



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

MARCELA RESENDE BARRETO E MELO

ESTUDO DA VIABILIDADE DO MÉTODO *SHRINK STOPE* NA MINA DO MAMÃO, MUNICÍPIO DE FLORESTA DO ARAGUAIA-PA

Palmas/TO

2014

MARCELA RESENDE BARRETO E MELO

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO MÉTODO *SHRINK STOPE* NA MINA
DO MAMÃO, MUNICÍPIO DE FLORESTA DO ARAGUAIA-PA**

Trabalho elaborado e apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Mestre Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues.

Palmas/TO

2014

MARCELA RESENDE BARRETO E MELO

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO MÉTODO *SHRINK STOPE* NA MINA
DO MAMÃO, MUNICÍPIO DE FLORESTA DO ARAGUAIA-PA**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Mestre Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues.

Aprovada em 30 de junho de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Professor Orientador Mestre Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues
Centro Universitário Luterano de Palmas

Professor PhD. Erwin Francisco Tochtrop Junior
Centro Universitário Luterano de Palmas

Professor Especialista José Cleuton Batista
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas/TO

2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar saúde e sabedoria para vencer os desafios da vida. Aos meus professores, que me acompanharam durante toda a jornada acadêmica, em especial ao Professor Natanael Barbosa e ao Professor Mestre Rodrigo Meirelles Rodrigues, pela paciência na orientação e incentivo, para que fosse possível a realização deste trabalho.

Dedico esta, bem como todas as minhas conquistas, aos meus pais (Joaquim Barreto e Melo e Maria Auxiliadora Resende) por acreditarem e investirem em mim, pela dedicação, cuidado e pela presença constante, me passando sempre muita segurança. Aos meus irmãos (Marco Resende Barreto e Melo e Mauro Resende Barreto e Melo) pela força e admiração, as minhas três sobrinhas (Ana Laura, Emanuely e Isabelly), as minhas cunhadas (Lidiane Almeida e Nicole Vargas). Gostaria de dizer que sou muito grata a vocês, obrigada pela paciência e incentivo. Valeu a pena a distância, as renúncias e sofrimentos.

Agradeço também a mineradora que me proporcionou a realização deste estudo, em especial ao Gerente da mina, Paulo Mendes, ao Engenheiro de Minas Douglas Carvalho, aos Geólogos Natanael Junior e Adriane Felipe, ao Topógrafo Mario Nascimento, ao auxiliar administrativo Lucas Oliveira e ao Supervisor Walter Boso; e todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento dessa monografia.

Aos meus amigos André Luís, Bárbara Mayanny, Camila Araújo, Daniel Costa, Denize Souza, Larajee Sá, Marina Helena, Raphael Andrade, Vânia Maria, Verônica Grutt; ao meu amigo e namorado Gabriel Sena, e demais, pelo incentivo e apoio constante, que mesmo distantes, estão sempre presentes em minha vida.

Sozinha eu jamais chegaria aqui, minha eterna gratidão a todos que, mesmo não citados, contribuíram para a concretização deste sonho e para a pessoa que sou hoje.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA.....	11
2.1 Geologia.....	12
2.2 Geologia Local.....	14
2.3 Mineralização.....	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1 Mineração de Ouro No Brasil.....	16
3.2 Organização e Métodos de Lavra Subterrânea.....	18
3.3 Equipamentos de Perfuração.....	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1 Características Gerais do Empreendimento.....	24
4.2 Métodos de Lavra.....	24
4.3 Ciclo Operacional.....	25
4.4 Aspectos Operacionais.....	27
4.5 Ciclo Operacional por Turno.....	29
4.6 Relação de Consumo: Equipamentos, Explosivos e Mão de Obra.....	32
4.7 Produção.....	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Atividades Realizadas no Primeiro Turno.....	29
TABELA 2: Atividades Realizadas no Segundo Turno.....	30
TABELA 3: Atividades Realizadas no Terceiro Turno.....	31
TABELA 4: Indicação do Consumo Mensal de Explosivos.....	32
TABELA 5: Indicativo do Valor Conjunto de Materiais e Equipamentos.....	33
TABELA 6: Indicativo dos Custos de Transporte.....	34
TABELA 7: Resumo Total de Produção.....	34
TABELA 8: Indicativo dos Custos Relativos à Mão de Obra.....	34
TABELA 9: Indicativo do Custo Total de Mão de Obra.....	35
TABELA 10: Resumo dos Custos Totais com Mão de Obra.....	35
TABELA 11: Indicativo dos Valores de Produção e Planejado.....	35
TABELA 12: Parâmetros para Análise da Viabilidade de Custo.....	38

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: Imagem em Perfil dos Níveis de Desenvolvimento e Lavra.....	24
FIGURA 02: Imagem Demonstrando as Feições Topográficas.....	26
FIGURA 03: Fluxograma das Atividades de Lavra.....	27
FIGURA 04: Sequência de Fotos Demonstrando as Atividades de Lavra.....	28
FIGURA 05: Indicação dos Pontos de Preservação dos Pilares.....	37

RESUMO

MELO, Marcela Resende Barreto e, **Estudo da Viabilidade do Método Shrink Stope na Mina do Mamão, Município de Floresta do Araguaia/PA**. 2014. 40p. Trabalho de Conclusão de Curso II (Graduação) – Curso de Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2014.

O *Shrink Stope* ou *Shrinkage* é um método de lavra subterrâneo que consiste em deixar o minério quebrado temporariamente no realce ou *stope*, de forma a fornecer uma plataforma de trabalho durante as operações de lavra. O volume relativo de material empolado é extraído durante o desmonte e o restante ao final da lavra, quando então o realce fica vazio, apenas com os pilares de sustentação. Esse material retirado durante a fase de desmonte é controlado em função do avanço, de forma que fique uma altura que possibilite os trabalhos de perfuração do corpo mineral.

Atualmente, este método vem perdendo espaço e sendo substituído por outros métodos que utilizam de equipamentos mais avançados. Porém, este não foi totalmente eliminado, sendo ainda utilizado em minerações de pequena escala, com investimento pequeno em maquinário.

A mineralização de ouro na mina do Mamão ocorre em veios de quartzo, os quais vêm apresentando muitas dobras no decorrer do projeto, o que acarretou a escolha de um novo método de lavra, o *Shrink Stope*, pois o mesmo constitui um método seletivo e economicamente mais barato.

Considerando a problemática acima citada, a proposta desse trabalho resume-se a avaliar a viabilidade desse novo método de lavra aceito pela empresa, o *Shrink Stope*. Com o acompanhamento do ciclo produtivo de uma frente de lavra no período de um mês de trabalho, abrangendo as atividades de abatimento de choco; escoramento de teto; furação da frente; desmonte com uso de explosivo; e por fim, a limpeza da frente. A avaliação dos custos operacionais e desempenho produtivo são os pontos analisados para determinar os indicadores de viabilidade deste método de lavra.

PALAVRAS-CHAVE: *Shrink Stope*, Viabilidade, Ciclo Produtivo, Custo/Produção, Mina do Mamão.

1 INTRODUÇÃO

As operações de mina em subsolo são centradas na produção de minério, visando acima de tudo segurança e produtividade. Embora essas operações ainda apresentem dificuldades de execução, a tendência futura é que as operações de lavra em subsolo sejam cada vez mais utilizadas. Principalmente, pelo fato de que as reservas facilmente lavráveis a céu aberto estão se exaurindo, e também pelo fator de preservação ambiental, que impõe cada vez mais restrições a mineração a céu aberto.

A escolha do método de lavra é crucial para o planejamento eficiente da mineração industrial, pois são fundamentais para definir a viabilidade do depósito mineral e o desenvolvimento da operação. Sua escolha depende além dos fatores ambientais, econômicos e sociais, da forma e posição espacial do corpo mineral e também do comportamento mecânico do próprio corpo mineral e de suas rochas encaixantes.

Por isso, nos últimos anos as empresas de mineração começaram cada vez mais investir no aprimoramento do nível de automação em subsolo, mudando assim a maneira com que as minas são operadas e gerenciadas.

Apesar dessa melhoria nos equipamentos de operação e desenvolvimento, algumas minas ainda não são 100% mecanizadas, como é o caso da Mina do Mamão, foco desse trabalho. Os primeiros métodos de lavra adotados na mina citada foram o de Câmaras e Pilares e *Cut and Fill* (Corte e Enchimento), hoje, porém, se trabalha com *Shrink Stope*.

Esse método baseia-se em deixar o minério quebrado temporariamente no realce ou *stope*, de forma a fornecer uma plataforma de trabalho durante as operações de lavra. O volume relativo de material empolado é extraído durante o desmonte e o restante ao final da lavra, quando então o realce fica vazio, apenas com os pilares de sustentação. Esse material retirado durante a fase de desmonte é controlado em função do avanço, de forma que fique uma altura que possibilite os trabalhos de perfuração do corpo mineral.

