

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS

Lindemberg Morais Bezerra

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS CENÁRIOS DE PRODUÇÃO
PARA UMA MINA DE OURO, COM A APLICAÇÃO DE
CONCEITOS DE TEOR DE CORTE E CUSTOS FIXOS.**

Belo Horizonte

2023

Lindemberg Morais Bezerra

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS CENÁRIOS DE PRODUÇÃO
PARA UMA MINA DE OURO, COM A APLICAÇÃO DE
CONCEITOS DE TEOR DE CORTE E CUSTOS FIXOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-graduação Latu Sensu em Engenharia de Recursos Minerais (CEERMin) da Universidade Federal de Minas Gerais para o título de Especialista em Recursos Minerais na Modalidade de Artigo submetido ao 11º Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto e Mina Subterrânea.

Orientador: Prof. Dr. Pedro H. A. Campos

Belo Horizonte

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

UF **m** G

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS

ATA DA DEFESA DO ARTIGO DO ALUNO

LINDEMBERG MORAIS BEZERRA

Realizou-se, no dia 29 de maio de 2023, às 15:00 horas, na plataforma MS MEET da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa do Artigo intitulado “**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS CENÁRIOS DE PRODUÇÃO PARA UMA MINA DE OURO, COM A APLICAÇÃO DE CONCEITOS DE TEOR DE CORTE E CUSTOS FIXOS**”, apresentado por LINDEMBERG MORAIS BEZERRA, número de registro 2021697430, graduado em ENGENHARIA DE MINAS E MEIO AMBIENTE, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS, à seguinte Comissão Examinadora: Professor Pedro Henrique Alves Campos - Orientador, Professor Alizeibek Saleimen Nader (Universidade Federal de Minas Gerais), Professor Michel Melo Oliveira (Universidade Federal de Minas Gerais).

A comissão considerou a defesa do artigo:

Aprovada

Reprovada

Nota: **85**

Finalizando os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 29 de maio de 2023.

Professor Pedro Henrique Alves Campos (Doutor)

Professor Alizeibek Saleimen Nader (Doutor)

Professor Michel Melo Oliveira (Doutor)

RESUMO

O presente trabalho consiste na análise e comparação de dois cenários de produção, visando otimizar o destino de processamento de cada material, buscando consequentemente, o melhor resultado econômico (NPV), a partir de um limite final de lavra já definido e utilizando conceitos de Teor de Corte. Os dois cenários foram desenhados no software Deswik.Blend. O primeiro cenário (**Cenário_01**) respeita a restrição existente no processo atual (**Rota_01**) e o segundo (**Cenário_02**) busca uma rota de processo alternativa (**Rota_02**) para aumentar a produção e o aproveitamento de minério de baixo teor. A principal restrição no processo existente atualmente consiste no transporte de material, visto que há sobre capacidade nos equipamentos responsáveis pelas demais etapas do processo. A rota de processo atual possui capacidade máxima de 6,24 milhões de toneladas ao ano, restringidas pela capacidade de transporte. A ideia da rota alternativa consiste em levar material britado por meio de caminhões para os pátios de lixiviação, conseguindo assim uma capacidade extra de produção estimada em 1,113 milhão de toneladas por ano. Os resultados demonstraram um incremento de 7,7% no lucro operacional (EBITDA) e de cerca de 9% no NPV (resultado econômico descontado) do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Teor de Corte; Minério de Baixo Teor; Sequenciamento; NPV.

ABSTRACT

This work brings a comparison of two production mining models, aiming to optimize the destination of each material to seek the best economic result, starting from a defined final pit limit and using concepts of Cut of Grade. The two scenarios were designed using the Deswik.blend software. The first scenario (Cenário_01) was designed respecting the constraint existing in the current process (Rota_01) and the second (Cenario_02) seeking an alternative process route (Rota_02) to increase production using the low-grade ore material. The main restriction in the currently existing process (Rota_01) is the transport of material since there is overcapacity in the equipment responsible for the other stages of the process. The current process route (Rota_01) has a maximum capacity of 6.24 million tons per year, restricted by transport capacity. The idea of the alternative route (Route_02) is to take crushed material by truck to the leaching pads, thus achieving an estimated extra production capacity of 1.113 million tons per year. The results showed an increase of 7,7% in operating profit (EBITDA) and around 9% in the project's NPV.

KEYWORDS: Cut of Grade; Low Grade Ore; Mining Schedule; NPV.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO:.....	6
2	MATERIAL E MÉTODOS:.....	6
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES:.....	11
4	CONCLUSÕES:.....	20
5	REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO:

Em 1988 Lane escreveu a primeira versão dos seus estudos, destacando que a principal função de uma correta aplicação de uma política de Teor de Corte é a maximização do NPV (resultado econômico descontado) de um projeto. Lane também demonstrou a necessidade de que cada operação possui de ter uma estrutura de custos que possibilite o cálculo do Teor de Corte, visto que cada operação é única e deve ajustar o Teor de Corte à sua estrutura produtiva, gerando assim uma demanda cada vez maior por uma classificação de custo mais detalhada, como destacado nas definições de Whittle et all (2006). Os estudos de Rendu (2008) trouxeram mais clareza sobre a quantidade de valor que pode ser agregada a um projeto quando dimensionando corretamente o teor de corte. Labonte (2015) destacou a dificuldade de determinar o destino de cada material e a dificuldade em predeterminar uma equação que possa prever todas as condições temporais e físicas relacionadas a cada negócio, fazendo-se assim necessária uma abordagem muito mais robusta para a determinação do destino de cada tonelada existente em um depósito

