



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



Análise da influência do procedimento de revezamento e afiação de bits na vida útil das brocas e no desempenho das perfuratrizes

Pedro Vinícius Teixeira Santos

Ouro Preto - MG
Junho de 2022

Pedro Vinícius Teixeira Santos

Análise da influência do procedimento de revezamento e afiação de bits na vida útil das brocas e no desempenho das perfuratrizes

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/Desmonte de Rochas

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

Ouro Preto - MG
Junho de 2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S237a Santos, Pedro Vinicius Teixeira.
Análise da influência do procedimento de revezamento e afiação de bits na vida útil das brocas e no desempenho das perfuratrizes.
[manuscrito] / Pedro Vinicius Teixeira Santos. - 2022.
42 f.

Orientador: Prof. Dr. Elton Destro.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Lavra de minas. 2. Desmonte de rochas. 3. Rochas - Perfuração. I. Destro, Elton. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.24

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor

Pedro Vinícius Teixeira Santos

Título

Análise da influência do procedimento de revezamento e afiação de bits na vida útil das brocas e no desempenho das perfuratrizes

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 24 de junho de 2022.

Membros da banca

Prof. Dr. Elton Destro - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz (Universidade Federal de Ouro Preto)
Eng. de Minas Lucas Lacerda Furtado (Equinox Gold)

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 01/07/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Elton Destro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/07/2022, às 20:15, 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 **0356009** e o código CRC **680653DF**.

AGRADECIMENTOS

A toda equipe FBDM, em especial ao Sr. Luiz e Luiz Filho da sala de afiação;
à Tatiana e Matheus por todo apoio.

À Gloriosa República Serigy.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a análise de influência da implantação do sistema de revezamento e afiação de materiais de desgaste de perfuração, que também são chamados de Bits, na vida útil e na performance da perfuratriz Hidropneumática Lobo XVI e, também, a análise indireta dos seus impactos econômicos. Desse modo, durante esse estudo, foi analisada a durabilidade de um Bit, o qual não foi exposto ao procedimento de revezamento e afiação para, em seguida, implementar o procedimento em 12 bits para fins comparativos. As pesquisas deste trabalho foram desenvolvidas no período entre 01/02/2022 e 30/05/2022, nas Dependências de Fazenda Brasileiro da Bahia, sob responsabilidade da Equinox Gold, empresa canadense que atua no empreendimento desde 2020. Ao final desses estudos, observou-se um aumento significativo tanto na vida útil do material de desgaste bem como na produtividade da perfuratriz, gerando impactos econômicos significativos, justificando, assim, a implantação e padronização do procedimento.

Palavras-chave: Desmonte de rochas; Perfuração; Bits; Procedimento de Afiação

ABSTRACT

The present work aims to analyze the influence of the rotation system and sharpening of drilling wear materials, also called Bits, the lifetime and performance of the Lobo XVI Hydropneumatic Drilling Rig, as its economic impacts. Therefore, during this present study, the durability of a Bit was analyzed, which was not exposed to the relay and sharpening procedure, sequentially implementing the procedure in 12 bits for comparative purposes. This research was fulfilled, in the period between 02/01/2022 and 30/05/2022, at Fazenda Brasileiro in Bahia, under the responsibility of Equinox Gold, a Canadian company that has been operating in the enterprise since 2020. In conclusion of these studies, a significant increase was observed both in the lifetime of the wear material as well as in the productivity of the drill, generating significant economic impacts, thus justifying the implementation and standardization of the procedure.

Keywords: Rock blasting; Drilling; Bits; Sharpening procedure

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Malha quadrada.....	14
Figura 2 - Malha retangular.	14
Figura 3 - Malha estagiada.....	15
Figura 4 - Perfuratriz do tipo <i>Down The Hole</i> (DTH).....	18
Figura 5 - Tipos de face de bit.....	19
Figura 6 - Bit retrac.	19
Figura 7 - Botão esférico.....	20
Figura 8 - Botão semibalístico.....	20
Figura 9 - Botão balístico.....	21
Figura 10 - Princípio da desagregação da rocha na perfuração por impacto.....	22
Figura 11 - Influência do desgaste dos botões na desagregação da rocha.....	23
Figura 12- Tipos básicos de desgaste nas coroas em botões.....	23
Figura 13- Relações entre o diâmetro do achatamento produzido pelo desgaste e o diâmetro dos botões para afiação.....	24
Figura 14 - Afiadora automática Sandvik RG440.....	25
Figura 15 - Afiadora manual Sandvik RG400/410.....	25
Figura 16- Ciclo PDCA.	26
Figura 17- Gráfico de produtividade.....	27
Figura 18- Bits danificados	28
Figura 19- Afiadora Sandvik RG460.....	29
Figura 20- Kit de Bits LOBO T45.....	30
Figura 21- Perfuratriz Lobo.....	31
Figura 22- Parâmetros de perfuração perfuratriz Lobo.....	31
Figura 23- Mapa Greenstone Belt Rio Itapicuru.....	34
Figura 24- Sequência Riacho do Incó.....	35
Figura 25- Performance do "BIT0" (bit zero).....	38
Figura 26- Análise de desempenho com o procedimento de revezamento e afiação dos bits.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Desmontes	14
3.2 Perfuração	15
3.3 Perfuratrizes	16
<i>Tipos de perfuratrizes</i>	17
3.4 Tipos de broca	19
3.5 Afição	22
3.5.1 Importância da afiação	22
3.5.2 Influência da afiação na desagregação da rocha	23
3.5.3 Tipos de desgaste dos botões e afiadoras	24
3.6 Ciclo PDCA	27
4 METODOLOGIA	28
5 GEOLOGIA DA ÁREA	35
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
7 CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, a mineração tem se mostrado um dos pilares no qual se apoiou o desenvolvimento humano. O ato de retirar recursos minerais se tornou uma das atividades indispensáveis para o desenvolvimento das grandes potências mundiais.

Dentre os processos que constituem as operações unitárias de lavra a céu aberto, a perfuração se destaca como um dos principais, uma vez que é uma das etapas iniciais para o processo de desmonte a céu aberto e impacta diretamente em todos os estágios subsequentes, tendo em vista que a sua correta execução pode reduzir drasticamente os custos com fragmentação, caso contrário, se defasada, pode comprometer todo o ciclo operacional.

Para o desenvolvimento das atividades de perfuração de forma adequada, a escolha e manutenção do ferramental utilizado para a execução da mesma é indispensável. Isso, haja vista que esses materiais e equipamentos apresentam um elevado custo, o que impacta diretamente nos custos operacionais do processo. Logo, é de suma importância que a escolha e a manutenção do ferramental sejam realizadas com periodicidade e excelência, caso contrário podem impactar de forma negativa no procedimento da lavra, na produtividade do equipamento e em gastos excessivos com a reposição e conserto dos materiais de perfuração.

Em vista disso, este o estudo teve por objetivo a implantação do procedimento de revezamento e afiação dos bits e o impacto da aplicação do mesmo na produtividade da perfuratriz em uso e os impactos econômicos na aquisição de materiais de desgaste.

