

ANÁLISE DAS VIAS DE ACESSO DE UMA MINA SUBTERRÂNEA LOCALIZADA NO NOROESTE DE MINAS GERAIS: Poço x rampa.

Breno Vinícius Cardoso Bonicini¹
Leandro de Vilhena Costa²

274

Resumo: Um dos principais desafios da mina subterrânea está relacionado a lavrar corpos cada vez mais profundos e com baixo teor. Nessa situação se enquadra o processo de zinco e chumbo da mina localizada no Noroeste de Minas Gerais. É necessário destacar o planejamento das vias de acesso, que consiste em uma das etapas de extrema importância para a mineração, pois o transporte do minério é um dos custos mais altos de uma mina. No início da atuação da empresa estudada o planejamento do poço (shaft) limitava no transporte de pessoas e a rampa para movimentação dos equipamentos. Com o passar do tempo, o poço começou a ser utilizado como via de escoamento do minério em virtude do aprofundamento da mina. O poço tem uma extensão 283 m e atualmente a mina se encontra no nível 683 m, ou seja, a mina se aprofundou e o poço não acompanhou essa evolução. Uma das medidas encontradas foi utilizar dois transportadores de minério (skips) em vez de um, dentro do poço. Para alcançar os objetivos aqui propostos foi realizada pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo. No estudo de caso foi possível analisar a evolução e eficiência das vias de acesso até a atualidade.

Palavras-chave: Vias de acesso. Poço. Rampa.

Abstract: One of the main challenges of the underground mine is related to deep mines and plawing bodies. In this situation, the zinc and lead process of the mine located in the Northwest of Minas Gerais state is included. It is necessary to highlight the planning of the access routes, which is one of the steps of extreme importance for mining, because transportation of ore is one of the highest costs of a mine. At the beginning of the performance of the company studied the shaft planning limited the transportation of people and the decline to move equipment. With the passage of time, the well began to be used as a route of ore disposal due to the deepening of the mine. The shaft has an extension of 283 m and currently the mine is at level 683 m, that is, the mine has deepened and the shaft did not follow this evolution. One of the measures found was to use two skips instead of one, inside the shaft. To reach the objectives proposed here, a bibliographical research and field research was carried out. In the case study, it was possible to analyze the evolution and efficiency of the access routes up to the present time.

Keywords: Access roads. Shaft. Decline.

¹ Engenheiro de minas graduado pela Faculdade FINOM.

² Professor do Curso de Engenharia de Minas da Faculdade do Noroeste de Minas – Finom/ Faculdade Tecsonoma – Paracatu-MG e Doutor em Engenharia Mineral. UFOP- MG. Email: minas.leandro@gmail.com

Recebido em 28/02/2020
Aprovado em 17/03/2020

1. INTRODUÇÃO

A era da globalização promoveu para os engenheiros de minas a oportunidade e necessidade de estudar corpos cada vez mais profundos, devido à escassez de minério próximo a superfície. Neste cenário a tecnologia e a evolução das ciências oportunizam o desenvolvimento de maquinários e peças promovendo assim melhores condições de trabalho e aprimoramento dos produtos oferecidos.

Sabendo da importância e da busca pela melhoria por parte das empresas brasileiras este trabalho apresenta o tema da melhor escolha de vias de acesso para transporte de minérios de uma mina subterrânea em uma mineradora do Noroeste de Minas Gerais. A escolha por esta temática aconteceu porque o pesquisador estuda na região e fez visitas técnicas a esta área de estudo, tornando-se para ele a oportunidade de diagnosticar possíveis problemas, fazer um paralelo entre teoria e prática e acima de tudo promover sugestões de mudança para a realidade encontrada.

A escolha da via de acesso é feita na parte do planejamento da mina, ou seja, no início do empreendimento, pois, para se fazer a mudança dessa via de acesso após o planejamento o custo se torna muito elevado. Caso seja necessária tal mudança devemos levar em consideração custos, localização da mina, geologia do corpo a ser lavrado, tempo de execução, vida útil da mina, e a produção da mina em estudo para tal mudança na sua via de acesso principal. (COSTA, 2015).

Os custos envolvidos somados a necessidade do aumento de produção e da vida útil das minas subterrâneas, exigem que a escolha do acesso principal a corpos de minério cada vez mais profundos seja de forma eficiente, rápida, econômica e segura. Não os dimensionar de forma correta, causa desvantagens ao longo de toda a vida útil e pode levar a custos maiores (MOSER, 1996).

Devido essa situação, é importante o estudo sobre as vias de acesso e de escoamento de produção na mina subterrânea do Noroeste de Minas Gerais, pois, a mina teve a descoberta de minérios lavráveis em profundidade maior. E será preciso verificar a mudança na sua via de acesso principal, pois somente com o escoamento via rampa se torna inviável a extração dos corpos de minérios descobertos em níveis inferiores.