Nos últimos anos com a melhoria das ferramentas utilizadas para o planejamento de mina, cada vez mais realiza-se estudos relacionados ao Teor de corte. O propósito deste trabalho é trazer uma comparação entre dois cenários de produção, no qual um deles apresenta uma alternativa de produção, com a adição de uma rota auxiliar de processamento. O material destinado a esta rota de processamento é originado a partir de análise de custos e de teor de corte, no qual definiu-se um teor de corte mais baixo, melhorando assim o aproveitamento da reserva.

2 MATERIAL E MÉTODOS:

A Figura 1 traz uma imagem simplificada de como funciona o processo de produção pela **Rota_01**, e o ponto de derivação de produção considerado para a **Rota_02**. O **Cenário_01** considerou somente a **Rota_01**, enquanto para o **Cenário_02** foi considerado um aumento de produção com a utilização adicional da **Rota_02**. Observando a Figura 1 pode-se ver uma indicação de uma derivação (*By Pass*) de produção após a “Britagem Primária_1” o que faz com que o **Cenário_02** possua um aumento de produção de 1,113 milhão por ano. Como já discutido, o **Cenário_02** somente é possível devido a capacidade sobressalente existente na

planta em relação às correias transportadoras. É importante destacar que as toneladas processadas pela **Rota_02** possui custos e recuperações diferentes aos 6,24 milhões de toneladas passadas pela **Rota_01**.

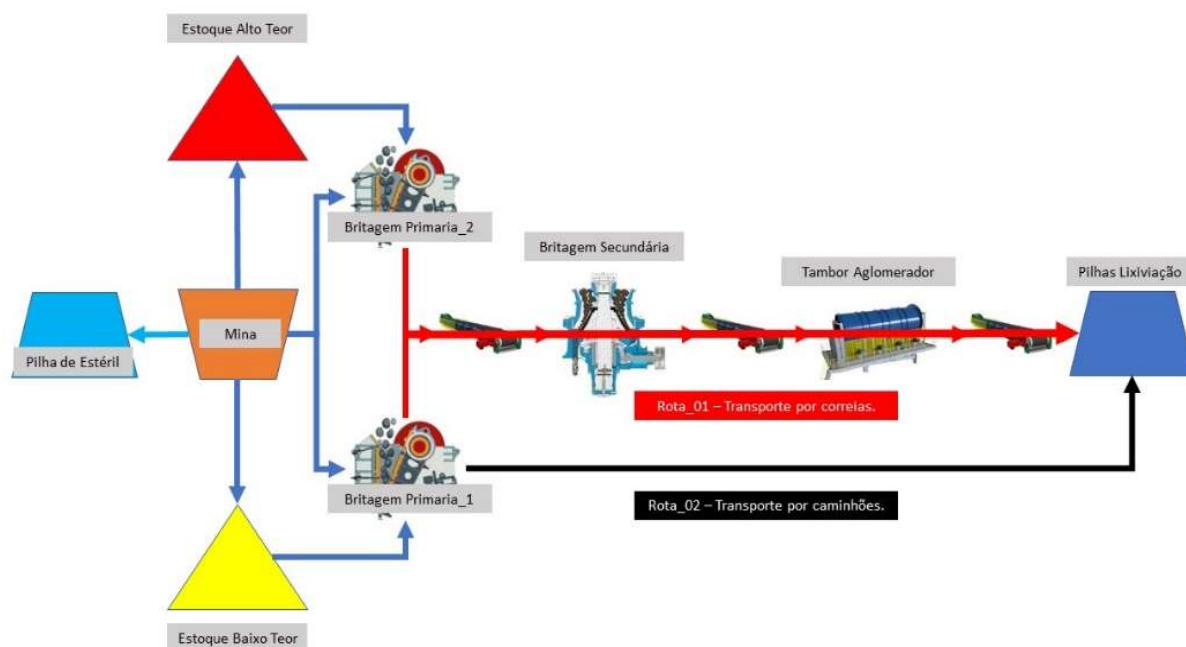


Figura 1 – Rotas de Processo Consideradas (Fonte: Própria)

Para a realização deste estudo utilizou-se um modelo de blocos que teve como base uma mina de ouro que opera por meio de processamento de minério através de lixiviação em pilhas. Além dos dados de modelo (tipo de material, recuperação e teor) também foram utilizados dados econômicos no sequenciamento. Faz-se necessário destacar que o modelo possui um campo de recuperação, o qual representa a recuperação esperada para o material existente no bloco, caso ele seja enviado para a **Rota_01** do processo.

