

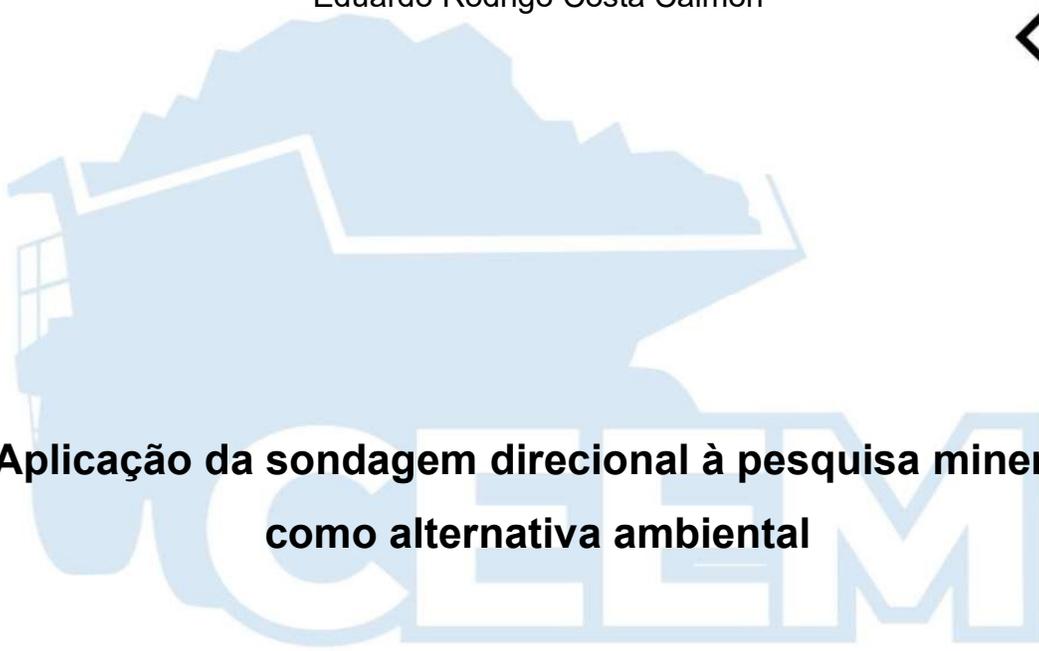


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG  
Campus Avançado de Poços de Caldas  
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária  
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



**Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus de Poços de Caldas**  
**Curso de Especialização em Engenharia de Mineral (CEEM)**

Eduardo Rodrigo Costa Calmon



**Aplicação da sondagem direcional à pesquisa mineral  
como alternativa ambiental**

Poços de Caldas

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG  
*Campus Avançado de Poços de Caldas*  
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária  
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



---

Eduardo Rodrigo Costa Calmon

## **Aplicação da sondagem direcional à pesquisa mineral como alternativa ambiental**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à  
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte  
dos requisitos para a integralização do curso de  
Especialização em Engenharia Mineral (CEEM).

Área de concentração: Lavra

Orientador: Prof.(a) Dr.(a) Osvaldo André Quaglio

Poços de Caldas

2023



## Ficha catalográfica

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Costa Calmon, Eduardo Rodrigo.

Aplicação da sondagem direcional à pesquisa mineral como alternativa ambiental / Eduardo Rodrigo Costa Calmon. - Poços de Caldas, MG, 2023.  
41 f. : il. -

Orientador(a): Osvail André Quaglio.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.  
Bibliografia.

1. Sondagem Direcional. 2. Impactos Ambientais. 3. Navegação de Trajetória. 4. Preservação Ambiental. 5. Uso Consciente de Recursos. . I. Quaglio, Osvail André , orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.



Eduardo Rodrigo Costa Calmon

## Aplicação da sondagem direcional à pesquisa mineral como alternativa ambiental

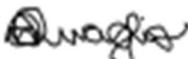
A banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a Integralização do curso de Especialização em Engenharia Mineral (CEEM).

Área de concentração:

Aprovada em: 02 de outubro de 2023

Orientador: Osvald André Quaglio

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura: 

Examinador 1: Fabiano Cabañas Navarro

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura: 

Examinador 2: Luiz Carlos Rusilo

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura: 





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG  
*Campus Avançado de Poços de Caldas*  
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária  
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



---

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus meses de estudos. Agradeço às empresas Geosol e Nexa, pela disponibilização das informações que foram de grande utilidade para a elaboração deste artigo científico. Á minha noiva, que me auxiliou ao longo do curso com motivação e total apoio em todas as etapas concluídas.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Praça de sondagem em mata	17
Figura 2 - Praça de sondagem em mina	19
Figura 3 - Sonda hidráulica Geosol	21
Figura 4 - barrilete, hastes e cabeçote aplicáveis a sondagem.	22
Figura 5 - Conjunto Cabeçote de sondagem	23
Figura 6 - Coroa Diamantada	24
Figura 7 - Barrilete direcional	25
Figura 8 - Coluna estratigráfica da folha Aripuanã	26
Figura 9 – Barrilete Direcional	29
Figura 10 – Ilustração Douleg	31
Figura 11 – Esquema de Plataforma Direcional	33
Figura 12 – Coluna Estratigráfica da Folha Aripuanã	36
Figura 13 - Mapa do Mato Grosso, destaque Município de Aripuanã	37



---

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Comparativos de Aspectos Operacionais Sondagens Convencional e Direcional



## SUMÁRIO:

1. A MINERAÇÃO, PESQUISA MINERAL E MEIO AMBIENTE	11
2. OBJETIVO	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. A PESQUISA MINERAL E AS PREMISSAS AMBIENTAIS	12
3.1. EXPLORAÇÃO MINERAL	12
3.2. CONDIÇÕES TÉCNICAS E OPERACIONAIS	13
3.3. CUSTOS OPERACIONAIS	14
3.4. OS PILARES ESG	15
3.4.1. IMPACTOS AMBIENTAIS	15
3.5. A EXPLORAÇÃO MINERAL E IMPACTOS AMBIENTAIS	16
3.6. SONDAÇÃO CONVENCIONAL	17
3.7. SONDAÇÃO DIRECIONAL	18
3.8. A SONDAÇÃO DIRECIONAL COMO SOLUÇÃO AMBIENTAL	19
4. EXPLORAÇÃO MINERAL, SONDAÇÃO DIAMANTADA E SONDAÇÃO DIRECIONAL	20
4.1. O PROCESSO DE EXPLORAÇÃO MINERAL	20
4.1.1. MAPEAMENTO GEOLÓGICO	20
4.1.2. GEOQUÍMICA	20
4.1.3. GEOFÍSICA	20
4.2. SONDAÇÃO ROTATIVA DIAMANTADA COM RECUPERAÇÃO DE TESTEMUNHO (AMOSTRADA)	21
4.3. EQUIPAMENTO DE SONDAÇÃO	22
4.3.1. AS HASTES	23
4.3.2. CABEÇOTE	24



4.3.3 AS COROAS DIAMANTADAS	25
4.4 O FLUIDO DE PERFURAÇÃO	26
4.5 A EXPLORAÇÃO MINERAL E IMPACTOS AMBIENTAIS	27
4.6 A SONDAGEM CONVENCIONAL	27
4.7 A SONDAGEM DIRECIONAL	28
4.7.1 BARRILETE DIRECIONAL	28
4.7.2 A EXECUÇÃO DO FURO DIRECIONAL	29
4.7.3 ACOMPANHAMENTO DA TRAJETÓRIA DO FURO	30
4.8 BENEFÍCIOS DA SONDAGEM DIRECIONAL	30
4.8.1 ETAPAS DA SONDAGEM DIRECIONAL	31
4.8.2 PARÂMETROS OPERACIONAIS DA SONDAGEM DIRECIONAL	32
4.8.3 A CONTINUIDADE DO MÉTODO	32
4.9 A SONDAGEM DIRECIONAL COMO SOLUÇÃO AMBIENTAL	33
4.10 A APLICAÇÃO DO MÉTODO DIRECIONAL NO PROJETO NEXA – ARIPUANÃ	34
4.10.1 GEOLOGIA LOCAL	35
4.11 MÉTODOS APLICADOS A EXPLORAÇÃO MINERAL	37
4.11.1 O PROGRAMA DIRECIONAL	37
4.12 MOTIVOS PELOS QUAIS OPTOU-SE PELA SONDAGEM DIRECIONAL	38
4.13 PROJEÇÕES DE RESULTADOS	38
4.14 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40



## RESUMO

O estudo em questão busca através de revisões bibliográficas e experiências anteriores do autor pontuar e explicar fatores operacionais da sondagem diamantada executada pelo método “Wire line”, bem como as ferramentas e insumos necessários. Também abordar os potenciais riscos ambientais envolvidos na fase de exploração mineral de um empreendimento de mineração, e as fases envolvidas como a cartografia, a geoquímica, geofísica, e a sondagem rotativa diamantada testemunhada, responsável por aferir a confiabilidade de estudos e declarações necessárias as empresas. Por fim, o presente estudo aborda o método de sondagem direcional como solução para viabilizar tecnicamente programas de sondagem em áreas ambientalmente sensíveis e restritas quanto ao manejo de vegetação superficial como áreas de preservação permanente, sítios arqueológicos dentre outras, demonstrando a execução do método através dos equipamentos utilizados, e traz como exemplo um projeto onde o método está em desenvolvimento (no período de elaboração do estudo).

