



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CENTRALIZADORES DE
HASTES NA VIDA ÚTIL DOS PUNHOS DE PERFURATRIZES HIDRÁULICAS**

LUANA CHRISTINA FRANCISCO

OURO PRETO - MG
Novembro de 2022

LUANA CHRISTINA FRANCISCO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CENTRALIZADORES DE
HASTES NA VIDA ÚTIL DOS PUNHOS DE PERFURATRIZES HIDRÁULICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas. **Área de concentração:** Lavra de Minas/ Desenvolvimento Mineiro e Desmonte de Rochas

Orientador: Prof. Dr. Elton Destro
(*DEMIN/EM/UFOP*)

OURO PRETO - MG
Novembro de 2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F818a Francisco, Luana Christina.

Análise da influência da utilização de centralizadores de hastes na vida útil dos punhos de perfuratrizes hidráulicas. [manuscrito] / Luana Christina Francisco. - 2022.

57 f.

Orientador: Prof. Dr. Elton Destro.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Mina subterrânea. 2. Perfuratrizes. 3. Brocas (Ferramenta) - Punhos. I. Destro, Elton. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.24.05

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor

Luana Christina Francisco

Título

Análise da influência da utilização de centralizadores de hastes na vida útil dos punhos de perfuratrizes hidráulicas

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Aprovada em 04 de novembro de 2022.

Membros da banca

Prof. Dr. Elton Destro - Orientador (UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto)
Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Pedrosa Santos (UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto)
Eng^o. de Minas João Vítor Araújo Sales (P. A. Gold Mineração e Metalurgia)

Elton Destro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/11/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Elton Destro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/11/2022, às 14:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0430120** e o código CRC **072AF78E**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir traçar minha trajetória e realizar o sonho de me tornar engenheira.

Aos meus pais, André e Andréa, por terem sido o meu porto seguro e por todo apoio incondicional durante esses anos.

Aos meus avós, Ailton e Alice, por sempre acreditarem em mim.

Aos meus amigos que estiveram ao meu lado durante esses anos, por tornarem essa trajetória mais leve e feliz, principalmente, os meus colegas do 17.1 por toda amizade.

Em especial, Rafael Pereira, Pedro Lucas, Days Juliana, pelo apoio e parceria.

Aos professores que tive o privilégio de conhecer e por todo conhecimento compartilhado.

Ao doutor, Elton Destro, pela orientação e acompanhamento durante todo desenvolvimento deste projeto.

À CBA e P.A. Gold pela incrível oportunidade de crescimento técnico, profissional e humano.

À república As Puritanas, por ser meu eterno lar.

À Universidade Federal de Ouro Preto e à Escola de Minas, pelo suporte e pela excelente qualidade de ensino.

RESUMO

Este trabalho apresenta a análise da influência da utilização de centralizadores de hastes na vida útil de ferramentas de desgaste da coluna de perfuração: os punhos. O objetivo do estudo é realizar uma análise comparativa da vida útil dessas ferramentas de perfuração antes e depois da implantação da melhoria. Foram analisados para o desempenho individual de cada ferramenta a variância da metragem perfurada, o aumento de vida útil média mensal e o prazo entre quebras. O projeto teve como base medidas do desempenho de um dos equipamentos de perfuração em operação, Boomer S2, sendo avaliado os punhos utilizados em ambas as perfuratrizes do equipamento nas dependências de uma mina de ouro de veio estreito localizada no Estado do Mato Grosso. As melhorias realizadas resultaram em um aumento significativo, com média de 79%, na vida útil dos punhos, trazendo maior linearidade da vida útil dessas ferramentas, justificando, então, a implantação da utilização dos centralizadores no equipamento avaliado, bem como para os demais equipamentos de perfuração em operação.

Palavras-chave: Mina subterrânea; Perfuratrizes; Punhos; Vida útil.

ABSTRACT

This work presents the analysis of the influence of the use of rod centralizers in the useful life of wear tools of the drill string: the shank adapters. The objective of the study is to carry out a comparative analysis of the useful life of the drilling tool, the shank adapters, before and after the implementation of the improvement. Being analyzed for the individual performance of each tool the variance of the perforated footage, the increase in monthly average useful life and the period between breaks. The project was based on the performance of one of the drilling equipment in operation, Boomer S2, and evaluated the shank adapters used in both drills of the evaluated equipment, in the narrow vein gold mining facilities, located in the State of Mato Grosso - Brazil. The improvements made resulted in a significant increase - with an average of 79% - in the useful life of the shank adapters, bringing greater linearity in the useful life of the tools, thus justifying the implementation of the use of centralizers in the evaluated equipment, as well as for the other equipment of drilling in operation.

Keywords: Underground Mine; Drills; Shank adapters; Useful life.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1: SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES DO CICLO DE DESENVOLVIMENTO. | 15 |
| FIGURA 2: TIPOS DE FUROS EM FACE DE GALERIA..... | 16 |
| FIGURA 3: DIAGRAMA JUMBO..... | 17 |
| FIGURA 4: BRAÇO TELESCÓPICO HIDRÁULICO E TELESCÓPICO..... | 18 |
| FIGURA 5: COLUNA DE PERFURAÇÃO..... | 19 |
| FIGURA 6: COMPONENTES DA COLUNA DE PERFURAÇÃO. | 19 |
| FIGURA 7: ESQUEMA FUNCIONAMENTO DAS PERFURATRIZES ROTO- PERCUSSIVAS. | 20 |
| FIGURA 8: PUNHOS COM ROSCA EXTERNA. | 21 |
| FIGURA 9: FLUXOGRAMA DE FABRICAÇÃO DOS PUNHOS..... | 21 |
| FIGURA 10: LUVA. | 22 |
| FIGURA 11: TIPOS DE HASTES..... | 23 |
| FIGURA 12: TIPOS DE BITS E SEUS COMPONENTES. | 24 |
| FIGURA 13: FATORES QUE INFLUENCIAM NO DESGASTES DAS FERRAMENTAS..... | 25 |
| FIGURA 14: FALHAS DE PUNHOS PROVENIENTES DE OPERAÇÃO INCORRETA: A) POSIÇÃO DA FALHA E B) DIAGNÓSTICO PROVÁVEL. 26 | 26 |
| FIGURA 15:FALHAS DE HASTES PROVENIENTES DE OPERAÇÃO INCORRETA: A) POSIÇÃO DA FALHA E B) DIAGNÓSTICO PROVÁVEL. 27 | 27 |
| FIGURA 16: FALHAS DE LUVAS PROVENIENTES DE OPERAÇÃO INCORRETA: A) POSIÇÃO DA FALHA E B) DIAGNÓSTICO PROVÁVEL. 27 | 27 |
| FIGURA 17: FALHAS DE BITS PROVENIENTES DE OPERAÇÃO INCORRETA: A) POSIÇÃO DA FALHA E B) DIAGNÓSTICO PROVÁVEL..... | 28 |
| FIGURA 18: JUMBO MODELO EPIROC BOOMER S2..... | 29 |
| FIGURA 19: CICLO DE DESENVOLVIMENTO. | 30 |
| FIGURA 20: COP MD20..... | 31 |
| FIGURA 21: VIDA ÚTIL MÉDIA DAS FERRAMENTAS PERFURAÇÃO DE NOV/21 A FEV/22..... | 33 |
| FIGURA 22: ETIQUETA DE IDENTIFICAÇÃO. | 34 |
| FIGURA 23: BANCO DE DADOS PARA QUEBRAS DE PUNHO..... | 35 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 24: PARÂMETROS DE UTILIZAÇÃO PARA A ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO..... | 35 |
| FIGURA 25: FLAMBAGEM DA HASTE DE PERFURAÇÃO (SETA). | 36 |
| FIGURA 26: PADRÃO E LOCAL DA FALHA. | 37 |
| FIGURA 27: BUCHA CENTRALIZADORA: (A) INTERMEDIÁRIA E (B) FRONTAL..... | 40 |
| FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO DE QUEBRAS POR ATIVIDADE – CENÁRIO 1 .. | 43 |
| FIGURA 29: METRAGEM TOTAL PERFURADA POR ATIVIDADE..... | 44 |
| FIGURA 30: DISTRIBUIÇÃO DE QUEBRAS POR ATIVIDADE - CENÁRIO 2. ... | 44 |
| FIGURA 31: QUEBRAS OCORRIDAS POR FRENTE EM OPERAÇÃO - CENÁRIO 1 | 45 |
| FIGURA 32: METRAGEM DESENVOLVIDA POR FRENTE DURANTE O PERÍODO ANALISADO. | 45 |
| FIGURA 33: VIDA ÚTIL MÉDIA DE PUNHOS POR MÊS PARA O CENÁRIO 1. | 48 |
| FIGURA 34: DISTRIBUIÇÃO DA VIDA ÚTIL MÉDIA (BR-01) PARA O CENÁRIO 1. | 49 |
| FIGURA 35: DISTRIBUIÇÃO DA VIDA ÚTIL MÉDIA (BR-02) PARA O CENÁRIO 1. | 49 |
| FIGURA 36: VIDA ÚTIL MÉDIA DE PUNHOS POR MÊS PARA O CENÁRIO 2. | 50 |
| FIGURA 37: DISTRIBUIÇÃO DE VIDA ÚTIL MÉDIA (BR-01) PARA O CENÁRIO 2. | 51 |
| FIGURA 38: DISTRIBUIÇÃO DE VIDA ÚTIL MÉDIA (BR-02) PARA O CENÁRIO 2. | 51 |
| FIGURA 39: COMPARATIVO ENTRE OS CENÁRIOS ANALISADOS (BR-01)... | 52 |
| FIGURA 40: COMPARATIVO ENTRE OS CENÁRIOS ANALISADOS (BR-02)... | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1: VIDA ÚTIL MÉDIA DA COLUNA DE PERFURAÇÃO..... | 28 |
| TABELA 2: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA PERFURATRIZ. | 32 |
| TABELA 3: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS COLUNA DE PERFURAÇÃO..... | 32 |
| TABELA 4: PRINCIPAIS CAUSAS PARA QUEBRAS DE PUNHOS. | 38 |
| TABELA 5: COMPARATIVO DIÂMETROS..... | 39 |
| TABELA 6: ESPECIFICAÇÕES DAS BUCHAS CENTRALIZADORAS..... | 40 |
| TABELA 7: COMPARATIVO DE QUEBRAS TOTAIS..... | 42 |
| TABELA 8: CENÁRIO 1: QUEBRA DE PUNHO POR ATIVIDADE (BR-01 E BR- 02)..... | 43 |
| TABELA 9: QUEBRA DE PUNHO POR ATIVIDADE – BR01 (CENÁRIO 2). | 44 |
| TABELA 10: PRAZO ENTRE FALHAS DE FERRAMENTAS (BR--01 E BR-02). . | 46 |
| TABELA 11: TABELA-RESUMO (BR-01 E BR-02)..... | 52 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | OBJETIVOS | 13 |
| | 2.1 Objetivo Geral..... | 13 |
| | 2.2 Objetivos específicos | 13 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| | 3.1 Ciclo de Desenvolvimento..... | 14 |
| | 3.2 Perfuração | 14 |
| | 3.3 Jumbos | 16 |
| | 3.4 Braços e Coluna de Perfuração | 18 |
| | 3.4.1 Perfuratriz Hidráulica | 19 |
| | 3.4.2 Punho | 20 |
| | 3.4.3 Luva..... | 22 |
| | 3.4.4 Haste | 22 |
| | 3.4.5 Bits ou Coroas | 23 |
| | 3.5 Fatores de Desgaste das Ferramentas de Perfuração | 25 |
| 4 | PROJETO | 29 |
| 5 | METODOLOGIA..... | 33 |
| | 5.1 Rastreamentos das Quebras | 33 |
| | 5.2 Análise de Campo | 35 |
| | 5.3 Análises Prévia das Quebras | 37 |
| | 5.4 Ações de Melhoria | 38 |
| | 5.5 Instalação dos Centralizadores de Hastes | 39 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 42 |
| | 6.1 Quebras Totais | 42 |
| | 6.2 Atividade da Quebra | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 6.3 Frente em Atividade..... | 45 |
| 6.3.1 Período entre Quebras | 46 |
| 6.3.2 Distribuição da Vida útil | 47 |
| 7 CONCLUSÕES..... | 54 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 55 |

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a mineração ainda é uma das principais indústrias que proporcionam a exploração de recursos naturais com intuito do constante desenvolvimento da humanidade, apesar do grande número de jazidas em operação pelo método de lavra a céu aberto, em detrimento das minerações subterrâneas. A crescente escassez de recursos presentes em superfície vem tornando necessária a maior aplicação da lavra subterrânea para o aproveitamento econômico de novas jazidas.

Dessa forma, para a implantação das atividades em minas subterrâneas, tem-se o desenvolvimento mineiro como etapa principal, visando o alcance aos corpos de minério, englobando atividades de perfuração, carregamento, desmonte, saneamento e contenção em seu ciclo.

Nesse contexto, a perfuração, primeira etapa do ciclo de desenvolvimento, tem a finalidade de realizar a perfuração sistemática em maciços para o alojamento de cargas e acessórios iniciadores. A realização da etapa de perfuração de maneira adequada traz consequências positivas para as etapas subsequentes.

Os jumbos, equipamento de perfuração horizontal aplicado prioritariamente para a realização das atividades do ciclo de desenvolvimento, apresentam características de parâmetros variáveis de acordo com as especificações das atividades realizadas, bem como a definição da coluna de perfuração ideal.

Assim, a escolha dos equipamentos de perfuração, as ferramentas, implementos e materiais de desgaste da coluna de perfuração, são pontos críticos que impactam diretamente a produtividade e o desempenho da etapa de perfuração no ciclo de desenvolvimento.

Entretanto, ao serem analisadas as ferramentas e os materiais de desgaste utilizados na coluna de perfuração, é possível observar que o desempenho de cada ferramenta traz consequências para o desenvolvimento das atividades de perfuração. Sendo, então, de suma importância a verificação do estado de cada ferramenta, bem como o acompanhamento da vida útil de cada material e, em caso de quebras prematuras, para a definição das causas principais.

Os punhos, ferramentas acopladas a perfuratriz hidráulica, devido a sua rigidez, sofre grandes impactos causados por variações operacionais e, também, influência negativa pelo desgaste prematuro das demais ferramentas da coluna de perfuração.

Dessa forma, com o intuito de desenvolver o processo de melhoria contínua para as atividades de perfuração, foram identificadas avarias precoces para as ferramentas de desgaste (punhos) no equipamento de perfuração utilizado no projeto, as quais acarretam impactos negativos para a atividade de perfuração dentro do ciclo de desenvolvimento.