A problemática da mineração subterrânea da Mina do Mamão está associada à irregularidade e descontinuidade da mineralização. Com isso, é necessário a adoção

de um método de lavra seletivo, que garanta a máxima recuperação com a mínima diluição possível.

Portanto, a proposta deste trabalho é a avaliação técnica do novo método de lavra utilizado atualmente na lavra subterrânea. Em análises iniciais, considera-se que o método de *Shrink Stope* não atende a demanda de minério na planta de beneficiamento, quando se fala em massa propriamente dita. Por isso, será realizado um acompanhamento de um ciclo produtivo em determinada frente de lavra para obter resultados que possam esclarecer melhor a relação entre turnos de trabalho e volume de material explotado. Para a obtenção dos dados de produção serão analisadas as seguintes atividades:

- Abatimento de choco;
- Escoramento de teto;
- Furação da frente;
- Desmonte com uso de explosivo; e por fim,
- Limpeza (retirada do minério).

O ciclo produtivo nas frentes de lavra da Mina do Mamão tem início com a limpeza da área utilizando água em alta pressão, seguida do abatimento de choco e escoramento do teto. A etapa seguinte é a equipagem dos martelos para então os colaboradores iniciarem a furação. Após essa etapa, a frente é carregada e então detonada. O minério continua no realce, de forma a dar altura para a próxima furação; quando esse realce está acima do necessário, a carregadeira retira de forma controlada parte desse material, até o final do ciclo produtivo dessa frente, onde é feita a limpeza geral.

Uma vez formulado o problema e os objetivos do trabalho, torna-se necessário um levantamento bibliográfico a respeito do tema, abordando a geologia local, organização da mina subterrânea, métodos de lavra, segurança em mina subterrânea, parâmetros do minério, dentre outros.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA

De acordo com o Plano de Aproveitamento Econômico, do processo: 810.354/1976, a Mina do Mamão localiza-se entre os municípios de Rio Maria e Floresta do Araguaia, Estado do Pará, a 970 km a sudoeste de Belém. É uma mina com atividades subterrâneas, voltada à exploração de ouro, de propriedade da empresa australiana Troy Resources NL, através da sua subsidiária no Brasil, Reinarda Mineração Ltda.

A Reinarda Mineração considera esse prospecto como integrante do Projeto Andorinhas, e atua na exploração e lavra nesta região há mais de seis anos. Sendo responsável pelas pesquisas geológicas, operações de lavra, beneficiamento, recuperação ambiental e exploração das minas do Mamão e Lagoa Seca, de onde foram lavradas 626.000 e 927.000 toneladas de minério de ouro, respectivamente. Resultando numa produção e venda de 6.520 toneladas de ouro.

A empresa mantém em seu quadro de funcionários um total de 384 pessoas, das quais 218 são empregados e 166 são terceirizados (referência de Dezembro/2013). Todo quadro de pessoal obedece a uma política rígida de segurança de trabalho a qual permite que, desde o início das operações, se atingisse mais de 1.000 dias sem acidente com perda de trabalho. Esta política da empresa é disseminada entre os seus quadros através de programas contínuos de treinamento preventivos de segurança do trabalho e saúde.

O Projeto foi iniciado em 1973, através de levantamentos geoquímicos que identificaram duas áreas anômalas para metais base. Posteriormente, realizou-se um levantamento aerogeofísico cobrindo uma área de 900 km². Em 1975, foi descoberto o alvo Babaçu e, posteriormente, os alvos: Mamão e Lagoa Seca, ambos através de geoquímica de solos com concentrados de bateia. Em 1978 foi montada uma usina piloto na área, que funcionou durante cinco anos.

Em 1982, as áreas foram invadidas por cerca de 10.000 garimpeiros, que trabalharam os depósitos auríferos superficiais, lavrando, até 1989, aproximadamente, 626.000 t de minério com 8,15 g/t Au correspondendo a 5,1 t de ouro. A partir de 1989, a lavra garimpeira começou declinar, e o garimpo tornou-se mais organizado sob a direção de superficiários locais. Um plano inclinado foi

instalado na área do Garimpo do Mamão (Alvo Melechete), e a lavra continuou até 1998, quando deixou de ser econômica.

A CVRD executou, em 1986, 15.000m de sondagem com o objetivo avaliar os recursos de ouro remanescentes, apresentando, posteriormente uma nova avaliação ao DNPM em 1991. Segundo este documento, os recursos geológicos somaram 1.524.000 t de minério com 8,8 g/t Au, correspondendo a 13.4t de ouro (431.228 oz).

Em 1995, a CVRD iniciou um programa de Contratos de Risco, para pesquisa mineral, com empresas de mineração através de licitações. Em 1996, foi licitado o Projeto Andorinhas, tendo sido declarada vencedora a empresa americana Golden Star Resources (G.S.R.). Como após 30 meses de trabalhos de pesquisa geológica na região, a G.S.R. não conseguiu alcançar a reserva mínima estabelecida no Acordo de Pesquisa, 30 ton Au, as partes decidiram, por consenso, rescindirem o acordo em junho de 2000.

A paralisação dos trabalhos de pesquisa pela Golden Star Resources em setembro de 1998, foi seguida pela volta de alguns garimpeiros. No entanto, a atividade garimpeira está restrita ao retrabalhamento dos rejeitos do minério lavrado por meio do plano inclinado do Mamão, alvo Melechete.

Em março de 2004, foi assinado acordo entre as empresas CRVD e Reliance Minerals do Brasil Ltda para reavaliação das reservas e oferecimento de proposta para compra da área. No ano seguinte, a Agincourt Resources adquiriu os recursos minerais da Reliance Minerals .

No final do ano de 2006, a empresa Troy Resouces NL comprou da Agincourt Resources os direitos minerários do Processo DNPM 810.354/1976 e iniciou as operações no Prospecto Andorinhas.

2.1 GEOLOGIA

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Complexo Xingu

Segundo Araújo *et al.* (1991) a denominação Complexo Xingu restringe ao conjunto de rochas gnaissificadas, com diferentes intensidades de migmatização, de natureza granodiorítica a tonalítica. Localmente, aparecem rochas de fácies granulítica, alçadas a superfície através de zonas de cisalhamento. Possuem marcantes retrometamorfismos a fácies anfibolito.

O Complexo Xingu compreende uma seqüência de rochas de composição granodiorítica e tonalítica, com variações graníticas subordinadas. São rochas anisotrópicas de coloração acinzentada e níveis finos de máficos, microclina, biotita, hornblenda, muscovita, epidoto e opacos. Associados aos gnáisses ocorrem lentes de anfibolitos, em forma de corpos decimétricos a decamétricos, compostos por uma associação de hornblenda e plagioclásio.

A paragênese dessas rochas é indicativa de metamorfismo em fácies anfibolito, associado a uma deformação em estágio predominantemente milonítico. Nesse contexto, o Complexo Xingu é entendido como constituído por uma associação litológica ácida-máfica, materializada pela íntima ocorrência de granitóide-anfibolíticos, caracterizando uma típica associação bimodal inerente aos Terrenos Arqueanos e resultante do intenso retrabalhamento ou remobilização de rochas pretéritas.

Supergrupo Andorinhas

O Supergrupo Andorinhas é formado por uma seqüência vulcano-sedimentar, sendo que as rochas básicas e ultrabásicas estão representadas por xistos, cuja assembléia mineral é dominada, principalmente, por clorita-xisto, talco-xisto, serpentinitos e anfibolitos. Epidoto, clorita e sericita são os minerais secundários mais freqüentes e quartzo, opacos, apatita e titanita são os minerais acessórios. Associados aos metamafitos ocorrem, subordinadamente, xistos a antofilita e a cordierita, serpentinitos a antigorita e crisotila, metaperidotitos e talco xistos.

As metavulcânicas ácidas e intermediárias são representadas por metatufos líticos, metadacitos e metariolitos.

Como parte integrante do Supergrupo Andorinhas, ocorre um pacote metassedimentar de natureza psamo-pelítica, metamorfizado em fácies xisto-verde. As rochas compreendem, essencialmente, uma seqüência de metasiltitos, metagrauvas, metachert e formações ferríferas bandadas, localmente com presença de material carbonático. Dentro do pacote sedimentar foi notado a presença de rochas psamíticas, formada, predominantemente, de metarenitos e metarcóseos, podendo apresentar rochas conglomeráticas, constituídas de seixos de quartzo e fragmentos de rocha com cimento sílico ferruginoso. O grupo demonstra diferentes variedades de processos metamórficos e deformacionais, que

sugerem a superposição de deformação cisalhante em regime dúctil. A unidade pode ser comparada a outras seqüências do tipo *greenstone belt*, ocorrentes em regiões vizinhas, tais como: Bacajá (Altamira), Carajás e Vila Nova (Amapá).

Granodiorito Rio Maria

É um conjunto de granitóides leucocráticos de natureza adamelítica, granodiorítica e trondhjemetica. O magmatismo é representado por um conjunto de granitóides de granulação média a fina, coloração cinzenta clara a escura, com ausência total de metamorfismo e deformação.