**Palavras-chave:** ESG, impactos ambientais, mineração, navegação de trajetória, pesquisa mineral, preservação ambiental, sondagem direcional, sondagem rotativa diamantada, uso consciente de recursos.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG  
*Campus Avançado de Poços de Caldas*

Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária  
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



## ABSTRACT

The study in question seeks, through bibliographical reviews and the author's previous experiences, to point out and explain operational factors of diamond drilling carried out using the “wire line” method, as well as the necessary tools and inputs. Also address the potential environmental risks involved in the mineral exploration phase of a mining enterprise, and the phases involved such as cartography, geochemistry, geophysics, and drill core, diamond rotary drilling, responsible for assessing the reliability of necessary studies and statements to companies. Finally, the present study addresses the directional drilling method as a solution to technically enable drilling programs in environmentally sensitive and restricted areas regarding the management of surface vegetation such as permanent preservation areas, archaeological sites, among others, demonstrating the execution of the method through equipment used, and finally exemplifies a project where the method is under development (during the study elaboration period)

Keywords: ESG, environmental impacts, mineral research, mining, conscious use of resources, diamond rotary drilling, directional drilling, environmental preservation, directional drilling, diamond rotary drilling, conscious use of resources, trajectory navigation.



## 1. A MINERAÇÃO, PESQUISA MINERAL E MEIO AMBIENTE

Desde os primórdios da vida humana, a mineração se faz presente com grande importância em aspectos gerais, aplicada a construção de abrigos, utensílios de caça e sobrevivência, dentre outros. Bem como a evolução do modo de vida da espécie humana, a mineração também alçou mais altos patamares de inovações, não mais sendo aplicada apenas a confecção de ferramentas manuais, mas também a extração de matérias primas para geração de uma cadeia de produtos que abrangem atualmente, desde a construção civil, a tecnologia, o setor energético, atendendo ainda inúmeros outros setores com subprodutos originários do setor mineral.

De acordo com a própria ANM (Agência nacional de Mineração), pode-se definir mineração como a extração de minerais existentes nas rochas e/ou no solo. O setor mineral brasileiro é um segmento importante para a economia nacional em virtude de o Brasil possuir vastas reservas e estar bem-posicionado no comércio mundial de commodities minerais. Portanto, é imprescindível quantificar e estimar com maior precisão o produto interno bruto setor mineral e seus encadeamentos. (DOS SANTOS, 2021).

A atividade de mineração é composta por diversas fases anteriores a sua real atividade fim que é a exploração do bem mineral, como as fases de licenciamento ambiental, fases de implantação, a fase de estudos de viabilidade técnica e financeira, onde todas essas fases têm atuação da exploração mineral, direta ou indiretamente. A exploração mineral é a atividade que prospecta o recurso mineral alvo que posteriormente pode vir a virar uma reserva mineral, de acordo com as perspectivas que o depósito possa vir a gerar. Uma vez constatado um cenário positivo para a extração a continuidade da exploração mineral é a responsável por ampliar os conhecimentos do depósito e agregar valor as declarações de recursos e reservas do empreendimento mineral, o que garante e mensura a vida útil da cava, as estratégias adequadas a cada momento do desenvolvimento e planejamento da lavra.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVOS GERAIS**

O atual estudo tem por objetivo revisar e pontuar os potenciais riscos ambientais atrelados a fase de pesquisa mineral debatendo práticas de operação, medidas de controle e possíveis alternativas.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Tendo em vista a tamanha importância de tal tema, esse estudo tem por principal objetivo aprofundar os conhecimentos sobre uma alternativa viável e coerente aos princípios de preservação ambiental e uso consciente dos recursos minerais, que é a sondagem direcional, uma alternativa operacional para viabilizar a execução de programas de sondagem que anteriormente poderiam ser inviabilizados devido a premissas ambientais, trazendo seus aspectos de operação, custos e comparativo a sondagem convencional.

## **3. A PESQUISA MINERAL E AS PREMISSAS AMBIENTAIS**

### **3.1. EXPLORAÇÃO MINERAL**

O princípio de um empreendimento mineral se dá pela exploração mineral, fase composta por inúmeras etapas e análises onde gera as primeiras informações sobre a existência de uma anomalia mineral, como Isao Shintaku define em sua dissertação de mestrado, exploração mineral é a pesquisa de novas riquezas minerais, considerada de alto risco e de longo prazo de maturação. Pode ser definida como um trabalho científico para a descoberta de um bem econômico de natureza não renovável. A exploração mineral abrange: a procura, a descoberta, a identificação e a avaliação do material encontrado, não incluindo-se a sua comercialização (Shintaku, 1998).

E como define Melfi, A exploração mineral é um processo de avaliação de longo prazo, que depende de fatores geológicos, técnicos, ambientais, sociais, políticos, legislativos e econômicos. É um exercício de criatividade intelectual e científica, que envolve inovação e



teste contínuo de ideias geradas, além do desenvolvimento de técnicas analíticas (MELFI et. al, 2016).

A exploração mineral como dito, tem por objetivo localizar identificar e quantificar concentrações minerais, para isso conta com etapas e métodos variados como trincheiras, poços, prospecção superficial, análises de cartas cartográficas das regiões a serem analisadas, ensaios de laboratórios e como referência para o processo de pesquisa mineral, a sondagem, que é a definida de acordo com o método de execução, podendo ser rotativa diamantada, por circulação reversa, testemunhada ou não.

De acordo com Reis et.al a Sondagem refere-se aos métodos mecânicos de penetração no solo e na rocha, que permitem recuperar material suficiente para sua identificação através de análises química e física. Dentre os tipos de sondagem, incluem-se: sondagem rotativa a ar - RAB, percussiva, circulação reversa percussiva - RC, testemunhagem a ar (air-core) e rotativa a diamante (testemunhagem). (REIS, E.; BICHO, C. P.; MELO, E, 2013).

### 3.2. CONDIÇÕES TÉCNICAS E OPERACIONAIS

Comumente a sondagem exploratória é feita pelo método de sondagem rotativa diamantada, que é operado por sondas, tais que podem ser de variados tipos classificadas de acordo com sua forma de operação, podendo ser pneumáticas, hidráulicas ou mecânicas e pelo seu método de locomoção, esteiras ou embarcada em um veículo automotor (caminhão);

Para as operações de sondagem é necessário a adequação de uma área delimitada nas regiões do collar determinado para aquele furo a ser executado, que comporte além do equipamento de sondagem, ainda a cabine de operação, containers e infraestrutura para suportar as operações, sendo recomendada geralmente uma área quadrada de 30 x 30 metros. Além das estruturas da praça de sondagem em si, ainda se faz necessário estruturas secundárias, como acessos, sumps ou poços para captação de água para o processo, pontos de apoio para operação, estacionamentos dentre outras estruturas, e incorporado a um



ambiente de mata virgem ou de preservação permanente fica notória a necessidade de serem elaboradas com a máxima responsabilidade e cuidado.

### 3.3. CUSTOS OPERACIONAIS

A prospecção mineral, para um projeto de mineração é a fase inicial e de extrema importância, e proporcional a sua importância, os custos da pesquisa mineral devem ser igualmente estimados e controlados durante as etapas de conhecimento do corpo mineral, e todo o processo de desenvolvimento e planejamento da lavra. Os custos envolvidos na fase de pesquisa mineral em geral são relativamente os mais altos dos investimentos pois não há ainda a certeza da existência e viabilidade técnica para extração do minério. Portanto, é de suma importância o bom planejamento e uso estratégicos dos recursos disponíveis.