De acordo com Hartman e Mutmanský (2002) a decisão de escolha deve ser tomada uma única vez, pois, mudanças posteriores são caras e implicam perdas. Segundo Costa (2015),

os poços verticais no Brasil ainda são poucos usuais, isso devido ao fato de as minas subterrâneas brasileiras ainda não atingirem grandes profundidades e também por causa da geometria dos corpos de minério.

Na África do Sul, as minas de ouro geralmente apresentam um gradiente de tensão favorável e geologia mais conhecida, portanto, essas condições favorecem as minas a atingirem profundidades maiores. De acordo com McCarthy (1993) esse tipo de acesso é recomendado a profundidades de mais de 500 metros com taxas de produção maiores do que 5.000 t/dia para empreendimentos com vida útil superior a 12 anos.

Conforme McCarthy (2002), na Austrália o acesso por rampa proporciona uma produtividade quase o dobro em relação ao Canadá, onde o acesso preferível é poço com tecnologia similar.

Neste artigo, o estudo de caso foi escolhido porque permite ao pesquisador verificar *in locum* a realidade analisada. O estudo de caso foi desenvolvido em uma mineradora do Noroeste de Minas Gerais. Os sujeitos deste estudo foram os funcionários da referida empresa que trabalham diretamente com o içamento, o supervisor que acompanha o trabalho dos mesmos e o pesquisador.

Como problemática foi enfatizado que um dos obstáculos encontrados pelos atuais gestores no que se refere as vias de acesso por rampas ou poço vertical (*shaft*) é o alto custo devido ao aprofundamento da mina e a diminuição do teor dos minérios lavrados. Os resultados permitiram perceber a evolução do processo das vias de acesso até a atualidade através do redimensionamento do guincho.

O artigo tem como propósito analisar a escolha das principais vias de acesso (rampa e poço) a depósitos subterrâneos e verificar os critérios que definem a escolha do acesso principal e a mudança de um acesso para outro. Os objetivos específicos são analisar se devido ao aprofundamento da mina ocorre a mudança de um acesso principal para outro, levantar os custos operacionais e as características de cada via de acesso (rampa e poço) e analisar medidas viáveis para melhoria do escoamento do minério.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A mineradora investigada está localizada em uma cidade do estado de Minas Gerais, chamada Paracatu, a uma distância média de 200 quilômetros do Distrito Federal (Brasília). Situada no Noroeste do Estado de Minas Gerais, entre as cidades de Vazante, Unaí, Cristalina a cerca de 50 km da área urbana e têm como acesso principal a Rodovia BR-040.

277

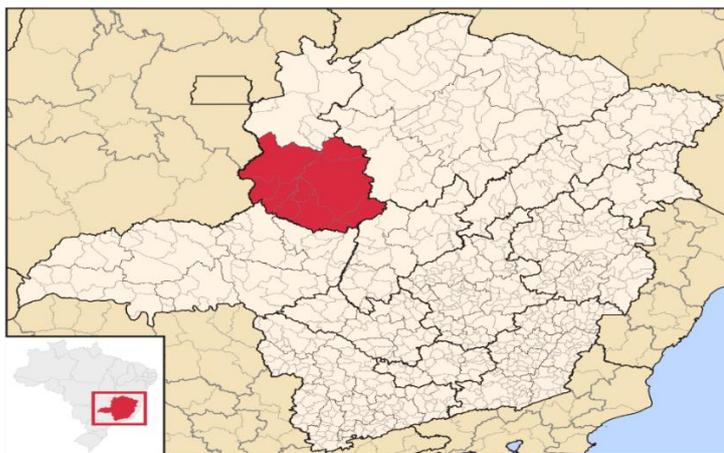


Figura 1 - Localização geográfica de Paracatu - MG
Fonte: DNPM

Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no ano de 2016 a população estimada era de 91.724 habitantes. A empresa localiza-se a 46 quilômetros de Paracatu, sendo 30km pela Rodovia BR-040 e 16 km de estrada de terra pela região Morro Agudo. A exploração minério de zinco ocorre desde 1969 através dos processos de lavra a céu aberto. As atividades de lavra subterrânea tiveram início no ano de 1982.

Em seus primeiros anos, a exploração processava-se apenas a céu aberto, com o predomínio da calamina. No início dos anos 1980 foram executados estudos que viabilizaram o avanço da mineração na porção subterrânea, onde se registra a presença somente da willemita como mineral-minério oxidado, com teor em torno de 15%.

O empreendimento iniciou suas atividades em dezembro de 1982, sendo a operação da lavra subterrânea regularizada ambientalmente pela primeira vez em 28/07/1994, certificado de LO nº 118. Em 19/12/2002, a mina subterrânea foi novamente licenciada por meio da Licença

de Operação Corretiva, Processo Administrativo COPAM nº 104/1988/018/2001, processo DNPM nº 805.141/1976.