Tal estudo foi desenvolvido na Mina Fazenda Brasileiro, sob gestão da empresa canadense Equinox Gold, desde o ano de 2019, a qual tem como foco seu empreendimento nas atividades de lavra subterrânea, porém, devido as recentes atividades exploratórias, as atividades a céu aberto têm crescido de forma significativa.

Com o objetivo de otimizar as operações desenvolvidas na mina *Open Pit*, foram realizados levantamentos de possíveis gargalos na operação. Dentre as

adversidades observadas, foram identificadas a recorrência de avarias precoces nos equipamentos de perfuração, sendo essa situação o gatilho inicial para o estudo desenvolvido.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a influência do procedimento de revezamento e afiação dos bits na operação de desmonte de rochas em uma mina a céu aberto.

2.2 Objetivos específicos

a) Verificar a influência do procedimento de revezamento e afiação dos bits no aumento da vida útil das brocas e no desempenho das perfuratrizes;

b) Correlacionar a implantação do procedimento de revezamento e afiação das brocas com o aumento da metragem linear perfurada por hora;

c) Verificar como a implantação do procedimento de revezamento e afiação dos bits pode interferir na redução do número de brocas utilizadas na perfuração e sua relação com o custo operacional desta atividade;

d) Estimar a média e a variância da produtividade da perfuratriz nos dois cenários de operação analisados neste trabalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Desmonte

Quando se inicia um empreendimento de lavra a céu aberto, uma análise de como o material de interesse será retirado da cava é realizada e, por diversas vezes, opta-se pelo desmonte com explosivos. Essa atividade tem por objetivo a redução granulométrica do corpo de interesse visando reduzir os custos com etapas como a britagem e a moagem. Além disso, o desmonte com explosivos torna-se interessante, uma vez que pode ser executado em bancadas extensas, tornando possível a lavra em várias frentes de operação.

Segundo Silva (2019), a operação de desmonte pode ser feita com vários objetivos, sendo eles executar abertura no maciço de interesse, fazer a lavra de uma substância mineral ou, até mesmo, modificar a topografia de um determinado terreno.

Os desmontes podem ser realizados também de forma a facilitar a seleção do material a ser alimentado na planta de beneficiamento, portanto é uma etapa fundamental no processo de lavra, podendo impactar diretamente os processos subsequentes.

Sendo assim, pode-se definir por desmonte de rocha escavações mecânicas ou com o auxílio de explosivos com o intuito de fragmentar ou seccionar blocos e/ou maciços rochosos. Desmontes mecânicos possuem um custo reduzido, porém, quando se trata de maciços mais competentes, tendemos a optar pelo desmonte com explosivos, podendo vencer grandes resistências de rochas e gerar uma boa fragmentação do material de interesse.

Para que o desmonte seja executado de forma correta é necessário que as operações que o antecedem sejam realizadas com excelência. Dentre elas, vale ressaltar a perfuração da bancada, que impacta diretamente na eficiência e na qualidade do desmonte. Caso a mesma não seja desenvolvida de forma assertiva, pode acarretar a ineficiência da detonação e, por consequência, no aumento dos

custos de operação, uma vez que serão necessários fogos secundários para a correção das bancadas.

3.2 Perfuração

O processo de perfuração pode ser definido pelo ato de criar incisões nos maciços rochosos a fim de gerar espaços para a locação de explosivos a serem utilizados no desmonte da bancada. A malha de perfuração consiste no plano o qual a perfuração deve ser executada (SILVA, 2019), podendo esta assumir várias formas tais como:

- Malha quadrada: que consiste na malha de perfuração na qual afastamento e espaçamento possuem as mesmas dimensões conforme mostrado na figura 1, sendo comumente aplicada a rochas com baixa resistência mecânica.

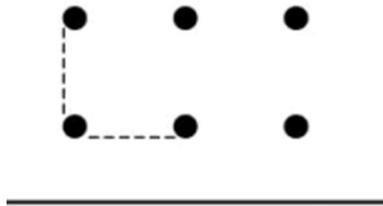


Figura 1: Malha quadrada. **Fonte:** Silva (2019).

- Malha retangular: malha caracterizada por possuir afastamento entre furos maior que o espaçamento entre as linhas conforme figura 2.



Figura 2: Malha retangular. **Fonte:** Silva (2019).

- Malha estagiada (pé de galinha): tal malha é caracterizada por gerar triângulos equiláteros ou escalenos durante sua execução; gera maior interação entre os furos durante a detonação devido a sua geometria particular evidenciada na figura 3.

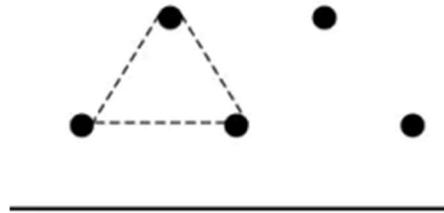


Figura 3: Malha estagiada. **Fonte:** Silva (2019).

Para a execução dos planos de perfuração, podem ser adotados vários métodos, sendo os mais comuns: perfuração rotativa com broca tricônica, perfuração rotopercussiva de superfície e método rotopercussivo de fundo de furo, cada qual aplicado conforme a particularidade do maciço a ser perfurado.

3.3 Perfuratrizes

Comumente, as ferramentas utilizadas para a execução das malhas de perfuração são as chamadas Perfuratrizes. Cada qual com sua particularidade, tem por objetivo executar os furos no maciço rochoso por diferentes métodos físicos.

O dimensionamento da perfuratriz, bem como seus parâmetros operacionais, são definidos respeitando as particularidades da rocha a ser perfurada tais como perfurabilidade, parâmetro dependente, dentre outros fatores, da dureza dos minerais que compõem o maciço.

Tipos de perfuratrizes

As perfuratrizes podem ser classificadas em 4 categorias: Perfuratrizes rotativas, Perfuratrizes percussivas, Perfuratrizes rotopercussivas e Perfuratrizes furo abaixo ou DTH (do inglês *Down The Hole*).

Acerca dos tipos de perfuratrizes, segundo explicitado por Cristal Jr. (Empresa Júnior de Engenharia de Minas da Universidade Federal da Bahia) em seu site, no ano de 2020, pode-se dizer que:

Perfuratrizes rotativas são caracterizadas por serem direcionadas por uma broca que contém uma peça cavada em forma de cunha chamada de pá direcional, a qual permite um direcionamento para qualquer lado e desvio de profundidade. A perfuração rotativa avança com acoplamento das hastes de perfuração por meio de rotação e roscas. Utiliza-se na broca de perfuração um dispositivo energizado que transmite a um receptor na superfície sinais capazes de informar a profundidade, a direção e angulação da broca (SITE DA CRISTAL JR., 2020).

Vale ressaltar, também, que o desgaste da rocha é feito devido a rotação realizada a pressão constante, gerando assim desgaste no maciço.

Outros tipos de perfuratrizes são as percussivas que de acordo com a empresa Cristal Jr. (2020) “são caracterizadas por executar golpes no maciço. Após duas percussões, realiza um movimento de rotação girando a broca”. Dessa maneira, pode-se dizer que tal tipo de máquina executa dois movimentos distintos e independentes, golpeando a broca contra a rocha e em seguida realizando movimento de rotação, sendo introduzido ar ou água para auxiliar na limpeza dos furos.