Em vista disso, o presente estudo visa acompanhar e analisar as atividades de perfuração desenvolvidas pelo equipamento de perfuração jumbo. Buscou-se identificar medidas favoráveis para a otimização, em específico a implantação de centralizadores de hastes para a coluna de perfuração, visando a melhoria na qualidade de perfuração, o aumento na vida útil dos punhos e a redução do número de quebras prematuras da ferramenta.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da utilização de centralizadores de hastes em perfuratrizes e sua influência na vida útil de ferramentas da coluna de perfuração, especificamente os punhos. Estes centralizadores foram desenvolvidos para o equipamento de perfuração Bomeer - S2 operando em uma mina de ouro localizada no estado do Mato Grosso.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinação, durante a fase operacional do equipamento, da metragem perfurada dos punhos (etapa de coleta de dados);
- b) Verificar a influência da utilização de centralizadores de hastes no aumento da vida útil dos punhos correlacionando com o aumento da metragem perfurada por esta ferramenta;
- c) Estimar a vida útil mensal dos punhos e a variância da metragem perfurada desta ferramenta antes e depois do uso de centralizadores;
- d) Verificar a influência do uso de centralizadores na redução do número de quebras prematuras de punhos e no número de unidades desta ferramenta utilizado por mês.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CICLO DE DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento de atividades de escavações subterrâneas atualmente pode ser realizado por meio de dois métodos principais: perfuração e explosão (*Drill and Blast*) ou Tuneladora (TBM - *Tunnel Boring Machine*). De forma geral, a definição do método é baseada principalmente pela geologia local, complexidade de desenvolvimento e comprimento dos túneis. Assim, túneis longos ou de tamanho moderado e com rocha praticamente inalterada, são escavados pela metodologia TBM. Em contrapartida, túneis curtos, com presença de curvas e geologia complexa, são desenvolvidos pelo método de perfuração e explosão (ATLASCOPCO, 2015).

Para o desenvolvimento de túneis e galerias subterrâneas, o método de perfuração e explosivos apresenta a vantagem da alta adaptabilidade ao projeto da mina, uma vez que pode ser aplicado para qualquer tipo de seção, independente da sua geometria e tamanho. Sua aplicação conta com intuito de adequar a sequência de operações aos recursos disponíveis e as condições de trabalho, de forma a otimizar as taxas de avanço (COSTA E SILVA, 2019).

O ciclo básico de operações conta com as atividades de perfuração de furos, carregamento de furos, desmonte, exaustão dos gases, carregamento e transporte, saneamento de choco, concretagem e contenção de tetos e laterais, como mostrado na figura 1.

3.2 PERFURAÇÃO

Caracterizada como a primeira operação a ser realizada no ciclo de desenvolvimento mineiro, a perfuração de rochas visa a abertura de furos em maciços rochosos, com distribuição e geometria pré-definidas a fim de alojar cargas de explosivos e acessórios iniciadores (COSTA E SILVA, 2009).

A definição da malha de perfuração é fator essencial para alcance do resultado desejado para a etapa de desmonte. De acordo com Heiniõ (1999), a malha de perfuração varia com a geometria e dimensões da galeria, as condições geológicas e mecânicas do maciço rochoso, os meios de detonação e explosivos utilizados, padrão de qualidade necessário, diâmetro dos furos, equipamentos e perfuração e restrição de vibrações.

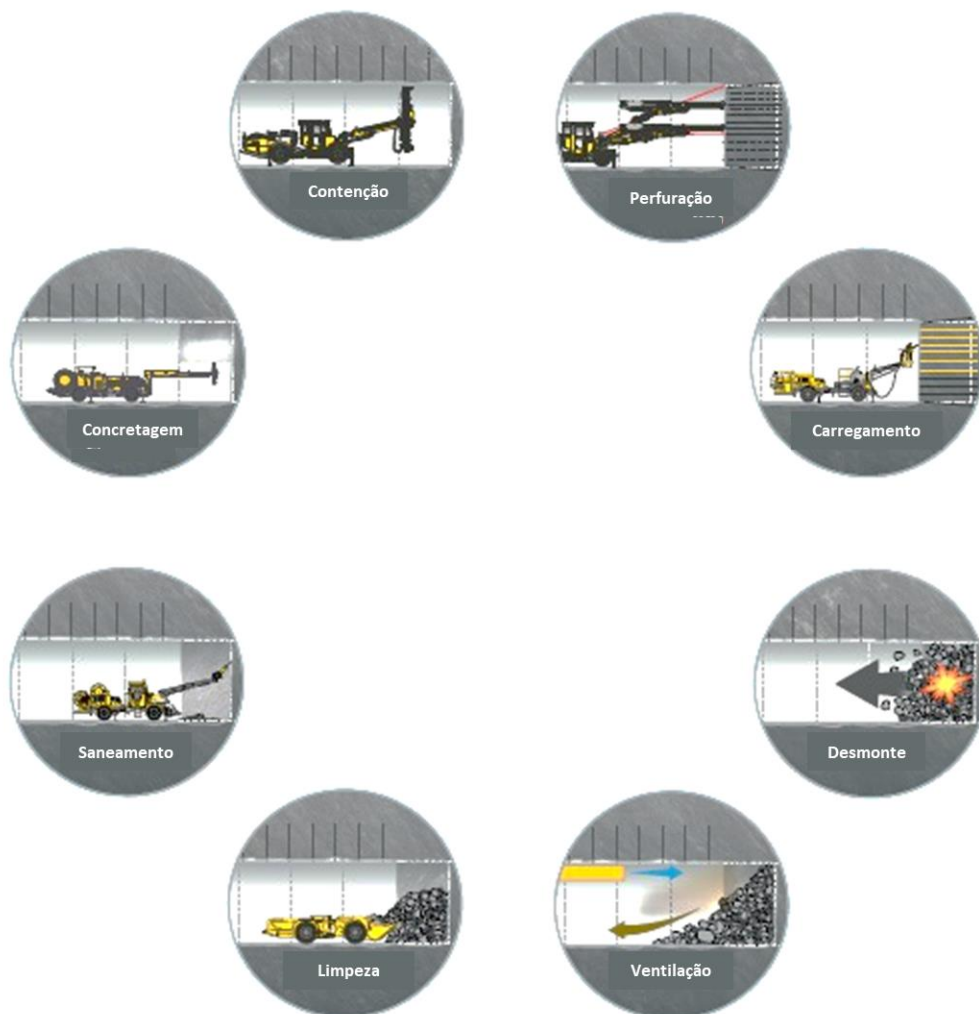


Figura 1: Sequência de operações do ciclo de desenvolvimento.

Fonte: (adaptado de) Atlas Copco, 2015.

Dessa forma, o desenvolvimento subterrâneo apresenta diversas variações de malhas de perfuração, variando de acordo com as mudanças de condições de cada túnel/galeria e com a finalidade de utilização dos mesmos como, por exemplo, desenvolvimento de rampas, galerias de produção, pontos de extração e carregamento, derivações para transporte, entre outros.

Ao projetar uma malha de perfuração, o objetivo é a otimização do padrão, tornando-o mais econômico e eficiente perante as condições disponíveis garantindo, assim, o número ideal de furos corretamente posicionados e perfurados com precisão. Para o desenvolvimento de galerias e túneis subterrâneos, a malha de perfuração é composta por furos de contorno, furos de carregamento, furos do pilão e furos de piso, conforme pode ser visto na figura 2.

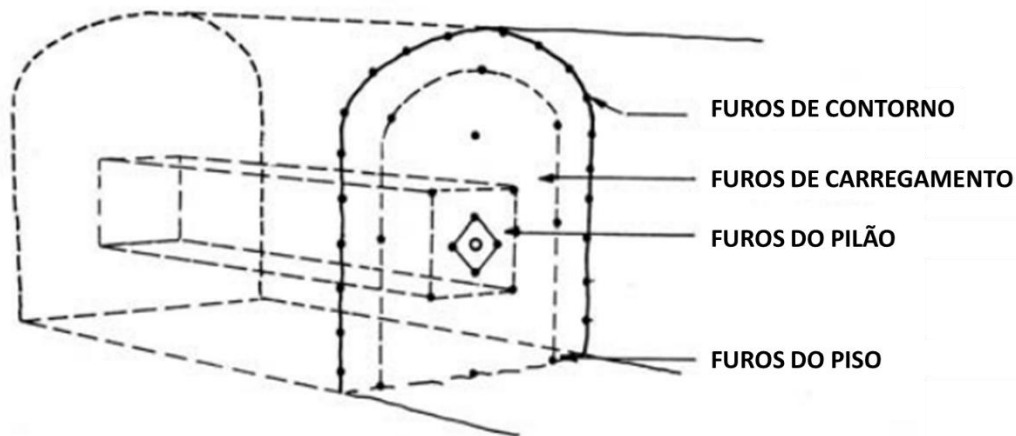


Figura 2: Tipos de furos em face de galeria.

Fonte: HEINIÖ *et al.*, 1999.

- **Furos de contorno:** necessário para a definição da seção da galeria, criando durante o desmonte uma região de alívio, limitando a largura e profundidade da zona de fratura causada pelo desmonte;
- **Furos de carregamento:** furos que recebem cargas completas de explosivos, responsáveis pela fragmentação do material;
- **Furos do Pilão:** padrão de furos, projetado para fornecer a linha ideal de deformação, ou seja, tem a função de gerar face livre para a expansão do material fragmentado;
- **Furos do piso:** necessário para a definição e corte do piso da galeria.

O equipamento comumente utilizado para a realização dos furos é o jumbo, sendo aplicado no avanço de túneis e galerias, perfuração transversal e de banco com furos horizontais.

3.3 JUMBOS

Os jumbos são unidades de perfuração movidos a motor diesel, equipados com uma a quatro perfuratrizes rotoperçussivas, com funcionamento elétrico e braços hidráulicos. Apresentam sistema de deslocamento em trilhos, esteiras e rodas, sendo aplicado para as etapas de perfuração e contenção de tetos e laterais do ciclo de desenvolvimento (ORTIZ, 2020).

Segundo Costa e Silva (2019), os jumbos apresentam os seguintes componentes básicos, descritos na figura 3:

- **Veículo transportador:** composto pelos componentes do motor, como trem de rolamento, chassis, trem de rolamento, transmissão e cabine;
- **Sistemas elétricos:** motores, carretel de cabo, baterias e proteções, controle, sendo responsáveis pelo funcionamento das perfuratrizes;
- **Sistema hidráulico:** composto por bombas, reservatórios de óleos, refrigerador, mangueiras e filtros, sendo responsáveis pela movimentação dos braços;
- **Sistemas de ar e água;**
- **Sistemas de controle e gestão;**
- **Sistema de perfuração:** formado pelas perfuratrizes, guia de rolamento e braços de perfuração.

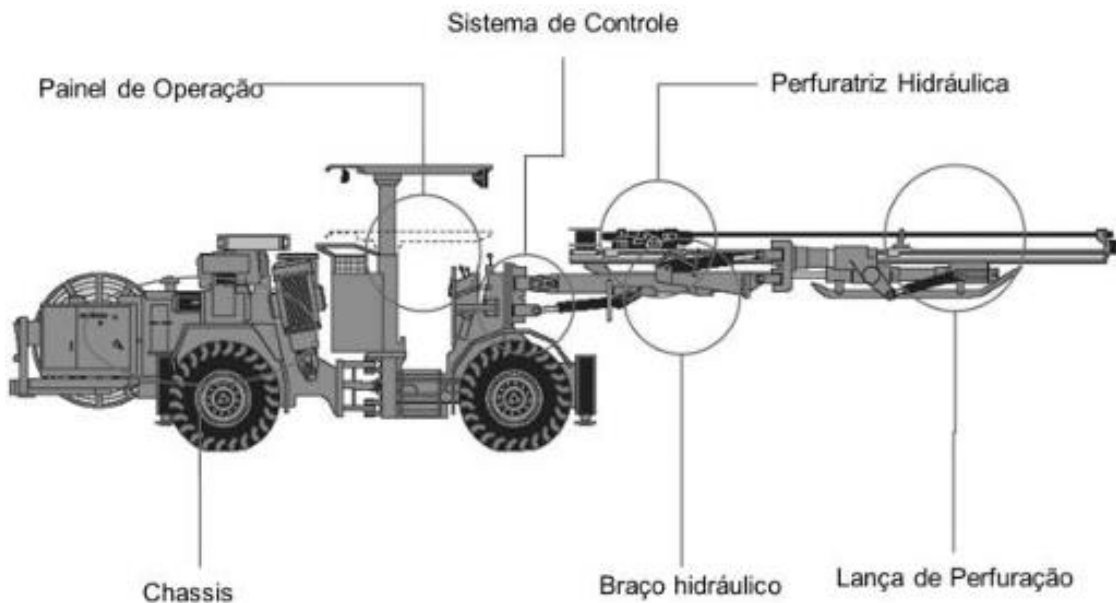


Figura 3: Diagrama jumbo.

Fonte: Paiva, 2016.

A escolha do equipamento varia de acordo com as condições de trabalho a serem realizadas, sendo capaz de executar as etapas de perfuração de maneira eficiente e adaptar as alterações de diferentes frentes de serviços, seções, geologia, comprimento e *layout* dos furos.

As condições de trabalho durante o desenvolvimento do ciclo de operação podem variar de acordo com algumas situações, tais como tipos de galerias desenvolvidas, seções de túneis e galerias, comprimento do túnel, distâncias de deslocamento, diâmetros dos

furos, taxa de avanço, curvatura e cruzamento com outras escavações, gradiente do túnel, variações operacionais do ciclo de desenvolvimento e realização de trabalhos auxiliares.

3.4 BRAÇOS E COLUNA DE PERFURAÇÃO

Atualmente, os jumbos mais modernos, apresentam sistemas hidráulicos para a movimentação dos braços de perfuração. A escolha correta das configurações e dimensões dos braços de perfuração é um aspecto muito importante. O número de cilindros e os tipos de movimentos do braço variam de acordo com a seção transversal do eixo de túnel ou galeria subterrânea sobre o qual será desenvolvido a etapa de perfuração e de acordo com as condições e tipos de trabalhos do equipamento.

Basicamente, existem três tipos de desenho para os braços de perfuração: giro na base, em linha e do tipo tripé. A figura 4 mostra os componentes principais de um dos tipos do braço de perfuração (RODRIGUES, 2018).