A área analisada é uma mineração de Zinco, Chumbo e Calcário agrícola, numa cidade de Minas Gerais de nome Paracatu. A mina se encontra atualmente na profundidade de 650 m com expectativa de atingir a profundidade máxima de 750 m. O método de Lavra utilizado é Câmara e Pilares com preservação dos vazios na mina.

Esse artigo foi desenvolvido com duração de dois meses e está fundamentado em artigos publicados, livros, revistas, discussões com profissionais da área e em pesquisas realizadas por diversos autores de várias partes do mundo e outras fontes.

Foi escolhida a pesquisa bibliográfica pois ela permite comparar a teoria aprendida com a prática. De acordo com Gil (1981, p.18) a pesquisa bibliográfica “(...) é elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e atualmente com material disponibilizado na Internet”. Através de materiais impressos ou digitais o pesquisador pode procurar identificar diversos temas, possibilitando diferentes análises em relação ao assunto em que está trabalhando.

A metodologia adotada seguiu uma sequência assim definida: apresentação do pesquisador na empresa, reunião com os supervisores da área, observação da área pesquisada, coleta de dados, comparação das áreas estudadas, resultados e discussões e a consideração final do estudo.

No primeiro momento foi feito o levantamento através da literatura dos estudos e pesquisas para definição do tema. Depois foi realizado levantamento das principais minas subterrâneas brasileiras que utilizam poço e/ou rampa. Logo em seguida foi feita uma análise por observação nas principais vias de acesso utilizadas pela lavra subterrânea. As informações foram adquiridas através da coleta de dados descritas a seguir:

- Pesquisa bibliográfica em diversas fontes;
- Agendamento de visitas técnicas para apresentação do projeto de pesquisa e coleta de dados;
- Planilha comparando os custos do poço com o da rampa;
- Caminhão X skip;
- Coleta de dados dos caminhões;
- Análise desses dados para devida conclusão;

- Simulação de casos viáveis;
- Melhoria do transporte pelo poço (antes x atual).
- Aprofundamento do poço até o nível atual
- Aumento do porte dos caminhões.

Vale ressaltar que o pesquisador não permaneceu diretamente na empresa e o trabalho foi feito com base em relatórios.



Figura 1 - Caminhão Volvo A-30 utilizado para escoamento do minério por rampa. Fonte: O autor

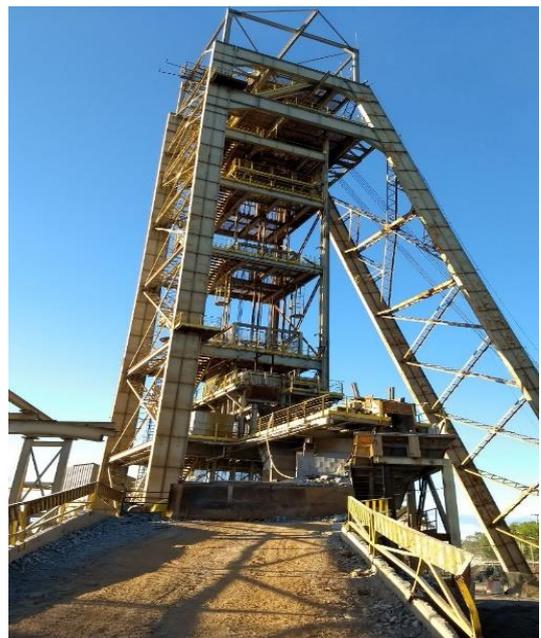


Figura 3 - Poço (shaft): Transportador de minério do nível 250 m até a superfície. Fonte: O autor

O processo de transporte de minérios da mina pesquisa é realizado atualmente por caminhões Volvo A-30 (figura 2) que fazem o escoamento de minério via rampa, dos níveis inferiores até a estação de carga no nível 250 m, a partir deste nível em diante o escoamento é feito pelo poço(sshaft) mostrado na figura 3. E quando ocorre a parada do poço os caminhões têm que fazer o escoamento das frentes de lavra dos níveis inferiores da mina até a superfície e não mais só até o nível 250 m.

O poço utilizado pela empresa possui dois carregadores de minérios (skip) com capacidade de 7 t cada. Na mineração pesquisada são utilizados dois tipos de acesso combinados rampa e poço. Na tabela 1 são destacados os tipos de escoamento, a produtividade de cada equipamento e o tempo de ciclo de cada um.

Tabela 1: Situação atual da produção da mina pesquisada.