A Tabela 1 indica os possíveis destinos para onde cada um dos tipos de materiais pode ser enviado, de acordo ao seu teor e aos teores de corte calculados a partir dos custos relacionados ao seu processo, demonstrados na Tabela 2. É possível notar que a **Rota_01** aceita os 2 tipos de material que “pagam” o seu processamento, enquanto para a Rota_02 somente destinar-se-á material Baixo Teor e Marginal. Kinross (2010, slide 33) e Rendu, (2008, p.28) discutiram as ideias CutOver, que diz que quando existem mais de uma rota de processo sempre deve-se calcular o retorno esperado em cada uma das rotas de processamento e enviar o material à rota que gera maior retorno. Rendu (2008) também introduz, a partir a ideia de custo de

oportunidade, ao calcular como o NPV se comporta ao mudar o destino de uma tonelada, a partir de um NPV já existente.

Tabela 1 – Possíveis Destinos de Cada Tipo de Material (Fonte: Própria)

Destino/Material	Alto Teor	Baixo Teor	Marginal	Esteril
Pilha de Estéril		X	X	X
Pilha de BT		X	X	
Pilha de AT	X	X		
Processamento via Rota_01	X	X		
Processamento via Rota_02		X	X	

Os dados de custos foram estudados de forma a gerar um relatório detalhado de custos em cada etapa do processo produtivo. Para a classificação de custos fixos e variáveis utilizou-se dos conceitos presentes em Whittle, et al. (2006, p.73) de que os custos fixos são aqueles que não deixam de existir em uma possível parada de produção. A separação dos custos sinalizou a oportunidade e o potencial do projeto, devido que os custos fixos chegam a quase 40% do custo total mensal da operação.

De acordo com testes de laboratório realizados, o material que irá passar pela **Rota_02** possui menor recuperação total. Os testes demonstraram valores em torno de 83% a 87% da recuperação esperada no processamento pela **Rota_01**, para fins do trabalho utilizou-se o valor médio de 85%. O valor de 85% indica que para um bloco que teria recuperação de 72,79% se enviado à **Rota_01**, caso ele seja enviado para a **Rota_02** ele irá reportar uma recuperação ao redor de 61,87% ($72,79\% * 85\%$).

Utilizando-se dos custos e recuperações para cada uma das rotas de processo, seguiu-se com o cálculo dos teores de corte. A Tabela 2 indica os custos incididos a partir do tipo e a rota de processamento em cada um dos tipos de material.

Para o cálculo do Alto Teor foram considerados todos os custos relacionados à operação, como os custos fixos e os custos de lavra, seguindo a ideia proposta por Lane (1997, p.27 – p.38) de que os custos fixos devem ser carregados sempre ao limitante de produção. Para o cálculo do material aqui chamado de Baixo Teor, que será enviado à **Rota_01**, partiu-se dos conceitos desenvolvidos para a classificação entre minério e estéril presentes nas discussões de Rendu (2008, p.19) sobre teor de corte mínimo, onde o teor de corte é calculado a partir da diferença entre o custo de lavrar uma tonelada como minério ou como estéril, mas os custos fixos são mantidos,

de acordo com as ideias de Lane (1997, p.27 – p.38), pois uma tonelada deste material retirará a oportunidade de colocar uma tonelada de Alto Teor. O material aqui chamado de Marginal tem como principal referencia o conceito de teor de corte de desenvolvimento proposto por Poxleitner (2018, slides 27-30) onde os custos fixos e os custos de mina são tratados como custos irrecuperáveis para uma tonelada localizada dentro de um limite de lavra preestabelecido, no caso de Poxleitner (2018, slides 27-30) uma rampa de desenvolvimento em uma mina subterrânea, para o nosso caso um design de cava já existente, sendo a lavra deste material inevitável, e que pode preencher um “espaço vazio” existente no processo. Como indica a Tabela 1, o material Marginal poderá ser enviado para o processamento via **Rota_02**, para a pilha de baixo teor ou para a pilha de estéril. O custo de remanejo está presente no cálculo do Baixo Teor e do Marginal devido à possibilidade de retomada destes materiais em algum momento, porém estes somente serão aplicados caso realmente haja o fluxo de material das pilhas até o processo, ou seja, caso o material seja enviado diretamente para o processo, o teor de corte operado para cada um dos materiais pode ser um pouco mais baixo. O custo de lavra para o material de baixo teor e o material marginal foi considerado como a diferença entre o custo de lavrar (somente custo de mina) uma tonelada de minério menos o custo de lavrar a mesma tonelada como estéril, visto que o custo do estéril é maior, este custo acaba-se por se tornar um bônus para este tipo de material. O Sustaining planta está relacionado ao espaço que uma tonelada “x” irá ocupar na pilha de lixiviação, tomando assim o espaço de uma outra tonelada “y”, por este motivo este custo está relacionado a todos os tipos de material.

