

PERDA DE PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PRODUÇÃO DEVIDO AO APROFUNDAMENTO DE MINAS SUBTERRÂNEAS – ESTUDO DE CASO MINA CUIABÁ

Giovanni Rubinich Moraes, AngloGold Ashanti, grmoraes@anglogoldashanti.com

Leonardo Augusto Figueiredo, AngloGold Ashanti, lafigueiredo@anglogoldashanti.com

Felipe de Brito Pereira, AngloGold Ashanti, fbpereira@anglogoldashanti.com

RESUMO

A Mina Cuiabá é a maior mina subterrânea de ouro do Brasil e é operada pela AngloGold Ashanti. Atualmente, o nível mais profundo da mina é o N21, a 1394 metros de profundidade, e nos próximos anos a mina irá se aprofundar mais, seguindo os corpos principais de minério. Este trabalho faz uma análise teórica da perda de produtividade de caminhões e da redução da utilização efetiva de equipamentos de produção devido ao aprofundamento da mina. Sendo que esta análise se dá através de cálculos do aumento de horas de ciclo de transporte de caminhões e através do aumento de horas de deslocamento de pessoas entre a superfície e as frentes de trabalho. Com esta análise foi possível observar que a produtividade dos caminhões será reduzida em 67% e a utilização efetiva de jumbos e fandrills, equipamentos importantes de produção, irá reduzir em 1% quando a mina alcançar o Nível 31.

Palavras-chave: Mina Cuiabá; Logística de Pessoas; Mina Subterrânea, Aprofundamento de Mina.

ABSTRACT

Cuiabá Mine is the largest underground gold mine in Brazil, and it is operated by AngloGold Ashanti. The current deepest level of the mine is the L21, 1394 meters deep, and the mine is going deeper over the coming years, due to the ore bodies geometry. This paper is a theoretical analysis of productivity loss of trucks and the utilization reduction of production equipment, due to the deepening of the mine. This analysis was done using calculations of hours increase of truck transport cycle and hours increase of people traveling time between the surface and headings areas. With this analysis it was possible to observe that the productivity of trucks will be reduced by 67% and the effective utilization of fandrills and jumbos, important production equipment, will be reduced by 1% when the mine reaches Level 31.

Keywords: Cuiabá Mine, People Logistics, Underground Mine, Mine Deepening.

INTRODUÇÃO

A Mina Cuiabá é maior mina subterrânea de ouro do Brasil, é operada pela AngloGold Ashanti e está localizada na região do Quadrilátero Ferrífero, entre as cidades de Sabará e Caeté, a aproximadamente 30 km de Belo Horizonte em Minas Gerais, como ilustrado na Figura 1.