O terceiro tipo de perfuratrizes são as rotopercussivas. Segundo Silva (2019), tais máquinas “são as mais utilizadas para a perfuração de bancadas e seu surgimento data de períodos próximos à revolução industrial do século XIX”. Contudo, esse tipo de perfuratriz se limita a empreendimentos de médio e pequeno porte ou perfurações de desmontes secundários (corretivos).

As perfuratrizes rotopercussivas apresentam rotação contínua, além de percussões sobre a coroa. Segundo Llera *et al.* (1987), a perfuração rotopercussiva se baseia na combinação das seguintes ações:

- Percussão: os impactos produzidos pelas batidas do pistão do martelo produzem ondas de choque que são transmitidas à rocha;
- Rotação: com esse movimento se faz girar a broca para que se produzam impactos sobre a rocha em diferentes posições;
- Pressão de avanço: para se manter a ferramenta de perfuração em contato com a rocha é exercida uma pressão de avanço sobre a broca de perfuração;
- Fluido de limpeza: o fluido de limpeza permite extrair os detritos do fundo do furo.
- Percussão: A energia do pistão é transmitida do martelo até à coroa de perfuração através da haste, em forma de ondas.

O deslocamento destas ondas é realizado em altas velocidades e sua forma depende fundamentalmente do desenho do pistão.

Quando a onda de choque alcança a coroa de perfuração, uma parte da energia é transferida à rocha e outra parte se perde em forma de calor.

Nas perfuratrizes DTH - *Down The Hole* (quarto tipo), os sistemas de rotação e avanço ficam localizados fora do furo (figura 4), os quais são ligados à perfuratriz por meio de tubos rosqueados entre si que vão sendo adicionados para se alcançar a profundidade desejada. A coroa de profundidade recebe diretamente os impactos gerados pelo martelo localizado no fundo do furo, reduzindo a perda de energia e permitindo que a velocidade de penetração sofra menor influência da profundidade (CASTRO E PARRAS, 1986).

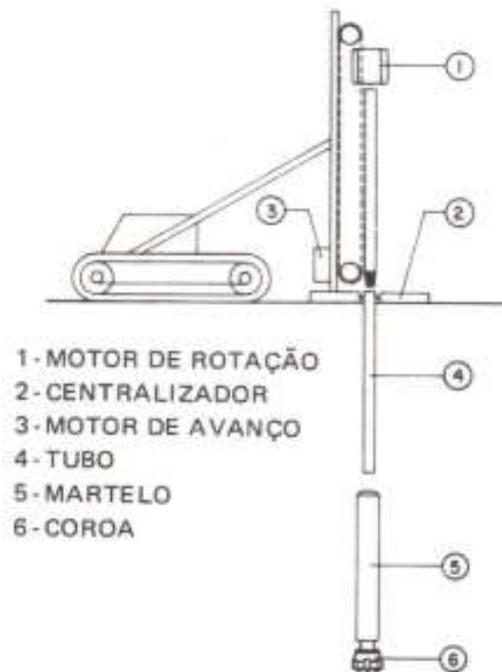


Figura 4: Perfuratriz do tipo *Down The Hole* (DTH). **Fonte:** Castro e Parras (1986).

3.4 Tipos de broca

Segundo Hork e Brown (1980), os bits são os corpos que durante o processo de perfuração ficam diretamente em contato com a rocha; portanto, para que se tenha uma perfuração efetiva, deve-se selecionar o bit mais adequado a cada maciço rochoso, levando em consideração seus parâmetros individuais tais como dureza da rocha, resistência à compressão, entre outros.

Os bits têm particularidades para execução da perfuração em diferentes tipos de rocha com objetivos como perfuração mais efetiva, menor desgaste das brocas, regularidade dos furos e evitar perda do ferramental de perfuração.

Conforme mostrado na figura 5, um dos parâmetros considerados para seleção do bit para realizar a perfuração é a sua face, a fim de adequar o ferramental ao maciço a ser perfurado, podendo ser selecionado conforme sua aplicação ideal.

	Face	Mais apto para rocha	Controle sobre o desvio	Características adicionais
	Domo	Dura e abrasiva	Regular	Boa proteção dos botões periféricos
	Domo com calibre duplo	Muito dura e abrasiva	Regular	Máxima proteção dos botões periféricos
	Plana	Dura e/ou irregular	Bom	Apto para terrenos fraturados Mais frágil
	Côncavo	Semidura e homogênea	Excelente	Excelente soprado

Figura 5: Tipos de face de bit. **Fonte:** Silva (2019).

Além das diferentes faces dos bits, podem ser variadas as estruturas do corpo, distribuição espacial e número de botões, material dos botões, tudo isso visando uma perfuração mais efetiva e de maior qualidade.

Pode-se tomar como exemplo de variação de bits os bits *retrac* mostrados na figura 6, muito utilizado na perfuração de rochas com risco de desmoronamento. O bit retrac possui estrias no seu corpo e cortes em reverso, que auxilia na execução dos furos gerando furos mais retos e que, em caso de encravamento do ferramental de perfuração, permite uma furação ao contrário, possibilitando a retirada do equipamento encravado.

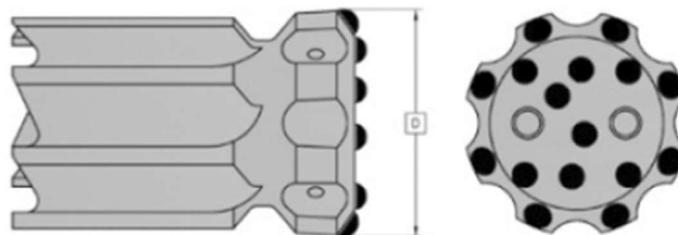


Figura 6: Bit retrac. **Fonte:** PROROC (2020).

Segundo o Manual Sandvik Rock Tools (2015), os botões dos bits, que são o contato direto da broca com o maciço, podem variar na forma entre balístico, semibalístico e esférico, e são selecionados conforme as propriedades físicas e mecânicas do maciço a ser perfurado e, também, quanto aos parâmetros operacionais das perfuratrizes.

Botão esférico: estes botões são mais utilizados para solos duros, abrasivos ou muito abrasivos. Devido ao seu formato arredondado, possui menor desgaste físico, porém promove menores avanços na perfuração (figura 7).



Figura 7: Botão esférico. **Fonte:** Morais (2005).

Botão semibalístico: são utilizados em solos meio abrasivos e promovem maior penetração em relação aos botões esféricos, porém exibem um desgaste mais acelerado do corpo da ferramenta.

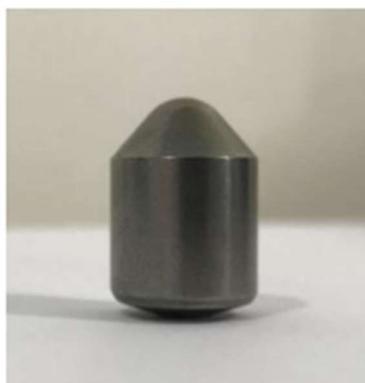


Figura 8: Botão semibalístico. **Fonte:** Morais (2005).