Na exploração mineral dois elementos determinantes de custos devem ser considerados: o primeiro é o custo médio entre o sucesso e o fracasso para encontrar uma jazida, e o segundo é o orçamento que uma empresa deve dispor anualmente para ter chance de sucesso na exploração mineral (MILLER, 1989). Em concordância a explanação de Miller anteriormente citada, a longevidade e prosperidade de um empreendimento passa também pelo que ela se dispõe a investir nas fases de pesquisa mineral, que conforme dito anteriormente é a etapa que possibilita a tomada de decisão e o planejamento estratégico da lavra.

Apesar de trazer uma grande segurança quanto as informações e ter uma riqueza de detalhes que proporciona um grande nível de confiança quanto a características do depósito, ainda assim a pesquisa pode não evoluir a um site de mineração devido ao cenário comercial do bem mineral em questão, como o seu preço de venda não gera um *payback* esperado, ou não ter um mercado consumidor aquecido para absorver aquela produção como explica Reis, Investimentos em exploração mineral são altamente voláteis entre países receptores e refletem a percepção de investidores quanto ao potencial mineral, à capacidade de investimento nas várias fases da mineração e ao risco inerente à atividade e ao país (REIS, E.; BICHO, C. P.; MELO, E, 2013 P.23).



### 3.4. OS PILARES ESG.

O desenvolvimento industrial trouxe muitos benefícios e melhorias em aspectos diversos para a indústria, saúde, sociedade e impactou a vida das pessoas de uma forma positiva, entretanto do ponto de vista ambiental o desenvolvimento gerado trouxe consigo uma carga de impactos, e até mesmo prejuízos em alguns aspectos, a busca por novas tecnologias, recursos mais eficientes e valiosos, atingir patamares de produção a nível industrial, alimentar a sociedade, fomentou a praticas incoerentes com o atual conceito de desenvolvimento sustentável. Como afirma STRUMPF “O crescimento populacional e o crescimento da renda per capita nas últimas décadas vêm resultando em uma escala cada vez maior do sistema econômico com impactos ambientais negativos que extrapolaram a capacidade do sistema natural cíclico de se regenerar, tornando-se altamente preocupantes (STRUMPF,2013).

Atualmente, onde a qualidade é fator decisivo para a oferta de produtos e serviços, os parâmetros socioambientais não podem ser deixados de lado, se tornando requisitos para desenvolvimento de políticas e práticas internas no meio corporativo, definindo procedimentos e métodos de trabalho que enfatizam o respeito ao meio inserido e o uso consciente dos recursos. De acordo com a S&P Global Ratings em seu relatório “ESG Risk Atlas: Sector and Regional Rationales and Scores” que define os riscos socioambientais de cada setor baseados nas atividade inerentes realizadas, e explicitas através de uma escala de pontuação que variam de 1 a 6, sendo 1 (baixa exposição) e 6 (alta exposição), a mineração fica com a pontuação 6 para riscos ambientais devido ao seu grande potencial poluidor como geração de resíduos, emissão de CO<sub>2</sub>, contaminação de efluentes, manejo de vegetação e ainda o consumo de energias em geral, e com pontuação 5 para os aspectos sociais, onde são considerados riscos de acidente de trabalho, infraestrutura, impactos na comunidade ao entorno e as respectivas consequências (tradução do artigo).

#### 3.4.1 IMPACTOS AMBIENTAIS

As atividades de exploração mineral por ser uma etapa inicial quando comparada as atividades de extração mineral, geram menores impactos ambientais, entretanto não são tão pequenos a ponto de não serem observados e tratados, para o processo de sondagem se



faz necessário a supressão de mata nativa, delimitação de espaço físico, geração de resíduos sólidos, uso de óleos e graxas que podem contaminar o solo e efluentes, dentre outras práticas com potencial de poluição e degradação do ambiente.

Os ambientes de pesquisa mineral por muitas vezes se encontram em regiões de mata virgem, próxima a rios, lagos e nascentes, ou ainda sítios arqueológicos e áreas de preservação permanente, portanto é comum por vezes ter impedimentos ou restrições a áreas e a supressão vegetal, por respeito a áreas de preservação.

### 3.5 A EXPLORAÇÃO MINERAL E IMPACTOS AMBIENTAIS

Como dito anteriormente, a exploração mineral sendo umas das fase iniciais da mineração acarreta proporcionalmente o potencial poluidor das operações minerárias, apesar de ser em menor escala visto a dimensão dos equipamentos e áreas de estrutura, mas ainda envolvem etapas que exigem a transformação do ambiente para proporcionar a operacionalização da praça de sondagem, como a geração de resíduos dos produtos utilizados, e como para quase tudo é necessário o uso de água, a exploração mineral não foge à regra. Portanto desde as fases de prospecção superficial, é de suma importância a adoção de práticas e procedimentos operacionais que além de atingir os objetivos esperados tragam medidas de controle aos impactos gerados, como o descarte ideal dos resíduos gerados, contenções próximas a leitos de rios e nascentes para não ocorrer a contaminação por óleo e graxas, replante de vegetação nas áreas degradadas para abertura de praças, e uso consciente dos recursos disponíveis, dentre outras ações preventivas.



Figura 01: Praça de Sondagem pós encerramento, em fase de replantio da mata nativa.



Fonte: Acervo pessoal do autor (agosto, 2023)

### 3.6 SONDAGEM CONVENCIONAL

Uma das técnicas muito aplicada a exploração é a sondagem em suas diversas modalidades, conforme citado anteriormente, por ser um método que permite amostrar o maciço e ter conhecimento do seu comportamento, principalmente no método Wire-line onde é possível extrair o testemunho de sondagem, e a partir do corte longitudinal e demais processos permite maior qualidade e riqueza de informações.

O processo de sondagem se dá inicialmente por uma programação de pesquisa, baseada nas informações já conhecidas, como a localização estimada do corpo mineral. A partir dessa



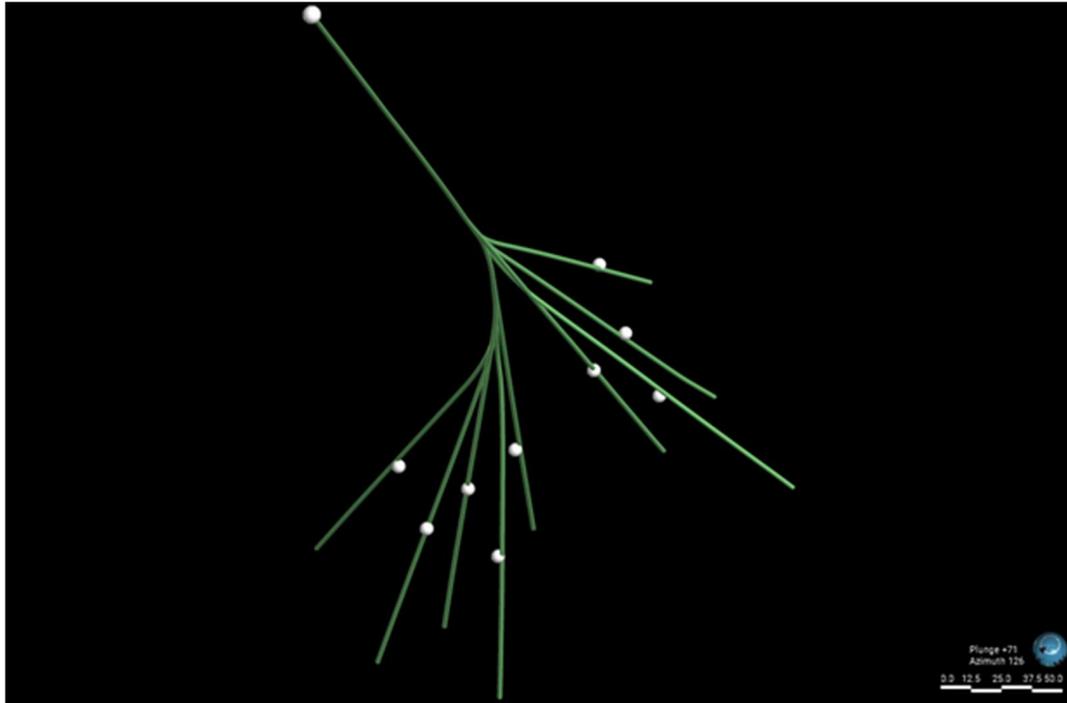
informação é programado a perfuração, definindo a localização geográfica da praça onde a sonda será alocada, as dimensões de tal praça, e finalmente as coordenadas operacionais do furo a ser executado, Dip, Azimute e a profundidade estimada do furo, para interceptar o corpo mineral no ponto desejado. Conforme diz Igor Rosa em sua dissertação de mestrado, esses procedimentos e técnicas estão basicamente concentrados nas etapas dos processos de geofísica aérea, de superfície e de poço, mapeamento geológico, sondagem, modelamento geológico e avaliação de recursos e reservas. A sondagem geológica feita por meio de equipamentos de perfuração pode atingir profundidades até 800 metros, auxiliando na compreensão da disposição espacial das rochas mineralizadas e suas inter-relações com as rochas estereis encaixantes. (Rosa, 2015).