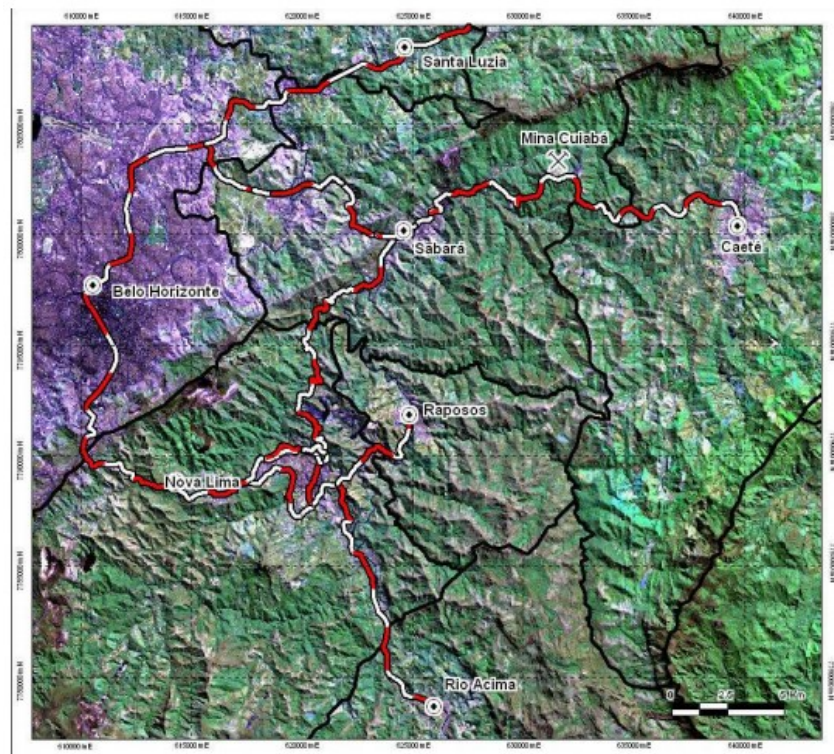


Figura 1: Localização da Mina Cuiabá [1]

A mina opera com dois métodos de lavra, o Sublevel Stopping e o Corte e Aterro, sendo que o Sublevel Stopping é responsável por praticamente toda produção de massa de ROM. Este método é praticado com sequência bottom-up e preenchido com estéril. Os painéis variam de 30 a 60 metros e são divididos em subníveis. A Mina Cuiabá desenvolve aproximadamente 1.200m de galeria por mês.

Segundo Barbosa [2], a mineralização da Mina Cuiabá está associada às formações ferríferas bandadas (BIFs) inseridas numa sequência máfica, tendo da base para o topo rochas vulcânicas ultramáficas, máficas, intermediárias, félsicas e sedimentos detríticos com metamorfismo de baixo grau. A estratigrafia da região da mina e as alterações nas zonas hidrotermais presentes das BIFs está ilustrada na Figura 2, de Vitorino et al [3].

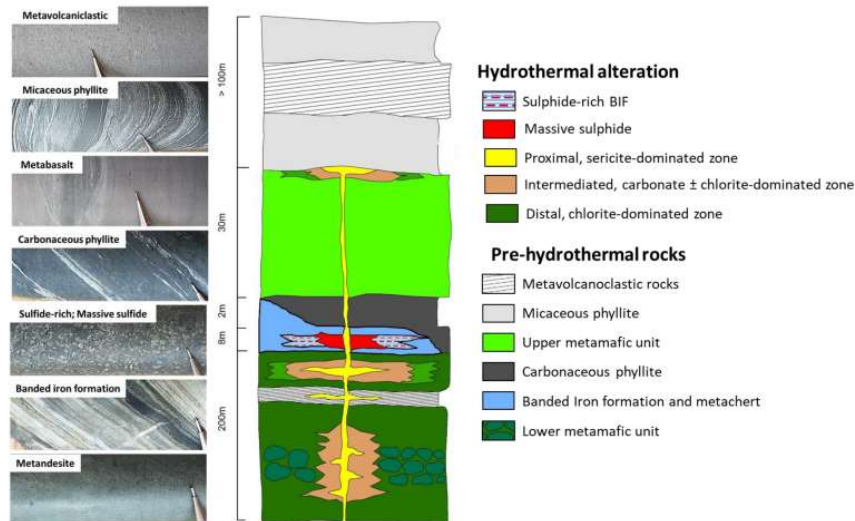


Figura 2: Coluna estratigráfica simplificada da região da Mina Cuiabá [3]

Atualmente, o nível mais profundo da mina é o N21, a 1394 metros de profundidade, e nos próximos anos a mina continuará a ser aprofundada, seguindo os corpos de minério. O acesso à mina é feito por poço vertical da superfície ao nível 11, e/ou por rampas. Anualmente são produzidas cerca de 1.5Mt de ROM, o minério é transportado por caminhões de 45 ou 30 toneladas entre as diversas frentes de produção e a britagem localizada no nível 11. O minério britado é transportado para a superfície via poço vertical.

A Mina Cuiabá opera com quatro turnos e possui dois horários de desmonte por dia, sendo que é obrigatória a saída de todos os colaboradores da mina que não estejam envolvidos com as operações de desmonte durante todo o período de desmonte. A Figura 3 ilustra o esquemático de turnos e desmontes da mina.