Botão balístico: possui grande penetração e são comumente utilizados em solos não abrasivos. Devido a seu formato mais pontiagudo, possui o mais elevado índice de desgaste e são recomendados para perfurações de menores diâmetros.



Figura 9: Botão balístico. **Fonte:** Morais (2005).

3.5 Afição

A afiação consiste na retomada do bit ao seu formato original. Com o desgaste do corpo da broca e, também, de seus botões durante o processo de perfuração, ocorre a deformação do mesmo gerando, assim, uma queda de rendimento da perfuratriz, uma vez que a broca não está mais em seu estado ideal de operação.

3.5.1 Importância da afiação

O segredo da longa vida de um equipamento reside na afiação correta da pastilha (HERRMANN, 1968). A atividade de afiação dos bits é indispensável para um bom desenvolvimento da atividade de perfuração, uma vez que longos períodos de utilização das brocas sem serem expostas ao procedimento correto podem acarretar em uma quebra prematura do ferramental de perfuração, comprometendo não somente a estrutura física da broca como também as demais partes da perfuratriz. O uso de bits demasiadamente desgastados pode gerar travamento das hastes, podendo estas ficarem presas no furo durante o processo, podendo gerar, devido à baixa velocidade de rotação ocasionada por desgaste insuficiente do material a ser

perfurado, um torqueamento acima do suportado pelo punho da perfuratriz ocasionando, assim, a falha prematura da peça dentre outros inconvenientes.

Segundo Silva (2019), o momento ideal para a afiação dos bits é quando se nota que a velocidade de perfuração teve uma queda brusca, ou quando se percebe danos aos botões. Ainda segundo o autor, a afiação dos bits em intervalos de tempo menores mostra-se mais economicamente viável do que manter uma relação de penetração baixa ou ter a falha prematura do material de desgaste.

3.5.2 Influência da afiação na desagregação da rocha

Na perfuração por impacto, a desagregação da rocha ocorre devido à pressão exercida pela pastilha de metal duro da coroa, ou seja, pelo botão (SANDVIK - Manual de Perfuração de Rochas). A rocha é fragmentada continuamente dando origem a partículas finas no contato da pastilha com a rocha e, nas proximidades do metal duro, surge uma zona de trituração, conforme mostrado na figura 10. Então, se a pastilha estiver devidamente afiada, a desagregação da rocha acontecerá em função do aumento da tensão no material sendo perfurado.

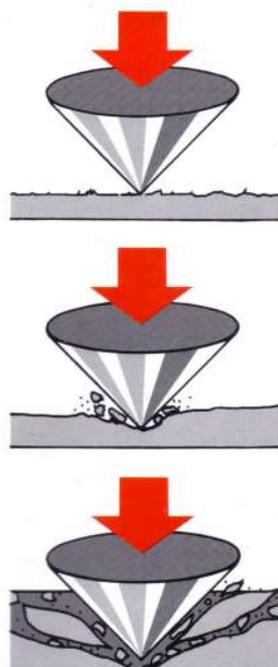


Figura 10: Princípio da desagregação da rocha na perfuração por impacto. **Fonte:** Sandvik - Manual de Perfuração de Rochas.

Ainda segundo este autor, a força necessária para a penetração da pastilha (e consequente trituração da rocha) depende da intensidade do desgaste dos botões, sendo tanto maior quanto maior o desgaste (figura 11). Por isto, a afiação dos botões deve ocorrer previamente à diminuição da taxa de penetração.



Figura 11: Influência do desgaste dos botões na desagregação da rocha. **Fonte:** Sandvik - Manual de Perfuração de Rochas.

3.5.3 Tipos de desgaste dos botões e afiadoras

Segundo Castro e Parras (1986), podem-se observar dois tipos básicos de desgaste nas coroas em botões: achatamento frontal nos botões centrais e achatamento lateral nos botões periféricos. O segundo tipo acontece, porque os botões laterais são inclinados em relação ao eixo longitudinal da coroa, conforme mostrado pela figura 12.

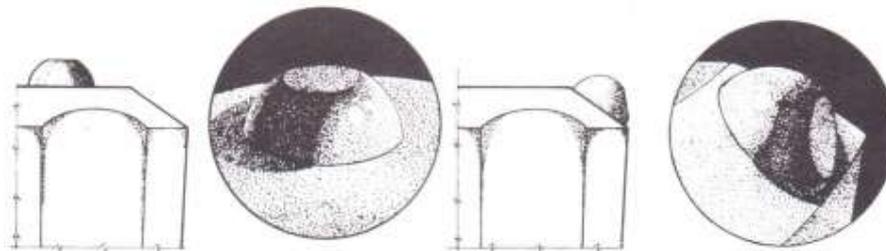


Figura 12: Tipos básicos de desgaste nas coroas em botões: desgaste frontal (à esquerda) e lateral (à direita). **Fonte:** Castro e Parras (1986).

Ainda segundo Castro e Parras (1986), a eliminação dos achatamentos produzidos pelos desgastes através da afiação da coroa em botões, deve acontecer quando o diâmetro do achatamento atingir a no máximo metade do diâmetro dos botões (situação para rochas macias) e 1/4 a 1/3 do diâmetro dos botões para rochas duras (figura 13).



Figura 13: Relações entre o diâmetro do achatamento produzido pelo desgaste (d) e o diâmetro dos botões (D) para afiação. **Fonte:** Castro e Parras (1986).

Afiadoras automáticas, tais como a mostrada na figura 14, são frequentemente utilizadas no processo por serem rápidas no processo de afiação, possibilitando, assim, a manutenção de várias brocas em um curto período de tempo, porém, a exposição dos botões por longos períodos de afiação podem levar a um desgaste excessivo dos mesmos.

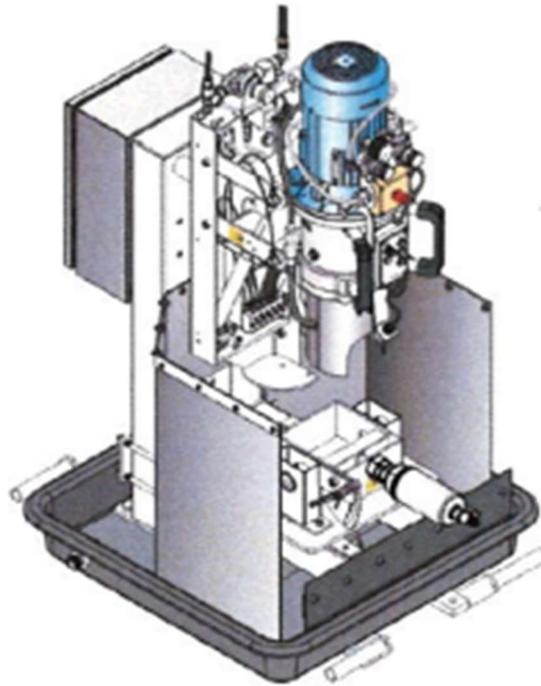


Figura 14: Afiadora automática Sandvik RG440. **Fonte:** *Grinding button bits* - Sandvik (2015).