### 3.7. SONDAGEM DIRECIONAL

Em ambientes onde o manejo ou supressão vegetal é mais restrito, a sondagem tem um grande desafio para trazer as informações de pontos específicos, pois de acordo com as coordenadas de partida do Collar do furo, associado a características de desvio natural da rocha, bem como os ângulos determinado em Dip e Azimute, podem se tornar inviável tecnicamente a obtenção de informações à medida que o furo se aprofunda, ou ainda em operações onde já existe a programação de um furo e deseja conhecer pontos específicos próximos a trajetória a ser executada, em casos onde isso se torna um desafio para a operação, a sondagem direcional pode ser uma solução.



Figura 02: Projeção de uma plataforma de furos direcionais.



Fonte: Site da Devico (acesso em setembro, 2023)

### 3.8. A SONDAGEM DIRECIONAL COMO SOLUÇÃO AMBIENTAL

Em ambientes preservados, como áreas de matas virgens, próximas a leitos de rios, sítios arqueológicos dentre outros é comum ter restrição quanto ao manejo de cobertura vegetal, decapear solo e remoções de certas espécies, e em alguns casos ocorre a inviabilidade de execução por tais fatores. Nesses cenários, a sondagem direcional se apresenta como uma solução, permitindo em uma só praça já instalada realizando diversos furos ramificados trazendo as informações de diversos pontos de o maciço sem a necessidade serem instaladas várias praças para se obter as mesmas informações como se faz necessário nas sondagens convencionais. Ainda em aspectos ambientais, a sondagem direcional por ter um furo mãe e gerar ramificações a partir desses furos, gera uma redução da metragem a ser executada, e em paralelo, a redução de emissões de CO<sub>2</sub> dos motores a combustão da sonda, bem como a redução do consumo de água para confecção do fluido de perfuração, e ainda o consumo de polímeros sintéticos usados no fluido de perfuração.



## **4. A EXPLORAÇÃO MINERAL, A SONDAÇÃO DIAMANTADA E SONDAÇÃO DIRECIONAL.**

### **4.1 O PROCESSO DE EXPLORAÇÃO MINERAL**

Como dito, a pesquisa mineral tem por objetivo trazer informações dos corpos minerais presentes no subsolo, para isso ela conta com diversas etapas que ampara, desenvolve e trata os dados gerados por ela, conforme serão apresentados a seguir.

#### **4.1.1. MAPEAMENTO GEOLÓGICO**

O primeiro processo a ser executado na pesquisa mineral é a etapa de escritório onde as cartas geológicas da área especulada estão inseridas, então conhecendo-se a localização geográfica e com as cartas em mão é possível obter as formações geológicas e a coluna estratigráfica da região. Com tais informações em mãos e conhecimento sobre dinâmicas de formação e minerais indicadores é possível estimar a localização do depósito mineral alvo da pesquisa.

#### **4.1.2. GEOQUÍMICA**

A geoquímica entra como um instrumento de checagem ao mapeamento geológico, uma vez identificados minerais indicadores, constatado a existência do depósito pretendido, é realizado a geoquímica dos elementos presentes na região, solo, água, vegetação e até mesmo pela captação de gases gerados pela degradação de certos minerais é capaz de ampliar o leque de conhecimento da área.

#### **4.1.3. GEOFÍSICA**

Já com o objetivo de trazer informações mais aproximadas quanto a extensão e a geometria do corpo, aplica-se os métodos geofísicos, como gravimetria, polarização induzida, sísmica de reflexão e refração e métodos eletromagnéticos associado a aparelhos de referenciamento geográfico, o GPS portátil, uma vez delimitado o polígono a ser pesquisado,



é possível definir as malhas de perfuração a serem executados os furos de sonda testemunhados.

#### 4.2. SONDAGEM ROTATIVA DIAMANTADA COM RECUPERAÇÃO DE TESTEMUNHO (AMOSTRADA)

Com a malha de sondagem definida, e a informação aproximada quanto a localização do depósito alvo, se inicia a etapa de sondagem, onde as perfuratrizes que são definidas de acordo com a necessidade de cada área e especificações das operações como profundidade, inclinação, comportamento do maciço, dimensões dentre outras, iniciam a perfuração do solo com o apoio de um dispositivo à frente das hastes denominado coroa diamantada, responsável pelo corte da amostra de rocha a ser posteriormente estudada. Exemplos de praças de sondagem do acervo pessoal do autor e do site da Geosol abaixo exemplificado.

Figura 03 – Praça de sondagem em mata.



fonte: Acervo pessoal (agosto, 2023)



Figura 04 – Praça de sondagem em mina.



Fonte: Site Geosol (setembro,2023)

#### 4.3. O EQUIPAMENTO DE SONDAGEM

A sondagem é executada por um equipamento de porte variado, a ser definido de acordo com a necessidade operacional, com princípios de funcionamento mecânico ou hidráulico, e locomoção por esteiras ou fixo, exemplificado conforme a imagem abaixo. Constituem a perfuratriz denominada sonda, uma torre de elevação e um guincho onde as colunas de perfuração são manobradas e inseridas a medida que cada coluna avança adentro do maciço, um motor a combustão responsável por gerar a rotação do mandril da sonda e bombas de óleo responsáveis por promover a movimentação em geral do equipamento como cilindros, o acionamento dos guinchos e arrefecimento, um dispositivo interno as hastes responsável por acondicionar o testemunho gerado durante a perfuração denominado camisa, e por fim um guincho secundário responsável por extrair a camisa por dentro das hastes trazendo o testemunho a superfície, sem a necessidade de remover todas as hastes já inseridas, na metodologia de sondagem diamantada, wire line.



Figura 05 – Sonda hidráulica Geosol



fonte: Site Geosol (setembro 2023)

#### 4.3.1. AS HASTES

O método wire line tem ganhos de produtividade por não ser necessário a cada avanço remover toda a coluna de perfuração para coleta do testemunho, pois com o auxílio do guincho e do tubo interno ou camisa ele é removido por dentro das hastes, sendo o fator diferenciador do método convencional e o método wire line. O instrumento que permite a transmissão do torque e o avanço da perfuração são as hastes, que consistem em tubos cilíndricos com roscas macho em um extremidade, fêmea na outra por onde é feita a fixação de duas hastes, formando então a coluna de perfuração. Especificamente, para o método wire line, as hastes exemplificadas na imagem abaixo, têm aspectos diferentes das hastes convencionais, principalmente nas espessuras das paredes que são mais estreitas conferindo assim maior vão livre para o tubo interno ser manejado sem muitas dificuldades com as regulagens ideais, e ainda são classificadas de acordo com seus diâmetros.



Figura 06 – barrilete, hastes e cabeçote aplicáveis a sondagem.



fonte: catálogo físico Sondeq (agosto, 2023)

#### 4.3.2. CABEÇOTE

O cabeçote é um dispositivo que compõe o barrilete exemplificado a imagem abaixo, é utilizado somente na sondagem pelo método wire line, pois é a ferramenta responsável por acondicionar o testemunho de sondagem e permite a conexão com o “overshot”, o dispositivo fixado a ponta do cabo de aço do guincho wire line e o extrai até a superfície ao fim da manobra de perfuração. Em paralelo a função principal de levar o testemunho a superfície, o cabeçote também tem por função promover controle de fluxo do fluido de perfuração por dentro da coluna de perfuração até a coroa diamantada, e a partir das respostas de pressão da bomba de lama fica evidenciado parâmetros de referência para sinalizar quando está completamente cheio o cabeçote e deve ser removido, ou ainda se há algum problema de circulação do fluido.



Figura 07 – Conjunto Cabeçote de sondagem



Fonte: Site Sondeq (agosto, 2023)

#### 4.3.3. A COROA DIAMANTADA:

A frente da coluna de perfuração, promovendo o corte do maciço e permitindo o avanço da perfuração, está a coroa um equipamento cilíndrico vazado, com as faces de contato com a rocha em material metálico de diferentes resistências e inserido a essa matriz metálica, diamantes industriais que têm por função gerar a abrasividade necessária para realizar o corte da rocha exemplificada por uma imagem do acervo pessoal do autor. Seguindo a linha de classificação das hastes, também são determinadas de acordo com o seu diâmetro.