A litologia principal está representada por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, biotita, hornblenda, clorita, epidoto, apatita, zircão, titanita e opacos. As observações petrográficas realizadas demonstram que a litologia sofreu conseqüência do regime tectônico de natureza extensional.

Granito Jamom

Trata-se de rochas predominantemente graníticas de granulação média a grosseira, com textura porfiroblástica, composta por quartzo, microclina, albita-oligoclásio, biotita e muscovita. Os acessórios são: epidoto, clorita, apatita, titanita e zircão.

2.2 GEOLOGIA LOCAL

A geologia local é composta de rochas do Supergrupo Andorinhas, que representa uma seqüência do tipo "*greenstone belt*" de idade arqueana. A litologia predominante é dada por vulcânicas máficas e félsicas, além de metassedimentos clásticos e químicos apresentando grau de deformação xistificadas e milonitizadas.

A Docegeo (1988) subdividiu o Super Grupo Andorinhas em: Grupo Babaçu (porção basal) e Grupo Lagoa Seca (porção superior). A porção basal é constituída de vulcânicas, máficas, ultramáficas e sedimentos químicos. Os metamafitos com ampla ocorrência correspondem aos derrames basálticos, aos quais se associam os sedimentos de origem química, como: metachert, carbonatos e formação ferrífera bandada.

O Grupo Lagoa Seca é representado litologicamente por um conjunto de metassedimentos clásticos e químicos intercaladas com metavulcânicas básicas e

ácidas. Nos metassedimentos clásticos predominam siltitos e grauvacas, aos quais intercalam metadacitos e metariolitos.

2.3 MINERALIZAÇÃO

A mineralização está relacionada a zonas de cisalhamento que seguem a direção regional ENE-WSW, ao longo da qual foram introduzidos fluidos ricos em sulfetos. Nos depósitos de Mamão e Babaçu, as rochas mineralizadas ocorrem como lentes de metachert com espessura muito variável, formando unidades maciças, que se alternam com lentes milimétricas de quartzo-carbonato-plagioclásio-anfibólio-clorita xisto (rocha vulcânica metamorfizada). Os veios e vênulas de quartzo são produtos de alteração hidrotermal, e, na maioria das vezes, atravessam as zonas mineralizadas. Estas zonas mostram uma foliação milonítica forte, e uma alternância de faixas ricas em quartzo e carbonato com faixas ricas em clorita. As zonas mineralizadas são constituídas por pirita, quartzo, carbonato e clorita. Uma forte alteração hidrotermal, incluindo, cloritização, silicificação e sulfetação são observadas nessas zonas mineralizadas. O ouro está livre, e ocorre preenchendo fraturas ou disseminado em metachert. No prospecto Lagoa Seca, o ouro está associado com sulfetos, principalmente a pirita, nos sedimentos de granulação fina intercalados com lavas máficas-ultramáficas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 MINERAÇÃO DE OURO NO BRASIL

O ouro é um elemento químico representado pelo símbolo Au, situado no Grupo 11, Período 6, Bloco d, da Tabela Periódica. Na natureza, ele é encontrado como um mineral metálico de cor amarela, denso e brilhante; o mais maleável e dúctil dentre todos os metais, podendo 1,0 g (um grama) de Au ser laminado em uma extensão de, aproximadamente, um metro quadrado. À temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido com densidade de 19,3 g/cm³ a 20°C (273 K). Possui ponto de fusão a 1.064,33°C (1.337,33 K) e emite vapores violeta quando submetido à temperatura mais elevada até atingir seu ponto de ebulição a 2.856°C (3.129 K). (ECONOMIA MINERAL DO BRASIL - DNPM, 2009).

Segundo o DNPM (2011), os procedimentos de descoberta de novos depósitos de ouro nem sempre obedecem a critérios técnicos de prospecção. Vários depósitos foram descobertos pela persistência dos mineradores. Contudo, a pesquisa de depósitos de ouro, assim como de outras substâncias minerais, abarca diversas etapas, onde busca levantar todos os dados possíveis sobre a área em foco e sobre a sua geologia, procurando estabelecer um plano de atividades, com vistas à identificação de alvos que revelem potencialidade econômica para a extração do metal.

Devido ao condicionamento geológico, algumas regiões da crosta tendem a apresentar maior tendência a conter mineralizações em suas estruturas, demonstrando notadamente determinadas concentrações minerais em períodos em que a deposição de metais foi mais pronunciada. No caso do ouro, essa condição especial é definida como Província metalogenética aurífera.

As atividades produtivas de ouro no Brasil apresentam duas formas bem distinta de produção, sendo a produção industrial, realizada por empresas legalmente estruturadas e a produção rudimentar, desempenhada por garimpeiros. As empresas realizam a extração do minério a partir de jazidas pesquisadas, principalmente em depósitos primários. Já os garimpeiros desenvolvem suas atividades, prioritariamente, em depósitos secundários, com técnicas rudimentares ou semimecanizadas, quase sempre com baixa produtividade, em decorrência da

inexistência de pesquisa geológica prévia que permita um melhor conhecimento da jazida, associada à carência de técnicas para melhor recuperação do metal.

As técnicas de lavra utilizadas na extração de minérios de ouro podem ser a céu aberto ou subterrâneo, dependendo das características de cada depósito. A extração do minério pelo método de lavra a céu aberto, geralmente é feito por bancadas, realizada através da abertura de uma cava, em que são estabelecidos diversos níveis ou bancos com alturas variáveis de acordo com as condições geomecânicas da rocha, escala de produção da mina e a capacidade operacional dos equipamentos. Na lavra subterrânea, dentre os diversos métodos conhecidos, os mais comuns no Brasil são o abatimentos por subnível, recalque, realce aberto e corte e aterro.

Já o beneficiamento do ouro, de uma forma geral, compreende os processos gravimétricos, hidrometalúrgicos por lixiviação, seguidos por recuperação de ouro em soluções cianetadas, além dos processos de concentração por flotação, que consistem em operações de separação por flutuação, determinadas por afinidade iônica.

Esse beneficiamento é realizado, normalmente, nas proximidades das próprias minas, buscando-se assim evitar despesas desnecessárias com transportes de material estéril. O tratamento do minério de ouro tem como objetivo a concentração do metal a partir da recuperação de suas partículas dispersas na massa do minério. As operações de concentração dependem dos tipos do minério e da ganga.

Em termos gerais, após a moagem do minério, que possibilita a liberação da partícula do mineral útil, os processos mais usuais podem ocorrer por separação gravimétrica, a qual pode ser realizada por meio de mesas vibratórias, jiques e hidrociclones; por flotação, que toma por base o princípio da afinidade iônica, buscando a formação de bolhas que adsorvem as partículas minerais de interesse, deprimindo os minerais de ganga; e ainda a concentração por processos com ataques químicos hidrometalúrgicos, onde o ouro é dissolvido por uma solução à base de cianeto de sódio, e posteriormente recuperados de várias formas: adsorvido em carvão ativado em polpa, coluna ou adsorvido na própria lixívia.

Outro método ainda muito utilizado é o que promove a recuperação do ouro através de soluções cianetadas por precipitação com zinco, onde o zinco, por ser mais eletronegativo que o ouro, realiza uma troca iônica na solução, formando um precipitado com uma composição variável entre 20 a 50% de ouro. Esses processos,

a depender de cada caso, podem ser combinados em etapas sequenciais (gravíticos + hidrometalurgia ou flotação + hidrometalurgia, por exemplo), proporcionando uma recuperação variável de 75% a 98%.

O produto final decorrente desses processos de concentração é fundido em cadinhos, obtendo-se uma massa bruta de ouro impuro, conhecida por bullion, o qual tem associado alguma escória. O bullion é definido como uma liga ou agregado produzido nas fundições das minerações ou nos garimpos, contendo mais de 20% de ouro.

Já nos garimpos, a concentração de ouro pode ser realizada por bateias, mas, nos grandes garimpos, é realizada utilizando-se um *sluice* rudimentar, conhecido por “cobra fumando”, no qual o material é processado após ser desmontado. Nesses equipamentos, o metal é retido em estrias ou em tapetes, sendo que em muitos desses é utilizado mercúrio para amalgamar o ouro, permitindo, assim, a recuperação das partículas finas. A recuperação do ouro, nessas condições, é obtida por separação mecânica, não sendo eliminados aqueles elementos associados à estrutura do ouro, o que representa uma séria limitação para a atividade.

A depender do processo de concentração utilizado, o ouro ainda necessitará ser submetido à fase de refino, a qual pode ser do tipo pirometalúrgico, eletrolítico ou químico.