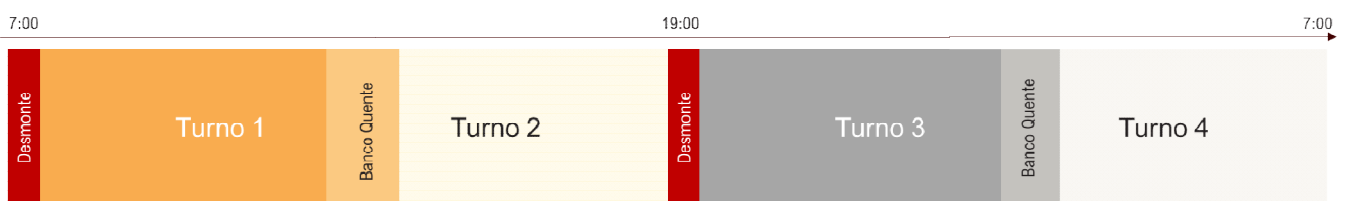


Figura 3: Esquemático de turnos e desmonte da Mina Cuiabá.

Como observado na Figura 3, o tempo entre os desmontes é fixo, assim, quanto mais tempo é gasto com logística de pessoas, menos tempo operacional efetivo é alcançado.

Devido à grande profundidade da mina, a saída dos operadores antes dos desmontes e a entrada dos operadores nos turnos seguintes se tornam um enorme desafio logístico. Para começar a operação de um turno, os operadores precisam descer até o nível 11 via shaft e em seguida se dirigirem aos seus postos de trabalho nos níveis mais profundos, sendo este deslocamento feito por caminhonetes, micro-ônibus e vans.

O tempo de logística da superfície até o nível 21 demora no mínimo 40 minutos, sendo este o tempo para os operadores de equipamentos de maior prioridade, como jumbos e fandrills. A Figura 4 ilustra esta logística.

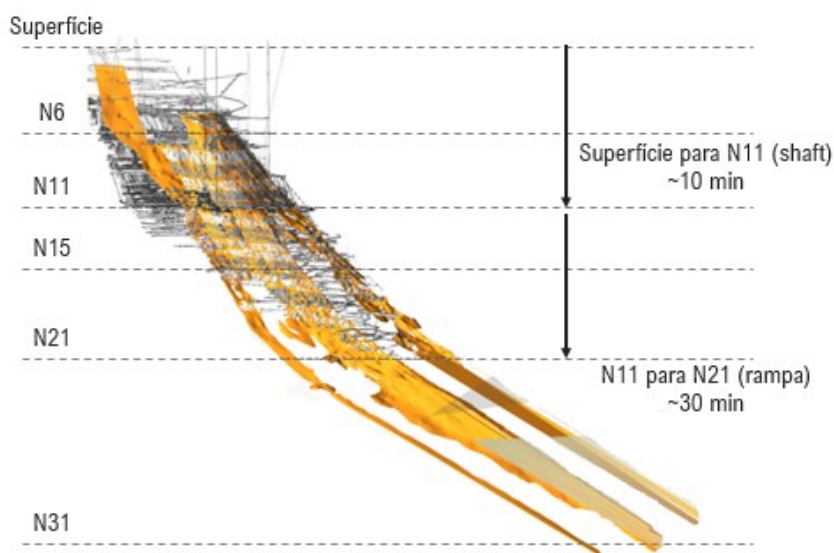


Figura 4: Esquemático de tempo de descida da superfície ao nível 21.

Devido à restrição de pessoas por viagem do shaft, são feitas, em média, 6 viagens do shaft por turno para a descida de pessoal, e os colaboradores que descem à mina nas últimas viagens do shaft podem demorar até 2 horas para chegarem ao nível 21.

O aprofundamento da mina exacerbará os problemas logísticos de pessoas e aumentará o tempo de ciclo dos caminhões que transportam ROM. Assim, é necessário entender qual será o impacto no longo prazo para serem implementadas contramedidas à esta situação, uma vez que estas contramedidas podem demorar meses e até anos para serem concluídas dependendo de suas complexidades.