Para que seja minimizado o desgaste excessivo por tempo de exposição ao procedimento de afiação citado anteriormente, pode-se utilizar afiadoras manuais como a mostrada na figura 15, podendo o afiador controlar melhor por meio de inspeção visual o desgaste gerado nos botões, porém o uso desse equipamento exige uma maior expertise do afiador.

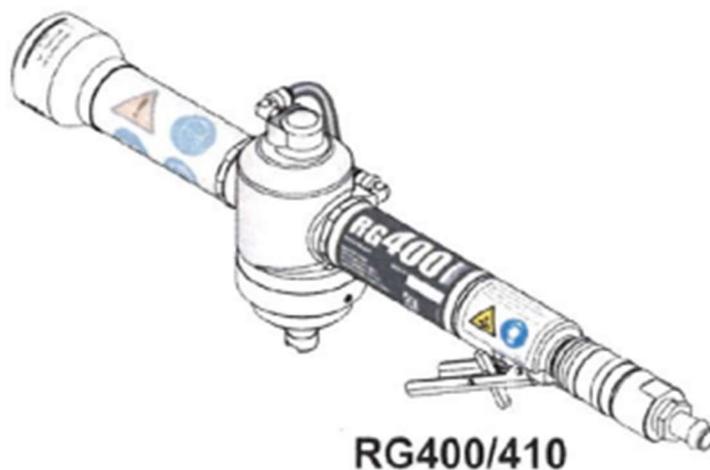


Figura 15: Afiadora manual Sandvik RG400/410. **Fonte:** *Grinding button bits* - Sandvik (2015).

3.6 Melhoria contínua

Segundo Machado (2007), o método PDCA consiste em um método gerencial para tomada de decisões o qual foi desenvolvido nos anos 30 por Shewart, sendo, também, conhecido por ser um método de solução de problemas, uma vez que cada meta de melhorias origina um problema a ser solucionado.

O método consiste em quatro etapas *Plan, Do, Check e Action*, conforme detalhado na figura 16.



Figura 16: Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Action*). **Fonte:** Machado (2007).

4 METODOLOGIA

O estudo deste trabalho foi estimulado devido à identificação de quedas bruscas de produtividade da perfuratriz através do acompanhamento da performance de produção por metro linear perfurado e por hora trabalhada. Ao longo do mês de fevereiro de 2022, todo o desenvolvimento da perfuratriz foi levantado e analisado. Após longos períodos utilizando a mesma broca sem afiação, o desempenho medido em metro linear por hora trabalhada sofreu uma queda significativa impactando no tempo de ciclo de desmonte da mina conforme a figura 17.

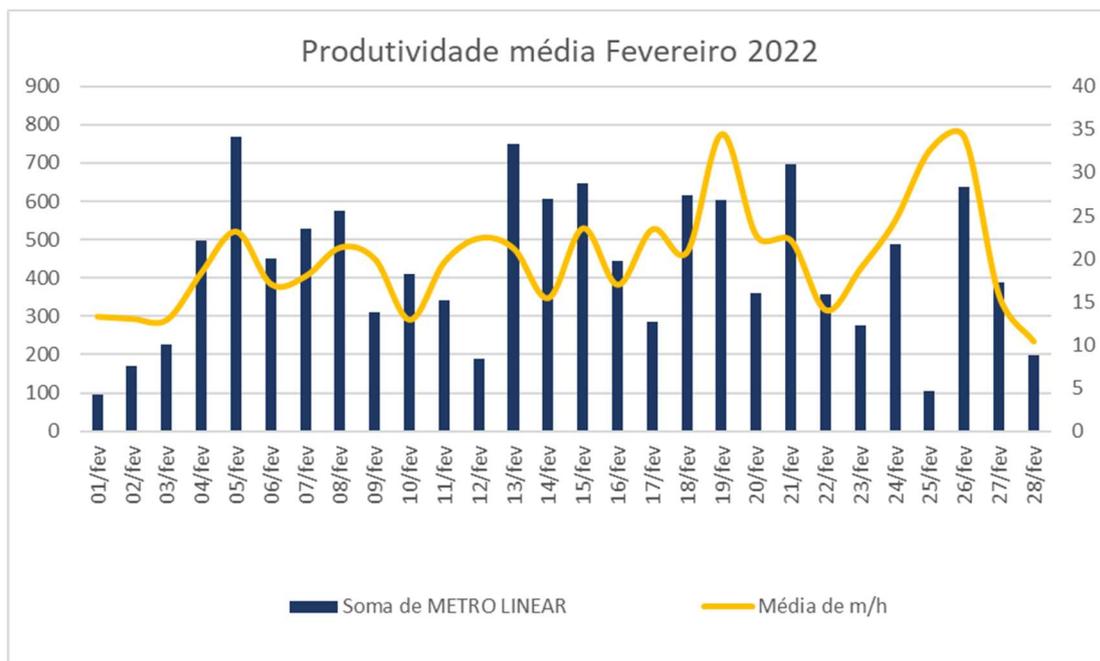


Figura 17: Gráfico de produtividade em fevereiro de 2022.

A perfuratriz atingiu uma produtividade média de 20,11 metros lineares perfurados por hora, coincidindo os picos com as trocas de bit, o que levou à conclusão de que as brocas, em sua perfeita geometria, elevaram a produtividade da perfuratriz.

Além disso, foram observadas falhas prematuras dos bits, das hastes e dos punhos, como mostrado na figura 18.



Figura 18: Bits danificados (caneta utilizada como escala).

Em vista destas constatações, foram sugeridas alterações para minimizar os efeitos da situação descrita. O primeiro ponto de intervenção proposto foi, portanto, a implantação de uma rotina (de um procedimento) de afiação e revezamento dos bits, a fim de otimizar o desempenho dos mesmos e evitar esforços excessivos na estrutura física da perfuratriz e dos demais componentes do ferramental de perfuração.

O método de afiação com rebolo diamantado foi implantado com o objetivo de reaver a forma original dos botões desgastados dos bits. Utilizando da ferramenta RG460 Sandvik, máquina de propriedade da Equinox Gold (figura 19), afiadora

automática com rebolos diamantados, foram realizadas afiações ao final de todos os turnos nos bits utilizados.



Figura 19: Afiadora Sandvik RG460.

Além da afiação das brocas, foi implantado um rodízio nas mesmas, a fim de evitar um desgaste por fadiga excessiva, visto que a rotina de operação da perfuratriz é dividida entre quatro turmas que se revezaram em três turnos de 8 horas, sendo, destas, 6 horas operacionais. Desse modo, foi definido que cada equipe seria

equipada com um kit (semelhante ao mostrado na figura 20) de três bits que seriam alternados de duas em duas horas.



Figura 20: Kit de Bits LOBO T45.

Ademais, foram realizadas modificações nas partes diárias dos operadores das perfuratrizes, para que passassem a reportar a metragem perfurada por cada bit para que os levantamentos de metragem desenvolvida e hora trabalhada fossem o mais assertivos possível.