3.2 ORGANIZAÇÃO E MÉTODOS DE LAVRA EM MINAS SUBTERRÂNEAS

Os maciços rochosos são integrados pela rocha intacta, suas descontinuidades, pela água presente em suas estruturas e pelo campo de tensões a que estão submetidos. Todas estas fases influenciam diretamente em seu comportamento mecânico. Tendo em vista que os maciços rochosos são, na sua maioria, descontínuos, heterogêneos, anisotrópicos e regidos por um comportamento mecânico intrínseco, a estabilidade de uma escavação subterrânea torna-se um dos maiores desafios de um engenheiro de minas. (OLIVEIRA, 2012)

Apesar das dificuldades encontradas na exploração de minas subterrâneas, as perspectivas são de aumento em processar bens minerais através desse tipo de lavra, em consequência da progressiva exaustão das reservas facilmente lavráveis a céu aberto, além do que, há a necessidade de preservação do meio ambiente,

impondo cada vez mais restrições a mineração a céu aberto. (REM. OUT/DEZ, 2011).

A lavra subterrânea compreende uma sequência de operações, desmonte do minério, carregamento e o seu transporte à superfície para o posterior tratamento e/ou comercialização. Existem vários métodos de extração do minério, esses são chamados métodos de lavra, cada um com um conjunto complexo de características (SILVA, 2013).

A escolha do tipo de lavra (céu aberto ou subterrânea), assim como também os métodos de lavra são fundamentais depois de constatada a viabilidade do depósito mineral, uma vez que sua escolha permite o desenvolvimento da operação. Os métodos de lavra a serem utilizados dependem principalmente da forma e posição espacial do corpo mineral e também do comportamento mecânico do próprio corpo mineral e de suas rochas encaixantes. (OLIVEIRA, 2012)

Os fatores ambientais, econômicos e sociais têm também influência direta na escolha do método de lavra. Este deve garantir segurança e condições ambientais adequadas ao colaborador, os impactos ambientais devem ser reduzidos, o método escolhido tem que garantir também estabilidade durante toda a vida útil da mina, e assegurar uma máxima recuperação do minério com a mínima diluição possível. (REM. OUT/DEZ, 2011).

Segundo Silva (2013), dentro dos princípios básicos de engenharia econômica e de segurança, o projeto de um método de lavra deve adaptar-se a numerosos fatores de restrição. Um modelo considerado ideal seria aquele que permitisse um maior lucro, combinado com uma completa extração, máxima segurança e higiene e mínima poluição ambiental.

Diversos são os critérios de escolha para um método de lavra, tais como: a forma, tamanho e posição espacial da jazida; o valor absoluto e a distribuição espacial dos valores minerais na jazida; as propriedades mecânicas e químicas do minério e das rochas encaixantes; a disponibilidade financeira para início e condução das operações de lavra; segurança, bem estar e regulamentações governamentais.

O teor do minério tem também um importante papel na seleção de um método de lavra. Um teor baixo de minério carece a adoção de um método de baixo custo, mesmo que isto possa resultar em grandes perdas no minério. Já se o minério for

mais rico, requer um método com máxima recuperação e com um custo de extração mais alto.

Shrink Stope ou *Shrinkage* é um método de lavra ascendente, onde o minério desmontado é mantido temporariamente no interior do realce, servindo de suporte para as encaixantes e de plataforma de trabalho para a perfuração, que é feita manualmente. Durante o desmonte, parte desse material empolado é retirado de forma controlada, com relação ao avanço, de forma que fique uma altura necessária ao trabalho de perfuração do corpo mineral. Ao final da lavra, todo esse material é removido, quando então o realce fica vazio.

Atualmente, este método vem perdendo espaço e sendo substituído por outros métodos. Porém, este não foi totalmente eliminado, sendo ainda utilizado em minerações de pequena escala, com pouco investimento em maquinário.

O método de lavra por corte e enchimento é em sua maioria, ascendente, onde o minério é completamente removido e o material de enchimento serve de suporte as paredes além de fornecer piso para a próxima fatia de minério. Esse é um método que permite lidar com variações quanto à continuidade e homogeneidade da qualidade do minério, provendo diluição e recuperação aceitáveis. O material de enchimento pode consistir de rocha estéril distribuída mecanicamente (*a seco*), ou com enchimento hidráulico (*back fill*), mas usual nos dias de hoje, onde o material de enchimento consiste de mistura de rejeitos provindas do tratamento do minério, água e, às vezes, cimento (*past fill*), distribuído através de tubulações.

Esse método permite um bom grau de mecanização. Onde a relação entre das dimensões dos equipamentos, a espessura e inclinação da camada definem a diluição: desde que a espessura da camada permita a operação de equipamentos em seu interior, opera-se com diluição aceitável.

Sublevel stoping é também um método de lavra ascendente, aqui o minério é desmontado por tiras verticais, de grande volume, escoando-se pelos chutes e travessas de produção. Esse método apresenta baixo custo comparado aos métodos para grandes volumes. Assemelha-se ao método por recalque, lavrando-se, porém, tiras verticais de minério. Quando o corpo é mais potente, trabalha-se com mais de um subnível por horizonte.

Nos métodos com abandono de pilares, como o câmaras e pilares, o desmonte é feito com avanço em várias aberturas paralelas, convenientemente espaçadas, deixando-se porções do minério para formar pilares, de dimensões e formas

adequadas, que limitam os vãos das aberturas e promovem a sustentação do teto. Parte do minério deixado em pilares poder ser extraída, como operação final de lavra, porém, esse minério usualmente é considerado como não recuperável.

Os trabalhos em minas subterrâneas podem ser perigosos em qualquer momento, pois além dos riscos diários, resultantes das operações rotineiras de uma mina, têm-se também os perigos inesperados que podem surgir a qualquer momento. Mas as minas subterrâneas vêm deixando de serem simplesmente ambientes sujos, poeirentos, mal ventilados e mal iluminados, sem muita higiene.

A operação de derrubar rochas instáveis, ou abatimento de choccos, em minas subterrâneas constitui uma das atividades mais árduas e perigosas em mineração de subsolo.

As minas subterrâneas constitui um ambiente escuro, adverso e hostil, além do que é realizado em espaços confinados, sendo considerado assim um ambiente de alto risco, tornando-se imprescindível o uso de capacete e demais EPI's no subsolo.

3.3 EQUIPAMENTOS DE PERFURAÇÃO

Segundo (CORRÊA, 1997), os martelos pneumáticos, adotado em perfuração de minérios, poços para água, fundações, poços de petróleo, dentre outras atividades, retiram a energia necessária do ar comprimido injetado através das hastes e a transmitem diretamente as brocas ou bits, que através de consecutivos impactos em alta constância, perfura a formação rochosa.

O martelo é quem transmite energia de impacto que faz o bit romper a rocha, sendo assim o principal responsável pelo rendimento da perfuração. Em seu interior encontra-se um pistão que é acionado pelo ar comprimido, batendo sobre a cabeça da broca ou bit.

O bit por sua vez é composto de botões de metal duro (carbeto de tungstênio), que ao golpear a rocha a fragmenta. Uma vez acionado o pistão, o ar comprimido injetado é expelido através do próprio bit, por meio dos orifícios existentes na cabeça do mesmo, contribuindo assim para a limpeza do furo.

Em perfuração pneumática quando se fala de rotação, é o mesmo que dirigir o impacto de cada botão do bit, para novos pontos da rocha sã. Os botões periféricos dos bits são responsáveis pelo calibre do furo, sendo muito sensíveis à velocidade de rotação. Logo, se a velocidade de rotação for muito baixa, ocorrerá o impacto dos botões contra material já fragmentado, resultando em uma redução da taxa de

penetração e uma pulverização desnecessária dos fragmentos de perfuração. Já se a velocidade de rotação for mais alta, os botões periféricos sofrerão desgaste acelerado, devido a um maior atrito com o corpo que está sendo perfurado, o que ocasiona uma menor vida útil ao bit.

Outro fator a se considerar na rotação é a pressão do ar comprimido, pois quanto maior essa pressão, maior será a frequência de golpes do bit e, conseqüentemente, maior deverá ser a rotação para prevenir que os botões golpeiem material fragmentado.

Os bits usados em perfuração rotopneumática são constituídos de um corpo de aço-liga, com botões de carbeto de tungstênio inseridos ao mesmo. Esses botões são distribuídos na face dos bits, para garantir um menor desgaste e maior poder de trituração, velocidade de penetração e vida útil. Estes apresentam saídas de ar, permitindo uma limpeza melhor do furo, pois aumenta a área varrida diretamente pelo fluxo de ar.

Os bits são fornecidos de diversas formas, com o objetivo de se obter o melhor desempenho possível para cada tipo de material perfurado. Podem ser:

- ✓ Face plana, que é o mais tradicional e de uso geral. É extremamente eficiente em material fraturado, tanto em formações de rochas duras como brandas. Por outro lado, não é recomendável para as formações moles, pois a ausência de canais de fluxo de ar, na face dos bits, pode levar a obstrução dos orifícios de saída de ar.
- ✓ Face côncava, onde apresenta uma face de formato côncavo que tem um efeito estabilizador, transmitindo menor vibração. Apresenta canais de fluxo na face, os quais melhorando a limpeza do furo. É empregado geralmente em formações mais brandas.
- ✓ Face convexa, utilizado em formações duras; sua face convexa transfere mais energia para uma menor área da rocha, gerando uma alta taxa de penetração.
- ✓ Alargadores, em sua maioria projetados para reaberturas de furos já existentes, ou perfuração de poços de grande diâmetro.