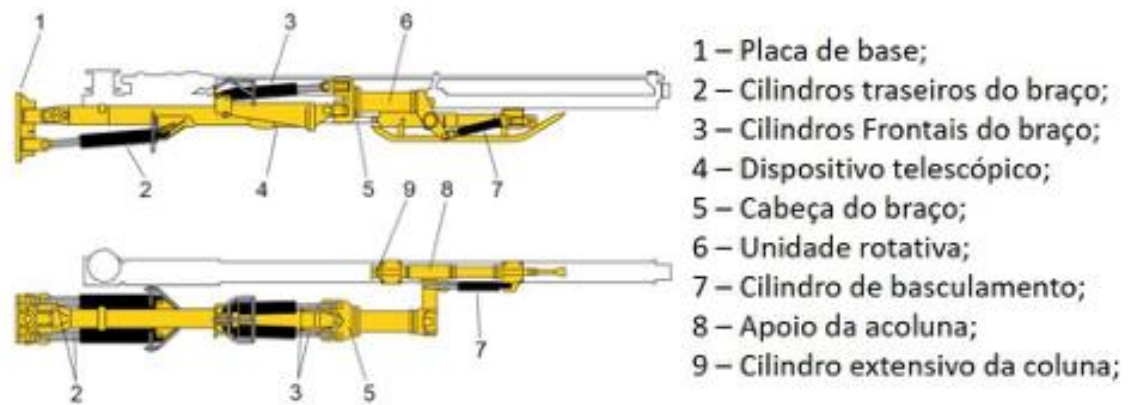


Figura 4: Braço telescópico hidráulico e telescópico.

Fonte: Rodrigues, 2018.

Nos braços de perfuração, o responsável pela geração de energia através da coluna de perfuração é a perfuratriz hidráulica. Sendo capaz de exercer quatro funções, as quais são responsáveis pela perfuração em rocha: percussão, rotação, avanço e limpeza. A energia gerada pela perfuratriz é transferida pelas peças que compõem a coluna de perfuração (Figuras 5 e 6).



Figura 5: Coluna de perfuração.
Fonte: Rodrigues, 2018.

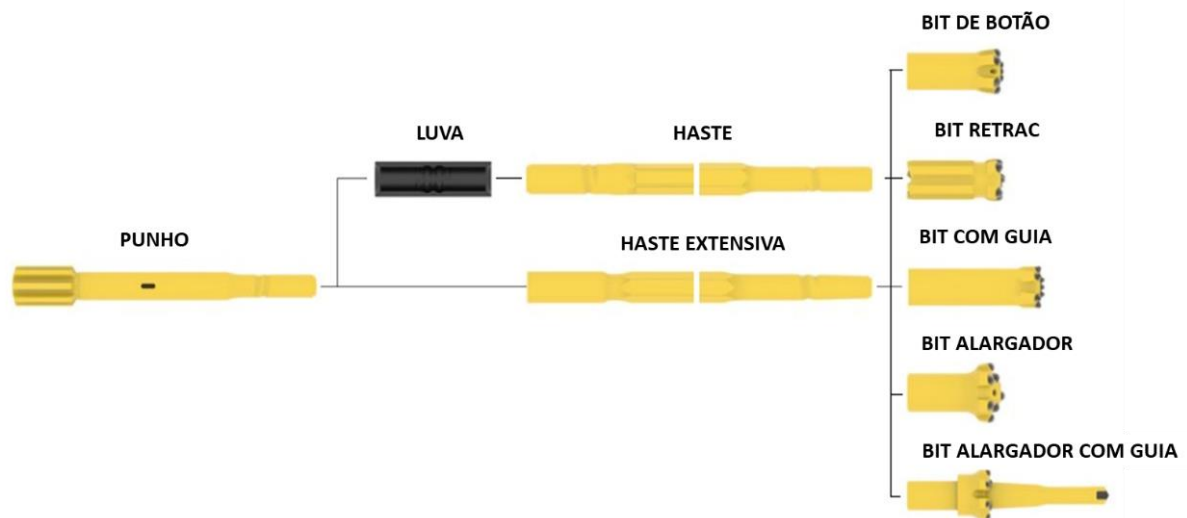


Figura 6: Componentes da coluna de perfuração.
Fonte: Epiroc, 2022.

3.4.1 Perfuratriz Hidráulica

As perfuratrizes roto-percussivas podem ser pneumáticas e hidráulicas. Semelhantes em seus componentes construtivos, se diferem no acionamento do motor de rotação, onde as pneumáticas utilizam de ar comprimido para o acionamento e, as perfuratrizes hidráulicas, utilizam um grupo de bombas para o acionamento de seus componentes. Dessa forma, as perfuratrizes hidráulicas apresentam algumas vantagens se comparadas as pneumáticas, tais como menor consumo de energia, menor desgaste dos bits, maior velocidade de avanço e melhores condições de operação, justificando, então, sua ampla aplicação nas atividades subterrâneas (COSTA E SILVA, 2019).

O funcionamento das perfuratrizes roto-percussivas hidráulicas possui quatro funções principais as quais são essenciais para a perfuração da rocha e que podem ser vistas na Figura 7. São elas:

- **Rotação:** através do atrito com a rocha no fundo do furo, é capaz de realizar a fragmentação da rocha;

- **Percussão:** transmite uma onda de choque através da coluna de perfuração para a fragmentação das rochas, sendo responsável pelo impacto do bit na rocha;
- **Avanço:** mantém o bit em contato com rocha durante a perfuração exercendo pressão contra a rocha;
- **Limpeza:** realiza a limpeza da face da rocha. Antes do impacto do bit na rocha, os fragmentos são removidos do fundo do furo para a superfície pela lavagem com água, ar ou uma combinação de ambos.

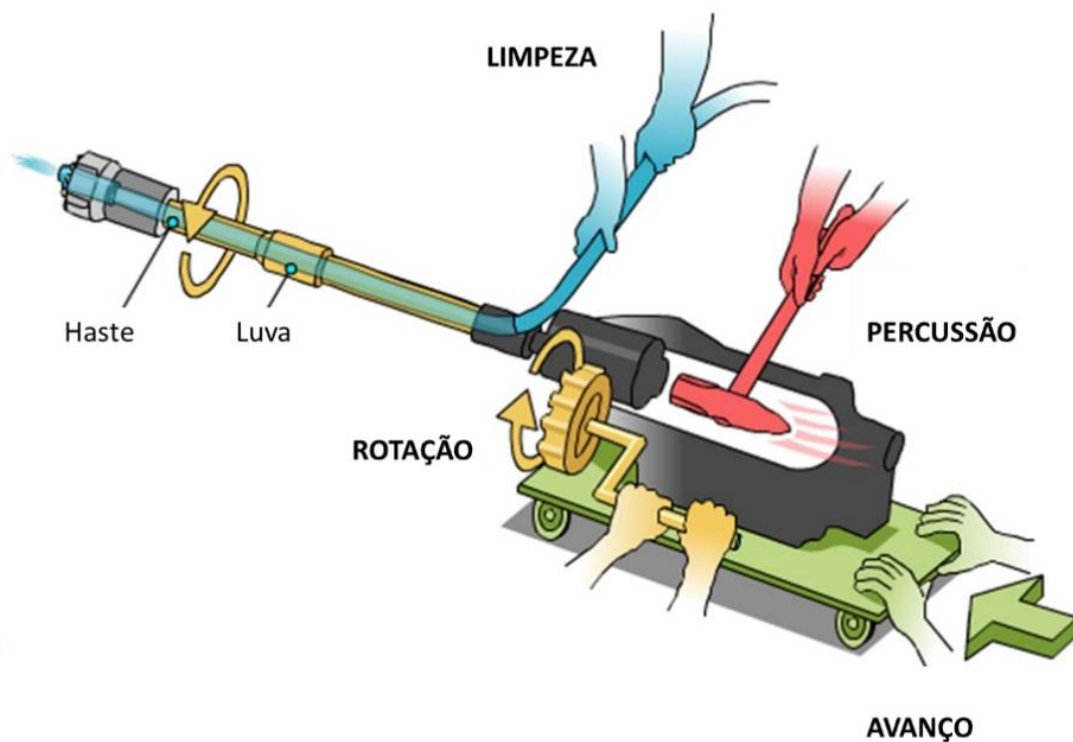


Figura 7: Esquema funcionamento das perfuratrizes roto-percussivas.

Fonte: Epiroc, 2018.

3.4.2 Punho

Ferramenta da coluna de perfuração que recebe e transmite aos demais componentes da coluna a energia de percussão, pressão de avanço, rotação e o fluxo de limpeza. A utilização do punho na coluna de perfuração ocorre pelo seu acoplamento em uma extremidade à bucha da perfuratriz (onde recebe o impacto do pistão) e, em outra extremidade, o acoplamento com a haste de perfuração através de uma luva, como o

esquema da figura 8 mostra **Erro! Fonte de referência não encontrada.**(CASTRO e PARRAS, 1986).

Segundo Castro e Parras (1986), os punhos são ferramentas fabricadas a partir de uma barra de aço composta por carbono, cromo, níquel e molibdênio e cuja fabricação segue o fluxograma mostrado na figura 9.

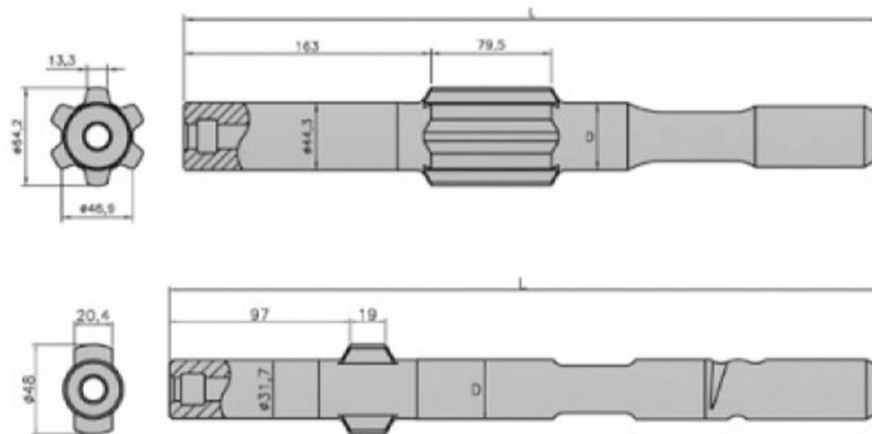


Figura 8: Punhos com rosca externa.

Fonte: PROROC, 2020.

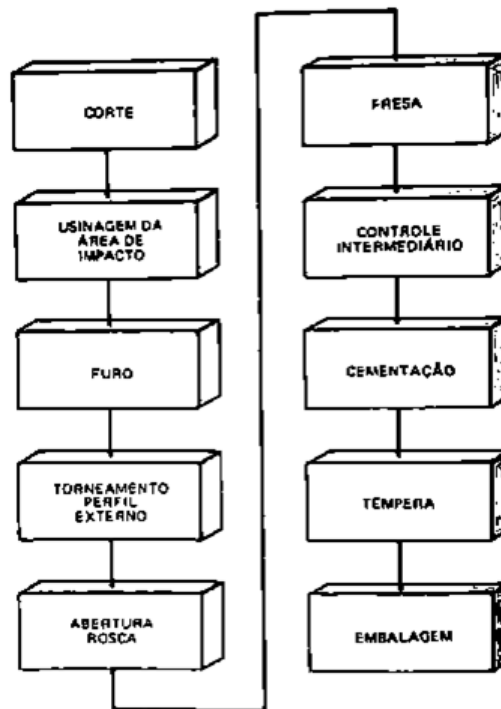


Figura 9: Fluxograma de fabricação dos punhos

Fonte: Castro e Parras, 1986.

3.4.3 Luva

Ferramenta que promove o acoplamento do punho à haste ou diversas hastes entre si, de forma a garantir uma melhor transmissão de energia de percussão, evitando a dissipação de energia com a geração de altas temperaturas e diminuição da velocidade de perfuração, e impede, também, o contato direto entre os topos de duas hastes ou de haste e punho. Além, disso, as luvas são fabricadas com um separador central, que visa limitar o curso para o rosqueamento desses elementos garantindo, dessa forma, o ajuste entre os topos das ferramentas e tendo, como consequência, a transmissão de energia de forma mais eficiente (CASTRO e PARRAS, 1986). A representação desta peça pode ser vista na Figura 10.

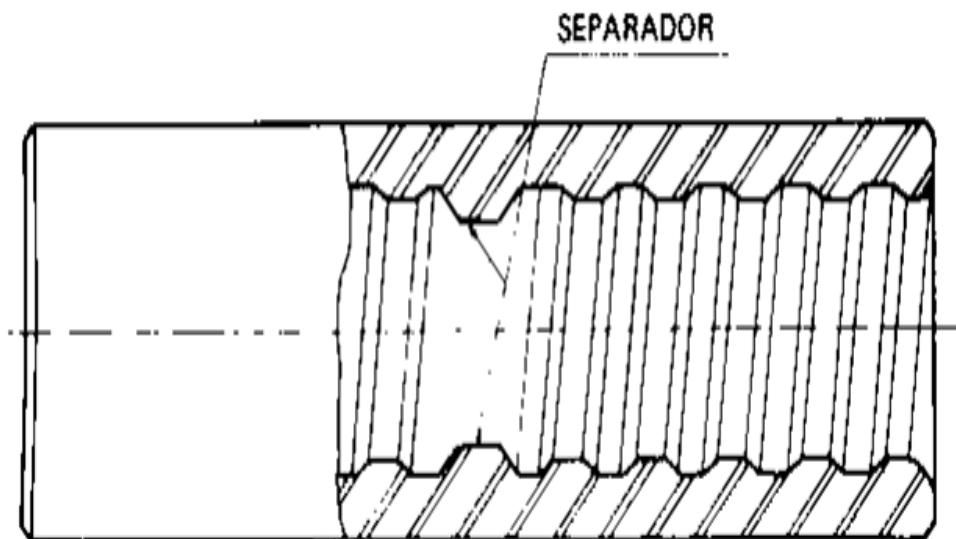


Figura 10: Luva.

Fonte: Castro e Parras, 1986.

3.4.4 Haste

Confeccionadas em perfis de aço de seção circular e hexagonal, sendo vazada longitudinalmente de forma a transmitir o fluido de limpeza para o furo (Figura 11). Permite a perfuração de maiores profundidades devido ao acoplamento entre elas e apresentam em suas extremidades roscas que permitem o acoplamento aos demais elementos da coluna de perfuração. As hastes comumente utilizadas possuem diâmetro

de 28mm, 32mm, 45mm e 51 mm, com tamanhos variando entre 1,20m a 4,70 m (CASTRO e PARRAS, 1986).