PRODUTIVIDADE DO SHAFT t/h	195	PRODUTIVIDADE DO CAMINHÃO t/h	42
Tempo de ciclo do Shaft	0.031 h	Tempo de Ciclo do Caminhão	25 min (0.4 h)
Capacidade de carga do poço por cic	14 t	Capacidade de carga do caminhão por ciclo	25 t
Disponibilidade do Shaft	76%	Disponibilidade do Caminhão	76%
Utilização do Shaft	77%	Utilização do Caminhão	88%
DMT (km)			5.5

Fonte: Os Autores

Para executar esse trabalho será feito um comparativo entre os acessos que são utilizados pela mina de estudo, rampa com caminhões e poço. Será realizado uma estimativa da utilização de cada acesso separado, para poder analisar qual é a melhor alternativa para a mina, e se a mina estudada se enquadra no que citam alguns autores.

Os dados coletados são a profundidade da mina, distância entre os níveis, números de níveis, nível da estação de carga, distância do fundo da mina até a superfície, tempo de ciclo do caminhão e do poço, velocidade aproximada dos caminhões e a capacidade de carga do caminhão e do poço. A partir destes dados serão realizados cálculos, que serão expressos em tabelas e gráficos para poder ter uma melhor análise de comparação dos possíveis cenários.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na mina estudada, as vias de acesso não seguem, um autor específico, pois, cada mina depende muito do minério a ser extraído, dos teores a serem lavrados nos níveis inferiores, vida útil da mina e taxa de produção. Por isso é necessário que se faça um estudo detalhado para verificar a escolha da melhor via de acesso rampa ou poço (*shaft*). Diante desta problemática

levantou-se a hipótese de analisar três cenários a fim de se fazer um comparativo e pode escolher a melhor opção para a mina pesquisada.

3.1 Primeiro cenário: Utilizar somente rampa com caminhões

Neste primeiro cenário será adotado a utilização somente de rampas. Para o escoamento via rampa, será utilizado os caminhões Volvo-A30 estes caminhões tem capacidade útil de 25t, e a mina de estudo possui uma profundidade de 650m. Será feito uma estimativa de aprofundamento de 100 m em 100 m realizando uma estimativa através de cálculos com dados coletados na empresa de estudo, afim de se fazer uma melhor análise, que serão expressados na tabela 2.

Dados da empresa:

- Profundidade da mina: 650 m
- Distância entre os níveis: 33 m
- Números de níveis: $650/33=20$
- Nível da estação de carga: 250 m
- Distância do fundo da mina até a superfície: 5,5 km
- Tempo de ciclo do caminhão: 25min (0.4 h)
- Velocidade aproximada dos caminhões: 14 km/h
- Capacidade de carga do caminhão: 25t.

Para melhor visualização da análise de dados não será considerado a disponibilidade e utilização nos cálculos da tabela 2.

Tabela 2: Produtividade X Produção dos Caminhões

Tempo de ciclo do caminhão (min)	Profundidade (m)	Produção (t/h)	DMT (KM)
25 (0.4h)	250m	62.5	5,5
33,6 (0.56 h)	350m	45,45	7,69
43,2 (0.72 h)	450m	34.72	9,88
52,8 (0.88 h)	550m	28,40	12,07
62,4 (1.04h)	650m	24,03	14,26

Fonte: Os autores

De acordo com os cálculos expressados na tabela 4, nota-se que devido o aprofundamento da mina, ocorre o aumento no tempo de ciclo do caminhões, isso acontece porque, com o aprofundamento da mina o caminhão percorrerá uma distância muito maior, ou seja, aumentará sua DMT (distância média de transporte), fazendo com que sua produtividade diminua de forma expressiva, pelos cálculos feitos verificou-se que esse cenário seria inviável, pois no nível 650 m pelos cálculos o caminhão iria produzir 24t/h menos do que sua capacidade de carga que é 25 t/h, essa situação será expressa melhor no figura 2.