Os martelos de perfuração exigem a injeção de certo volume de lubrificante juntamente com o ar, para fazer a lubrificação dos mesmos durante a perfuração.

Esse volume de óleo e o tipo dependem do martelo e das normas especificadas pelos fabricantes.

Essa lubrificação é essencial na manutenção dos martelos, pois uma lubrificação mal feita acarreta a um desgaste rápido e possíveis falhas do equipamento.

Durante a perfuração rotopneumatica, pode-se injetar também uma determinada quantidade de água, trazendo uma sucessão de vantagens, tais como: redução da poeira; da pressão hidrostática ao poço; da carga no compressor; aumenta a capacidade de perfuração; a eficiência dos bits e também a taxa de penetração.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EMPREENDIMENTO

Aspectos Operacionais

Atualmente, a lavra na Mina do Mamão encontra-se aproximadamente a 375 m de profundidade, correspondente ao nível 825. A dimensão em profundidade da mina está estruturada em níveis com painéis de 15 a 20 m de altura vertical.

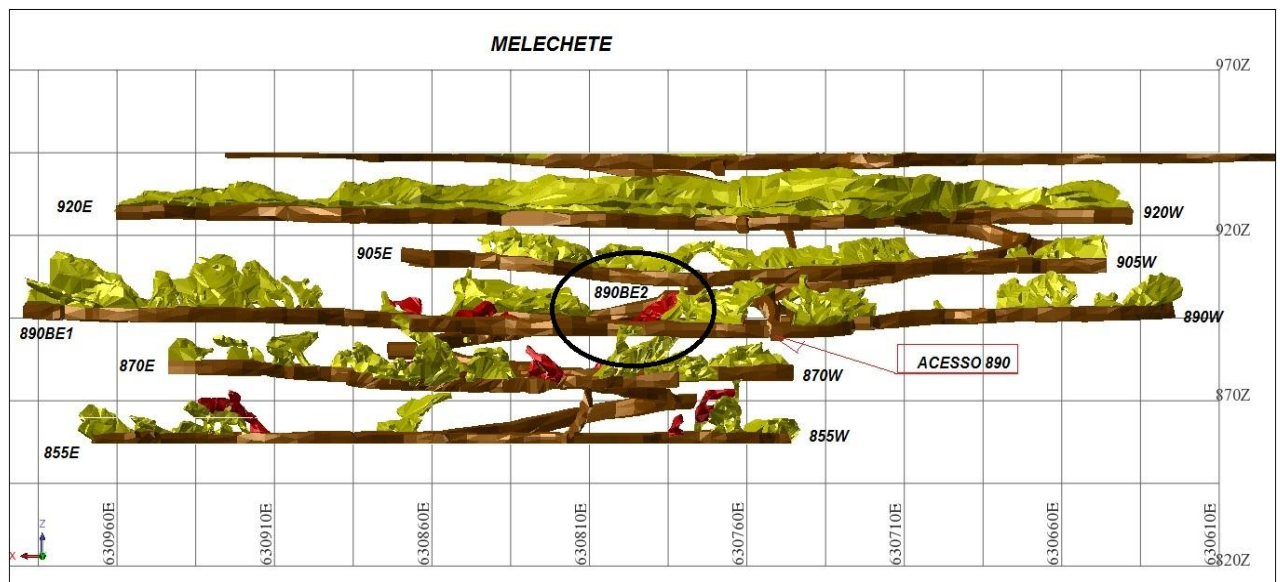


Figura 01: Imagem em perfil demonstrando os níveis de desenvolvimento e lavra da Mina do Mamão.

O círculo em destaque demonstra a localização do nível 890BE-02.

Fonte: Imagem obtida no software SURPAC, março/2014.

O acesso à mina a partir da superfície é por meio da rampa principal por onde circulam todos os equipamentos e veículos. No decorrer da rampa tem os acessos nos sentidos Leste e Oeste, para chegar ao minério, onde finaliza os desenvolvimentos produtivos e improdutivos, iniciando a fase de lavra.

4.2 MÉTODO DE LAVRA

No início, as atividades de lavra na mina do Mamão desenvolveram-se através do método *Cut and Fill*, onde o minério era removido completamente, e o material de enchimento era a própria rocha estéril distribuída mecanicamente, dando suporte às paredes e altura para a próxima fatia do minério. Outro método também utilizado na mina foi o de Câmaras e Pilares, onde o avanço foi feito com aberturas paralelas,

espaçadas, deixando-se porções de minério em forma de pilar, pilares com grandes dimensões e pouco espaçados.

Hoje, o método de lavra empregado é o *Shrink Stope* ou *Shrinkage*, onde o minério desmontado é mantido temporariamente no realce, servindo de plataforma de trabalho para a perfuração que é feita manualmente. O volume de material empolado é extraído durante o desmonte e ao final da lavra. Esse material retirado durante a fase de desmonte é regulado em função do avanço, de modo que fique uma altura de no mínimo 1,80m, necessário ao trabalho de perfuração do corpo mineral. Nesse método também são deixados pilares de sustentação, com dimensões de 3m aproximadamente e espaçados um do outro 5 a 7m.

Esse método foi viabilizado devido às deformações do corpo mineralizado, pois este vem apresentando muitas dobras no descer dos níveis, necessitando de um método mais seletivo. O *Shrink Stope* além de ser um método seletivo, é economicamente mais viável que o Cut and Fill, uma vez que os equipamentos usados e seu custo de manutenção é mais acessível que o jumbo.

4.3 CICLO OPERACIONAL

Os dados aqui utilizados foram coletados junto à empresa Reinarda Mineração LTDA, na Mina do Mamão em Floresta do Araguaia, num período compreendido entre 01/03/2014 a 31/03/2014.

A primeira etapa realizada foi o acompanhamento em campo das operações de lavra na frente Mel_890 BE2, no segundo turno de atividade (ADM). Os dados coletados abrangeram todas as atividades de lavra, em todos os turnos, sendo: abatimento de choco, tratamento do teto, equipagem, furação, carregamento da frente com explosivo, detonação e por fim a limpeza geral da frente, que nada mais é que a retirada total do minério do realce.



Figura 02 – Imagem em destaque demonstrando as feições topográficas da Frente 890BE-02. As formas em amarelo são as zonas já lavradas, as formas em vermelho foram às zonas lavradas em março/2014 e as formas em marrom são as galerias de acesso. Fonte: Imagem obtida no software SURPAC, maio/2014.

O ciclo operacional da Mina do Mamão envolve uma sequência de atividades, que abarca as marcações das frentes de lavra, a perfuração das frentes com os martelos, o carregamento dos furos com explosivos para então serem detonados, limpeza e transporte de material com carregadeiras e caminhões de pequeno porte.

Cada frente de lavra conta com dois colaboradores, sendo os participantes o marteleteiro e o auxiliar. As ferramentas de abatimento de choco são as alavancas, de tamanho pequeno, médio ou grande, garantindo a segurança do colaborador. As cavilhas variam de 0,90 a 1,20m. Os equipamentos de perfuração são: martelo, coluna pequena e grande, lubrificador de linha, bit e haste. O martelo funciona com auxílio de uma bomba compressora de ar comprimido a uma pressão aproximada de 6,8bar e água.

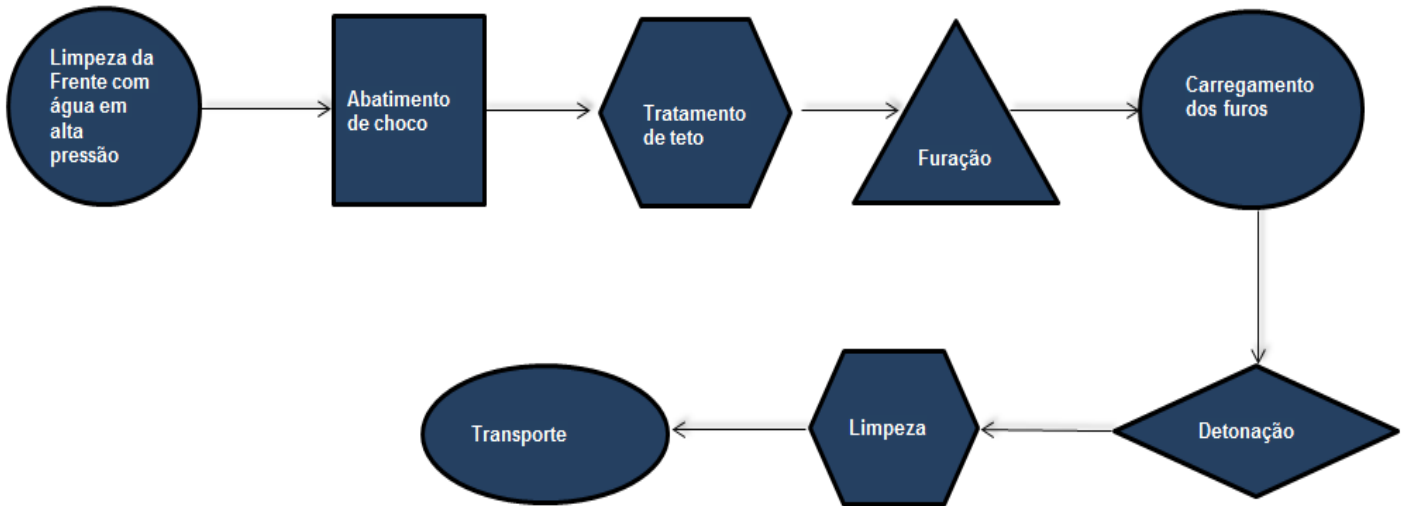


Figura 03 - Fluxograma das Atividades desenvolvidas nas frentes de lavra da Mina do Mamão. Fonte: Própria.