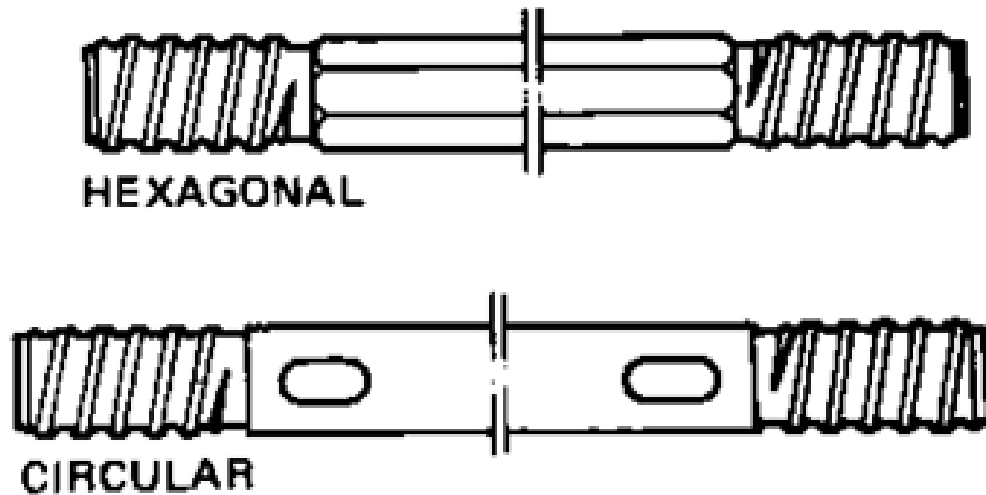


Figura 11: Tipos de Hastes.
Fonte: Castro e Parras, 1986.

3.4.5 Bits ou Coroas

Elementos da coluna de perfuração que efetivamente exercem o trabalho de fragmentação da rocha.

Segundo Rodrigues (2018), os bits são caracterizados por:

- Permitirem que as hastes sejam ajustadas às roscas deste componente da coluna de perfuração de forma a garantir a eficiência da transmissão de energia de impacto à rocha;
- Apresentar furos centrais e laterais para a transferência do fluido de limpeza;
- Reduzir o desgaste e evitar ajustes excessivos à parede do furo, sendo, para isso, desenhados de forma cônica com a parte mais larga ficando em contato com a rocha.

Podem ser classificados, em sua maioria, por bits de pastilhas e bits de botões, conforme mostrado pela figura 12.

3.4.5.1 Bits de Pastilhas

Composto por quatro pastilhas de carboneto de tungstênio, podendo apresentar variação na disposição das pastilhas: em cruz ou em “X”. No bit em cruz, as pastilhas estão dispostas em ângulo de 90° entre si. Para os bits em “X”, as pastilhas formam ângulos de 75° e 105° entre si.

A fabricação desse tipo de bit ocorre em diâmetros a partir de 35 mm até 57 mm para os bits em cruz. Acima desses diâmetros, os bits em cruz podem apresentar o enquadramento dos furos, ou seja, os furos assumem formas quadradas, causando desgaste prematuro do mesmo e seu encravamento no interior do furo. Já os bits de tipo “X” possuem diâmetros entre 64mm e 127mm.

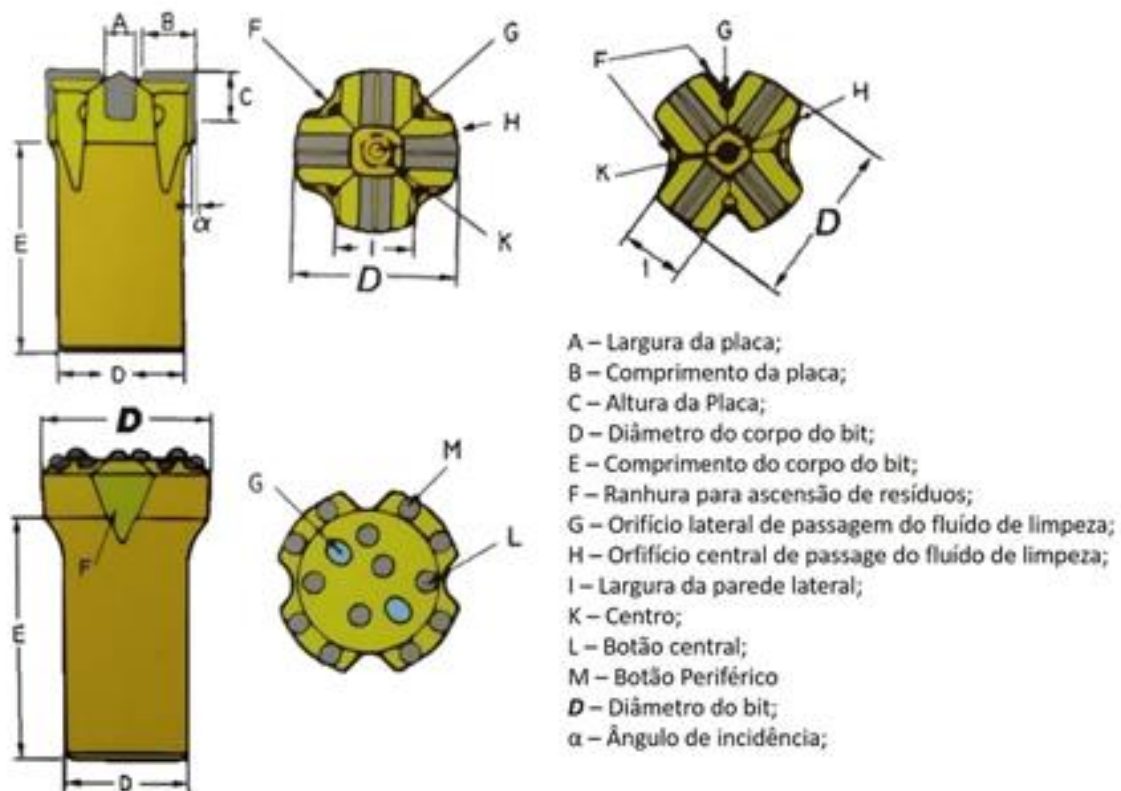


Figura 12: Tipos de bits e seus componentes.

Fonte: Rodrigues, 2018.

3.4.5.2 Bits de Botão

O bit de botão é caracterizado por conter um conjunto de botões variando, em número, de 6 a 16. Os botões são cilindros compostos por liga de tungstênio e cobalto. A

disposição dos botões é variada e visa promover a limpeza uniforme do furo e facilitar a passagem dos fragmentos de rocha.

Segundo Castro e Parras (1986), os bits de botões apresentam algumas vantagens na perfuração em relação aos bits de pastilhas:

- Maior velocidade de perfuração;
- Maior vida útil;
- Maior intervalo entre afiações;
- Melhor acabamento do furo;
- Menor tendência de encravamento na haste.

3.5 FATORES DE DESGASTE DAS FERRAMENTAS DE PERFURAÇÃO

A atividade de perfuração de rochas pode apresentar uma série de fatores que impactam negativamente na taxa de penetração e no desgaste dos bits (Figura 13)

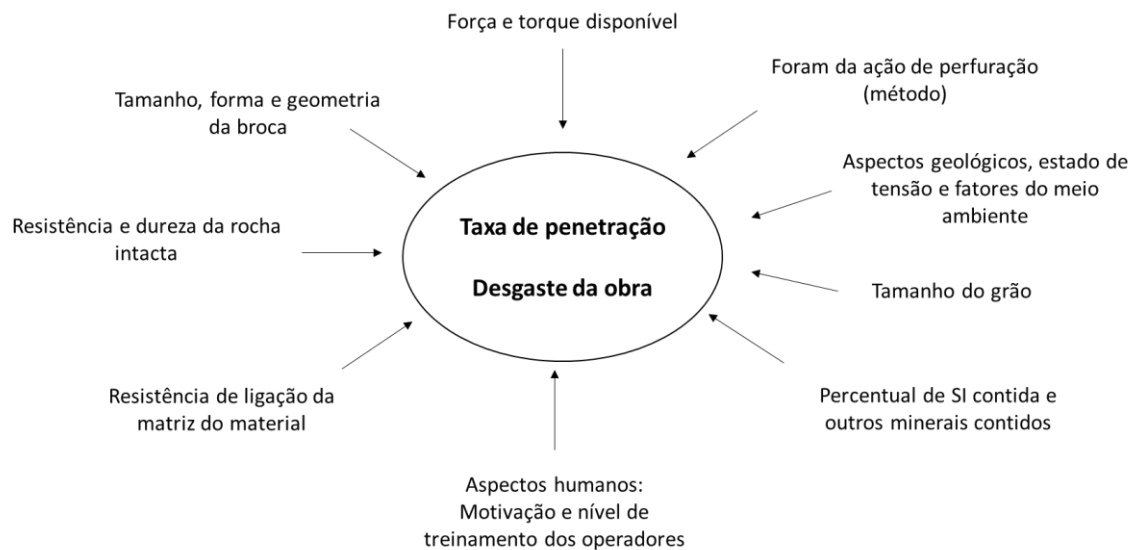


Figura 13: Fatores que influenciam no desgastes das ferramentas.

Fonte: (adaptado de) Costa e Silva, 2019.

A dureza e abrasividade da rocha causam desgastes nos aços de perfuração, acarretando impactos nas ferramentas de perfuração, em destaque, nos bits. Em rochas brandas, quebradiças e altamente fraturadas, existe o risco de encravamento da ferramenta e desvio do furo, ocasionando esforços adicionais de flexão de torção às ferramentas e impactos diretos na coluna de perfuração, majoritariamente nas hastes e punho.

Além disso, o fator humano, o nível de treinamento dos operadores e erros operacionais, trazem consequências negativas ao desgaste e quebras prematuras das ferramentas da coluna de perfuração. Logo, é visível a importância da operação adequada da perfuratriz, com o foco no alinhamento do bit, pressões de avanço, vazão de ar e/ou água adequadas e revezamento dos bits de perfuração.

Castro e Parras (1986) descreve os principais tipos de quebras ocorridas por fatores operacionais e suas possíveis causas para diagnóstico, as quais são apresentadas pelas figuras 14 a 17.

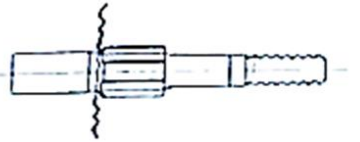
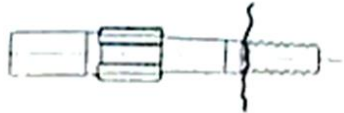
| | |
|---|---|
|  <p>a)</p> | <p>b)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bucha centralizadora desgastada; - Pressão de avanço insuficiente; - Lubrificação deficiente; |
|  <p>a)</p> | <p>b)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desalinhamento entre a perfuratriz e o furo; - Desalinhamento por folga ou má fixação entre a perfuratriz e o mastro; - Afrouxamento do acoplamento ao tentar retirar a coluna em situações em que tende a ficar presa no furo; |

Figura 14: Falhas de punhos provenientes de operação incorreta: a) posição da falha e b) diagnóstico provável.

Fonte: (adaptado de) Castro e Parras, 1986.

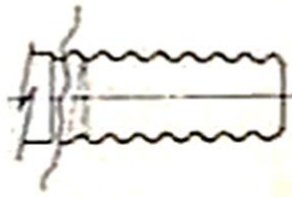
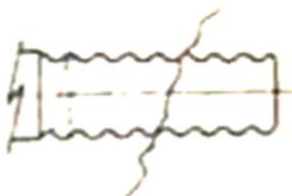
| | |
|---|---|
|  <p>a)</p> | <p>b)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Má iniciação do furo (emboque); - Desalinhamento na coluna de perfuração; |
|  <p>a)</p> | <p>b)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avanço insuficiente; - Roscas desgastadas excessivamente;; - Insuficiência de aperto no acoplamento; - Graxa inadequada ou insuficiente; |

Figura 15: Falhas de hastes provenientes de operação incorreta: a) posição da falha e b) diagnóstico provável.

Fonte: (adaptado de) Castro e Parras, 1986.

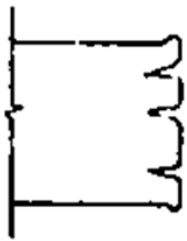
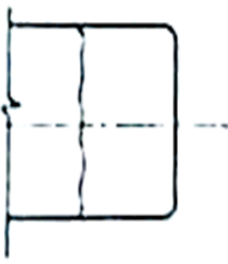
| | |
|--|---|
|  <p>Trincas longitudinais</p> <p>a)</p> | <p>b)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desgaste excessivo das roscas; - Separador central da luva com desgaste excessivo, permitindo que parte do corpo não rosqueado da haste penetre no interior da luva danificando sua rosca; - Insuficiência de aperto no acoplamento; - Desalinhamento na coluna de perfuração; - Impactos contra o centralizador para auxiliar desacoplamento; - Graxa inadequada ou insuficiente; |
|  <p>Trincas longitudinais</p> <p>a)</p> | <p>b)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desgaste excessivo das roscas; - Desalinhamento na coluna de perfuração; - Avanço e/ou rotação insuficiente; - Pancadas para auxiliar desacoplamento; - Graxa inadequada ou insuficiente; |

Figura 16: Falhas de luvas provenientes de operação incorreta: a) posição da falha e b) diagnóstico provável.

Fonte: (adaptado de) Castro e Parras, 1986.



| | |
|--|--|
|  <p>Desgaste acentuado dos botões periféricos a)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Excesso de rotação; |
|  <p>Expulsão de botões a)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Avanço insuficiente; - Desgaste excessivo do aço em torno dos botões; |

Figura 17: Falhas de bits provenientes de operação incorreta: a) posição da falha e b) diagnóstico provável.

Fonte: (adaptado de) Castro e Parras, 1986.

Devido a todas as variáveis listadas, a definição da vida útil das ferramentas de perfuração, ou seja, a previsão da metragem média perfurada para cada ferramenta, é uma atividade difícil de ser definida com exatidão. Por consequência, a melhor maneira de avaliação é a execução de testes em campo com o intuito de se obter uma previsão mais assertiva.

Segundo Castro e Parras (1986), ao ser avaliado a vida útil das ferramentas para perfuração de rochas graníticas, tem-se como orientação os seguintes valores descritos na Tabela 1. Dessa forma, a depender da composição das rochas perfuradas, tais valores podem ser utilizados como base para a avaliação de desempenho das ferramentas.

Tabela 1: Vida útil média da coluna de perfuração.

| Elemento | Vida Útil |
|--------------------|--------------------------|
| Punho | 1200 – 1700 metros-furo |
| Luva | 1000 – 1400 metros-haste |
| Haste | 1000 – 1400 metros-haste |
| Coroa convencional | 250 – 350 metros-furo |
| Coroa em botões | 400 – 600 metros-furo |

Fonte: Castro e Parras, 1986.