Figura 08 – Coroa Diamantada



Fonte: Acervo pessoal do autor (setembro, 2023)

#### 4.4. O FLUIDO DE PERFURAÇÃO

A coroa gera o corte da rocha através do atrito, e correlato ao atrito se tem a geração de calor, visando maior durabilidade da coroa, maior eficiência na perfuração usa-se os fluidos de perfuração, comumente materiais solúveis como bentonita ou óleo de mamona, ou ainda polímeros industrializados que conferem ao fluido as características necessárias para atender os parâmetros de perfuração. Os fluidos de perfuração na sondagem além de conferir o arrefecimento da coroa também é responsável por carrear as partículas finas geradas pela abrasão da rocha a superfície, promovendo a limpeza do poço e garantindo assim que as hastes não fiquem presas dentro do poço, inviabilizando sua operação. E ainda é o agente promotor da estabilidade das paredes do poço, em casos de rochas instáveis ou friáveis buscando que o poço não colapse, o fluido de perfuração penetra entre as camadas da rocha se espalha e “cimenta” de forma a estabilizar as paredes do furo.



Portanto é de suma importância além dos parâmetros de perfuração se atentar também as especificações dos fluidos e qual tipo de material será trabalhado para garantir a melhor performance durante a perfuração.

#### 4.5. A EXPLORAÇÃO MINERAL E IMPACTOS AMBIENTAIS

Como dito anteriormente, a exploração mineral sendo umas das fase iniciais da mineração acarreta proporcionalmente o potencial poluidor das operações minerárias, apesar de ser em menor escala visto a dimensão dos equipamentos e áreas de estrutura, mas ainda envolvem etapas que exigem a transformação do ambiente para proporcionar a operacionalização da praça de sondagem, como a geração de resíduos dos produtos utilizados, e como para quase tudo é necessário o uso de água, a exploração mineral não foge à regra. Portanto desde as fases de prospecção superficial, é de suma importância a adoção de práticas e procedimentos operacionais que além de atingir os objetivos esperados tragam medidas de controle aos impactos gerados, como o descarte ideal dos resíduos gerados, contenções próximas a leitos de rios e nascentes para não ocorrer a contaminação por óleo e graxas, replante de vegetação nas áreas degradadas para abertura de praças, e uso consciente dos recursos disponíveis, dentre outras ações preventivas.

#### 4.6. A SONDAGEM CONVENCIONAL

A sondagem convencional obedece a um parâmetro de referência classificados em graus obtidos a partir do Collar do furo, onde podem partir de 90° a 0° com relação a inclinação que a torre aplicará na perfuração, definido como o DIP da perfuração e de 0° a 360° quando se diz em relação ao azimute, que se define como a direção geográfica a qual a perfuração está sendo executada. Partindo dos princípios definidos, em um cenário de grande profundidade próximo aos 800 ou mais metros de perfuração diferenças de um grau no collar do furo podem representar grandes distancias ao fim do furo, sendo o princípio diferenciador entre a sondagem convencional e a sondagem direcional.



#### 4.7. A SONDAGEM DIRECIONAL

Visando o atingimento de “alvos” específicos em subsolo, são aplicados os métodos de sondagem direcional, que consiste no mesmo princípio da sondagem convencional tanto com relação aos equipamentos quanto ao ferramental usado, entretanto o ponto que as diferencia é o tratamento do desvio, onde a sondagem convencional é um problema e na sondagem direcional é a solução. Em geral, a sondagem convencional pela própria rotação das hastes tende a gerar um percentual de desvio da trajetória, o que idealmente quanto menor, melhor.

Outro exemplo de problemas operacionais da sondagem é o desvio natural que ocorre em cada região, gerado pelo maciço conhecido como a tendência de desvio, a partir do conhecimento dessa tendência os parâmetros operacionais são trabalhados para ter a trajetória o mais retilínea possível. Assim mostra a especificidade da operação e a grande especificidade da sondagem direcional e o quão importante é ter atenção redobrada durante a sua execução.

Como dito, a sondagem direcional é aplicada em operações estratégicas com alvos em pontos de difícil acesso ou que em uma sondagem convencional não atenderia as informações pretendidas, então aplica-se a sondagem direcional que permite atingir alvos específicos em subsolo.

##### 4.7.1 BARRILETE DIRECIONAL

O Barrilete direcional, dispositivo que permite a confecção da curva, consiste em um dispositivo semelhante ao utilizado convencional, entretanto conta com um dispositivo que fixa-se a parede do furo de modo que não permite a rotação da parte externa do barrilete, e internamente existe um outro dispositivo que garante que independente da forma a qual for inserido sempre terá a mesma posição, e em paralelo a esse dispositivo uma outra ferramenta que de acordo com as coordenadas alvo de forma manual em superfície permite a calibração para orientação precisa, posicionando a face da coroa na direção desejada, e por fim uma peça que promove aos componentes internos ao barrilete a rotação necessária para realizar a perfuração do maciço e em caráter de conferência, já em superfície com a camisa



(dispositivo que acondiciona o testemunho) preenchida, é retiradas as informações através de um aparelho similar a um multímetro que de acordo com as respostas geradas interpreta a orientação que a ferramenta está tomando em subsolo, abaixo temos uma imagem disponível no site Devico exemplificando o dispositivo.

Figura 9 – Barrilete direcional.



Fonte: Site Devico (Devidrill) (setembro, 2023)

#### 4.7.2 A EXECUÇÃO DO FURO DIRECIONAL

Para a execução do método direcional, é necessário o conhecimento aproximado da localização do corpo mineral e sua profundidade, pois a previa informação permite definir os pontos de intercepção do corpo mineral, conhecidos como o “alvo” a ser atingido, em mãos as informações dos alvos a serem atingidos em cada plataforma é planejado as trajetórias a serem construídas, os trechos de construção de curva e os trechos de navegação, considerando aspectos operacionais que venham a interferir a operação, é atribuído uma margem de desvio aceitável com raio definido, de acordo com a necessidade das informações do contratante dos serviços, a sondagem direcional, consiste em construir a curva com o barrilete direcional, ao fim volta a perfuração com barrilete convencional, visando ter o executado mais aderente ao planejado inicialmente ainda são executadas intervenções com o barrilete orientador para retornar ao eixo principal da trajetória de navegação. Uma vez direcionado para o alvo levando em consideração as tendencias de desvio natural, é retomado a perfuração em barrilete de perfuração convencional até a execução final do furo etapa denominada “navegação”. Finalizada a navegação, são removidas as hastes e inserido no furo finalizado um obturador, um dispositivo que tem por objetivo selar o furo realizado afim de manter a circulação de fluido, quando for retomada a perfuração do furo mãe. Finalizada a obturação do furo, realiza a limpeza do poço, adequado as ferramentas e fluido de perfuração e então retomada a perfuração do furo mãe até a próxima profundidade de realizar a próxima construção de curva e repete o ciclo de atividades.



#### 4.7.3 ACOMPANHAMENTO DA TRAJETÓRIA DO FURO

Para o controle e mapeamento das informações do furo como a tendência natural de desvio, são realizados periodicamente etapas de perfilagem, que consiste na inserção de um aparelho adentro da coluna de perfuração que em superfície define o norte geográfico e as informações iniciais do Collar do furo, e a medida que se aprofunda transmite as informações dos trechos analisados, posteriormente em um software são descarregados os dados coletados e interpolados em visualização gráfica e tabelas os dados obtidos. Um ponto a se observar em comparação a sondagem convencional é a frequência com que se executa as perfilagens de acompanhamento de trajetória, sendo maior quando se executa furos direcionais, uma vez que os equipamentos de desvio não têm uma orientação geográfica autônoma, sendo necessário a referência de outra medição de localização para eliminar os acúmulos de erros gerados pelas amarrações que o equipamento de desvio faz durante a sua orientação. Em dados palpáveis, em sondagens convencionais, costuma-se perfilar a trajetória a cada 100 metros perfurados, enquanto em sondagem direcionais costuma se realizar a cada 30 metros.

#### 4.8 BENEFÍCIOS DA SONDAGEM DIRECIONAL

Além dos aspectos ambientais expostos, a sondagem direcional também traz benefícios aos parâmetros operacionais, como a economia de metragem perfurada e a otimização de horas de trabalho, melhor conhecimento do perfil geológico alvo considerando que intercepta em um curto espaço pontos diversos do mesmo corpo mineral. E em aspectos mais estratégicos, a sondagem direcional é capaz de entregar soluções em diversos setores na perfuração de rochas, no ramo de óleo e gás, a sondagem direcional é amplamente utilizada visando atingir poços derivados e específicos a partir de uma instalação já existente, ou ainda para construção de gasodutos, instalações elétricas subterrâneas, dentre outras.