4.4 ASPECTOS OPERACIONAIS

As atividades de lavra na mina do Mamão tiveram início com a marcação da frente, onde foi disposto o material para constituição da plataforma. A plataforma é quem dá ao colaborador condição para realização das operações de lavra.

A perfuração da rocha é realizada com martelos roto-percussivos pneumáticos, com circulação direta de ar. Esse para seu rendimento conta com pressão, vazão de ar, velocidade de rotação, haste, bit, lubrificador de linha e água. O martelo é o principal responsável pelo rendimento da perfuração, pois é ele acionado pelo ar comprimido quem transmite energia de impacto ao bit que está acoplado a haste, para romper a rocha. O lubrificador de linha injeta uma quantidade de lubrificante junto com o ar, para lubrificar os martelos, evitando maiores desgastes do equipamento e possíveis falhas.

Os furos tem comprimento de 1,80m para fogo preso e 2,40m para desmonte; apresentam diâmetro de 32mm e 36mm. Os furos com diâmetros maiores (36mm) são para compor os pilões, que constituem as faces livres criadas artificialmente, necessárias para um desmonte econômico. Os pilões são compostos de 09 furos, rodeados com os furos de menores diâmetros e carregados.

Os explosivos usados para o desmonte consiste no ANFOMAX (granulado) e no IBEGEL (bananas), tendo como acessórios desencadeadores de explosão ou

simplesmente iniciadores, o estopim, espoletas e o cordel detonante. A espoleta além de iniciador caracteriza-se também por retardar a explosão.

Cada frente de trabalho conta com um marteleteiro e um auxiliar, os quais realizam as atividades de abatimento de choco, escoramento de teto e furação. A primeira atividade operacional de lavra é limpeza da frente com água em alta pressão, seguida do abatimento de choco. Tendo a área segura, começam a equipar a frente para iniciarem a furação.

A furação é feita com o martelo roto percussivo, manuseado pelo marteleteiro. O auxiliar por sua vez, firma a haste com o bit na face a ser furada, até que seja feito o coroamento do furo; em sucessão o marteleteiro aumenta a percussão do martelo, até que seja concluída a furação. Finalizando a furação, faz-se o carregamento com explosivos para então detonar a frente.

O colaborador gasta em média 3, 5 min (três minutos e meio) para concluir um furo de 2,40m de comprimento, e, 2,5 min (dois minutos e meio) para concluir um furo de 1,80m.



Figura 04 – Sequência de fotos demonstrando o desenvolvimento das atividades em frente de lavra produtiva, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria

- a) Abatimento de choco com auxílio da alavanca;
- b) Tratamento de teto com cavilhas de 0,9m;

- c) Equipando para iniciarem furação;
- d) Furação;
- e) Imagem do realce no decorrer da lavra;
- f) Imagem do realce no decorrer da lavra.

4.5 CICLO OPERACIONAL POR TURNO

O ciclo operacional considerado é dividido em três turnos. A tabela abaixo demonstra as atividades de cada turno individualmente, onde consta o número da quantidade de furos, o comprimento dos furos e a realização de tratamento de teto. As observações são referentes a limpeza, abatimento de choco, problema de detonação, e outras eventualidades.

Na sequência são demonstradas as atividades conforme são anotadas nas tabelas de turno:

- Primeiro Turno: Corujão

Atividades Diárias na Frente 890BE02- Turno Corujão				
Data	Quantidade de Furos	Comprimento do Furo	Cavilhas	Observações
01/03/2014	-	-	-	Lavou, abateu choco e detonou furação do turno anterior.
02/03/2014	-	-	-	Domingo.
03/03/2014	18	1,8	-	Detonado fogo preso.
04/03/2014	-	-	-	Descendo material para furar desmonte.
05/03/2014	4	1,8	-	Detonado desmonte.
	12	2,4	-	
06/03/2014	-	-	-	Lavou e abateu choco todo o turno.
07/03/2014	14	2,4	-	Detonado desmonte.
08/03/2014	4	1,8	-	Concluir furação no próximo turno. Área estalando.
09/03/2014				Domingo.
10/03/2014	-	-	-	Não houve equipe nessa área. Aguardando retirada do exaustor para seguir com o desmonte.
11/03/2014	30	1,4		Detonado fogo preso.
12/03/2014	-	-	-	Lavou e abateu choco todo o turno.
13/03/2014	32	1,8	-	Detonado fogo preso.
14/03/2014	6	1,8	-	Detonado fogo preso.
15/03/2014	31	1,8	-	Detonado fogo preso.
16/03/2014				Domingo.

17/03/2014	-	-	-	Não houve turno, devido a falta de energia.
18/03/2014	27	1,8	-	Detonado fogo preso.
19/03/2014			-	Descendo material para limpeza
20/03/2014			-	Descendo material para limpeza
21/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza
22/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza
23/03/2014				Domingo.
24/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza
25/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza
26/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza
27/03/2014	-	-	-	Desceu material o turno todo.
28/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza
29/03/2014	29	2,4	-	Detonado batente.
30/03/2014			-	-
31/03/2014	16	2,4	-	Detonado batente.

Tabela 01 - Atividades realizadas no Primeiro Turno – Noturno, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

- Segundo Turno: ADM

Atividades Diárias na Frente 890BE02- Turno ADM				
Data	Quantidade de Furos	Comprimento do Furo	Cavilhas	Observações
01/03/2014	10	1,8		Detonado.
	8	2,4		
02/03/2014	-	-	-	Domingo.
03/03/2014	-	-	-	Não houve equipe.
04/03/2014	13	2,4		Detonado desmonte.
05/03/2014	-	-	-	Não houve equipe.
06/03/2014	-	-	-	Abatimento de choco todo turno.
07/03/2014	-	-	-	Não houve equipe.
08/03/2014	-	-	-	Não trabalhou nessa frente, área estalando.
09/03/2014				Domingo.
10/03/2014	-	-	-	Carregou e detonou furação do turno anterior.
11/03/2014	16	2,4		Detonado desmonte.
12/03/2014	3	1,2		Detonado bloco no teto.
13/03/2014				Equipando a frente.
14/03/2014	-	-	5	Tratamento de teto. 05 cavilhas.
15/03/2014	-	-	-	Abateu choco e desceu material.
16/03/2014				Domingo.
17/03/2014				Não houve turno, devido a falta de energia.
18/03/2014	8	2,4		Detonado desmonte.
19/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza.

20/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza.
21/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza.
22/03/2014			8	Tratamento de teto. 08 cavilhas.
23/03/2014				Domingo.
24/03/2014	7	1,8		Não detonou, ficou pro próximo turno.
25/03/2014	6	2,4		Detonado desmonte.
26/03/2014	3	2,4		Detonado desmonte.
27/03/2014	6	2,4		Detonado desmonte.
28/03/2014	6	2,4		Detonado desmonte.
29/03/2014	20	2,4		Detonado desmonte.
30/03/2014				Domingo.
31/03/2014	10	2,4		Detonado desmonte.

Tabela 02 - Atividades realizadas no Segundo Turno – ADM, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

- Terceiro Turno: Corujinha

Atividades Diárias na Frente 890BE02- Turno Corujinha				
Data	Quantidade de Furos	Comprimento do Furo	Cavilhas	Observações
01/03/2014	18	1,8		Não detonou, ficou pro próximo turno.
02/03/2014	-	-	-	Domingo.
03/03/2014	17	1,8		Detonado fogo preso.
04/03/2014	-	-	8	Tratamento de teto. 08 cavilhas.
05/03/2014	28	2,4		Detonado desmonte.
06/03/2014	4	1,8	12	Ficou pro próximo turno finalizar furação, carregar e detonar.
	6	2,4		
07/03/2014	-	-		Não houve equipe. Área estalando.
08/03/2014	-	-	4	Tratamento de teto. 04 cavilhas.
09/03/2014	-	-	-	Domingo.
10/03/2014	35	1,8	6	Detonado fogo preso.
11/03/2014	12	1,8		Detonado.
	4	2,4		
12/03/2014	-	-	10	Tratamento de teto. 10 cavilhas.
13/03/2014	37	1,8	2	Detonado fogo preso.
14/03/2014	32	1,8	-	Detonado fogo preso.
15/03/2014	31	1,8	-	Detonado fogo preso.
16/03/2014	-	-	-	Domingo.
17/03/2014	-	-	-	Lavou, abateu choco e desceu material.
18/03/2014	-	-	-	Frente parada para iniciar limpeza.
19/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza.
20/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza.
21/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza.