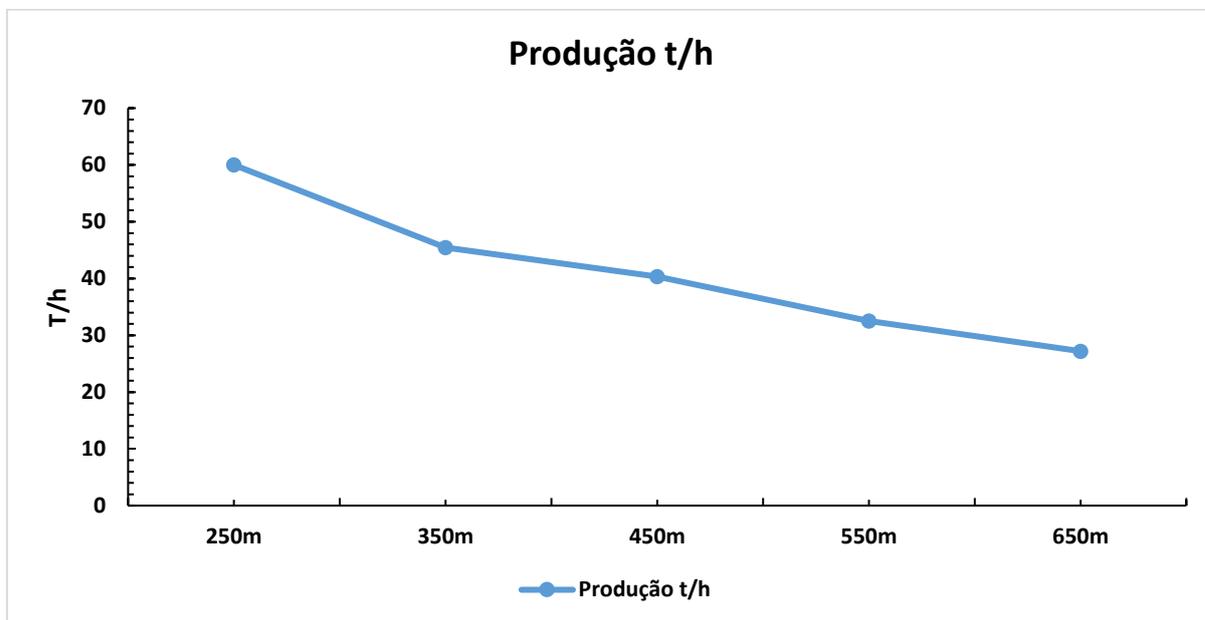


Figura 2: Profundidade X Produtividade dos Caminhões

Fonte: Os Autores

Verifica-se de acordo com o gráfico 1 que a produção dos caminhões diminuirá de forma significativa, nota-se que devido ao aumento da profundidade, os caminhões percorreriam uma distância maior para poder escoar o minério lavrado dos níveis inferiores até a superfície. A solução seria aumentar o porte dos caminhões, ou a frota dos equipamentos para não perder sua meta de produção, com isso faria aumentar muito o custo da mina, pois é necessário a melhoria no sistema de ventilação porque devido ao aumento de equipamentos na mina é preciso melhorar a ventilação para a exaustão dos gases tóxicos. Seriam necessárias mais pessoas, mais

segurança, mais treinamento, mão de obra dos operadores, manutenção e melhoria nas vias de acesso.

A desvantagem da rampa seria o aumento dos gastos com combustível, lubrificante, pneu, mão-de-obra, treinamentos, segurança, melhoria na ventilação. E a vantagem seria acesso mais rápido ao corpo de minério, e não interromperia a produção para a construção dos acessos.

Analisando os estudos de Mccarthy (1993), percebe-se que o gráfico 1 tem uma correlação com o gráfico de Mccarthy, ou seja, quando mais a mina se aprofundar maior será o tempo para escoar o minério até a superfície, assim os gráficos mostram claramente a queda na produtividade das minas de estudo devido ao aumento no tempo para o escoamento do minério.

1.2 Segundo cenário: Somente Poço

No segundo caso também será analisado a hipótese do aprofundamento do poço até o nível 650 m para o escoamento do minério lavrado do fundo da mina até a superfície. Será feito uma estimativa de aprofundamento de 100 m em 100 m. Qual seria a produção do poço, e seu tempo para escoar o minério lavrado. Está estimativa será feita através de cálculos afim de se fazer uma análise mais criteriosa, os cálculos realizados serão feitos com os dados coletados na empresa de estudo que serão expressos melhor na tabela 3.

Dados da empresa:

- Produtividade do poço: 195 t/h;
- Tempo de ciclo do poço: 0.031h;
- Profundidade atual do poço: 250 m;
- Medida de Minério içada por ciclo: 6045 t

Para melhor visualização da análise de dados não será considerado a disponibilidade e utilização nos cálculos da tabela 3.

Tabela 3: Produtividade X Aprofundamento do poço.

Tempo de ciclo do shaft (h)	Profundidade (m)	Produção (t/h)	Média de minério içada (t)
-----------------------------	------------------	----------------	----------------------------

0.031	250	195	
0.043	350	140.5	
0.055	450	109	6045
0.067	550	90	
0.080	650	75,5	

Fonte: Os autores.

Cálculo de comparação do poço em relação ao caminhão:

$$195/62,5 = 3.12.$$

Para produzir a mesma quantidade do poço seria necessários três caminhões. Percebe-se com os dados da tabela 5 a diminuição da produtividade conforme vai aumentando a profundidade da mina. Essa diminuição é representada melhor na figura 3. A partir dessa análise de dados coletados e calculados percebeu-se que essa hipótese não era viável, principalmente, por sua reserva ser considerada rasa 650m (<1000m) em comparação a minas, por exemplo, da África do Sul cerca de 4.000m de profundidade. Além da mina não apresentar potencial para atingir grandes profundidades devido à baixa vida útil da mina, cerca aproximadamente 5 anos (<12 anos), produção baixa (<5000 t/d) o que não pagaria os custos da implantação do poço até o fundo da mina de acordo com os critérios propostos por McCarthy (1993).