4 PROJETO

O projeto foi desenvolvido em um empreendimento mineiro localizado no Mato Grosso, que consiste no desenvolvimento de uma mineração subterrânea de ouro, com mineralização do tipo veio estreito.

Com operação iniciada recentemente, o ciclo de desenvolvimento engloba, atualmente, o foco de atividades realizadas no empreendimento com o intuito principal de realizar a ampliação das galerias da mina, o ciclo compete as atividades mostradas pela Figura 19.

Dentre as atividades do ciclo, vale o destaque para a atividade de perfuração, sendo aplicada majoritariamente para as etapas de Perfuração e Contenção; em outras palavras, perfuração de frente e perfuração para aplicação de resinas. Tais atividades são realizadas com o equipamento de perfuração jumbo. A mina conta com o modelo Epiroc Boomer S2, JB-01, para as etapas de perfuração e contenção de frentes, além de ser aplicado para as atividades de perfuração para equipagem e para a instalação de cavilhas, contando com duas lanças com cobertura de até 56 m² (Figura 18).



Figura 18: Jumbo modelo Epiroc Boomer S2.

Fonte: Epiroc (2021).

Devido as diferentes configurações de metragem necessárias par a execução das atividades citadas anteriormente, contamos com o BR-01 adaptado com lança retrátil, a fim de alcançar metragem de perfuração específica e posicionamento adequado da lança para perfuração em galerias de menor seção. Dessa forma, conta-se com a seguinte distribuição de perfuração entre os braços:

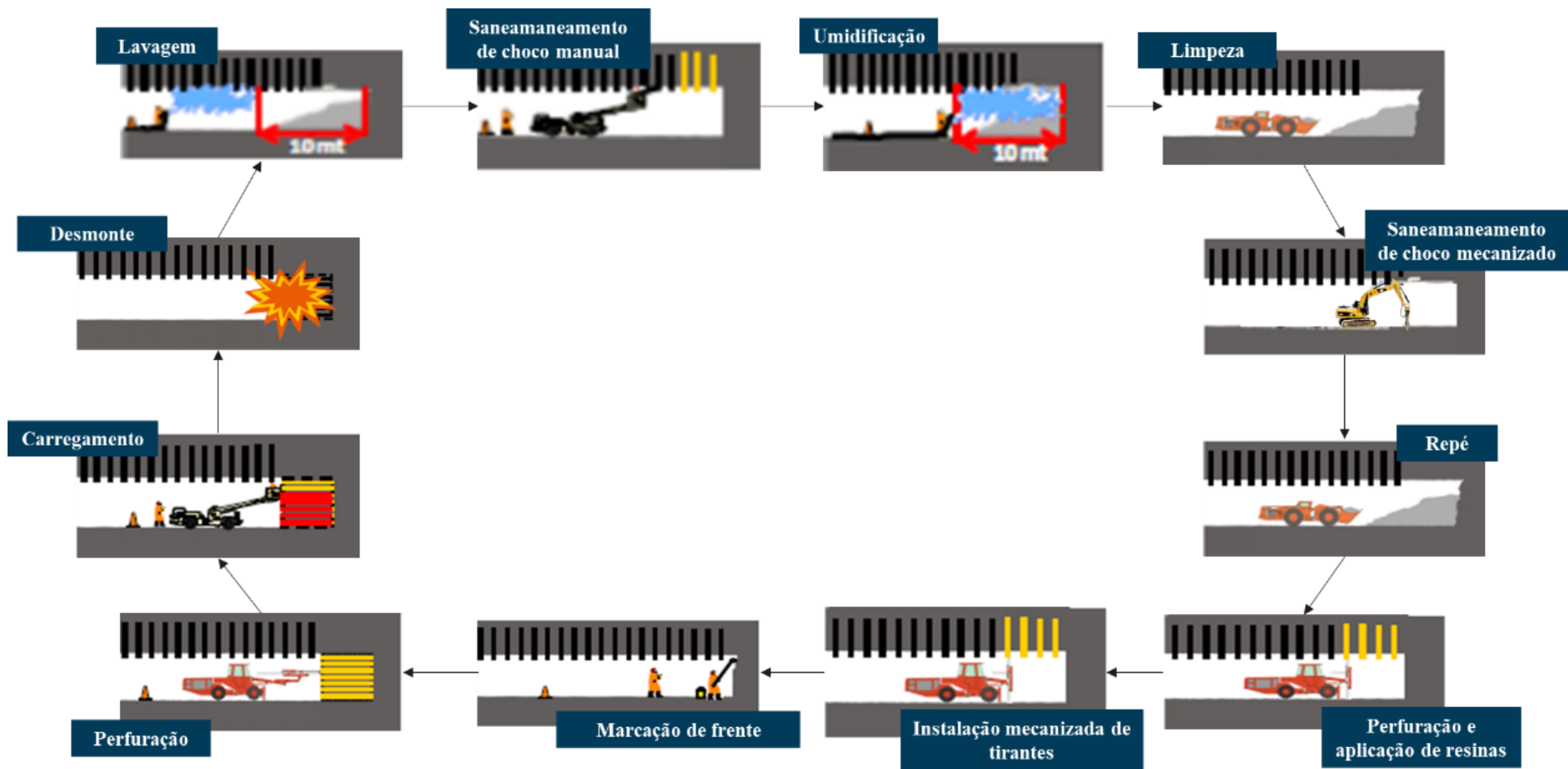


Figura 19: Ciclo de desenvolvimento.

- Perfuração produtiva: metragem perfurada variando em 3,8m a 3,9 de acordo com o posicionamento da lança para emboque do furo. Sendo realizado com ambos os braços (BR-01 e BR-02), com distribuição aproximada de 50% dos furos do plano sendo executados por cada braço;
- Perfuração para a instalação de tirantes: metragem perfurada de 2,3m, sendo realizado somente com o BR-01. Devido a necessidade de perfuração perpendicular para a instalação de tirantes em tetos e laterais. Assim, utilizando a lança retrátil.
- Perfuração para a instalação de cavilhas: metragem perfurada de 1m, sendo realizado somente com o BR-01. Devido a necessidade de perfuração para o cavilhamento de telas. Assim, utilizando a lança retrátil.
- Perfuração para equipagem: metragem perfurada de 1m, sendo realizada por ambos os braços, para a instalação de cavilha “1”, para a passagem e instalação de infraestrutura.

Configurado com duas perfuratrizes hidráulicas COP MD20 (Figura 20), conta com maior eficiência hidráulica, maiores taxas de penetração, definida com intervalo de 100 horas para o intervalo de serviço, ou seja, aumento de produtividade com a redução de custos. Seguem as especificações técnicas da Tabela 2.



Figura 20: COP MD20.

Fonte: Epiroc, 2021.

Tabela 2: Especificações técnicas da perfuratriz.

| | |
|-----------------------|----------------|
| Alimentação | Motor elétrico |
| Poder de impacto | 20 kW |
| Frequência de impacto | 80 Hz |
| Diâmetro do furo | 32 mm - 102 mm |
| Pressão hidráulica | 250 bar |
| Velocidade de rotação | 0 a 225 rpm |

Fonte: Epiroc, 2021.

Para a coluna de perfuração, seguem as configurações e especificações apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Especificações técnicas coluna de perfuração.

| FERRAMENTA | PERFIL | ROSCA | DIÂMETRO |
|------------|----------------------|---------|---------------------|
| HASTES | Haste hexagonal 4,3m | T38-R32 | - |
| | Haste hexagonal 2,8m | T38-R32 | - |
| PUNHO | Punho MD20 | T38 | - |
| LUVA | Adaptadora | T38-T38 | - |
| | Redutora | T38-R32 | - |
| BIT | Bits | R32 | 51 mm, 64mm e 102mm |
| | Bits | R25 | 35mm e 38mm |

Fonte: Epiroc, 2021.

5 METODOLOGIA

Por meio do acompanhamento da performance de vida útil média das ferramentas de perfuração e o consumo mensal destas ferramentas, foi possível a identificação de picos de consumo e quedas bruscas de vida útil média em determinados meses de operação. Desde o início das operações, foram levantadas e analisadas a performance das ferramentas e quantificado a vida útil delas. Foi observado uma significativa variação entre os meses, gerando picos e baixas, com destaque para os punhos, onde a variação é mais nítida, conforme mostrado pela Figura 21.



Figura 21: Vida útil média das ferramentas perfuração de Nov/21 a Fev/22.

A vida útil dos punhos atingiu nesses meses média de 1.200 metros perfurados por punho. Bibliografias indicam média de 1.200 metros perfurados por punho em rochas graníticas, ou seja, rochas consideradas altamente abrasivas. Dessa forma, tal metragem foi um indicativo de falhas prematuras para os punhos utilizados na operação.

Dessa forma, a equipe técnica envolvida definiu ações para o acompanhamento e análise mais detalhada das quebras de punhos e ações para redução das quebras, visando minimizar os impactos gerados na produção e aumento do desempenho da ferramenta.

5.1 RASTREAMENTOS DAS QUEBRAS

As primeiras ações definidas tiveram foco para o melhor acompanhamento das falhas, com intuito de realizar o rastreamento de todas as quebras, acompanhamento da metragem perfurada por punho utilizado e garantir a confiabilidade de dados.

Dessa forma, foram definidas as seguintes rotinas a serem cumpridas:

- Reportagem, via parte diária, da equipe da operação, das quebras ocorridas;

- Reportagem, via ordem de serviço, da equipe da manutenção, das trocas de punhos ocorridas;
- Identificação dos punhos quebrados;
- Acompanhamento, via parte diária, da metragem perfurada por punho;
- Acompanhamento do perfil de falhas ocorridas nos punhos;
- Banco de dados de informações.

Para a identificação e rastreamento dos punhos com falha, foi definido uma etiqueta para eles, contendo informações básicas que seriam analisadas futuramente (Figura 22)

| | | | |
|---|--------------|----------------------|--------------|
|  | | IDENTIFICAÇÃO | |
| PUNHO JB-01 | | | |
| Data instalação: | | | |
| Data quebra: | | | |
| () | BR-01 | () | BR-02 |
| Metros perfurados: | | | |

Figura 22: Etiqueta de identificação.

Com as informações identificadas e reportadas, foi desenvolvido o banco de dados com a listagem de todas as quebras ocorridas, com as informações necessárias para análises futuras (Figura 23):

- Identificação de Braço da quebra;
- Data da quebra;
- Metragem total perfurada entre quebras;
- Número de tirantes e Cavilhas aplicados;
- Prazo entre quebras;
- Atividade realizada durante a quebra;
- Frente em atividade durante a quebra.

| Braço | Data | Metros Perfurados Apon. | Tirantes + Cavilhas (BR1) | Metros Perfurados Total | Prazo | Atividade | Frente |
|-------|------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------|-----------------------------------|-----------|
| BR 1 | 11.01.2022 | 2872,00 | 405,60 | 2059,20 | 9 | Perfuração Desmonte Jumbo | N1 RPN |
| BR 1 | 19.01.2022 | 1804,00 | 136,80 | 1101,75 | 4 | Perfuração e Aplicação de Resinas | N1 RPN |
| BR 1 | 22.01.2022 | 1408,00 | 127,20 | 893,10 | 4 | Perfuração e Aplicação de Resinas | N1.4BR LE |
| BR 1 | 25.01.2022 | 976,00 | 91,20 | 848,7 | 3 | Perfuração e Aplicação de Resinas | N1 RPS |

Figura 23: Banco de dados para quebras de punho.

Com essas ações, foi possível realizar todo acompanhamento das falhas prematuras ocorridas nos punhos, bem como analisar e mapear as causas das ocorrências, com o intuito de definir a causa raiz do problema, realizar tratativas para redução das quebras e aumentar da vida útil dos punhos.

5.2 ANÁLISE DE CAMPO

O acompanhamento das atividades de perfuração pela equipe técnica em campo foi realizado visando o levantamento e definição de parâmetros operacionais com influência negativa para as falhas prematuras dos punhos em utilização.

Os parâmetros operacionais configurados no jumbo seguiram o padrão pré-definido segundo as especificações do catálogo (Figura 24).



Figura 24: Parâmetros de utilização para a atividade de perfuração.

Com o acompanhamento da atividade de perfuração, observou-se a ocorrência de flambagem das hastes de perfuração como mostrado pela figura 25.



Figura 25: Flambagem da haste de perfuração (seta).

A flambagem ou flexão transversal, normalmente, ocorre materiais elásticos. Isso quando, o comprimento da peça é maior que sua área de seção transversal, se a mesma for submetida a esforços de compressão axial.

Com a flambagem das hastes de perfuração, ocorre a dissipação de energia da coluna de perfuração, ocasionando pressões de rotação e percussão de maneira irregular, acumulando-se nas demais ferramentas, mais especificamente na luva e no punho. Isto pode ocasionar falhas, trincas e quebras nos mesmos, uma vez que ambos são ferramentas rígidas. Sendo assim, a flambagem das hastes é um indicativo para as quebras prematuras dos punhos.

Por fim, foram analisados o perfil das falhas ocorridas nas ferramentas, ou seja, dos pontos de falhas, da localização e da face das falhas (Figura 26).



Figura 26: Padrão e local da falha.

Observou-se que as falhas apresentavam perfil e posição de falhas semelhantes, indicativo de falha por cisalhamento, caracterizada pela deformação de um corpo que recebe ação de forças em planos ou direções diferentes. Definiu-se, então, outro ponto indicativo para a quebras prematuras dos punhos.

5.3 ANÁLISES PRÉVIA DAS QUEBRAS

Durante o período de acompanhamento e atualização do banco de dados de falhas, foram realizadas análises prévias para acompanhamento da variação de vida útil realizada por ferramenta, com o intuito de definir um padrão de falhas das ferramentas analisadas

e obterem-se dados balizados para comparações futuras, após a implementação das melhorias. Dentre eles:

- Atividade realizada durante a quebra;
- Metragem perfurada total por atividade;
- Metragem perfurada total por BR (braço);
- Frente em operação durante a quebra;
- Metragem desenvolvida total por frente em operação;
- Período entre quebras;
- Distribuição da vida útil média.

A análise das ferramentas foi dividida em ferramentas utilizadas no BR-01 (braço 1) e BR-02 (braço 2) do jumbo em atividade. Isso, devido às diferentes atividades de perfuração realizadas pelos braços.

5.4 AÇÕES DE MELHORIA

Após as etapas de análise, foram identificados os problemas causadores das quebras de ferramentas. Sendo assim, a equipe técnica envolvida definiu uma série de tratativas para a otimização da vida útil dos punhos (Tabela 4).