Tabela 2 – Custos Relacionados aos Tipos de Materiais e Destinos (Fonte: Própria)

Custos	Unidade	Alto Teor	Baixo Teor		Marginal
			Rota_01	Rota_02	
G&A (Fixo)	k U\$/Ano	41,687	41,687	-	-
Sustaining Planta	U\$/t Mill	0.750	0.750	0.750	0.750
Custo de Mina	U\$/t Ore	2.248	(0,365)	(0,365)	(0,365)
Custo de Planta	U\$/t Mill	3.739	3.739	5.657	5.657
Remanejo	U\$/t Mill	-	0.800	0.800	0.800
Royalty	U\$/Oz	81.00	81.00	81.00	81.00
Custo de Venda	U\$/Oz	10.575	10.575	10.575	10.575
Preço de Venda	U\$/Oz	1,800	1,800	1,800	1,800

Refinaria	U\$/Oz	54.886	54.886	54.886	54.886
Recuperação	% do Modelo	100%	100%	85%	85%
Cut Off Grade	g/t (Au_OP)	0.252	0.218	0.151	0.151

Ainda de acordo à Tabela 2 o Cut Off Grade (g/t Au_OP) faz alusão a um teor de corte calculado em base ao ouro recuperável dentro do bloco, ou seja, caso a recuperação do bloco seja de 72% e que o teor seja de 0,32 g/t, este bloco terá um teor recuperável de 0,23 g/t, sendo assim classificado como Baixo Teor, caso este mesmo bloco fosse enviado à Rota_2, este teria um teor recuperável de 0,196 g/t aproximadamente.

As Equação 1 mostram como foram calculados os teores de corte de cada material de acordo ao seu destino e aos custos demonstrados na Tabela 2.

Equação 1 - Teor de Corte: Alto Teor

$$\frac{\left(\frac{G\&A}{\text{Capacidade Atual da Planta (Rota}_{01})} \right) + \text{Sustaining} + C. \text{ Mina} + C. \text{ Planta}}{(\text{Preço de Venda} - \text{Royalty} - \text{Custo de Venda} - \text{Refinaria}) * \% \text{ do Modelo}}$$

Equação 2 - Teor de Corte: Baixo Teor Rota_01

$$\frac{\left(\frac{G\&A}{\text{Capacidade Atual da Planta (Rota}_{01})} \right) + \text{Sustaining} + C. \text{ Mina} + C. \text{ Planta} + \text{Remanejo}}{(\text{Preço de Venda} - \text{Royalty} - \text{Custo de Venda} - \text{Refinaria}) * \% \text{ do Modelo}}$$

Equação 3 - Baixo Teor Rota_02

$$\frac{\text{Sustaining} + \text{Custo de Mina} + \text{Custo de Planta} + \text{Remanejo}}{(\text{Preço de Venda} - \text{Royalty} - \text{Custo de Venda} - \text{Refinaria}) * \% \text{ do Modelo}}$$

Equação 4 - Marginal - Rota_02

$$\frac{\text{Sustaining} + \text{Custo de Mina} + \text{Custo de Planta} + \text{Remanejo}}{(\text{Preço de Venda} - \text{Royalty} - \text{Custo de Venda} - \text{Refinaria}) * \% \text{ do Modelo}}$$

Para a realização do sequenciamento foi utilizado o Deswik.Blend. Durante a formulação do sequenciamento ingressou-se o custo fixo para cada período, ou seja, o custo fixo não está relacionado à tonelagem, e sim ao período, tornando assim a decisão de destino relacionada diretamente aos custos variáveis. Cada tonelada foi valorada através dos custos relacionados indicados na Tabela 2 e o respectivo destino. O destino de cada tonelada foi dado pelo software Deswik.Blend, de acordo com a disponibilidade de material na data solicitada e a disponibilidade na planta para receber o material, buscando maximizar o retorno o NPV através da otimização do destino de cada tonelada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES:

A Tabela 3 e a Tabela 4 demonstram os principais indicadores de produção e de custos do **Cenário_01** e do **Cenário_02** respectivamente. É possível perceber que no **Cenário_02** lavra-se mais material como minério, ou seja, mais material é enviado ao processo. O **Cenário_02** possui um custo inicial, considerado no período “zero” de 300 mil USD para o investimento que viabiliza a **Rota_02**, investimento necessário para a construção do *By Pass* e melhorais nas rotas de transporte já existentes, este custo está evidenciado no *Sustaining Cost*, como mostra a Tabela 4.

A Tabela 4 agrega os indicadores de produção e de custo da **Rota_02** de processo, mostrando assim que o custo direto de processamento do material que passa por esta rota corresponde a 3,23% do custo total do **Cenário_02**, somando-se a este custo o investimento inicial de 300 mil dólares, o “custo” do material processado pela **Rota_02** seria de 3,27% do custo total do **Cenário_02**. Nota-se também que os custos totais apresentam uma subida no **Cenário_02** em relação ao **Cenário_01**, isso ocorre devido a estes custos estarem ligados à produção unitária, logo, à medida que a produção sobe, estes custos também sobem.

A Figura 2 traz a alimentação da planta (barras ligadas ao eixo vertical esquerdo), teor médio (linha azul relacionada ao eixo vertical secundário) e recuperação média (linha marrom relacionada ao eixo vertical secundário) da planta, dos 2 cenários. Comparando o **Cenário_01** ao **Cenário_02** é possível ver que existe uma queda no teor médio e na recuperação média do **Cenário_02**, isto ocorre devido à queda de recuperação esperada na **Rota_02** e devido ao ingresso do material de teor mais baixo que foi enviado para a pilha de estéril no **Cenário_01**.