Com o intuito de desenvolver, padronizar e executar o procedimento de revezamento e afiação das brocas, foi proposto o desenvolvimento de um novo padrão de ciclo de manutenção do material de desgaste através do desenvolvimento de um ciclo PDCA (*Plan*: Planejar; *Do*: Fazer, executar; *Check*: Checar e *Act*: Agir) que foi composto pelas seguintes etapas:

Etapa Plan (Planejar): Identificação e análise do problema.

Durante o mês de março de 2022, foi observado o desempenho da perfuratriz Lobo em operação pela Equinox Gold (apresentada na figura 21) perfurando com bits de 89 mm e trabalhando sob os parâmetros operacionais mostrados na figura 22.



Figura 21: Perfuratriz Lobo.

Parâmetros de perfuração Perfuratriz LOBO bit 89mm	
Pressão de emboque	120 bar
Pressão de trabalho	145 bar
Rotação de emboque	80,00%
Rotação de trabalho	76,6
Pressão de avançoemboque	25 bar
Velocidade de avanço Trabalho	46,4 bar
Pressão anti Jamming	70 bar
Rotação de rosca	90,00%
Rotação desrosquear	90,00%
Velocidade de avanço na troca	42,50%
Velocidade de retorno na troca	41,00%
Tempo de filtro ligado	0,50s
intervalo de filtro desligado	25s

Figura 22: Parâmetros operacionais da perfuratriz Lobo.

Após o período de análise, foram identificados os problemas de baixa produtividade da perfuratriz e quebra prematura do ferramental de perfuração. Sendo assim, buscando solucionar tais problemas identificados, foram desenvolvidos e implementados os procedimentos os quais serão discutidos nas etapas descritas abaixo.

Etapa *Do* (Fazer):

Esta etapa teve por objetivo inicial desenvolver um balizador de metragem. Para isso foi utilizado um bit denominado “BIT0” (bit zero), o qual foi consumido até a falha. Através do levantamento e tratamento dos dados obtidos nessa etapa, foi possível definir a vida útil e a variação de produtividade de uma broca utilizada até a falha sem que fosse submetida a manutenção correta. Além dos parâmetros produtivos, teve-se por propósito determinar se seria mais econômico utilizar as brocas até a falha ou submetê-las ao processo de revezamento e afiação.

Em segundo momento, com a implantação do sistema de afiação e revezamento dos bits, todos os operadores da perfuratriz “LOBO” foram treinados e capacitados para executarem o procedimento proposto e preencher, de maneira correta, as partes diárias a fim de gerar informações confiáveis sobre o desempenho dos novos bits em operação.

Etapa *Check* (Checar):

Nesta fase, utilizou-se os dados levantados pelos operadores da perfuratriz utilizada no estudo. Dessa forma, foi realizada uma análise com o objetivo de determinar quais seriam os impactos resultantes da implantação dos procedimentos citados anteriormente.

Assim, através dos levantamentos, foram identificados três cenários de produtividade a serem analisados, sendo eles o cenário observado no mês de fevereiro, no qual a perfuratriz operou sem acompanhamento de metragem desenvolvida por broca e sem afiação dos bits; o cenário do dia dezoito de março a

vinte e cinco de março, no qual a perfuratriz operou com o “Bit0” (bit zero) tendo sua produtividade e vida útil monitoradas e, por último, o cenário de treze de abril a vinte e um de abril em que eram executados os procedimentos de revezamento e afiação das brocas bem como o levanto da metragem desenvolvida pelas mesmas.

Além dos parâmetros de produtividade, metro linear por hora trabalhada, foi também observado a metragem realizada com o objetivo de estudar a influência da implantação do procedimento proposto na durabilidade dos bits.

Etapa Act (Agir):

Tendo em vista os resultados obtidos nas etapas anteriores, todos os levantamentos realizados foram tratados a fim de identificar e padronizar um processo que atendesse as demandas da perfuração de modo a tornarem exequíveis as melhorias propostas.

Parâmetros como modificações na litologia, influência de turnos e parâmetros operacionais não foram objeto de estudo, porém, sugerem-se estudos futuros para adequar o procedimento às possíveis interferências deles.

Localmente, a geologia da Mina Fazenda Brasileiro corresponde a uma seqüência de rochas metassedimentares e metavulcânicas (félsicas e máficas). Estratigraficamente, essas rochas são divididas nas seqüências descritas na figura abaixo: (I) Riacho do Incó (SRI), (II) Fazenda Brasileiro (SFB) e (III) Canto (SC).

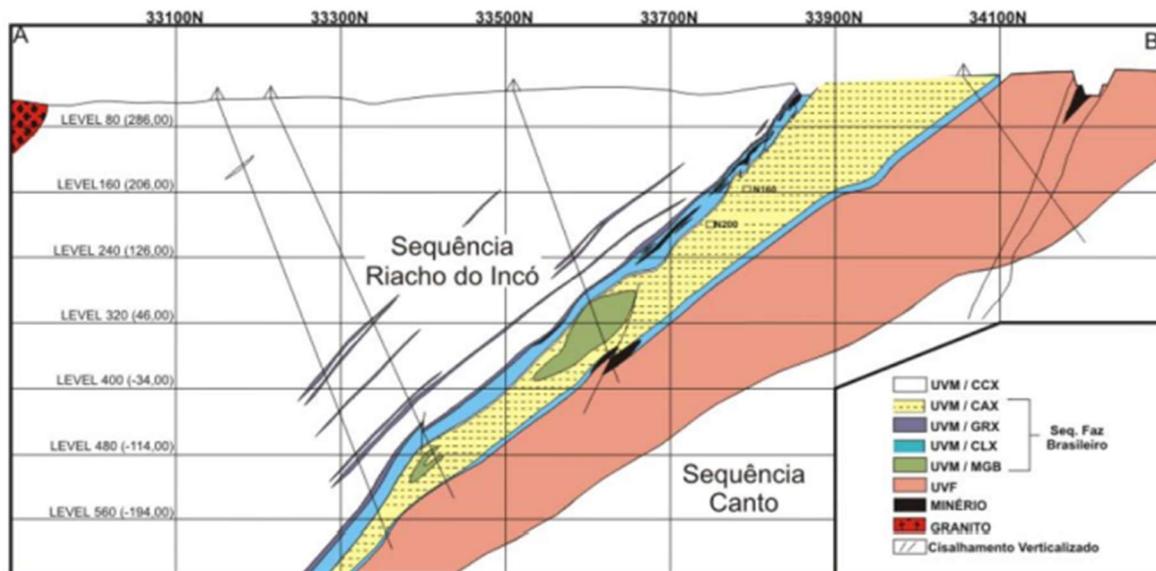


Figura 24: Sequência Riacho do Incó. **Fonte:** Costa, 2008 modificado de Alves da Silva *et al.*, 1991.

A seqüência Riacho do Incó (topo da figura 24) corresponde a uma unidade máfica, constituída majoritariamente por metabasaltos cloritizados e carbonatados (na mina chamados de “CCX”) e lentes de metassedimentos carbonosos, historicamente classificada como estéril.