Tabela 4: Principais causas para quebras de punhos.

| GRUPO | CAUSAS |
|-------------|---|
| Mão de obra | Posicionamento de lança Emboque do furo |
| Materiais | Bucha centralizadora de maior diâmetro Falta de bucha centralizado intermediária |

Devido à urgência e criticidade da implementação de melhorias para tal situação, foi definida uma ação principal para ser realizada, de forma a abranger causas com maior criticidade destacadas na Tabela 4. Tal melhoria será discutida nas etapas descritas a seguir.

5.5 INSTALAÇÃO DOS CENTRALIZADORES DE HASTES

Os centralizadores de hastes são acessórios instalados na coluna de perfuração que visam guiar a haste durante a atividade de perfuração. A quantidade de centralizadores utilizados na operação varia de acordo com possíveis desvios que ocorrem durante a perfuração e desvios durante o emboque do furo, sendo eles: posicionamento da lança, presença de descontinuidades da rocha entre outros. Dessa forma, garantir a retilinearidade da haste durante a operação reduz o risco de flambagem da haste. Outro ponto a ser analisado, também, é a configuração da coluna de perfuração.

É possível a instalação de até três centralizadores: centralizador frontal, intermediário e final, sendo mais usuais os centralizadores frontais e intermediários.

Os centralizadores são utilizados somente durante as atividades de perfuração, sendo elas realizadas para perfuração produtiva, para instalação de tirantes, equipagem e cavilhas. Entretanto, durante as atividades de instalação de tirantes e cavilhas, os mesmos necessitam ser retirados devido a utilização da chave de torque e do batedor de cavilha, devido ao diâmetro dessas ferramentas. Logo, para tais atividades, a atenção do operador durante a operação é essencial para evitar desvios e possíveis quebras.

Em utilização no JB-01 desde a sua entrega técnica, tinha-se a bucha centralizadora frontal, no diâmetro de 58mm, com especificações descritas pela Tabela 5.

Tabela 5: Comparativo diâmetros.

| FERRAMENTA | DIÂMETRO |
|------------------------------|----------|
| Bucha centralizadora frontal | 58mm |
| Haste hexagonal T38-R32 4,3m | 39,6 mm |
| Haste hexagonal R32-R25 2,8m | 28,4 mm |

Dessa forma, comparando as buchas centralizadoras frontais e as hastes utilizadas observa-se folga entre as ferramentas, acarretando a não retilinearidade das hastes.

- Para as atividades de perfuração de produção, repasse de furos e perfuração para instalação de cavilhas, onde se utiliza a Haste T38-R32 4,3m, tem-se 10 mm de folga ao redor da haste.
- Para as atividades de perfuração para instalação de tirante e equipagem, onde se utiliza a Haste hexagonal R32-R25 2,8m, tem-se 14,8 mm de folga ao redor da haste.

Posto isto, a redução do diâmetro da bucha centralizadora frontal se fez necessária, bem como a instalação da bucha centralizadora intermediária sob as especificações descritas na Tabela 6. Estas ferramentas são mostradas pela Figura 27.

Tabela 6: Especificações das buchas centralizadoras.

| FERRAMENTA | DIÂMETRO |
|------------------------------------|----------|
| Bucha centralizadora frontal | 48 mm |
| Bucha centralizadora intermediária | 42 mm |



Figura 27: Bucha centralizadora: (a) intermediária e (b) frontal.

Por consequência, tem-se, para a bucha centralizadora frontal, uma redução de 17,24%, o que acarreta:

- Para a Haste T38-R32 4,3m, tem-se 5 mm de folga ao redor da haste e redução de 50%.
- Para a Haste hexagonal R32-R25 2,8m, tem-se 7,3 mm de folga ao redor da haste e redução de 33,78%.

E para a bucha centralizadora intermediária:

- Para a Haste T38-R32 4,3m, tem-se 2 mm de folga ao redor da haste.
- Para a Haste hexagonal R32-R25 2,8m, tem-se 6,8 mm de folga ao redor da haste.

Com a instalação das buchas centralizadoras e regulagens necessárias para a operações, sendo tais implementos realizados nos dias 04/05/2022 para as buchas frontais com diâmetro adequado e dia 02/06/2022 para as buchas centralizadoras intermediárias, foi possível a realização da análise de dois cenários com os dados levantados: o primeiro cenário ocorreu entre os dias 01/01/2022 a 01/06/2022, contando com informações de metragem total perfurada, metragem total perfurada por atividades e frentes em atividade durante as quebras. E o segundo cenário, de 02/06/2022 a 13/09/2022, sendo um cenário comparativo ao cenário anterior, com análise dos mesmos parâmetros, visando identificar os pontos de melhoria.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da observação, levantamento e análise de dados das quebras de punhos, ocorridas durante a execução do projeto, sucedido entre o período de 01/01/2022 a 13/09/2022, foi possível a realização de análise comparativa dos cenários pré e pós implementação das buchas centralizadoras frontais e intermediárias, ambas para a operação do Jumbo S2 - JB-01.

6.1 QUEBRAS TOTAIS

Com o panorama geral analisado, as quebras totais de ferramentas durante todo o período do projeto são de 58 punhos utilizados conforme mostrado na Tabela 7. Tem-se uma maior ocorrência de quebras para o BR-01, para ambos os cenários, sendo justificado pela distribuição das atividades de perfuração exemplificadas no Capítulo 4, uma vez que tem-se uma maior utilização para o BR-01.

Tabela 7: Comparativo de quebras totais.

| | CENÁRIO 1 | CENÁRIO 2 |
|-------|-----------|-----------|
| BR-01 | 30 | 8 |
| BR-02 | 15 | 5 |

Representado para o BR-01, 73,33% de redução no índice de quebras e, para o BR-02, 66,66% de redução nas quebras.

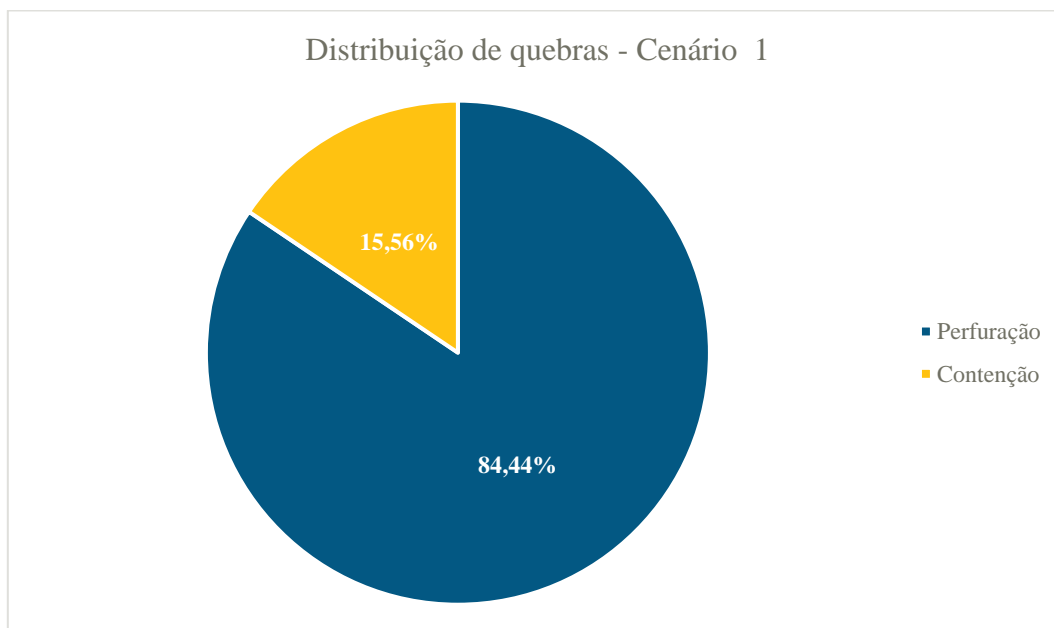
6.2 ATIVIDADE DA QUEBRA

O parâmetro da atividade em execução durante a quebra é importante devido a diferença do padrão de pressão de rotação e percussão configurado para as diferentes atividades realizadas, conforme mostrado na Tabela 8 e Figura 28.

Tabela 8: Cenário 1: Quebra de punho por atividade (BR-01 e BR-02).

| FERRAMENTA | BR-01 | BR-02 |
|--------------|-------|-------|
| Perfuração | 24 | 14 |
| Contenção | 6 | 1 |
| Cavilhamento | 0 | 0 |
| Equipagem | 0 | 0 |

Figura 28 - Distribuição de quebras por atividade – Cenário 1



Para este item, tem-se a atividade perfuração produtiva representando o maior índice de quebras para ambos os braços do equipamento. Ao levantar a distribuição de atividades realizadas para o equipamento em análise (representado pela Figura 29), tem-se que distribuição é semelhante.

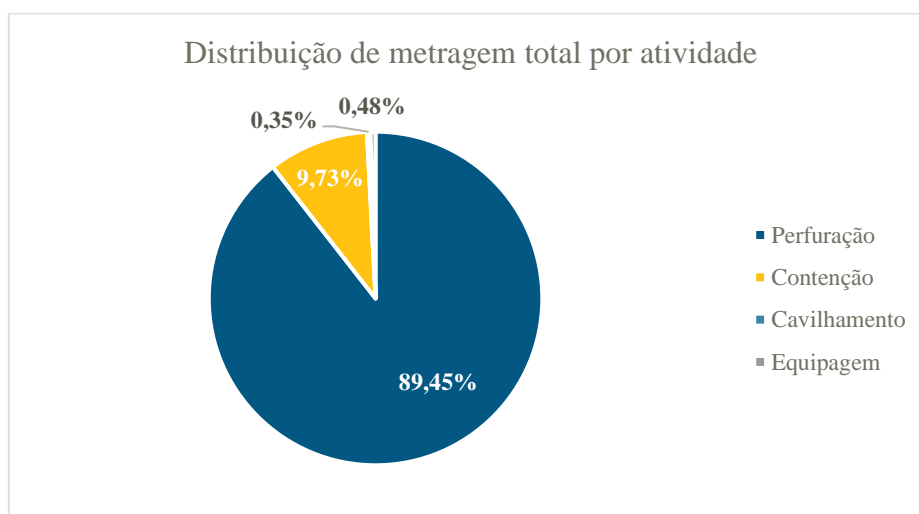


Figura 29: Metragem total perfurada por atividade.

Isto torna tal parâmetro inconclusivo para análise, sendo reforçado pela Tabela 2, que traz os resultados para o Cenário 2. É válido destacar a semelhança entre a distribuição dos dados (Tabela 9 e Figura 30).

Tabela 9: Quebra de punho por atividade – BR01 (Cenário 2).

| FERRAMENTA | BR-01 | BR-02 |
|--------------|-------|-------|
| Perfuração | 11 | 9 |
| Contenção | 0 | 1 |
| Cavilhamento | 0 | 0 |
| Equipagem | 0 | 0 |

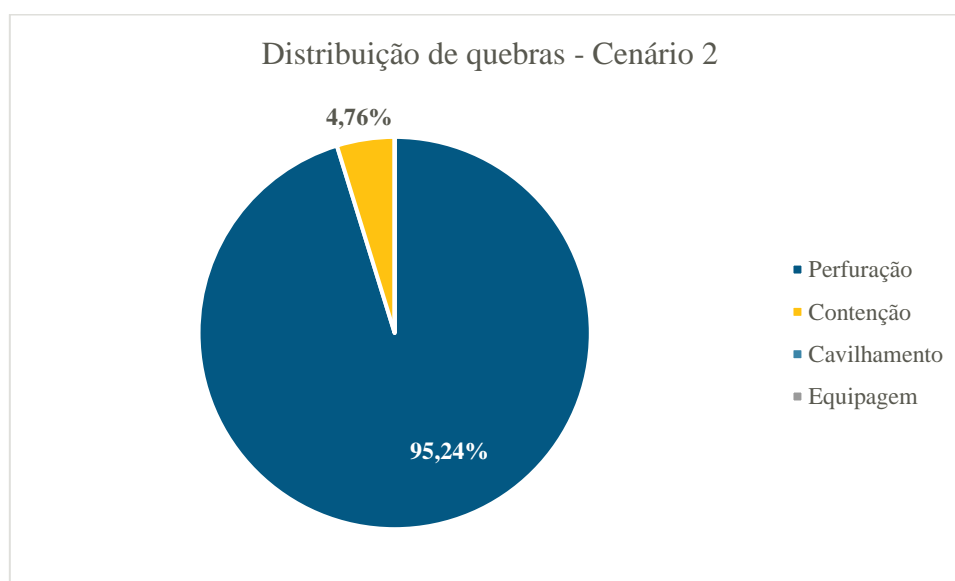


Figura 30: Distribuição de quebras por atividade - Cenário 2.

6.3 FRETE EM ATIVIDADE

Visando padronizar as falhas por meio das variações de litologias e de estruturas presentes na geologia da mina, fez-se o mapeamento das frentes onde ocorriam as falhas. Com o mapeamento da quantidade de quebras por frente (conforme legenda das Figuras 31 e 32) em desenvolvimento e, também, a metragem desenvolvida para as mesmas frentes, como parâmetro comparativo (Figuras 31 e 32).