Tabela 3 – Cenário_01 (Fonte Própria)

Ano	Total	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Mov. Mina (t*1000)	69,663	12,000	12,012	12,004	12,000	12,005	9,642	-	-	-
Minério (t*1000)	48,671	7,641	7,213	7,704	9,682	9,245	7,185	-	-	-
Minério Au (g/t)	0.475	0.609	0.487	0.427	0.420	0.477	0.443	-	-	-
REM (Ton/Ton)	0.43	0.57	0.67	0.56	0.24	0.28	0.34	-	-	-
Estéril (t*1000)	20,798	4,359	4,799	4,300	2,318	2,598	2,424	-	-	-
Produção Planta										
Rota_01 (t*1000)	49,090	6,240	6,240	6,240	6,240	6,240	6,240	6,240	6,240	5,410
Rota_01 Au (g/t)	0.488	0.691	0.533	0.468	0.524	0.602	0.433	0.329	0.293	0.293
Rota_01 Rec (%)	68.0%	65.6%	64.3%	72.0%	71.1%	68.3%	67.6%	67.2%	67.6%	67.6%
Produção Total (Oz)	522,213	90,958	68,782	67,594	74,816	82,447	58,739	44,428	34,449	34,449
Custos										
Fixo (USD*1000)	279,304	41,687	41,687	41,687	41,687	41,687	41,687	20,844	8,337	8,337
Rota_01 (USD*1000)	183,689	23,349	23,349	23,349	23,349	23,349	23,349	23,349	23,349	20,244
Mina (USD*1000)	156,269	28,478	27,550	26,299	26,612	26,330	21,001	-	-	-
Royalty (USD*1000)	42,299	7,368	5,571	5,475	6,060	6,678	4,758	3,599	2,790	2,790
Sustaining (USD*1000)	36,817	4,680	4,680	4,680	4,680	4,680	4,680	4,680	4,680	4,058
Refino (USD*1000)	28,662	4,992	3,775	3,710	4,106	4,525	3,224	2,438	1,891	1,891
Remanejo (USD*1000)	17,975	280	1,217	1,904	1,321	1,196	2,858	4,872	4,328	4,328
Venda (USD*1000)	5,522	962	727	715	791	872	621	470	364	364

Dados Económicos										
Receita (USD*1000)	939,983	163,725	123,808	121,669	134,668	148,404	105,731	79,970	62,009	
Custo (USD*1000)	750,538	111,796	108,557	107,819	108,607	109,317	102,179	60,252	42,012	
Custo (USD/Oz)	1,437	1,229	1,577	1,595	1,452	1,326	1,739	1,355	1,219	
EBITDA	189,604	51,929	15,252	13,849	26,062	39,087	3,552	19,718	19,997	
NPV (US\$)	157,518	49,456	13,834	11,964	21,441	30,626	2,651	14,013	13,535	

Tabela 4 – Cenário_02 (Fonte Própria)

Ano	Total	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Mov. Total Mina (t*1000)	69,663		12,010	12,020	12,026	12,024	12,002	9,581	-	-
Minério (t*1000)	53,002		8,000	7,805	8,704	10,926	10,253	7,314	-	-
Minério Au (g/t)	0.469		0.575	0.487	0.427	0.420	0.477	0.443	-	-
REM (Ton/Ton)	0.31		0.50	0.54	0.38	0.10	0.17	0.31	-	-
Estéril (t*1000)	16,661		4,011	4,215	3,322	1,098	1,749	2,266	-	-
Produção Planta										
Rota_01 (t*1000)	45,632		6,240	6,240	6,240	6,240	6,240	6,240	6,240	1,952
Rota_01 Au (g/t)	0.503		0.671	0.552	0.499	0.498	0.595	0.441	0.330	0.289
Rota_01 Rec (%)	67.6%		66.0%	63.6%	70.6%	71.9%	70.1%	65.6%	65.6%	66.2%
Rota_02 (t*1000)	7,790		1,113	1,113	1,113	1,113	1,113	1,113	1,113	-
Rota_02 Au (g/t)	0.263		0.279	0.232	0.215	0.247	0.308	0.272	0.289	-
Rota_02 Rec (%)	58.3%		54.7%	56.6%	60.7%	59.6%	61.0%	59.4%	56.3%	0.0%
Produção Total (Oz)	537,276		94,389	75,058	75,282	77,090	90,331	63,833	49,280	12,013
Produção Rota_01 (Oz)	498,869		88,935	70,366	70,617	71,827	83,602	58,050	43,460	12,013
Produção Rota_02 (Oz)	38,407		5,455	4,693	4,665	5,263	6,728	5,783	5,820	-

