologia de engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

Comissão Nacional de Energia Nuclear. Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/>>. Acessado em: 18 de junho de 2017

CORREIA, Victor Manuel dos Santos. **Prospecção de Filões Aplito-pegmatíticos Mineralizados em Espodumena com recurso a Métodos Geofísicos na Região de Serra do Barroso, Trás-os-Montes ocidental**. 1997. 184 f. Tese (Mestrado) - Curso de Geologia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 1998. Disponível em: < [file:///C:/Users/kauanamesquita/Downloads/3382_TD_01_P%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/kauanamesquita/Downloads/3382_TD_01_P%20(1).pdf)>. Acessado em: 12 de agosto de 2017.

Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. 1966. **An introduction to the rock-forming minerals**. London, Longman Group Limited, vol. 1, p. 80-83. (Twelfth impression., 1980)

DIAS, J. **Perfil Analítico do Berílio**; Rio de Janeiro; DNPM; 1973 (MME. DNPM. Boletim,5).

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001. Aprova as Normas Reguladoras de Mineração – NRM, de que trata o Art. 97 do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/700/784/00000806.pdf>>. Acessado em: 12 de julho de 2017.

ERNESTO, Marcia; USSAMI, Naomi. **INTRODUÇÃO À GEOFÍSICA**. São Paulo, 2002. Disponível em: <

http://www.iag.usp.br/~eder/apostila/00_Introducao_a_Geofisica_IAG_USP.pdf >. Acesso em: 18 de julho de 2017.

FILHO, Alcebiádes Lopes Sacramento. **BERÍLIO**. Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/berilio-sumario-mineral-2014>. Acessado em: 09 de julho de 2017.

GANDINI et al, Berilo, In: **Gemas de Minas Gerais, Sociedade Brasileira de Geologia**, 1a ed., 280p, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2846/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_%20DesenvolvimentoProcessoCloreto.pdf>. Acessado em: 10 de agosto de 2017.

GERMANI, Darcy José. **A mineração no Brasil**. Rio de Janeiro: Secretaria Técnica do Fundo Setorial Mineral, 2002. 60 p. Disponível em: <<https://www.finep.gov.br/images/a-finep/fontes-de-orcamento/fundos-setoriais/ct-mineral/a-mineracao-no-brasil.pdf>>. Acesso em: 19 de setembro de 2017.

HAYES, E.T., **Progressos recentes na tecnologia do berílio**, Contribuição técnica nº.897 – XXIV Congresso da ABM, São Paulo, p.767-70, 1969.

HOLLIDAY, J.R.; COOKE, D.R. **Advances in Geological Models and Exploration Methods for Copper ± Gold Porphyry Deposits**. In: MILKEREIT, B. (Ed.). Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial Conference on Mineral Exploration, p. 791-809, 2007. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.457.9998&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em: 11 de agosto de 2017.

JUCHEM, Pedro Luiz; BRUM, Tania Mara Martini. **Técnicas de identificação e certificação de gemas**.

LASERNA, H. A., REZENDE, M.M. **Agregados para a Construção Civil**. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>. Acessado em: 19 de agosto de 2017.

MACHADO, Hermano Gomes. **Gestão de riscos em minas subterrâneas** – avaliação da ventilação de minas profundas. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2011. Disponível em: <http://www.nugeo.com.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/dissertacao-ufop-sisbin.pdf>. Acessado em: 13 de agosto de 2017.

MAIA, Paulo Afonso Silveira. **EXPLORAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS E SUAS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL NA REGIÃO DO BAIXO JAGUARIBE-CE**. 2013. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi Arido, Mossoro, 2013. Disponível em: <<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/270/TCC%20-%20BCT/TCC%20Paulo%20Afonso%20Silveira%20Maia.pdf>>. Acessado em: 14 de agosto de 2017.

MALEHMIR, A. et al. **Seismic methods in mineral exploration and mine planning**: an overview of past and present case histories and a look into the future. *Geophysics*, v. 77, p. WC173-WC190. 2012. Disponível em: <<http://africaarray.psu.edu/publications/pdfs/Malehmir%20et%20al%20-%20Geophysics,%202012%20-%20Seismic%20methods%20-%20Overview.pdf>>. Acessado em: 12 de setembro de 2017.

MELFI, Adolpho José et al. **Recursos Minerais no Brasil**: problemas e desafios. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências e Vale S.a., 2016. 422 p. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-7006.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.

MORAES, João Francisco Silveira de. **GEMAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE**. 1999. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/8432/rel_gemas_rn.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 jun. 2017.