Tabela 01- comparativos de aspectos operacionais Sondagens Convencional e Direcional

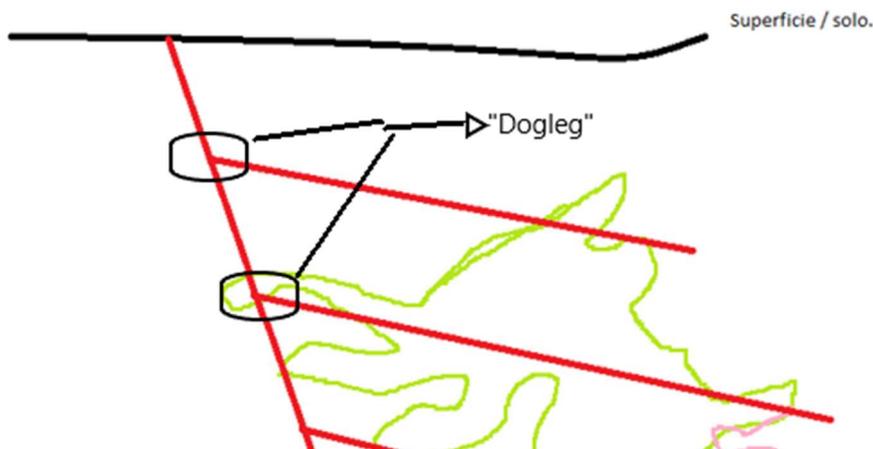
Fator	Sondagem convencional	Sondagem Direcional
Custos	1x	1,8 x
Diametros	PQ, HQ, NQ, BQ	NQ (especial = BQ)
Produtividade	Alta	Baixa ( 40%) menos
Precisão	Baixa	Alta
Parametros operacioanais	Flexiveis	Inflexiveis
Furos telescopados	Permite	Não permite
Desempenho em litogias	Ajustável confome o maciço	Maciços competentes
Suceptibilidade ao desvio natural	Suceptivel	Tende a não ser
Alvos Multiplos (mesma plataf.)	Não é possivel	Permite atingir

Fonte: Autoria própria. (setembro, 2023)

#### 4.8.1 ETAPAS DA SONDAGEM DIRECIONAL

Conforme citado anteriormente a sondagem direcional é constituída de dois momentos, o de construção da curva e navegação, de acordo com a posição do alvo e a trajetória do furo mãe, define-se a orientação a ser modificada, podendo ser o DIP ou o Azimute, sendo mais comum a alteração de DIP. Após a definição do parâmetro a ser alterado e conhecimento sobre o a tendencia de desvio natural, define-se a trajetória da curva, a metragem necessária para construção da curva e o “Dogleg” (medida usada para mensurar o ângulo de curvatura do furo) a ser utilizado.

Figura 10: Ilustração "Dogleg"





Posteriormente a construção de curva é dada sequência na perfuração convencional para atingir a profundidade estipulada, e em casos em que o furo venha a se desviar além do raio limite é recomendada uma intervenção com o barrilete de orientação, a qual também são definidos os parâmetros de metragem necessária e “Dogleg” de trabalho, para estimar os tempos de execução.

#### 4.8.2 PARÂMETROS OPERACIONAIS DA SONDAGEM DIRECIONAL

A Sondagem direcional por ser um trabalho muito específico e com grande riquezas de detalhes, exige da operação parâmetros a serem trabalhados com o máximo de constância possível, como a rotação da ferramenta, visto que o giro já tende a executar uma tendência de desvio, a pressão de bombeamento do fluido de perfuração, para garantir o funcionamento de todos os dispositivos e arrefecer as ferramentas, o peso aplicado sobre a coroa diamantada, que determina a taxa de avanço ou penetração no maciço. E os parâmetros específicos sobre os fluidos de perfuração que devido as ferramentas utilizadas serem milimetricamente posicionadas, necessitam que o fluido de perfuração apresente baixa viscosidade, para não vir a entupir as vias de arrefecimento e comprometer a integridade do equipamento, ponto o qual não se faz em tamanha importância para a sondagem convencional visto a maior simplicidade do equipamento e maior lacunas de distribuição do fluido ao longo da coroa. Bem como a presença de particulados sólidos do polímero utilizado, onde a sua presença para sondagem convencional não faz diferença, e para a sondagem direcional é veemente proibido pela possibilidade de gerar entupimento das vias de arrefecimento.

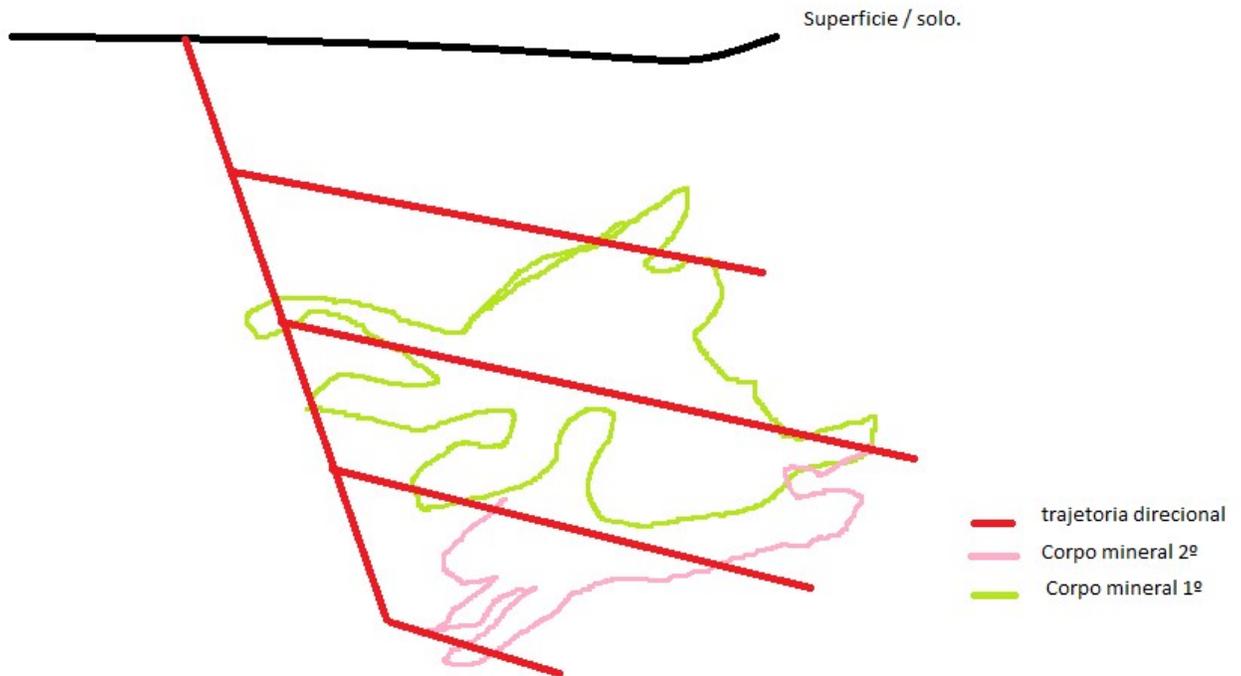
#### 4.8.3 A CONTINUIDADE DO MÉTODO

A dinâmica da perfuração direcional, consiste em construir o furo Mãe, atingir a profundidade de construção da curva, posteriormente navega o furo até a sua conclusão, finalizado o furo, remove o ferramental completo, e no furo construído é inserido o obturador, ferramenta que sela o furo para não haver perda de circulação do fluido de perfuração, então retorna as



colunas de perfuração ao ponto de início da curva, e se realiza o corte da curva, e retoma a perfuração do furo mãe e então se repete o ciclo.

Figura 11: esquema de plataforma direcional:



Fonte: Autoria Própria (setembro, 2023)

#### 4.9. A SONDAGEM DIRECIONAL COMO SOLUÇÃO AMBIENTAL

A evolução da cultura de sustentabilidade e conservação do ambiente, promove no setor da engenharia num todo a busca por soluções que atendam aos projetos da melhor forma possível e com as melhores práticas socioambientais, e para o setor da pesquisa mineral não é diferente, atuando em ambientes sensíveis se faz necessário a adoção de medidas rigorosas de controle, uso consciente dos recursos naturais, o descarte de resíduos de forma adequada, manejo de vegetação e adequações as instalações físicas da estrutura industrial visando o menor impacto possível. Em ambientes preservados, como áreas de matas



virgens, próximas a leitos de rios, sítios arqueológicos dentre outros é comum ter restrição quanto ao manejo de cobertura vegetal, decapar solo e remoções de certas espécies, e em alguns casos ocorre a inviabilidade de execução por tais fatores. Nesses cenários, a sondagem direcional se apresenta como uma solução, permitindo em uma só praça já instalada realizando diversos furos ramificados trazendo as informações de diversos pontos de o maciço sem a necessidade serem instaladas várias praças para se obter as mesmas informações como se faz necessário nas sondagens convencionais.