Segundo Rocha (2021), a SFB é onde se localizam os principais alvos de Fazenda Brasileiro e corresponde majoritariamente por uma unidade máfica. Apresenta camada de topo composto essencialmente por um horizonte carbonoso, de espessura variável entre 1 a 5 metros, conhecido genericamente como grafita xisto (GRX). Este horizonte é geralmente seguido por nível cloritizado (CLX) com altos teores de ouro, configurando a principal hospedeira da mineralização. Nos níveis intermediários são observados meta-gabros (MGB) como núcleos preservados intercalando com porções deformadas e hidrotermalizadas definidas com carbonato-

actinolita-xisto. Subjacente a estas, o segundo nível de clorita xisto (CLX2) é marcado por intensas deformações e níveis ricos em magnetita.

A Sequência Canto representa os alvos mais recentes de Fazenda Brasileiro. Litologicamente corresponde a uma sequência de metandesitos, sedimentos vulcanoclásticos (Aglomerado Vulcânicos “AGV” e metapelito vulcânico “MPV) e carbonosos (Metapelito carbonoso) e vulcânicas félsicas (riolitos e dacitos). Apresenta mineralização associada às zonas de cisalhamento, não tendo controle litológico também segundo Rocha (2021).

O presente estudo teve todos os seus testes realizados na sequência Fazenda Brasileiro, unidade CLX, a fim de padronizar os resultados e deixá-los o mais aderentes possível.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da observação, levantamento e tratamento de dados obtidos entre os dias 01/02/2022 e 28/02/2022 foi realizado um estudo estatístico com base na produtividade (em m/h) realizada pela perfuratriz LOBO antes da implantação do procedimento de revezamento e afiação dos bits. Neste estudo, constatou-se que a maioria dos dados levantados indicam uma perfuração, em m/h, entre 17 e 18, desempenho este abaixo do esperado da perfuratriz. A média e o desvio padrão foram, respectivamente, de **24,31 m/h** e **10,56 m/h**.

Devido à falta de histórico de metragem desenvolvida por bit, não foi realizado um estudo de metragem desenvolvida por broca nessa etapa do estudo.

Com o objetivo de determinar a vida útil do bit, foram realizados estudos com o “BIT0” (bit zero) a fim de determinar a metragem desenvolvida por um bit que não fosse submetido aos processos de afiação e revezamento a fim de determinar possíveis ganhos na vida útil do material de desgaste. Pode-se observar, no gráfico da figura 25, o desempenho do “BIT0” em relação a metragem realizada e produtividade média da perfuratriz (em m/h).

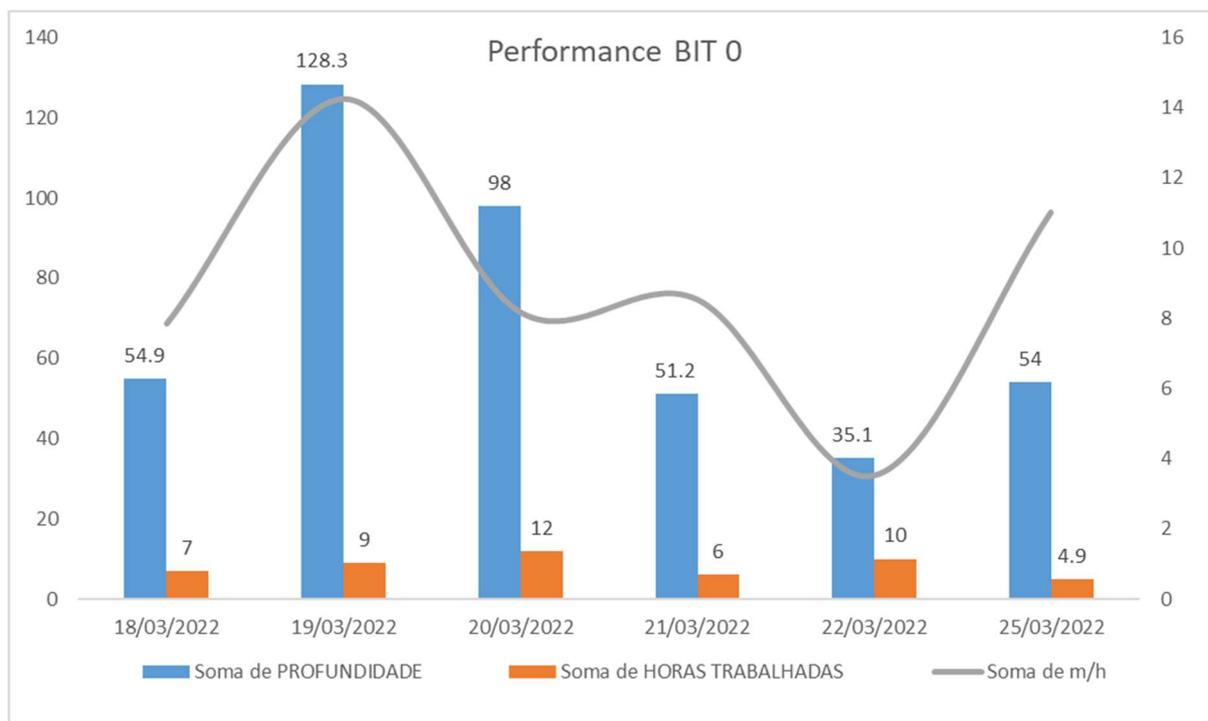


Figura 25: Performance do “BIT0” (bit zero).

Conforme se observa na figura 25, o Bit0 perfurou **421,5 m** antes da falha. Essa metragem foi utilizada como parâmetro para eventuais ganhos com a implantação do procedimento de revezamento.

Além disso, podemos observar que a produtividade média em metros perfurados por hora trabalhada foi de **8,8 m/h**, o que permite concluir que, mesmo com o bit novo, devido a fadiga excessiva no primeiro dia de trabalho, esse não conseguiu desempenhar uma boa produção.

Após o balizamento de metragem desenvolvida por brocas as quais não foram expostas ao processo de revezamento e afiação, foi dado início a implantação do procedimento proposto e, simultaneamente, foram realizados o tratamento dos dados de produtividade e metragem desenvolvida através dos quais foi elaborado o estudo estatístico dos parâmetros sugeridos.

Ao final do período de análise, cada bit submetido ao procedimento de revezamento e afiação executou, em média, **505,33 m**, evidenciando, assim, um aumento significativo da vida útil das brocas (de **421,5** para **505,33 m**). Vale ressaltar que até a presente data, os bits submetidos ao procedimento de revezamento e

afiação ainda se encontravam em perfeitas condições de operação, porém, devido ao período limitado de estudo, não foi possível determinar a metragem final desenvolvida por cada broca. Sugere-se um estudo com maior tempo de observação a fim de determinar os ganhos finais de vida útil no ferramental de perfuração

Após a implantação do procedimento proposto, foi realizada a coleta e tratamento estatístico dos dados semelhante ao realizado antes da implantação, gerando o histograma apresentado na figura 26 o qual foi utilizado para fins comparativos, buscando identificar eventuais ganhos em relação aos parâmetros de operação adotados antes da implantação dos procedimentos de manutenção do ferramental de desgaste.