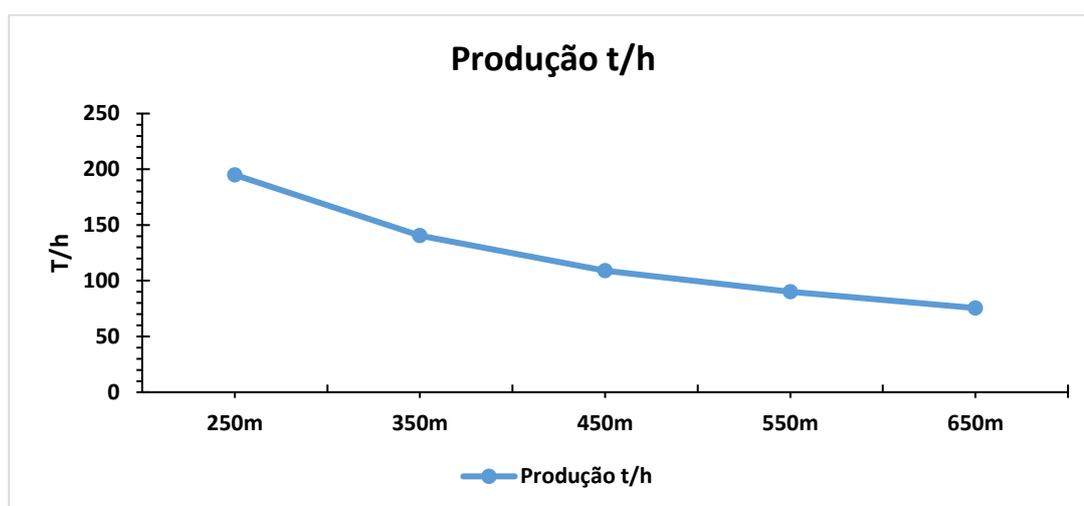


Figura 3: Profundidade X Produtividade do Poço.

Fonte: Os Autores

Os custos de escavação do poço não pagariam o investimento, para o aprofundamento do poço até o nível 650 m, pois a mina estuda não possui vida útil maior que 12 anos o que citam alguns autores para poder pagar o investimento. Além disso as obras do poço interromperiam a produção de toda a mina, caso fosse usado somente poço para o escoamento do minério. Apesar da produção (t/h) do poço ser maior do que a dos caminhões. Gastaria cerca de três caminhões para produzir a mesma quantidade que o poço produz 195 t/h.

3.3 Terceiro cenário: Utilização dos dois acessos rampa e poço

Após análise dos dois primeiros casos, foi constatado que a melhor opção para a mina estudada seria combinar os dois acessos, rampa via caminhões e poço, pois o poço inicialmente era projetado para o transporte de pessoas, e hoje é utilizado para escoamento minério isto ocorreu por que a mina se aprofundou fazendo com a DMT aumentasse fazendo com que a empresa buscasse alternativas para melhorar o escoamento de sua produção. A melhor solução foi então melhorar a logística do guincho com o aumento de mais um *skip*, solução está mais viável para a mina pesquisada.

Na figura 4 mostra a situação atual da empresa, após a utilização dos dois cenários combinados, rampa com caminhões e poço. Observa-se no gráfico 3, onde está situado o poço no nível 250 m, a maior taxa de produção e a menor DMT (distância média de transporte), a partir desta análise percebe-se que essa foi a melhor solução para a mina pesquisada.