Nessa linha de raciocínio, a sondagem direcional trás soluções e atendimento as demandas da exploração mineral quanto ao conhecimento do maciço e do corpo mineral, quanto aos requisitos ambientais, onde de uma mesma plataforma já instalada traz informações de pontos estratégicos do corpo mineral. Bem como a sondagem direcional por ter um furo mãe e gerar ramificações a partir desses furos, gera uma redução da metragem a ser executada, e em paralelo, a redução de emissões de CO<sub>2</sub> dos motores a combustão da sonda, redução do consumo de água para confecção do fluido de perfuração, e ainda o consumo de polímeros sintéticos usados no fluido de perfuração, e atividades secundarias em geral.

#### 4.10. A APLICAÇÃO DO MÉTODO DIRECIONAL NO PROJETO NEXA – ARIPUANÃ

O projeto de sondagem em Aripuanã tem sido executado desde o ano de 2021 pela Geosol, empresa referência em sondagem atuante no ramo a setenta anos completos em 2023. No projeto Aripuanã, a Geosol conta com sua tecnologia própria e de mais avançada com suas sondas hidráulicas Smart shpp-1500, com operação através de uma cabine de comando independente do equipamento, garantindo eficácia e segurança as operações. E para o programa da sondagem direcional, contratou uma empresa terceira detentora da tecnologia e equipamentos de sondagem direcional. Atualmente o projeto conta com 5 sondas hidráulicas sendo duas dedicadas a sondagens convencionais, e outras três dedicadas a sondagem direcional.

O projeto Nexa como citado no seu relatório anual de 2020, “Trata-se do maior empreendimento mineral do estado do Mato Grosso e o maior investimento da Nexa. É também considerado um dos maiores de zinco em implantação no mundo. O



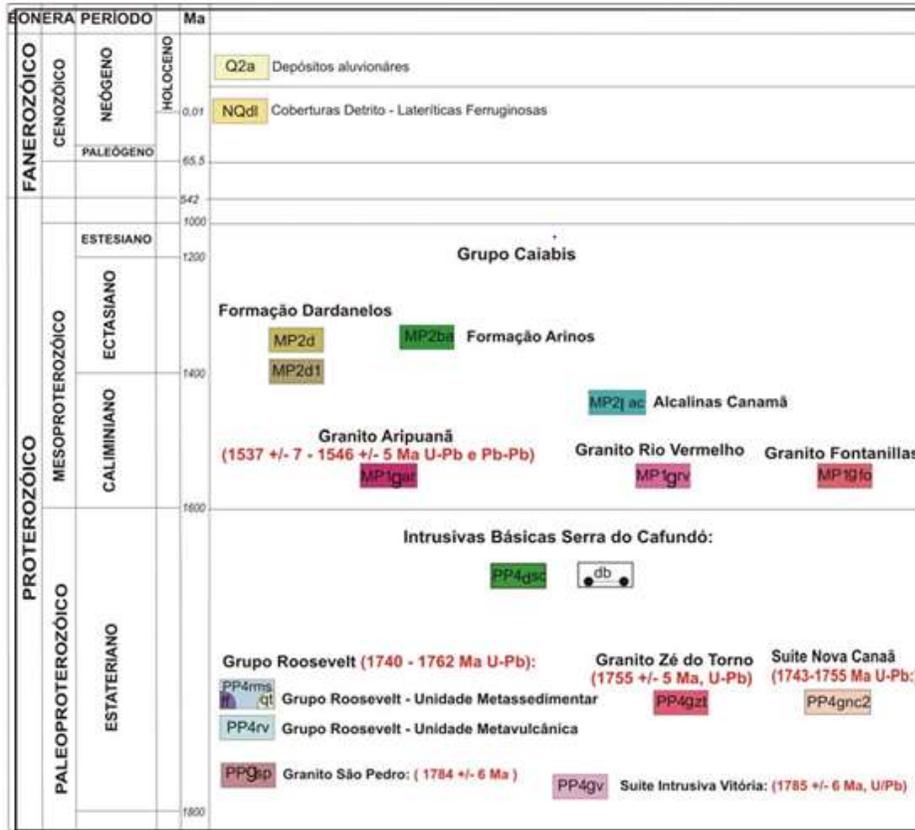
empreendimento vai incorporar o que há de mais moderno em tecnologia e excelência operacional, além da visão de sustentabilidade em toda a cadeia de produção, sendo referência nos aspectos ESG.” Disponível em seu próprio site. E no seu relatório anual de 2021, “O programa brownfield no trend Aripuanã em 2022 teve dois objetivos principais: ampliar os recursos do corpo Ambrex e avaliar oportunidades de extensões, sobretudo na continuidade do sistema noroeste no corpo Babaçu. A estratégia de sondagem do corpo Babaçu apresentou excelentes resultados, com expansão dos corpos e com boa aderência em relação aos modelos prévios. A estratégia de sondagem infill no corpo Ambrex, com mais de 30 mil metros perfurados, comprovou o aumento considerável de recursos e reservas, aumentando em 3 anos a vida útil na unidade.”

#### 4.10.1. GEOLOGIA LOCAL

Aripuanã fica localizada no noroeste do estado do Mato Grosso, a 950 quilômetros da capital Cuiabá conforme a imagem 09 abaixo extraída do portal panorama cidades do IBGE, uma cidade conhecida por suas riquezas hídricas como cachoeiras e extensos rios, que fazem parte da bacia hidrográfica do Rio Amazonas. Sua economia baseia-se no setor primário, com exploração de madeiras, mineração, agricultura e pecuária. Conforme o Relatório do CPRM sobre a Folha Aripuanã, dentro do programa Geologia do Brasil, projeto noroeste de Mato grosso define que, “A Folha Aripuanã situa-se na porção sudoeste do Cráton Amazônico (Almeida et al., 1977, 1981) (Fig. 2.1), no âmbito da Província Rio Negro-Juruena (Tassinari et al., 1996) ou Rondônia-Juruena (Santos, 2000) (Fig. 2.2) e é constituída por terrenos pré-cambrianos plutonovulcânicos, bacias sedimentares proterozóicas e juro-cretácicas, coberturas plataformais paleógenas/neógenas e formações superficiais neógenas.” Conforme a coluna estratigráfica abaixo disponível no site do CPRM.



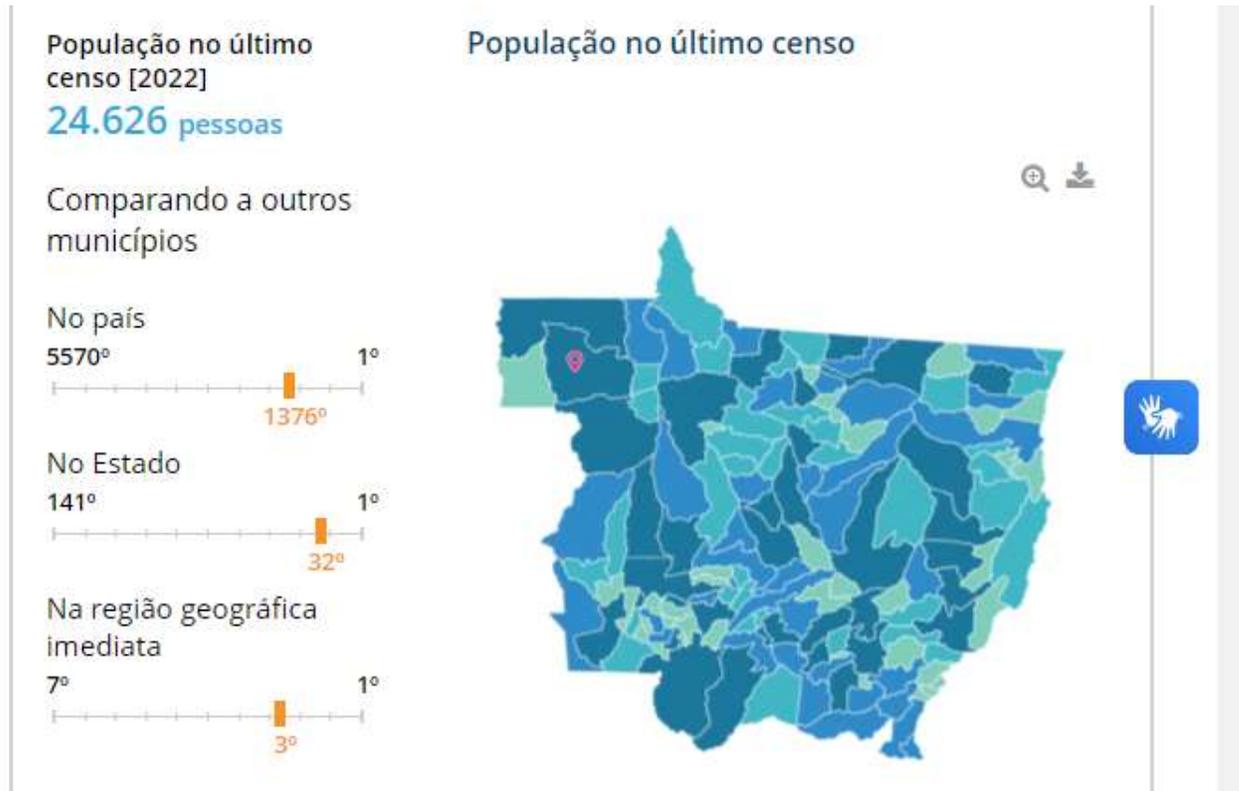
Figura 12 - Coluna estratigráfica da folha Aripuanã