Desta forma, este estudo busca entender o impacto do aprofundamento da mina nas operações de transporte de ROM e no transporte de pessoas, que afetará a utilização de Fandrill e Jumbo, quando a Mina Cuiabá alcançar o nível 31, o que deverá ocorrer em 2032. Estes impactos devem ser considerados durante o desenvolvimento do plano de lavra de longo prazo da mina, uma vez que afetarão os custos e o dimensionamento de frota de Cuiabá.

METODOLOGIA

A análise de queda de produtividade de caminhões de transporte de ROM e queda da utilização efetiva de Fandriil e Jumbo foi feita a partir de uma análise empírica das condições atuais da Mina Cuiabá, levando em consideração o comprimento linear de rampas, os tipos de equipamento (equipamentos de transporte de ROM e equipamentos de transporte de pessoas, como micro-ônibus), tempo deslocamento destes veículos e proximidade dos níveis com áreas em operação.

O plano de longo prazo de uma mina deve levar em consideração diversos fatores, sendo que a produtividade e a utilização de equipamentos de produção estão entre estes fatores [4]. A análise discutida neste trabalho considera as perdas de utilização e produtividade para conjuntos de dois níveis de profundidade e seus resultados deverão ser integrados no planejamento de longo prazo da Mina Cuiabá, visando entender os impactos no dimensionamento de frotas e na capacidade produtiva da mina.

Comprimento linear de rampas

O cálculo do comprimento linear de rampas consideram o desnível vertical de 60 metros por nível e o grade de 0.13.

Tipos de veículos considerados

Foram considerados os impactos nos caminhões de transporte de minério, assim como os impactos nos micro-ônibus que transportam os colaboradores que operam Fandriil e Jumbo, saindo do shaft do nível 11 até as frentes de trabalho no nível 21.

Tempo de deslocamento de acordo com distância até áreas em operação

Os tempos de deslocamento entre dois níveis foram levantados empiricamente e são baseados na sua distância até as áreas em operação, as velocidades médias foram apontadas pelo sistema de despacho. Estas informações estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Tempos de deslocamento a cada 2 níveis de acordo com a distância até áreas em operação

	Quantidade de Níveis	Caminhões		Micro-ônibus	
		Tempo de Descida (m)	Tempo de Subida (m)	Tempo de Descida (m)	Tempo de Subida (m)
Níveis mais distantes da operação	2	5	7	4	6
Níveis adjacentes à operação	2	7	11	6	9
Níveis de operação	2	14	22	12	18

Observa-se que nos 'Níveis de operação', o tempo de deslocamento é maior. Isso se deve ao fato de maior número de veículos nestas regiões, como caminhões, carregadeiras, motoniveladores, caminhonetes, caminhões munck, etc, que pioram o tráfego no local. À

medida que se vai afastando destes níveis de operação, o tráfego diminui consideravelmente, e, conseqüentemente, também diminuem os tempos de deslocamento [5].

A partir destes tempos da Tabela 1, foram calculadas as perdas, considerando que os níveis de operação e os níveis adjacentes à operação vão sempre se aprofundar. Desta forma, o nível uma vez considerado 'de operação' passa a se tornar um nível 'adjacente à operação'. E, equitativamente, o nível considerado 'adjacente à operação' passa a se tornar um nível 'distante da operação'. Assim, podemos considerar que os tempos de ciclo, ao aprofundarmos uma mina, serão acrescidos pelo tempo de deslocamento gasto em níveis 'distantes da operação'.

Cálculo de perda de produtividade caminhões de transporte

O aprofundamento da mina impacta diretamente o tempo de ciclo dos caminhões, sendo que, de acordo com a Tabela 1, a cada dois níveis este tempo de ciclo, será aumentado em 12 minutos.