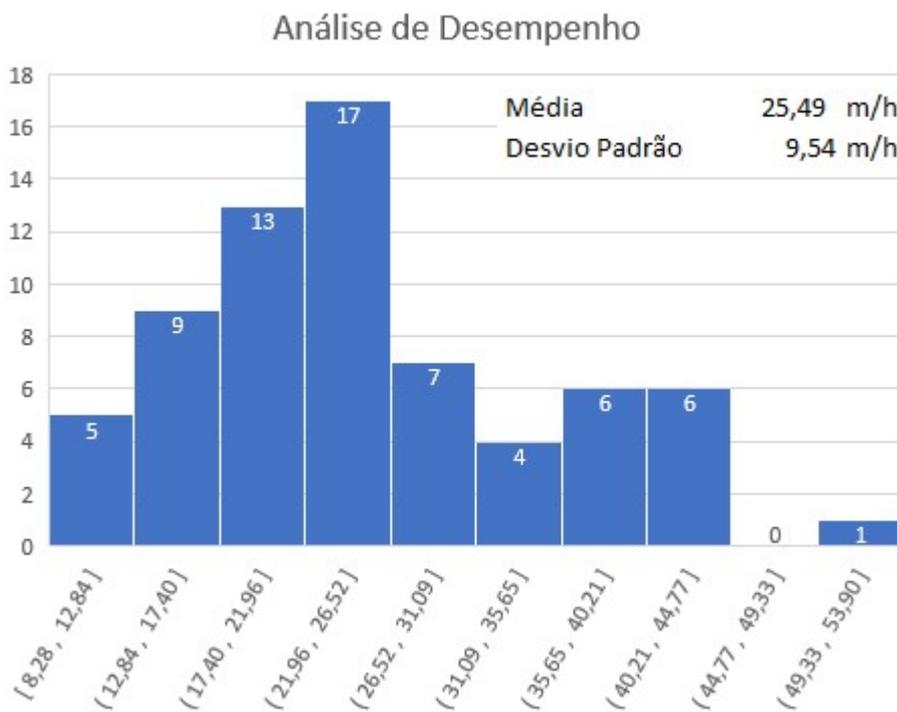


Figura 26: Análise de desempenho com o procedimento de revezamento e afiação dos bits.

Foi observado uma pequena redução do desvio padrão, de **10,56** para **9,54 m/h**, valor esse muito próximo ao apresentado antes da implantação do procedimento de afiação e menor que o esperado ao início dos estudos. Tal análise nos permite inferir que, por mais que a redução da variância de produtividade tenha sido pequena

com a implantação do processo de revezamento e afiação das brocas, elas performaram de forma mais eficiente.

Por outro lado, a média de produtividade (em m/h) desenvolvida pela perfuratriz teve um aumento, demonstrando que a manutenção correta das brocas influencia diretamente na produtividade da perfuratriz.

7 CONCLUSÕES

Com relação à vida útil, foi observado um aumento significativo da metragem desenvolvida por broca, comprovando, assim, um aumento na vida útil do ferramental submetido ao procedimento de revezamento e afiação de **421,5** para **505,33 m (16,5%)**.

Tomando por base a metragem de 8500 metros mensais realizada pela FBDM, para a execução da mesma, sem o processo de revezamento e afiação das brocas, seriam necessários 20,16 bits com possíveis quedas de produtividade e com risco de comprometimento por falha mecânica das demais peças do ferramental de perfuração.

Por outro lado, para atingir a mesma metragem utilizando os bits submetidos aos procedimentos propostos, seriam necessários 16,8 bits, sugerindo, assim, uma economia significativa na aquisição de brocas (redução de **16,6%**). Considerando a não utilização das brocas até o limite da sua vida útil, espera-se, também, um menor desgaste por esforços excessivos do ferramental de perfuração, aumentando a confiabilidade em relação a sua integridade física.

Com relação a performance, não foi possível observar uma variação significativa no desvio padrão da produtividade da perfuratriz ao se comparar sua metragem desenvolvida por hora antes e depois da implantação do procedimento. Tal resultado não condiz com o esperado ao início dos estudos, uma vez que um mesmo equipamento operando em parâmetros operacionais semelhantes e expostos a níveis de desgaste diferentes deveriam apresentar resultados distintos. Tais resultados induzem a uma possível influência do comportamento dos operadores, sugerindo eventuais modificações nos parâmetros operacionais da perfuratriz que, ao apresentar queda de rendimento, seriam feitos a fim de evitar queda de produção. Tal hipótese justifica estudos a serem feitos posteriormente fixando os parâmetros operacionais da perfuratriz e observando possíveis variações na produtividade dela.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRISTAL Jr. (empresa júnior). **Perfuratriz: conheça um pouco sobre esse equipamento essencial na mineração.** 2020. Disponível em: <<https://cristaljr.com/perfuratriz/#:~:text=A%20perfuratriz%20%C3%A9%20um%20equipamento,grande%2C%20m%C3%A9dio%20e%20pequeno%20porte>>. Acesso em: 26 de abril 2022.

CASTRO, R. S. de e PARRAS, M. M. **Manual de ferramentas de perfuração.** Fagersta Secoroc, Rio de Janeiro, 1986.

file:///F:/Downloads/Daniel%20Rocha%202021_Trabalho%20Final_.pdf

HERRMANN, C. **Manual de perfuração de rocha.** Polígono, São Paulo, 1968, p. 329.

https://www.ufjf.br/ep/files/2009/06/tcc_jan2007_lilianamachado.pdf

<https://1library.org/article/par%C3%A2metros-geom%C3%A9tricos-par%C3%A2metros-do-plano-de-fogo.myjrr42z>

MACHADO, L. G. **Aplicação da metodologia PDCA: Etapa P (plan) com suporte das ferramentas da qualidade.** Monografia de conclusão de curso, UFJF, Juiz de Fora, 2007.

MORAIS, J. L. de. **Simulação da fragmentação dos desmontes de rochas por explosivos.** Tese de doutorado, UFMG, Belo Horizonte, 2004, p. 46-55.

PROROC. **Bits botão Retrac.** 2020. Disponível em: <<https://www.proroc.com.br/produto/104/bits-botao-retrac>>. Acesso em: 18 maio 2022.

ROCHA, D. P. da. **Análise estrutural e controle da mineralização aurífera no segmento C-32, da mina Fazenda Brasileiro, sul do Greenstone Belt Rio Itapicuru.** Monografia de conclusão de curso, UFBA, Salvador, 2021.

RODOPAR. **Produtos para mineração.** Disponível em: <https://www.rodopar.net/files/uqd/9ebff8_ff04716c8c5d4511b81246e437a8393e.pdf>. Acesso em: 22 maio 2022.

SANDVIK. **Manual de perfuração de rochas: Técnico e teórico.** Sandvick Rock Tools, Sandvik do Brasil S.A., São Paulo.

Silva, V. **Desmonte de Rochas.** Oficina de Textos, São Paulo, 2019.