Figura 31: Quebras ocorridas por frente em operação - Cenário 1

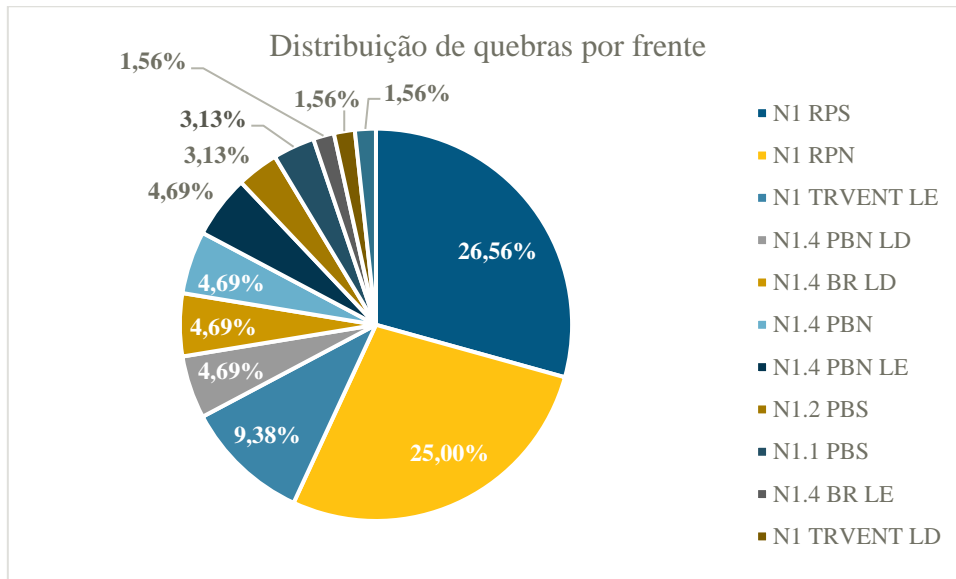
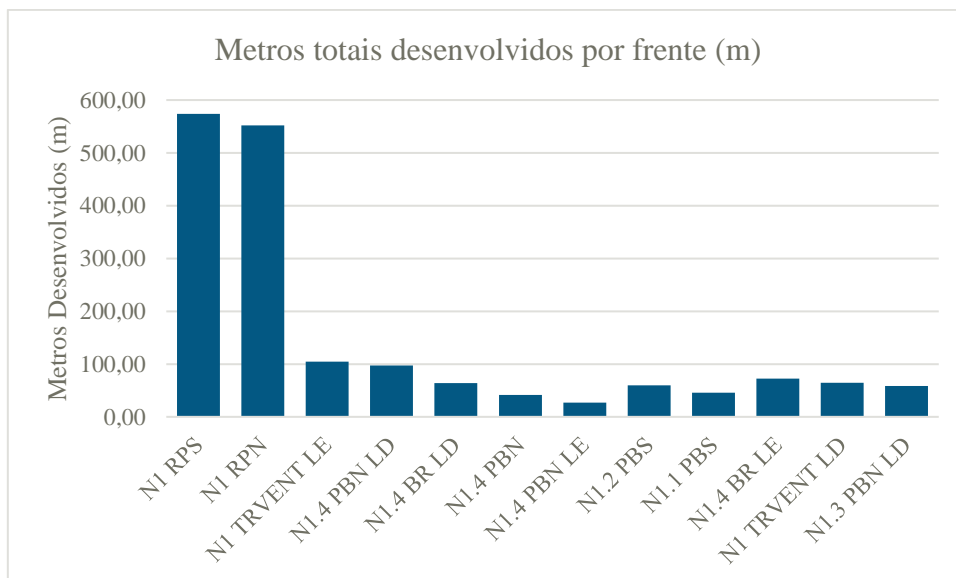


Figura 32: Metragem desenvolvida por frente durante o período analisado.



Vale destacar a maior metragem desenvolvia durante o período analisado para a frente N1 RPS e, por consequência, o maior índice de quebras ocorridas durante o período analisado, também, para a frente N1 RPS.

Logo, tais dados definem o parâmetro analisado com inconclusivo, visto que a distribuição de quebras por frentes se assemelhando com a distribuição de metragem realizado por frente. Assim, os dados analisados, a princípio, sugerem que as variações geológicas não apresentam influência para a quebra de ferramentais.

Vale, para futuros trabalhos, o mapeamento de estruturas geológicas para análise mais detalhada da sua influência no comportamento da atividade de perfuração.

6.3.1 Período entre Quebras

O período de utilização da ferramenta entre quebras é um parâmetro que rastreia a padronização das quebras, representando, indiretamente, o padrão da metragem realizada o que, em outras palavras, apresenta a vida útil específica das ferramentas para a geologia local.

Dessa forma, tal parâmetro, apresenta melhoria do tempo de utilização das ferramentas e, também, indício de aumento de vida útil das ferramentas. Além disso, traz informações da padronização da vida útil das ferramentas, apontado pela redução do desvio padrão do prazo entre quebras. Quanto à redução do desvio padrão e padronização da vida útil de cada ferramenta, esses números são indicativos para a via útil ideal, ou seja, a metragem fim de vida da ferramenta (Tabela 10).

Tabela 10: Prazo entre falhas de ferramentas (BR--01 e BR-02).

| | CENÁRIO 1 | | CENÁRIO 2 | |
|--------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| | MÉDIA | DESVIO PADRÃO | MÉDIA | DESVIO PADRÃO |
| BR-01 | 5 | 3 | 10 | 6 |
| BR-02 | 10 | 6 | 11 | 7 |

Nesse período prévio de análise, obteve-se a média de 5 dias entre quebras para punhos utilizados no BR-01 e 10 dias de média de utilização para punhos do BR-02 e, após a implementação das buchas, média 10 e 11 dias para BR-01 e BR-02,

respectivamente. Destacando a melhoria significativa no tempo médio de utilização para as ferramentas do BR-01, com 100% de melhora. Outro ponto desta avaliação é a divergência entre a média e o desvio padrão da amostra, trazendo informações sobre a padronização da distribuição dos dados, ou seja, na variação dos dados em relação à média dos dados. Ambos os casos, apresentam desvios padrão altos, indicando que os dados estão espalhados por uma ampla gama de valores. Dessa forma, mesmo após a melhoria realizada e o aumento do prazo médio de utilização das ferramentas, ainda não há quebras padronizadas. Isso indica que não foi alcançado a metragem fim de vida das ferramentas, logo, a operação ainda apresenta fatores que acarretam em impactos negativos para as quebras prematuras das ferramentas analisadas.

6.3.2 Distribuição da Vida útil

Para tal parâmetro, foi realizado o levantamento de todas as atividades produtivas realizadas pelo jumbo, ambas apontadas no banco de dados desenvolvido no trabalho (Figura 33), sendo elas:

- Perfuração produtiva, para equipagem e repasse de furos;
- Perfuração e instalação de tirantes;
- Perfuração e instalação de cavilhas;

Baseados nessa metragem realizadas por ferramenta estratificado por braço do jumbo, foi possível a análise da variação da vida útil média por braço (Figura 33).

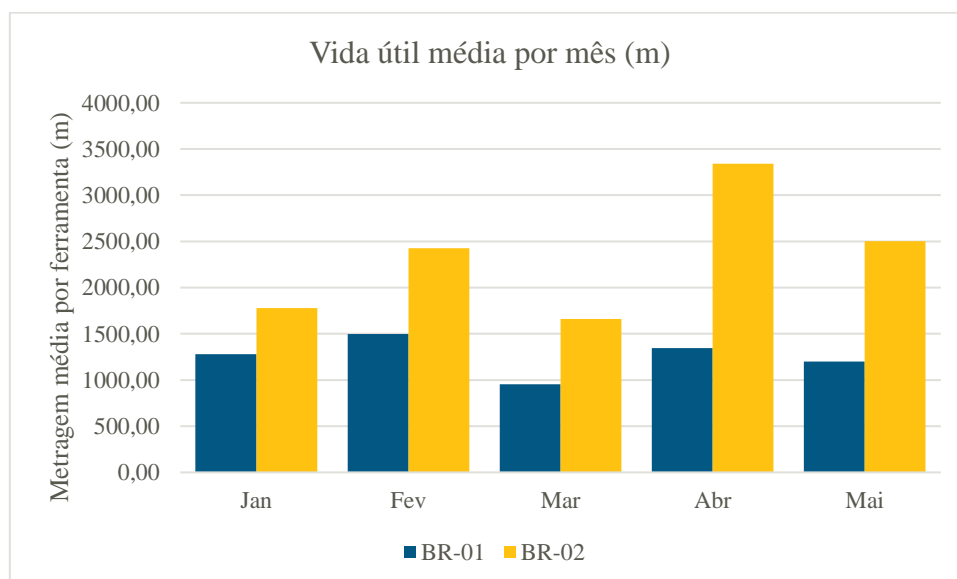


Figura 33: Vida útil média de punhos por mês para o Cenário 1.

Analisando a distribuição de vida útil média dos punhos por meio do gráfico boxplot, representado pelas figuras Figura 34 e 35. Para o gráfico em questão tem-se uma análise sobre seus componentes e suas indicações:

- Variabilidade dos dados: representada pela extensão da barra, diferença entre o terceiro quartil e o primeiro quartil, indicando que para os dados de vida útil dos punhos analisados tem-se grande variação entre os dados para ambos os braços. Destaque para o mês de março para o BR-01 e o mês de maio para o BR-02.
- Simetria dos dados: representado pela linha da caixa, caracterizado pela mediana das amostras ou segundo quartil. Nesse caso, tem-se, para ambos os meses e braços, dados de vida útil assimétricos. Destaque para os meses de janeiro e maio para os dados do BR-01 caracterizados pela menor variabilidade. Na maioria dos meses tem-se a linha da mediana deslocada para a extremidade inferior, ou seja, caracterizando uma assimetria positiva, ou seja, a amostra de dados de vida útil média apresenta concentração de valores mais reduzidos.
- Mínimo e máximo: indicado pelas caudas, trazendo informações sobre os valores mínimos e máximo para determinada amostra. Destaque para o valor mínimo do mês de março, 200 m, e máximo do mês de abril, 3.604 m, ambas ferramentas em utilização do BR-01.

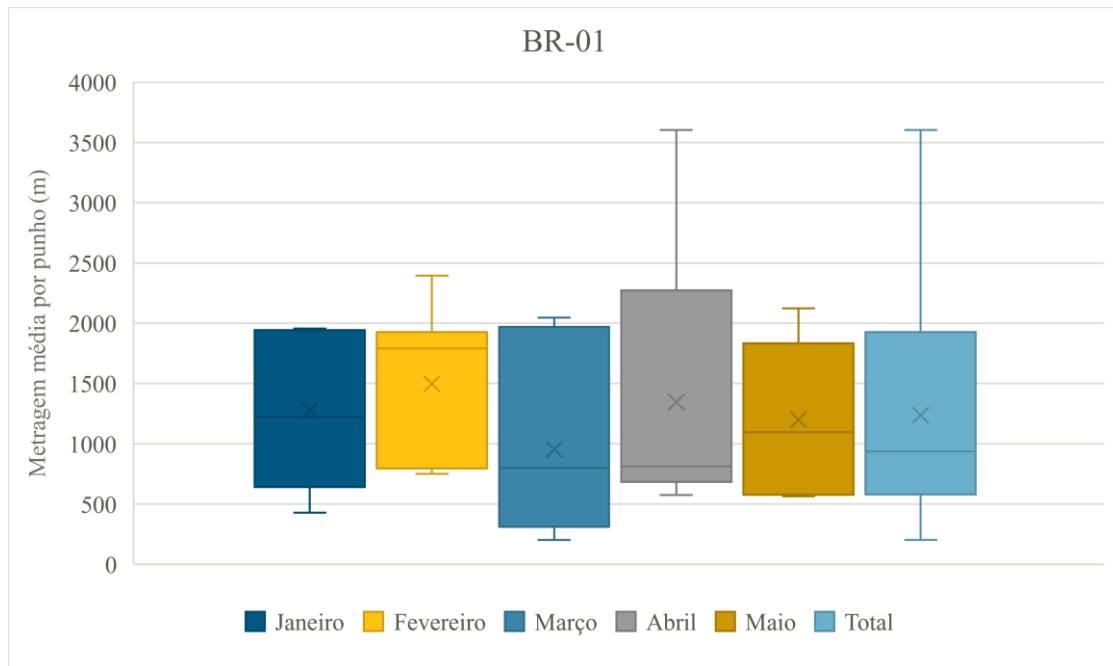


Figura 34: Distribuição da vida útil média (BR-01) para o Cenário 1.

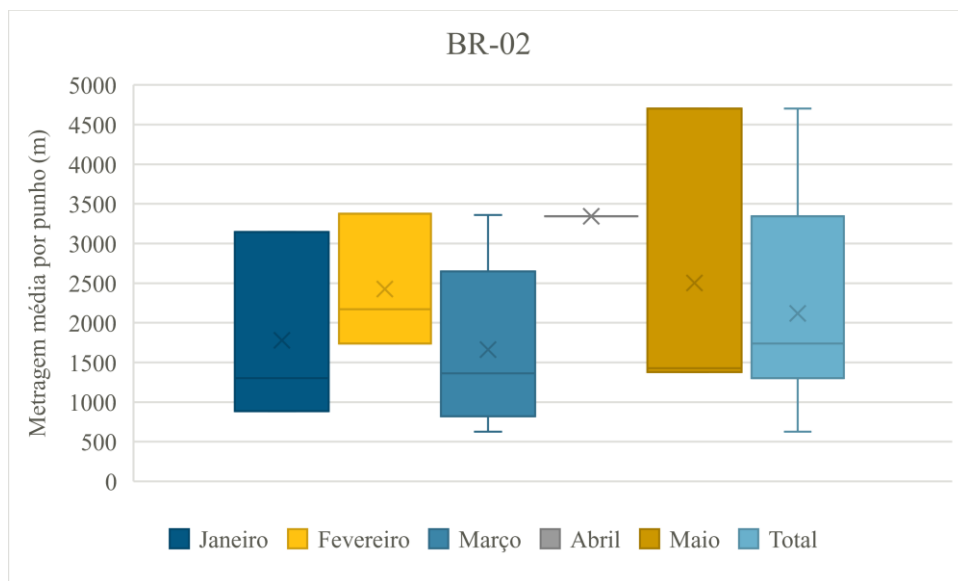


Figura 35: Distribuição da vida útil média (BR-02) para o Cenário 1.

Estes que foram bastante alterados ao serem analisados os dados do Cenário 2. Observando a figura 35 é perceptível a melhoria na metragem para o segundo cenário estudado, que se inicia 02/06/2022. Porém, nota-se que este cenário apresenta picos e baixas de metragem, destaque para o mês de junho, indicando a influência de outros

aspectos operacionais das atividades de perfuração para a redução de vida útil (Figura 36).

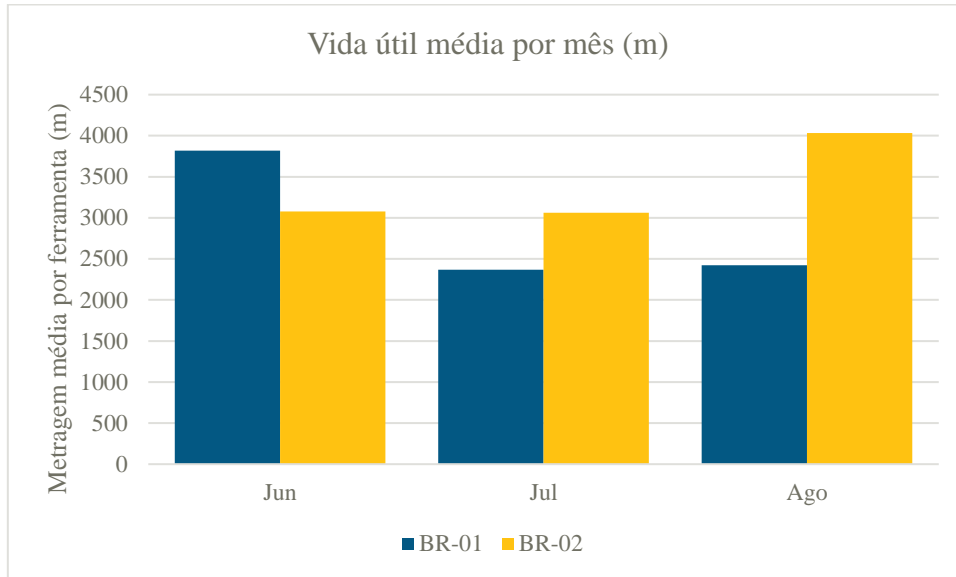


Figura 36: Vida útil média de punhos por mês para o Cenário 2.