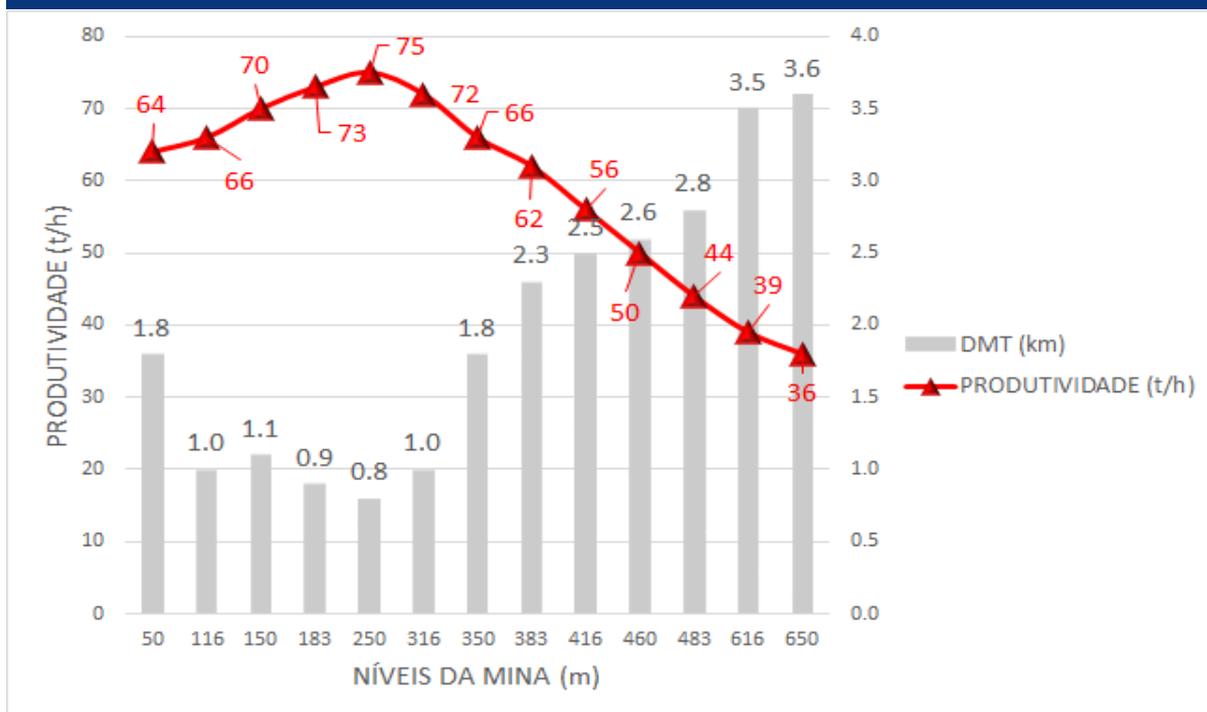


Figura 4: Produtividade x DMT.

Fonte: Os Autores.

A mina estudada possui o guincho com estação de carga no nível 250 m o que se aproxima da realidade mencionada por alguns autores. Somente a profundidade, não foi um critério para a escolha da melhor via de acesso para transportes de minérios. Os estudos comprovaram que devido a mina possuir uma vida útil pequena, até 2022 inferior a 12 anos, a escolha do aprofundamento do poço até o nível atual da mina não seria viável. Pois a mina possui uma taxa de produção inferior do que os estudos recomendam, em média 3.000 t/dia e não 5.000 t/dia como é citado por alguns autores. Para a construção do poço até o nível atual da mina não seria possível a extração de minérios, toda a mina ficaria parada devido a obra. O poço possui vantagens sobre a rampa, pois seu acesso é mais rápido do que os caminhões via rampa. Com o aprofundamento da mina o poço se torna mais vantajoso devido ele ser a menor distância entre o corpo do mineiro e a superfície, pois o poço é projetado na vertical e em linha reta o que torna o menor o percurso até o minério a ser extraído. E a rampa se torna menos vantajosa devido ao aumento da distância média de trabalho dos caminhões.

4 - CONCLUSÃO

Verificou-se, por meio da análise do estudo de caso realizado que é difícil estabelecer uma regra geral para definir o acesso principal, pois cada mina possui suas particularidades.

A empresa optou então por utilizar os dois acessos combinados rampa e poço. O aprofundamento do poço até o nível 650m é inviável devido ao alto custo, e a mina não possui vida útil superior a 12 anos (5 anos de pré-operação e 7 anos de operação) para recuperação dos investimentos como aconselham alguns autores.

Os estudos de caso comprovaram que a única solução para a mina estudada foi aumentar o escoamento do minério pelo poço. Pois não é possível reduzir a DMT, ou seja, a distância que os caminhões vão percorrer da frente de lavra até superfície e nem aumentar o porte dos caminhões devido a mina ser projetada para aqueles equipamentos. Verificou-se então que com o aumento de mais um *skip* melhorou o escoamento do minério, passando de 10t içadas para 14t um aumento significativo em torno de 40%.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. **Comunicação Pessoal em Visita Técnica** – Mina Pesquisada Paracatu - MG, 2017.

BRAZIL, D. L. **Optimization in the design of underground mine access**. Institute Mining Metallurgy, section A, 112, pp. 164-170, 2005.

CHADWICK, J. **Underground Haulage**. Mining Magazine. Australia, September 2000.

CLOW, G. G.; VALLIANT, W. **Technical Report on the Turmalina Gold Project**. Roscoe postle associates inc. Canada, September 2005.

COSTA, L. de V. **Análise das opções de vias de produção e acesso em minas subterrâneas**. Disponível em <<http://www.repositorio.ufop.br/Vias.pdf>> Acesso em 24 maio de 2017.