Custos										
Fixo (USD*1000)	275,136		41,687	41,687	41,687	41,687	41,687	41,687	20,844	4,169
Rota_01 (USD*1000)	170,751		23,349	23,349	23,349	23,349	23,349	23,349	23,349	7,306
Mina (USD*1000)	156,532		28,452	27,709	26,353	26,496	26,472	21,050	-	-
Royalty (USD*1000)	43,519		7,646	6,080	6,098	6,244	7,317	5,170	3,992	973
Sustaining (USD*1000)	40,367	300	5,515	5,515	5,515	5,515	5,515	5,515	5,515	1,464
Refino (USD*1000)	29,489		5,181	4,120	4,132	4,231	4,958	3,504	2,705	659
Rota_02 (USD*1000)	24,669		3,524	3,524	3,524	3,524	3,524	3,524	3,524	-
Remanejo (USD*1000)	17,133		280	734	1,215	1,917	1,764	3,899	5,762	1,562
Venda (USD*1000)	5,682		998	794	796	815	955	675	521	127
Dados Econômicos										
Receita (USD*1000)	967,097		169,900	135,105	135,507	138,761	162,595	114,900	88,704	21,624
Custo (USD*1000)	762,976		116,632	113,511	112,669	113,779	115,541	108,374	66,211	16,260
Custo (USD/Oz)	1,420		1,236	1,511	1,496	1,476	1,279	1,697	1,342	1,353
EBITDA	204,293		53,269	21,594	22,838	24,982	47,055	6,526	22,493	5,364
NPV (US\$)	171,792	- 300	50,732	19,586	19,728	20,553	36,869	4,870	15,985	3,630

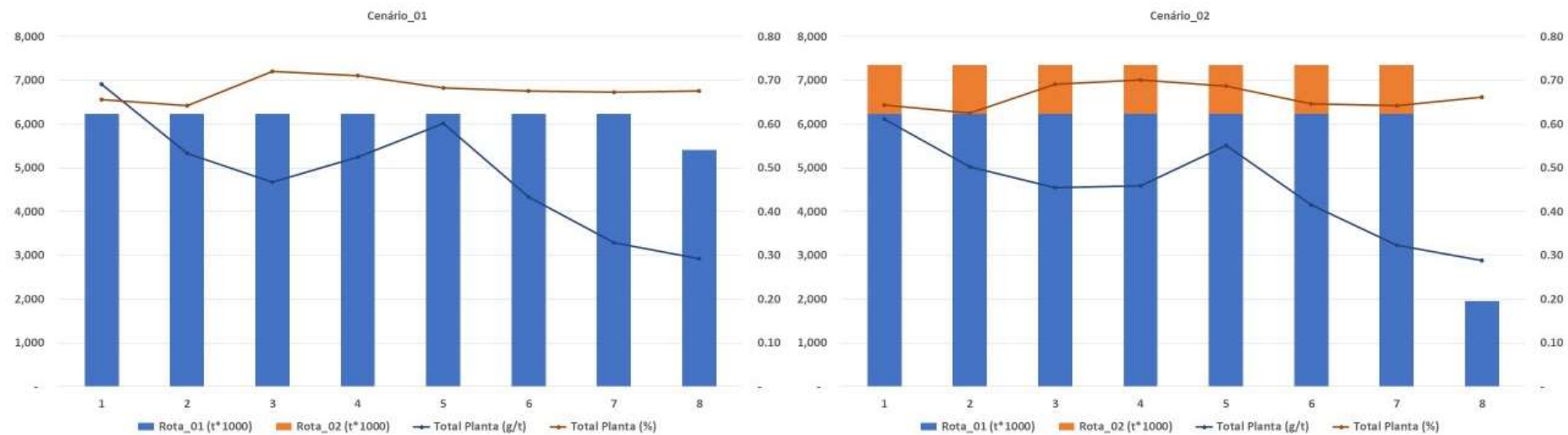


Figura 2 – Alimentação da Planta (Fonte: Própria)

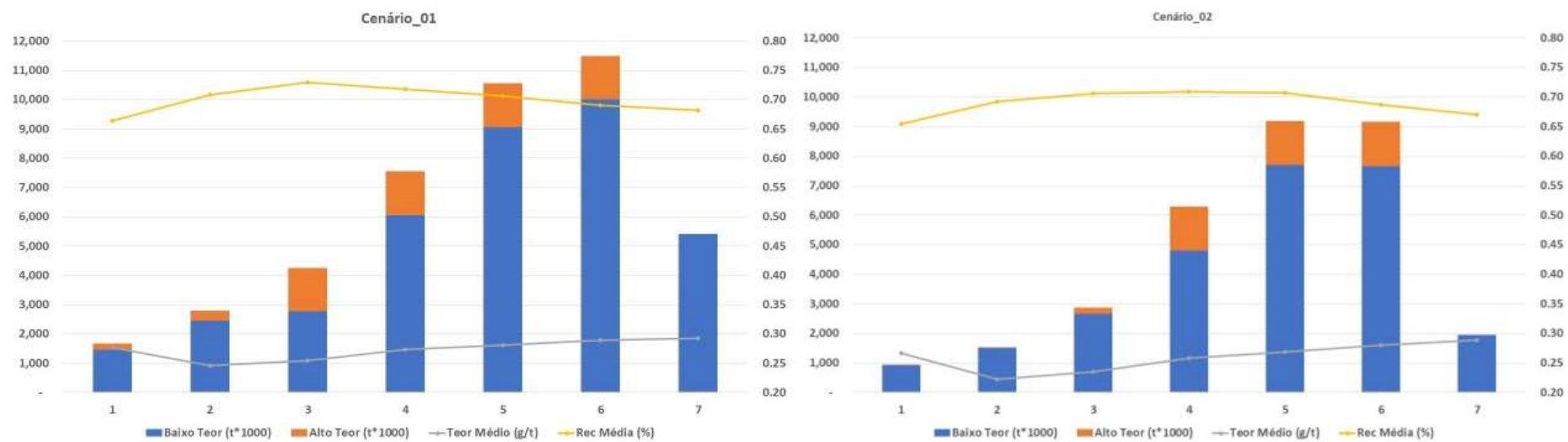


Figura 3 – Estoque Final por Período (Fonte: Própria)