Cálculo de perda de utilização efetiva de equipamentos de produção

Ao aprofundarmos a mina, o tempo gasto para deslocar os operadores da superfície para as áreas de trabalho aumenta devido à maior distância de deslocamento destes operadores por micro-ônibus no interior da mina. O aumento deste tempo gasto com deslocamento diminui diretamente as horas de trabalho efetivo dos principais equipamentos de produção, como Fandrill e Jumbo. Este aumento de tempo gasto com deslocamento de pessoas será de 5 minutos por turno a cada dois níveis de aprofundamento da mina, como mostrado na Tabela 1.

O cálculo baseou-se nas horas horizontes de 12 meses dos principais equipamentos de perfuração da Mina Cuiabá, Fandrill e Jumbo, que foram obtidas no histórico do sistema de despacho da mina, e estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Cálculo horas perdidas devido à troca de turno.

	Fandrill	Jumbo
Horas Disponíveis	47505	64962
Horas de Trabalho Efetivo	20482	17406
Perda de Horas por Troca de Turno	7747	7280
Número de Turnos	1440	1440
Número de Equipamentos	7	9
Perda de Horas por Troca de Turno por Equipamento	1107	809
Horas perdidas por turno Nível 21	0.77	0.56

Para fins de calcular a perda de utilização dos Fandrills e dos Jumbos, o aumento de horas de deslocamento dos operadores foi acrescido nas "Perdas de Horas por Troca de Turno", e, conseqüentemente, subtraídas das "Horas de Trabalho Efetivo".

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Perda de produtividade caminhões de transporte

Calculou-se os tempos de descida e subida baseados nas velocidades dos caminhões, os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Tempo de descida e subida de caminhões entre o N11 e o N21.

	Níveis	Descida (min)	Subida (min)	Descida (km/h)	Subida (km/h)
Níveis mais distantes da operação	11 a 13	5	7	12	7
Níveis mais distantes da operação	13 a 15	5	7	12	7
Níveis mais distantes da operação	15 a 17	5	7	12	7
Níveis adjacentes à operação	17 a 19	7	11	8	5
Níveis de operação	19 a 21	14	22	4	2
Total	11 a 21	35	55	9.6	6.0

Seguindo esta mesma lógica até o Nível 31, foram encontrados os resultados da Tabela 4.

Tabela 4 – Tempo de descida e subida de caminhões entre o N11 e o N31.

	Níveis	Descida (min)	Subida (min)	Descida (km/h)	Subida (km/h)
Níveis mais distantes da operação	11 a 13	5	7	12	7
Níveis mais distantes da operação	13 a 15	5	7	12	7
Níveis mais distantes da operação	15 a 17	5	7	12	7
Níveis mais distantes da operação	17 a 19	5	7	12	7
Níveis mais distantes da operação	19 a 21	5	7	12	7
Níveis mais distantes da operação	21 a 23	5	7	12	7
Níveis mais distantes da operação	23 a 25	5	7	12	7

Níveis mais distantes da operação	25 a 27	5	7	12	7
Níveis adjacentes à operação	27 a 29	7	11	8	5
Níveis de operação	29 a 31	14	22	4	2
Total	11 a 21	58	92	10.8	6.7

Assim, observa-se que o tempo de ciclo dos caminhões, que hoje é de 90 minutos, chegará a 150 minutos, o que representa uma redução de 67% na produtividade dos caminhões de ROM. Seguindo estas premissas, seria necessário mobilizar 10 caminhões a mais para manter os níveis atuais de produção quando a mina alcançar o Nível 31.

Perda de utilização efetiva de equipamentos de produção

Seguindo a metodologia de cálculo descrita anteriormente neste trabalho, calculou-se as perdas de horas por troca de turnos por equipamento para os níveis 23, 25, 27, 29 e 31. Então, após estes cálculos, chegou-se à utilização efetiva de fandrills e jumbos para estes níveis. Os dados estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Cálculo horas perdidas devido à troca de turno para Fandrill e Jumbo.