Com a análise da distribuição de vida útil média dos punhos para o Cenário 2, torna-se mais clara a melhoria ocorrida, representado pelas figuras 37 e 38:

- Variabilidade dos dados: para o cenário dois, observando os dados do BR-01, tem-se destaque positivo para o mês de junho, representando baixa variabilidade dos dados e, por outro lado, negativo para o mês de julho. Para o BR-02, para os meses de julho e agosto.
- Simetria dos dados: nesse quesito notamos dados com maior simetria em sua distribuição para a maioria dos meses, ponto positivo demonstrando assertividade na melhoria implantada, mas ainda, apresentando assimétrica positiva para os meses de julho para BR-01, que está em linha com o valor mínimo para o mês de 1316 m.
- Mínimo e máximo: outro indicativo da simetria dos dados são os indicativos de mínimo e máximo, para o Cenário 2, uma vez que os mesmos são coincidentes com os dados do primeiro e terceiro quartil. Destaque para o valor mínimo do mês de agosto, 1305 m, e máximo do mês de abril, 4817 m, ambos para o BR-01.

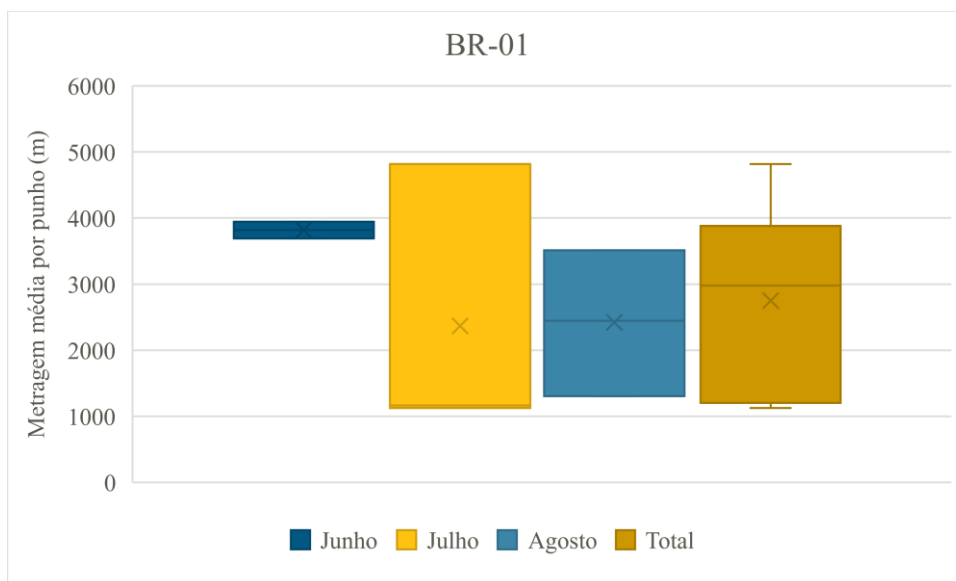


Figura 37: Distribuição de vida útil média (BR-01) para o Cenário 2.

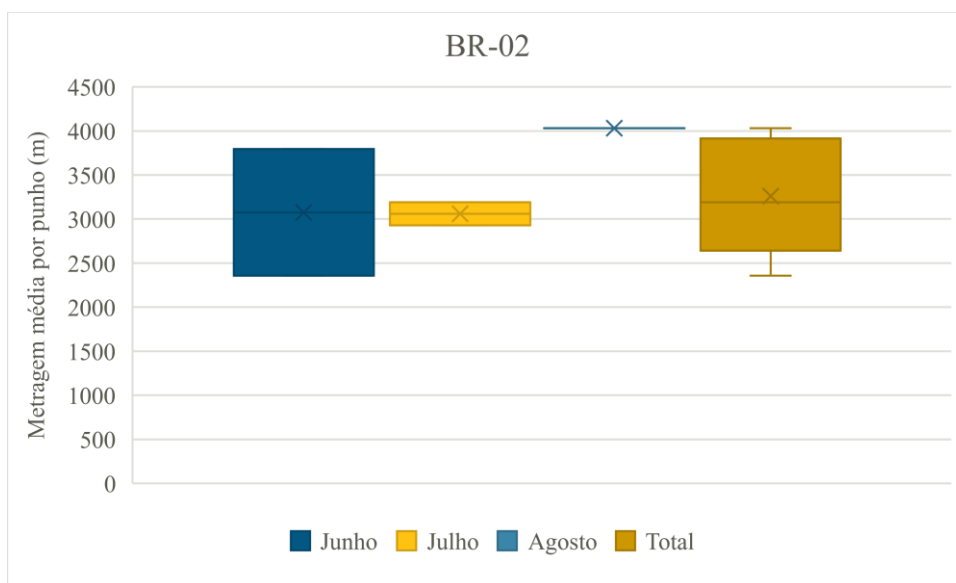


Figura 38: Distribuição de vida útil média (BR-02) para o Cenário 2.

Por fim, analisando o panorama geral para ambos os cenários, temos como observar a melhoria ocorrida após a instalação das buchas centralizadoras, caracterizado pelas figuras 39 e 40.

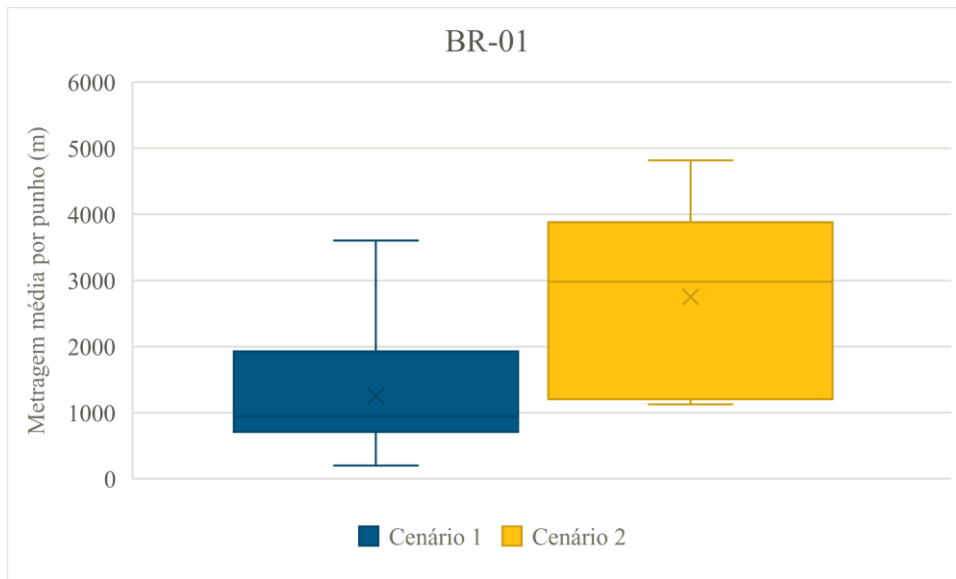


Figura 39: Comparativo entre os cenários analisados (BR-01).

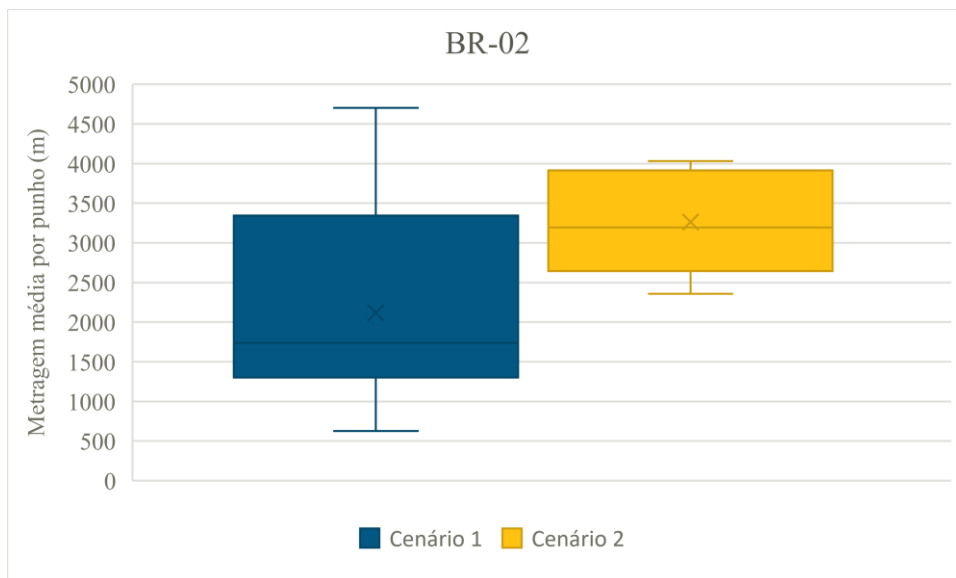


Figura 40: Comparativo entre os cenários analisados (BR-02).

No comparativo dos cenários para a vida útil das ferramentas, percebe-se a melhora para ambos os braços. Seguem valores na tabela-resumo a seguir (Tabela 11):

Tabela 11: Tabela-resumo (BR-01 e BR-02).

| | CENÁRIO 1 | | CENÁRIO 2 | |
|--------------|-----------|---------|-----------|---------|
| | MÉDIA | MÉDIANA | MÉDIA | MEDIANA |
| BR-01 | 1249 | 918 | 2751 | 3511 |
| BR-02 | 2118 | 1737 | 3261 | 3193 |

- Distribuição dos dados: para ambos os braços se têm a melhora para as metragens realizadas pelas ferramentas, aumento da vida útil. Ponto positivo demonstrando assertividade na melhoria implantada;
- Variabilidade dos dados: para o Cenário 2, os dados do BR-01 ainda apresentam grande variabilidade, maior quanto comparados com o Cenário 1;
- Simetria dos dados: nesse quesito, notam-se dados com maior simetria em sua distribuição para a ambos os braços, devido à proximidade dos valores de mediana com a média da amostra. Tem-se assimetria negativa para os dados do BR-01, ou seja, maior concentração de valores maiores na amostra e assimetria positiva para os dados de BR-02, indicando maior concentração dos dados para zona de valores mais reduzidos da amostra.

7 CONCLUSÃO

Com relação à vida útil média, foi observado um aumento significativo da metragem desenvolvida por punho, comprovando, assim, a efetividade da implementação da utilização das buchas centralizadoras frontais e intermediárias, de 1246m para 2751 m para o BR-01 e de 2118 m para 3261 m para o BR-02, correspondendo à melhoria de 120% e 54%, respectivamente.

Tomando por base a metragem de média para o ano de 2023, 600 metros mensais serão realizados no projeto após o *ramp-up* do desenvolvimento. Tem-se, para a execução da mesma, sem a utilização das buchas centralizadoras, a utilização, em média, de 300 punhos para o ano de 2023. Por outro lado, com utilização das buchas, serão necessários, em média, 155 punhos, apresentando redução de 48% em ferramentas utilizadas. Com o acompanhamento dos desgastes das buchas centralizadoras utilizadas, com as buchas em utilização sendo utilizadas durante aproximadamente 83 horas de perfuração, foi possível definir a análise de custos para o implemento instalado, e compará-lo com os custos das ferramentas utilizadas. Assim, para o ano de 2023 temos uma redução de custo de aproximadamente 28% com a instalação das buchas, mesmo com os custos associados a aquisição das buchas centralizadoras.

Considerando a redução de desvios na perfuração, espera-se a melhor qualidade de perfuração acarretando a redução de repasses de furos e menor tempo de atividades posteriores, como o carregamento da frente, instalação de tirantes, cavilhas e equipagem. Almeja-se também, a redução de esforços excessivos para as demais ferramentas da coluna de perfuração, em destaque para as hastes de perfuração, devido à redução de flambagem da mesma, evitando possíveis quebras.

Entretanto, a grande variabilidade dos dados para o Cenário 2 indica a influência de outros parâmetros para a quebra de punhos durante a atividade de perfuração. Tal hipótese justifica a definição de estudos futuros a serem realizados posteriormente com a análise da influência do desgaste das demais ferramentas da coluna de perfuração e da perfuratriz hidráulica com impacto negativo (dano prematuro) nos punhos, bem como a influência do desempenho e metodologias operacionais para as quebras prematuras. Outros parâmetros que poderão ser avaliados são o desgaste e pontos de troca das buchas centralizadoras, de forma a ser realizado uma análise de viabilidade econômica para a utilização desses implementos. Visando, definir o retorno ou gasto econômico com tal melhoria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATLASCOPCO. **Undeground Construction**. Orebro: Lars Senf, 2015.

BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON JR., E. R. **Ressistência dos Materiais**. 3ª. ed. São Paulo: Markron Books, 1995.

CASTRO, Roberto S.; PARRAS, Mauro M. **Manual de Ferramentas de Perfuração**. Rio de Janeiro: Fagersta Secoroc, 1986.

COSTA E SILVA, Valdir. **Operações Mineiras (Apostila)**. Ouro Preto: DEMIN/EM/UFOP, 2009.

COSTA E SILVA, Valdir. **Desmonte de Rochas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

EPIROC. **Rock drillinh theory and application training**. [S.l.]: [S.n.], 2018.

EPIROC. **Product Training - Boomer S2**. [S.l.]: [S.n.], 2021.

HEINIÖ, Matti. **Rock Excavation Handbook**. [S.l.]: Sandvik Tamrock Corp, 1999.

ORTIZ, Carlos E. A. **Métodos de perfuração, fundamentos, características e equipamentos de perfuração**. Ouro Preto: DEMIN/EM/UFOP, 2020.

PAIVA, Guilherme. Aplicação de tecnologias de informação e automação em minas subterrâneas: desafios e perspectivas. **Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2016.

PALIGA, Aline. **Ressistência dos Materiais II - Cisalhamento (Apostila)**. Pelotas: Centro de Engenharias - UFPEL, 2014.

PROROC. Punho Adpatador. **PROROC**, 2020. Disponível em: <https://www.proroc.com.br/produto/119/punho-adaptador>. Acesso em: 15 Outubro 2020.

RODRIGUES, Antônio L. O. **Caraterização e Propostas de Otimização do Ciclo de Perfuração na Mina da Panasqueira**. Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, 2018.