22/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza.
23/03/2014	-	-	-	Domingo.
24/03/2014	13	1,8	-	Detonado fogo preso.
25/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza.
26/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza.
27/03/2014	-	-	-	Descendo material para limpeza.
28/03/2014	26	2,4	-	Detonado desmonte.
29/03/2014	2	2,4	-	Lavou, abateu choco no batente e no teto da galeria. Ficou pro próximo turno concluir furação.
30/03/2014				Domingo.
31/03/2014	4	1,8	-	Detonado
	8	2,4		

Tabela 03 - Atividades realizadas no Terceiro Turno – Corujinha, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

4.6 RELAÇÃO DE CONSUMO: EQUIPAMENTOS, EXPLOSIVOS E MÃO DE OBRA

Baseado no ciclo operacional descrito acima seguem tabelas com dados relacionados ao consumo mensal de explosivo, material retirado do almoxarifado, custo com transporte e mão de obra na frente 890-BE02, no período compreendido entre 01/03/2014 à 31/03/2014.

Segue:

Frente	Granulado	Custo Total	Encartuchado	Custo Total	Espoleta	Custo Total
890BE-2 LAVRA MEL.	417	R\$ 2.072,49	305,4	R\$ 2.027,86	626	R\$ 5.277,18
		Estopim	Custo Total	Cordel	Custo Total	Total Geral
		61	R\$ 278,16	448	R\$ 380,80	R\$ 10.036,49

Tabela 04 – Indicação do consumo mensal de explosivos, considerando somente a atividade da frente 890BE-02, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

Durante o mês de março/2014, o custo total com explosivo da Galeria 890BE-02 foi de R\$ 10.036,49 e com almoxarifado foi de R\$ 10.033,31, representando juntos cerca de 34%, ou 17% cada um, do custo total de frente.

Material Utilizado na Frente 890 BE02			
Item	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Haste de 2,40m	5	R\$ 288,10	R\$ 1.440,50
Haste de 1,80m	6	R\$ 254,28	R\$ 1.525,68
Haste de 0,90m	2	R\$ 159,66	R\$ 319,32
Bit de 32mm	36	R\$ 80,52	R\$ 2.898,72
Bit de 36mm	28	R\$ 72,13	R\$ 2.019,64
Perfuratriz Manual	1	R\$ 5.840,38	R\$ 5.840,38
Coluna Pneumática			
Custo Manutenção - Equipamento Martelo Nº26	-	R\$ 14,50	R\$ 333,50
Corrente	8	R\$ 17,45	R\$ 139,60
Engate Rápido 1 pol	7	R\$ 27,77	R\$ 194,36
Cavilha 0,90m	55	R\$ 20,04	R\$ 1.101,96
Agulha da Perfuratriz	1	R\$ 60,03	R\$ 60,03
Cuto Total			R\$ 10.033,31

Tabela 05 - Indicativo do valor conjunto (em R\$) de materiais e equipamentos utilizados na Frente 890BE-02, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

Para o cálculo do transporte, foram levantados os custos com diesel, manutenção, peças retiradas do almoxarifado, custo com mão de obra, referentes aos operadores de carregadeira e caminhão, considerando os três turnos trabalhados. Foi levantado também com os custos relacionados aos equipamentos terceirizados.

Esse custo calculado para o transporte refere-se a toda produção explotada durante o mês de março/2014, a qual soma 8.140 toneladas de minério transportado/mês. Tem-se então, que durante esse período, o custo com transporte foi de R\$: 249.065,71 para a produção de 8.140 toneladas de minério, dividindo esse custo pela produção, obtêm-se o custo de transporte por tonelada, o qual gira em torno de R\$: 30,60.

Considerando o valor acima encontrado (R\$: 30,60) e a produção da frente 890-BE02 de 726 toneladas de minério, o custo com transporte nessa frente contabiliza um total de R\$: 22.213,97, representando 37% do custo total nessa frente de trabalho.

Custo Transporte	
Custo Diesel	R\$ 48.718,30
Custo Manutenção Equipamento	R\$ 87.726,89
Custo Manutenção Almoxarifado	R\$ 69.249,89
Custo (Mão de Obra) - Operador de Carregadeira	R\$ 15.584,89
Custo (Mão de Obra) - Operador de Caminhão	R\$ 14.785,73
MAGR	R\$ 13.000,00
Total	R\$ 249.065,71
Custo Transporte por tonelada	R\$ 30,60
Custo Transporte 890BE02	R\$ 22.213,97

Tabela 06 – Indicativo dos custos de transporte da frente de lavra 890BE-02, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

Resumo de Produção	
Lavra/Desenvolvimento	Toneladas/Mês
Open Shrink	5.742
Desenvolvimento Produtivo	2.398
Total	8.140

Tabela 07 - Resumo de Produção Total, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

As tabelas a seguir são referentes aos custos com marteleiro e auxiliar. Cada marteleiro e cada auxiliar custam para a empresa, nessa ordem, R\$: 3.807,00 e R\$: 1.999,85. Os custos são relacionados à alimentação, seguro, plano de saúde, cesta básica e os 30% de insalubridade. Para chegar a esse valor, multiplica-se o salário do colaborador por um fator de custo, correspondente a 2,3, fator esse usado pela empresa.

O custo com mão-de-obra nessa frente foi de R\$: 17.420,55, representando aproximadamente 30% do custo total na Frente 890 BE-2, durante todo o mês de março.

Frente 890BE02	
Método de Lavra	Shrink Stope
Toneladas Extraídas	726
Teor	8,36

Dias Trabalhados		26
Custo Marteleiteiro	R\$	3.807,00
Custo Auxiliar	R\$	1.999,85

Tabela 08 – Indicativo dos custos relativos à mão de obra na frente de lavra 890BE-02, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

Frente 890BE02	
Método de Lavra	Shrink Stope
Toneladas Extraídas	726
Teor	8,36
Dias Trabalhados	26
Custo Marteleiteiro	R\$ 11.421,00
Custo Auxiliar	R\$ 5.999,55
Custo Total	R\$ 17.420,55

Tabela 09 - Indicativo do custo total de mão de obra na frente 890BE-02, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

Constituindo um resumo dos custos, tem-se a tabela abaixo, somando um total de R\$: 59.704,32 de custos assumidos para a produção mensal de 726 toneladas de minério na frente 890BE-2. Dividindo-se o custo pela produção, obtém o custo para produzir uma tonelada, sendo este de R\$: 82,24/ tonelada.

CUSTOS TOTAIS	
Material/Almoxarifado	R\$ 10.033,31
Transporte	R\$ 22.213,97
Explosivos	R\$ 10.036,49
Mão de Obra (Marteleiteiro/Auxiliar)	R\$ 17.420,55
Total	R\$ 59.704,32
Custo Total por tonelada	R\$ 82,24

Tabela 10 - Resumo dos Custos Totais com mão de obra frente 890BE-02, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

4.7 PRODUÇÃO

Place	Actual		Forecast		Budget	
	Tonnes (t)	Grade (g/t)	Tonnes (t)	Grade (g/t)	Tonnes (t)	Grade (g/t)
Mel_890BE-2	726	8,36	900	7	1000	5,5

Tabela 11 – Indicativo dos valores de produção e o planejado para a frente 890BE-02, Mina do Mamão, março/2014. Fonte: Própria.

A tabela acima mostra a produção da frente 890BE-02 no mês de março, seguida do planejado a curto e longo prazo. A produção nessa frente, nesse período não atingiu as toneladas planejadas, mais ficou acima nos teores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo foca a apresentação dos resultados do estudo da viabilidade do *Shrink Stope* na mina do Mamão. Para isso, foi feito acompanhamento em campo das operações de lavra na frente 890BE02 e um levantamento dos dados referentes aos custos e produção nessa frente, durante o mês de março.

O painel de lavra obtinha 819 toneladas, sendo recuperadas 726ton, onde 93ton são referentes aos pilares de sustentação, deixados para garantir uma maior segurança na frente de trabalho. Essas 726 toneladas, representa uma recuperação de 88% do painel lavrado durante o mês de março.