A Figura 3 apresenta os dados finais dos estoques em cada período, teor, massa e recuperação. É possível perceber que no **Cenário_01** se estoca uma maior quantidade de material, principalmente na pilha de Baixo Teor, Baixo Teor este que será enviado à planta no final da vida útil da mina. No **Cenário_02** o nível do estoque de Baixo Teor se mantém menor durante toda a vida da mina já que este material ingressa na planta pela **Rota_02** de processo.

A Figura 4 mostra o detalhe dos custos separados por tipo, onde se destacam os custos fixos e os custos variáveis. No **Cenário_01** os custos fixos giram em torno de 37,2% do custo total de produção, enquanto no **Cenário_02** este percentual cai para cerca de 36,1%, devido ao ganho na escala de produção e a antecipação de parte do descomissionamento. Os anos 7 e 8 são caracterizados, nos dois cenários, pelo fim da operação de mina e retomada do material estocado. O ano 7 apresenta somente metade do custo fixo nos dois casos. No ano 8 considera-se apenas 10% do custo fixo dos anos anteriores para o **Cenário_02** e 20% para o **Cenário_01**, que possui maior alimentação no ano 8.

A Figura 4 também mostra a variação do custo total por onças produzidas, onde pode-se perceber que não há grande diferença no custo por onça entre **Cenário_02** e **Cenário_01**. Sendo o custo de produção do **Cenário_01** de 1.437 USD/Oz e o do **Cenário_02** de 1.420 USD/Oz.

Observando a Figura 4 e a Figura 5 percebe-se que o **Cenário_02** traz um ganho financeiro, relacionado ao aproveitamento do material marginal, produzindo cerca de 15 mil onças a mais que o **Cenário_01**. O melhor NPV do **Cenário_02** possui forte influência da antecipação de produção e a sua relação direta à taxa de desconto de 5% aplicada (taxa fixada como padrão na indústria e usada aqui no projeto para meio de comparação entre dos dois cenários). Analisando os resultados operacionais (EBITDA) e o NPV de cada um dos cenários, pode-se ver que o **Cenário_02** apresentado na Tabela 4 possui uma melhora de cerca de 7,7% no EBITDA e de cerca de 9% no NPV do projeto.

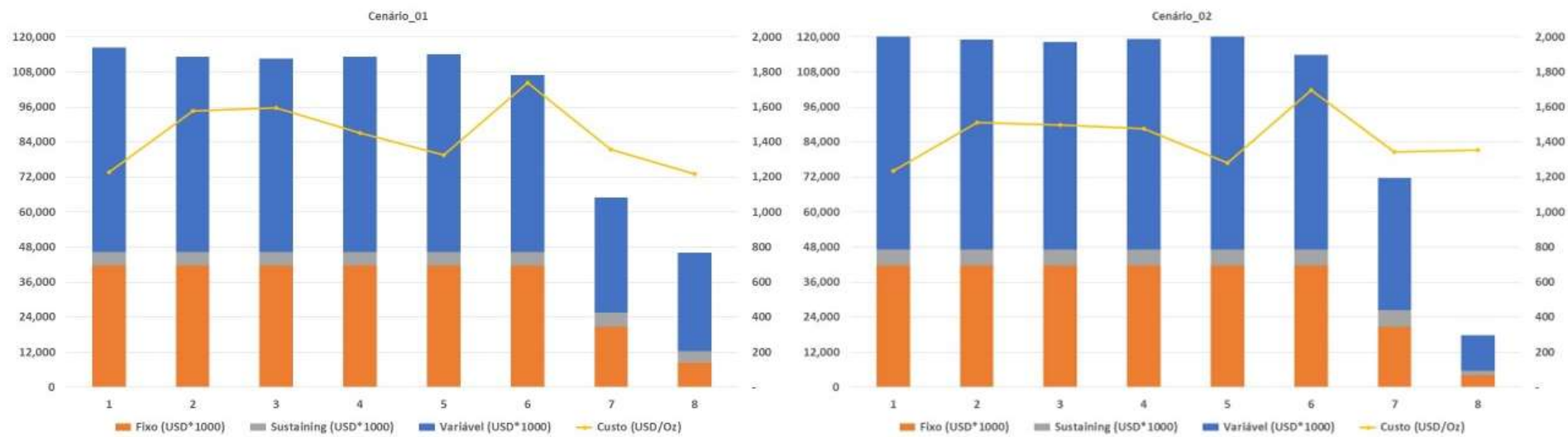


Figura 4 – Gráfico de Custos por Tipo (Fonte: Própria)