	Fandrill	Jumbo
Horas Disponíveis	47505	64962
Número de turnos	1440	1440
Horas Efetivamente trabalhadas	20482	17406
Perda de horas por troca de turno	7747	7280
Número de equipamentos	7	9
Perda de horas por troca de turno por equipamento	1107	809
Horas perdidas por turno N21	0.77	0.56
Horas perdidas por turno N23	0.85	0.65
Horas perdidas por turno N25	0.94	0.73
Horas perdidas por turno N27	1.02	0.81
Horas perdidas por turno N29	1.10	0.90
Horas perdidas por turno N31	1.19	0.98
Horas perdidas por turno N33	1.27	1.06
Perda de horas por troca de turno por equipamento N23	1227	929
Perda de horas por troca de turno por equipamento N25	1347	1049
Perda de horas por troca de turno por equipamento N27	1467	1169
Perda de horas por troca de turno por equipamento N29	1587	1289
Perda de horas por troca de turno por equipamento	1707	1409

N31		
Horas Efetivamente trabalhadas N23	20362	17286
Horas Efetivamente trabalhadas N25	20242	17166
Horas Efetivamente trabalhadas N27	20122	17046
Horas Efetivamente trabalhadas N29	20002	16926
Horas Efetivamente trabalhadas N31	19882	16806
Utilização Efetiva N21	43.12%	26.79%
Utilização Efetiva N23	42.86%	26.61%
Utilização Efetiva N25	42.61%	26.42%
Utilização Efetiva N27	42.36%	26.24%
Utilização Efetiva N29	42.11%	26.05%
Utilização Efetiva N31	41.85%	25.87%

O delta da utilização efetiva para estes dois equipamentos encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Delta da utilização efetiva de fandrill e jumbo para níveis entre 21 e 31

Delta utilização efetiva		
Nível	Fandrill	Jumbo
N21	0.00%	0.00%
N23	-0.25%	-0.18%
N25	-0.51%	-0.37%
N27	-0.76%	-0.55%
N29	-1.01%	-0.74%
N31	-1.26%	-0.92%

Como explicitado na Tabela 6, a redução da utilização efetiva de Fandrill chega a 1.26% e a redução da utilização efetiva de Jumbo à 0.92%, o que pode ser interpretado como uma redução de produção de 732 onças de ouro por ano.

CONCLUSÃO

O aprofundamento da Mina Cuiabá irá acontecer devido à geometria do corpo mineralizado. Mantendo as premissas operacionais atuais, a produtividade do transporte de minério, via caminhões, entre as frentes de lavra e a britagem será impactada em 67%, requerendo mais equipamentos, mais operadores, maior consumo de combustível e maior demanda por ventilação de mina. Em relação à queda de utilização de fandrills e jumbos, em média 1%, é uma redução que pode ser contornada com melhorias de processo.

Buscando diminuir os impactos futuros na Mina Cuiabá, é recomendável estudar como contrabalancear as quedas de produtividade dos caminhões. Algumas sugestões de estudos são o uso de caminhões com maior capacidade de carga, uso de caminhões elétricos,

remanejamento da britagem para uso de correia transportadora, construção de um novo shaft subterrâneo para transportar diminuir distância de transporte por caminhões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Pereira, F.B. (2016), Interpretação do Overbreak da Rampa Fonte Grande Sul (Mina Cuiabá) e sua interação com o sistema de suporte. Dissertação (mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 186p.

[2] Barbosa, K.J. (2011), Avaliação Geotécnica de Lavra Subterrânea do corpo Serrotinho da Mina Cuiabá através de modelagem numérica tridimensional. Dissertação (mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 219p.

[3] Vitorino, A. L.; e Silva, R. C. F.; Lobato, L. M. (2020). Shear-zone-related gold mineralization in quartz-carbonate veins from metamafic rocks of the BIF-hosted world-class Cuiabá deposit, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Vein classification and structural control. *Ore Geology Reviews*, 103789. 20p

[4] Silva, N. C. S. (2008). Metodologia de planejamento estratégico de lavra incorporando riscos e incertezas para obtenção de resultados operacionais. Tese (doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 128p.

[5] Seco, S. M. P. (2011). Simulação de transportes numa mina subterrânea. Dissertação (mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra. 35p.