DNPM – **Departamento Nacional da Produção Mineral**. Sumário Mineral, Brasília, 2013 e 2014.

GERMANI, D. J. **A mineração no Brasil**. Relatório final ao PNUD. Rio de Janeiro, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1981.

HALL, B. E. **A quantitative Assessment of the factors influencing the Shaft versus truck decision**. Ninth Underground Operators Conference. Perth, p. 1-12, 2005.

HAMRIN, H. **Underground mining Methods: Engineering Fundamentals and International Cases Studies**. Edited by W. A. Hustrulid and R.I. Bullock. Littleton, CO: SME. 2001.

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. **Introductory Mining Engineering**. John Wiley and Sons; New York, p. 271-308, 2002.

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. **Introductory Mining Engineering**. John Wiley and Sons, New York, p. 271-308, 2002.

HASHIMOTO, H.G. **Comunicação Pessoal Mineração Morro Agudo**. Paracatu -MG. 2015.

LISBOA, F. M. **Mineração - uma experiência vivida**. 1º ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MATUNHIRE, D. I. (S.D.). **Design of Mine Shafts. Department of Mining Engineering**. University of Pretoria, Pretoria, South Africa, pp. 610-623. 2007.

MCCARTHY, P. L. **Feasibility Studies and Economic Models for deep mines**, 2002.

MCCARTHY, P. L.; LIVINGSTONE, R. **Shaft or Decline? An Economic Comparison**. Open Pit to Underground: Making the Transition AIG Bulletin 14, p. 45-56. 1993.

MCCARTHY, P. L. **Selection of shaft hoisting or decline trucking for underground mines**. Driving Down Costs. Kalgoorlie, Western Australia, p.8. 1999.

MOSER, P. **Primary development of underground hard rock mines**. Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 1996, p. 31-36.

MOSER, P. Shaft versus ramps. **An Empirical Decision Model**. SME Annual Meeting, Denver, Colorado, 1997.

NETTO, F. **Planejamento e Lavra Subterrânea**. Congresso Brasileiro de Mina Subterrânea, 2010, p.1-18.

ROMAGNA, G. **Comunicação Pessoal Morro Agudo**. Paracatu-MG, 2014.

RUPPRECHT, S. M. **Mine Development - Access to deposit**. University of Johannesburg, pp. 101-121. 2012.

WILSON, R. B; WILLIS, R. P. H. **Considerations in the choice of primary access and transportation options in platinum mines**. Platinum Adding Value. pp. 269-273, 2004.

ANEXOS

Cálculo da Estimativa dos Caminhões.

Tempo de ciclo do caminhão	Profundidade (m)	Produção (t/h)	DMT (KM)	
25 (0.4h)	250	62.5	5,5	• Velocidade = Distância/tempo. (5.5/0.4= 13.75 km/h)
33,6 (0.56 h)	350	45,45	7,69	• DMT = (250/33 = 7.58) (5,5/7.58=0.73) (Media de um nível para outro).
43,2 (0.72 h)	450	34.72	9,88	• 0,73 *3=2,19 (aproximadamente 3 níveis a cada 100 m que se aprofunda a mina).
52,8 (0.88 h)	550	28,4	12,07	• Distância que a mina se aprofunda por nível: 5,5km+2,19=7.69km; 7,69+2,19=9,88km; 9,88+2,19=12,07km; 12,07+2,19= 14,26km.
62,4 (1.04h)	650	24,03	14,26	• Capacidade do caminhão 25t / 0.4 h = 62,5 t/h * 76% de disponibilidade * 88% de utilização=41.8 t/h.
				• Cálculo do tempo em relação a profundidade 0.4h= 250m X=350m X= (0,4*350/250=0,56 h). X= (0,56*450/350=0.72 h). X= (0,72*550/450=0.88 h). X= (0,88*650/550=1.04 h).

Cálculo da estimativa do Poço

Tempo de ciclo do shaft	Profundidade (m)	Produção t/h	Média de minério içada	Cálculos;
0.031h	250m	195t/h		1h=195t/h
0.043h	350m	140.5t/h		0.031h=x
0.055h	450m	109t/h	6045t	X=(195*0,031=6045t) por ciclo
0.067h	550m	90t/h		• Cálculos da profundidade em função do tempo:
0.080h	650m	75,5t/h		0,031h = 250 m = 195 t/h X= 350 m X= (0,031*350/250) = 0.043 h X=(0,043*450/350) = 0.055 h X=(0.055*550/450) = 0,067 h X=(0,067*650/550) =0,080 h
				• Cálculos da produção em função do tempo: 6045/0,031=195t/h 6045/0,043=140,5t/h 6045/0,055=109t/h 6045/0,067=90t/h 6045/0,080=75,5t/h