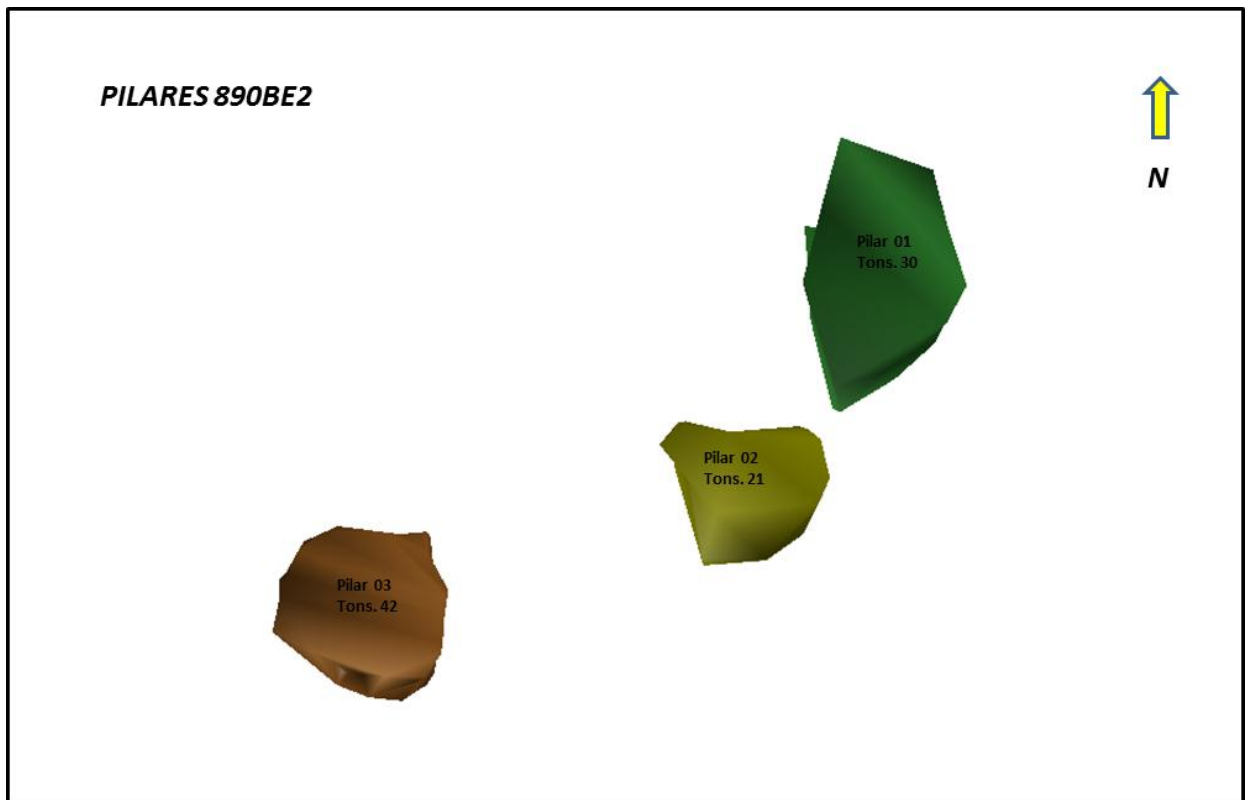


Figura 05 – Indicação dos pontos de preservação dos pilares e sua respectiva massa total. A numeração dos pilares indica a posição deles no modelo de blocos. Fonte: Imagem obtida no software Surpac, maio/2014. (Massa dos Pilares)

Considerando a recuperação da mina 88%, da planta de beneficiamento 93% a um teor de 8,36g/ton, onde a onça equivale a 31,103g aproximado, tem uma produção de 180,16oz/mês correspondente à frente em estudo.

Sabendo-se que uma onça custa U\$: 1.300,00, e a cotação do dólar no dia 22/04/2014 era de R\$: 2,22, o valor da onça em reais equivale 2.886,00. Para o

cálculo da receita total, multiplica-se o valor da onça, pela quantidade de onça produzida, perfazendo R\$: 519.928,43.

Para obtenção do lucro, foram reunidos todos os custos (lavra, beneficiamento e ADM), os quais juntos totalizam um custo estimado de R\$: 136.969,56, condizente a 26% do investimento aplicado a produção dessa frente de trabalho.

Melechete_890B-E2			
CÁLCULO DO TEOR DE CORTE PARA O <i>SHRINK STOPE</i>			
Oz/gr	31,103	Receita	R\$ 519.928,43
MCF	88,0%	Custo Operacional	R\$ 136.969,56
REC.QZ	93,0%		
Valor Oz/gr	USD 1.300,00	LUCRO	R\$ 382.958,87
Valor Dollar	R\$ 2,22		
Valor Oz	R\$ 2.886,00		
Valor g	R\$ 92,79		
Shrink Stope	R\$ 82,24		
Custo Planta	R\$ 80,00		
Custos ADM	R\$ 5,00		
Teor g/ton	8,36		
Ton por Pannel	819,00		
Total Oz Produzidas	180,16		

Tabela 12: Parâmetros para a Análise da Viabilidade de Custos do método *Shrink Stope*. Fonte: Própria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ciclo operacional da Mina do Mamão é dividido em três turnos. O estudo apresentado abrangeu todas as atividades de lavra realizadas na Frente 890BE-02, no período compreendido de 01/03/2014 à 31/03/2014.

Os dados foram expostos em tabelas, relatando as atividades diárias, separadas por turnos. Seguidas dos custos, com explosivos, manutenção de equipamento, materiais de perfuração e contenção, custo com transporte e mão de obra.

Os resultados obtidos foram bem satisfatórios, uma vez que o custo total representa 26% do total investido. Apresentando uma margem de lucro de 73%, correspondente a R\$: 382.958,87.

Porém o *Shrink Stope*, não atende a demanda de minério na planta, a qual necessita mensalmente de 20.000 ton/mês, e esse fornece aproximadamente 11.000 ton/mês, contando com oito frentes de trabalho.

Esse minério faltante na planta de beneficiamento é compensado com minério vindo da mina Lagoa Seca, também do grupo Troy, desativada em 2008 a qual se situa 5 km da mina Mamão. A mina Lagoa Seca, foi lavrada em um período compreendido de um ano, onde o minério era explotado e estocado, enquanto esperava-se a implantação da planta de beneficiamento.

Embora o volume de minério provindos da mina do Mamão não atenda a demanda da planta, como apresentado anteriormente, o estudo de viabilidade do *Shrink Stope* mostrou-se positivo, uma vez que obteve uma margem de lucro três vezes maior que o custo envolvido.

As irregularidades e descontinuidades do corpo mineralizado foram um dos fatores primordiais para a viabilidade do *Shrink Stope* na mina do Mamão, pois este constitui um método de lavra seletivo, assumindo boa recuperação com uma baixa diluição. Além do que, esse método não faz uso de equipamentos avançados, utiliza-se de equipamentos e técnicas ainda rudimentares, sendo realizado manualmente. Fatores esses que favorecem a viabilidade em minerações de pequena escala, com investimento pequeno em maquinário e treinamento intensivo de mão de obra.

Como sugestão de trabalhos futuros, sugiro a análise operacional do jumbo, na abertura dos acessos, desenvolvimento produtivo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, Karina Jorge. **Avaliação Geotécnica de Lavra Subterrânea do Corpo Serrotinho da Mina Cuiabá através de modelagem numérica tridimensional.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

OLIVEIRA, Michel Melo. **Dimensionamento Empírico de Realce Em Sublevel Stopping.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, 2011. Balanço Mineral Brasileiro 2011, elaborado por Miguel Antonio Cedraz Nery & Emanuel Apolinário da Silva, 2011.

GEOTECNIA – Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia. Acessado em 17/03/2014. Disponível em:

http://morrodaqueimada.fiocruz.br/pdf/4_Impactos%20fisicos%20e%20sociais%20de%20antigas%20atividades%20de%20mineracao%20em%20Ouro%20Preto_Brasil.pdf

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Ano IV Nº27, Setembro de 2009. Acessado em 11/03/2014. Disponível em:

<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000287.pdf>

OLIVEIRA, Mariano Laio de. **Economia Mineral do Brasil.** 2009.

NEME, Milton Brigolini; CURI, Adilson; SILVA, José Margarida da; CARNEIRO, Aida Carolina Borges. **REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto. Realização de projeto de lavra de mina subterrânea com utilização de aplicativos específicos.** 2011.

PEREIRA, Sandro Pinzon; COSTA, João Felipe Coimbra Leite; SALVADORETII, Paulo; KOPPE, Jair Carlos. **REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto. Simulação de Produção em Mina Subterrânea de Carvão com Uso de Conjuntos Mecanizados.** 2010.

CORRÊA, Urandi Moreno Pires. Sistema de Perfuração com Ar Comprimido. X Encontro Nacional de Perfuradores de Poços.

PLANO DE APROVEITAMENTO ECONÔMICO – PAE. Processo: 810.354/1976 - DNPM.

JOSÉ MARGARIDA DA SILVA, 11 de novembro de 2013. Notas de aula. Projeto de Lavra Subterrânea. CEULP-ULBRA, Palmas/TO.