Fonte: Site CPRM, (agosto, 2007).



Figura 13: Mapa do Mato grosso, destaque Município de Aripuanã



fonte: Cidades – IBGE (setembro, 2023)

#### 4.11. MÉTODOS APLICADOS A EXPLORAÇÃO MINERAL

A exploração mineral executada no projeto consiste em serviços de sondagem brownfield e greenfield, em geral com programa infill de amostragem, compondo a parte de sondagem convencional do projeto e complementando o conhecimento do depósito com o programa de sondagens direcionais.

##### 4.11.1. O PROGRAMA DIRECIONAL

O programa direcional no projeto Nexa consistiu em 3 plataformas principais com um furo “mãe” em cada, e em média 3 furos “filhos” ramificados. Com profundidades médias de aproximadamente de 900 a 1000 metros de profundidade.



#### 4.12. MOTIVOS PELOS QUAIS OPTOU-SE PELA SONDAGEM DIRECIONAL

O projeto de Aripuanã fica localizado em uma delicada área a sudoeste da floresta amazônica, no noroeste do estado do Mato grosso, local onde a biodiversidade, a fauna e flora são muito ricas e exuberantes, em respeito as áreas de preservação, as questões ambientais são requisitos de muita importância que garantem a preservação de ambiente, espécies nativas e a continuidade da existência dos biomas e espécies ali residentes, e a possibilidade de entrega das informações necessárias com o menor impacto possível, torna-se fator determinante para opção da execução da sondagem direcional, em paralelo, o método também permite uma redução de custos quando executado.

#### 4.13. PROJEÇÕES DE RESULTADOS

A partir do programa direcional em andamento na unidade, espera-se um retorno de informações com qualidade, precisão e de forma sustentável a modo de compor a sua declaração de recurso e reservas, bem como aprimorar seus conhecimentos sobre o depósito e suas encaixantes para elaborar as estratégias de curto e longo prazo para extração do minério e desenvolvimento da mina.

#### 4.14. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo em vista a corrida por inovações e cada vez mais agregar valor e qualidade aos serviços prestados, técnicas e boas práticas que contribuam com a preservação ambiental e respeito ao ambiente em torno são diferenciais de bastante importância. Nessa linha de raciocínio a sondagem direcional pode trazer a viabilidade de campanhas de sondagem outrora impossíveis de ser realizadas visto a sensibilidade e a dificuldade de licenças para operar.

Levando em consideração aspectos técnicos da sondagem, a Sondagem convencional apresenta maior maleabilidade em questões de parâmetros, o que permite melhor desempenho em aspectos diversos como as respostas do maciço, fraturas, perda de retornos de fluidos, cavidades, dentre outros fatores operacionais. O que comparado a sondagem direcional é fora de cogitação ser feito, visto que em áreas de maciços fraturados, cavidades,



ou meios muito porosos a operação do barrilete direcional já se torna inviável ou muito morosa. Bem como em aspectos de produtividade a sondagem convencional apresenta maior rendimento e velocidade nas entregas quando comparado a sondagem direcional, em ordem de grandezas, a sondagem convencional seria capaz de entregar 60 metros perfurados por dia, enquanto a sondagem direcional em sua plena capacidade pode chegar a entregar cerca de 25 – 30 metros por dia, conforme percebido ao acompanhar a operação.

## 5. CONCLUSÃO

Após as análises em campo, revisões bibliográficas e estando imerso a operação onde a sondagem direcional está sendo aplicada, percebe-se que, o ramo da pesquisa mineral está cada vez mais empenhado em soluções com uma imensa escala de detalhes, onde cada milímetro de recuperação do material amostrado é levado a sério, para isso equipamentos de última tecnologia práticas parametrizadas, técnicas e treinamentos devidamente aplicados para garantir a excelência operacional e a qualidade na entrega das informações.

Dessa forma, conclui-se que a sondagem direcional se demonstra como uma alternativa viável em aspectos operacionais, em cenários onde a sondagem convencional venha a ser impossibilitada, de acordo com a geometria do corpo mineral, sua posição em subsolo e as autorizações em superfície que se tem, e um embasado planejamento estratégico, a sondagem direcional é uma alternativa capaz de entregar resultados satisfatórios a pesquisa mineral, bem como anteriormente na indústria petrolífera, já mostrou capaz de gerar resultados importantes na pesquisa de solo, atingimento de depósitos em pontos específicos com precisão. Entretanto cabe-se ressaltar a importância de um robusto planejamento estratégico para o programa de sondagem direcional, quanto a insumos e custos pois em questões financeiras, de acordo com a necessidade do projeto pode expressar de 1,5 a 3,0 vezes os valores de uma sondagem convencional, fazendo se valorizar e ser empregada pelo valor agregado aos resultados que é capaz de entregar e não só ao custo operacional.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avaliação de trajetória de furos de sondagem em maciços rochosos na Mina de S11D - Carajás, PA [manuscrito] / Igor Brito Costa Rosa. – 2015;

Folha Aripuanã. Organizado por Mário Cavalcanti Albuquerque e Cipriano Cavalcante de Oliveira, escala 1:250.000. Goiânia: CPRM, 2007. (Convênio CPRM/SICMEMT).

MILLER, R. MeG. The keys to successful corporate mineral exploration. South Africa Tydskr. Geol., v. 1992, n. 2, p. 146-154, 1989.

O capital natural; Roberto STRUMPF, 2013 - disponível em: <https://www.ethos.org.br/cedoc/o-capital-natural/> acesso em 19-08-2023;

Panorama Aripuanã. Cidades – IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/aripuana/panorama>. Acesso em: Acesso em 04/09/2023

Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios / Adolpho José Melfi, Aroldo Misi, Diogenes de Almeida Campos e Umberto Giuseppe Cordani (organizadores). – Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016.

REIS, E.; BICHO, C. P.; MELO, E. Exploração mineral - tendências tecnológicas. In: Tendências tecnológicas Brasil 2015: geociências e tecnologia. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p.23-34.

Relatório anual de desempenho Nexa. Nexa resources, 2021. Disponível em: [https://www.nexaresources.com/wp-content/uploads/2022/07/RelatorioAnual\\_2021.pdf](https://www.nexaresources.com/wp-content/uploads/2022/07/RelatorioAnual_2021.pdf). Acesso em: Acesso em 04/09/2023



Relatório anual de desempenho Nexa. Nexa resources, 2022. Disponível em: -  
[https://www.nexaresources.com/wp-content/uploads/2022/07/NEX\\_RA\\_2020\\_V12.pdf](https://www.nexaresources.com/wp-content/uploads/2022/07/NEX_RA_2020_V12.pdf).

Acesso em: Acesso em 04/09/2023

Shintaku Isao, 1998 “ASPECTOS ECONOMICOS DA EXPLORAÇÃO MINERAL” Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/133267>

S&P GLOBAL RATINGS. The ESG Risk Atlas: Sector And Regional Rationales And Scores. 13 de maio de 2019. disponível em: <https://www.spglobal.com/en/research-insights/articles/the-esg-risk-atlas-sector-and-regional-rationales-and-scores>