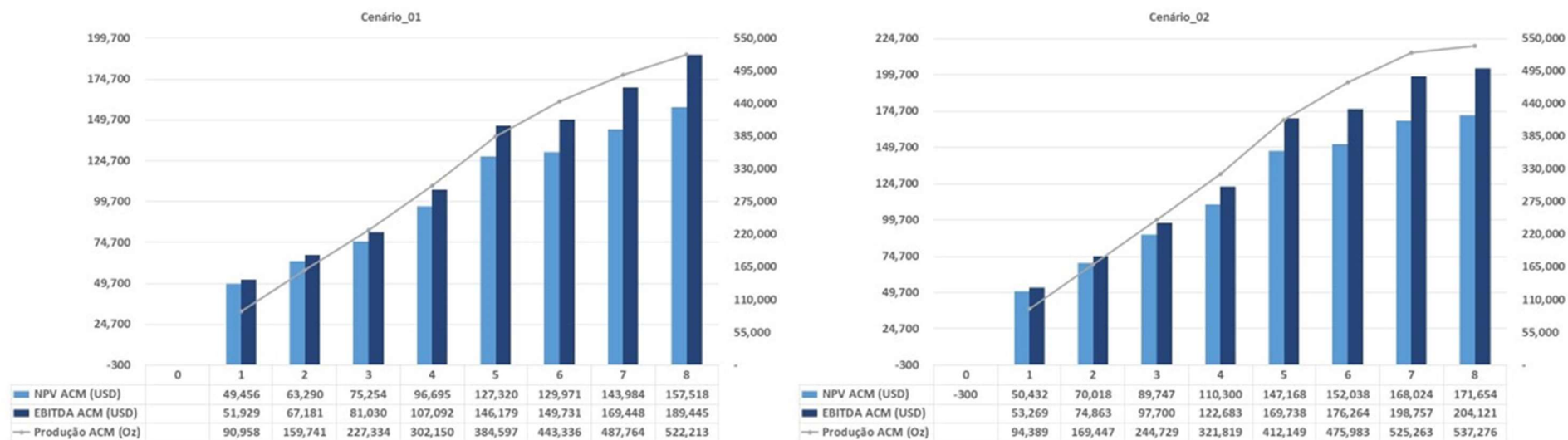


Figura 5 – Produções e Retornos (Fonte: Própria)

4 CONCLUSÕES:

A escolha de um ótimo COG deve-se observar os custos, a disponibilidade de material, definindo assim um teor de corte ótimo para a operação, juntando os conceitos de teor de corte limite e de balanceamento de teor de corte.

A percepção e definição do tipo de custo possibilitou a busca por soluções que pudessem aportar valor econômico ao projeto. Relacionar os custos fixos ao tempo agrega à análise um custo de oportunidade relacionado à **Rota_01** em detrimento da **Rota_02**, já que enviar material de baixo teor à Rota_01 acaba por gerar receita negativa, tornando assim, necessário o envio dos melhores teores a **Rota_01**, sendo que ela traz a melhor rentabilidade, fazendo com que seja buscado um teor mínimo em cada período. Observando os dois últimos anos de produção, pode-se verificar o impacto dos custos fixos sobre o resultado financeiro do projeto, bem como a diminuição do teor mínimo da operação, pois nota-se que mesmo processando teores mais baixos (durante a retomada do estoque) nos dois últimos anos ainda é possível chegar a um resultado econômico positivo nestes anos.

Enviar material abaixo do *Teor de Corte* para o processo pode ser vantajoso (dependendo de condições de recuperação, capacidade de processamento na planta e/ou diluir custos já existentes). Observa-se que o **Cenário_2** trouxe melhor resultado econômico ao concentrar-se no aproveitamento de um material que foi desperdiçado no **Cenário_01**. Ao fim concluiu-se que o **Cenário_02** é uma opção de melhoria do valor econômico do projeto e alocação de destino para os materiais, tendo em vista a melhora no resultado operacional (EBITDA) e no resultado do NPV projeto, sem a necessidade de um aporte significativo de investimento inicial.

5 REFERÊNCIAS

- Kinross Technical Training Program. (17 de Agosto de 2010). Cut-Off Grade: Definitions, Theory, Estimation, Practice. KINROSS.
- Labonte, M. (23 de Junho de 2015). How much value is your cut-off grade devouring? *Mine Planning Articles*. Minemax.
- Lane, K. F. (1997). *The Economic Definition of Ore: Cut Off Grades in Theory and Practice, 3th Edition*. London: Mining Journal Books.
- Poxleitner, G. (2018). COG Optimization - Presentation. *CIM 2018 Convention*. Vancouver, British Columbia, Canadá: SRK Consulting.
- Rendu, J.-M. (2008). *An Introduction to Cut-Off Grade Estimation*. Englewood: SME-Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
- Whittle, D., Whittle, J., Wharton, C., Hall, G., & McRostie, D. (2006). *Whittle Strategic Mine Planning Course Notes, 8th Edition*. Gemcom Software International Inc.