NEVES, H. T. (1987). **Berílio – Brasil exportador de minério ou produtor de óxido e liga metálica**. In PETKOF, B. (1980). *Beryllium.: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MINERAIS E METAIS ESTRATÉGICOS*, 1, Rio de Janeiro. Atas. Rio de Janeiro, 159p. il.

OLIVEIRA, J.M.P., BERÍLIO, In.: **Geoquímica e aspectos relacionados – Metais para a indústria nuclear: urânio, terras raras, zircônio, berílio**, Escola de Geologia – UFRGS, Ed. Giacomo Liberatore, p. 1-28., 1966.

PEREIRA, R. M. **Fundamentos de Prospecção Mineral**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 348 p.

PEREIRA, Renata Aparecida da Cunha. **Desenvolvimento de Processo para Obtenção de Cloreto de Berílio a partir do Berílio Mineral**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Área de Concentração: Processo de Fabricação, Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2846/1/DISSERTAÇÃO_DesenvolvimentoProcessoCloreto.pdf>. Acesso em: 9 de outubro 2017.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos; TORRES, Fernanda Soares de Miranda. **GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE: PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE**. 2010. Disponível em: < <http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/geodiversidade-do-estado-do-rio-grande-do-norte.pdf> >. Acesso em: 10 julho 2017.

PINHEIRO, J. C. D. F. **A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA MINERAÇÃO NO BRASIL**. Departamento Nacional de Produção Mineral. [S.l.]. 2011.

POLLI, Gabriel de Oliveira. **TRATAMENTO TÉRMICO DE BERILO INCOLOR (GOSHENITA) E COLORIDO (ÁGUA-MARINHA, HELIODORO E MORGANITA)**. 2006. 199 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Naturais, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3495/1/TESE_TratamentoT%C3%A9rmicoBerilo.pdf>. Acessado em 08 de agosto de 2017.

PRETORIUS, C.C. et al. **3D data integration for exploration and mine planning**. In: **MILKEREIT, B. (Ed.). Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial Conference on Mineral Exploration**. 2007, p. 601-610. Disponível em: Acesso em 30 de agosto de 2015.

Sabioni A. C. S. & Ferreira C. M. 1996. **Alguns aspectos técnicos e econômicos do tratamento térmico de gemas**. Revista Escola de Minas, 49(1):60-66.

REGO, José Maria do. Depósito de Água Marinha da região de Tenente Ananias-RN. IR: Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília, 1991. Volume IV – pp. 227-336.

Disponível em: <http://rotaractdetenente.blogspot.com/2009/10/falta-de-incentivodecretou-o-fim-da.html#links>. Acessado em: 15 de agosto de 2017.

SILVA, José Margarida da. **Lavra Subterrânea**. (2010). Disponível em: <http://www.ppgem.ufop.br/arquivos/1b6b4e1c750aafba035dd88f01ada258.pdf>. Acesso em: 12 setembro de 2017.

SUGUIO, Kinitiro. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Blucher, 2003. 400 p.

Telford, W., Geldart, L. P. Sheriff, R. E. & Keys, D. A. (1976). **Applied Geophysics**. Cambridge University Press, Cambridge.

WHITE Jr, D.W. & BURKE, J.; **The Metal Beryllium**, Cleaveland; Ohio; ASM; 1955.

WICANDER, R; MONROE, J.S. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 508 p.

7 ANEXO A - QUESTIONÁRIO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO CURSO: BACHARELADO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PESQUISA DE CAMPO - MINA DE EXTRAÇÃO DO BERÍLIO	
PESQUISADOR:	
DATA :	
1 IDENTIFICAÇÃO DA MINA	
LOCAL:	
EMPRESA RESPONSÁVEL:	
ÁREA ABRANGENTE:	
2 PROCESSOS DE PROSPECÇÃO	
DATA DA REALIZAÇÃO	
TIPO	
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	
RESULTADOS:	
3 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO MINÉRIO	
TIPO:	
NÚMERO DE OPERÁRIOS:	
EQUIPAMENTOS:	

PROFUNDIDADE DE ESCAVAÇÃO:	
EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA DO TRABALHO	
PERÍODO DE ESCAVAÇÃO	
TURNOS DE TRABALHO	
4	MINÉRIO
DATA DA PRIMEIRA COLETA:	
TESTES PARA VERIFICAR A QUALIDADE:	
QUANTIDADE EXTRAÍDA:	
PROCESSO DE LAPIDAÇÃO:	
5	RESÍDUOS
CARACTERÍSTICAS	
DESTINAÇÃO	
6	GEMAS
CARACTERÍSTICAS:	

COMERCIALIZAÇÃO	
7	MEIO AMBIENTE
LIMPEZA	
PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA EXPLORADA	
INTERFERENCIA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	
8	OBSERVAÇÕES: