

**CECÍLIA BEATRIZ INFANTE**

**ESTUDO DE CASO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE  
IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE BRITAGEM *IN PIT* SEMI MÓVEL**

**SÃO PAULO**

**2016**

**CECÍLIA BEATRIZ INFANTE**

**ESTUDO DE CASO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE  
IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE BRITAGEM *IN PIT* SEMI MÓVEL**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Homero Delboni Jr.

**SÃO PAULO**

**2016**

TF-2016

In3e

Sifuno 2798625

H 2016a

**DEDALUS - Acervo - EPMI**



31700010028

Catálogo-na-publicação

INFANTE, CECÍLIA BEATRIZ

ESTUDO DE CASO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE BRITAGEM IN PIT SEMI-MÓVEL / C. B. INFANTE -- São Paulo, 2016.

43 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.BRITAGEM (AVALIAÇÃO) 2.ESTUDO DE CASO (ALTO HORIZONTE(GO)) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

TF-2016

In3e

Sifeno 2798625

H 2016a

**DEDALUS - Acervo - EPMI**



31700010028

Catálogo-na-publicação

INFANTE, CECÍLIA BEATRIZ

ESTUDO DE CASO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE BRITAGEM IN PIT SEMI-MÓVEL / C. B. INFANTE -- São Paulo, 2016.

43 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.BRITAGEM (AVALIAÇÃO) 2.ESTUDO DE CASO (ALTO HORIZONTE(GO)) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

## DEDICATÓRIA

*A mi abuelo Luis Serrani (in memoriam)*

*por su compañía mental en esta  
jornada y en las que están por venir.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade de São Paulo e ao Estado de São Paulo pela educação superior de qualidade, pública e gratuita.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Homero Delboni Júnior pela excelente orientação nestes meses e vasto conhecimento oferecido nas disciplinas ministradas ao longo da faculdade.

Agradeço aos engenheiros Luiz Eduardo Pignatari e Edson Rodrigues pelo material fornecido, sugestões e grande ajuda na elaboração deste trabalho. Todas as conversas e reuniões foram fundamentais para a sua realização.

Agradeço ao engenheiro Rodrigo Nunes pelo material disponibilizado, diálogo e incentivo quanto ao tema escolhido.

Agradeço também à empresa *Yamana Gold Inc.*, por permitir o acesso aos dados necessários para este trabalho.

Gostaria, ademais, de agradecer à empresa *Thyssenkrupp*, pelo material enviado, de grande valia.

E, *last but not least*, agradeço à minha família por seu apoio incondicional, pela transmissão de valores como a importância da educação e pelo constante encorajamento ao enfrentar desafios, e a meu namorado pela alegre e frutífera troca de idéias ao longo deste trabalho, parceria e amor.

## RESUMO

A importância para os empreendimentos mineiros em manter a competitividade em uma conjuntura cada vez mais complexa do mercado mundial de minérios torna alternativas de redução de custos operacionais cada vez mais necessárias. Assim, dadas estas condições, os sistemas de britagem *in pit* trazem bons resultados, não somente sob uma ótica econômica, mas também social e ambiental. Neste contexto, o presente trabalho discute um estudo de caso de avaliação preliminar de implantação de sistema de britagem *in pit* semi-móvel, relativo à uma mina brasileira. Analisando aspectos operacionais e econômicos, apresenta os parâmetros mais relevantes para tal finalidade, bem como os possíveis passos a serem desenvolvidos, apresentado assim, um método que pode servir de apoio para aplicações futuras.

Palavras-chave: britagem *in pit*; implantação de britagem; britador semi-móvel.

## ABSTRACT

The importance for mining operations to maintain competitiveness in a global mineral market of rising complexity is making alternatives that propose operational costs reduction increasingly necessary. In this context, in pit crushing systems are showing good results, not only regarding economic aspects, but also social and environmental. Therefore, this work aims to discuss a case study of a preliminar assessment of a semi-mobile in pit crushing system implementation, relative to a brazilian mine. Through operational and economic aspects analysis, it presents the most relevant parameters to such scope, as well as the development steps to be undertaken, thus presenting a method that may support future operation assessments.

Key-words: in pit crushing; crushing implementation; semi-mobile crusher.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Composição dos custos da lavra convencional à céu aberto com transporte realizado por caminhões. ....	14
Figura 2. Britador <i>in pit</i> fixo.....	17
Figura 3. Britador <i>in pit</i> semi-móvel na mina de cobre-ouro Grasberg operada pela empresa P.T. Freeport Indonesia.....	19
Figura 4. Transporte do britador semi-móvel da mina Grasberg por um <i>transport crawler</i> .....	19
Figura 5. Britador <i>in pit</i> móvel da mina a céu aberto N4E de Carajás da empresa VALE. ....	20
Figura 6. Modalidade de locação do britador <i>in pit</i> semi-móvel na parede da cava. 25	
Figura 7. Modalidade de locação do britador <i>in pit</i> semi-móvel, abaixo da rampa principal e com rampa temporária. ....	26
Figura 8. Modalidade de locação do britador <i>in pit</i> semi-móvel, abaixo da rampa principal sem rampa temporária. ....	26
Figura 9. Visão geral das posições possíveis para o britador na cava – Mina de Chapada.....	28
Figura 10. Posição ótima para britagem na cava –Mina de Chapada.....	29
Figura 11. Subdivisão em áreas para planos de lavra do ano 1 – Mina de Chapada. ....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Visão geral sobre os estágios de britagem e correspondentes relações de redução. ....	12
Tabela 2. Comparação geral entre diferentes tipos de britagem <i>in pit</i> em IPCC e britagem fixa “convencional” em termos de produção, custos e operação.....	21
Tabela 3. Distâncias de transporte e trabalho para diversas posições da britagem na cava – Mina de Chapada.....	29
Tabela 4. Estimativas de produção, tempo e consumo de diesel para modelo CAT 785c pelo programa FPC Caterpillar para o ano 1 – Mina de Chapada.....	31
<b>Tabela 5.</b> Dimensionamento da frota de caminhões para britagem na cava – Mina de Chapada.....	33
Tabela 6. Estimativas de custos de investimento – Mina de Chapada.....	34
Tabela 7. Estimativas de custos operacionais - Mina de Chapada. ....	36
Tabela 8. Fluxo de caixa – Mina de Chapada. ....	38
Tabela 9. Fluxo de caixa para comprimento de correia de 1000m. ....	39
Tabela 10. Fluxo de caixa para comprimento de correia de 1100m. ....	39
Tabela 11. Fluxo de caixa para comprimento de correia de 1200m. ....	39
Tabela 12. Diferentes comprimentos da correia e respectivo VPL.....	40

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
1.1 OBJETIVO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. VISÃO GERAL SOBRE A OPERAÇÃO DE BRITAGEM.....	11
2.2. BREVE HISTÓRICO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA BRITAGEM <i>IN PIT</i> .....	12
2.3. DESCRIÇÃO E COMPARAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE BRITAGEM <i>IN PIT</i> 16	
3. DESENVOLVIMENTO – ESTUDO DE CASO.....	22
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	22
3.2. PRINCIPAIS PARÂMETROS .....	23
3.3. FLUXO DE CAIXA E ANÁLISE ECONÔMICA .....	37
4. CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42

## 1. INTRODUÇÃO

Na maioria dos empreendimentos mineiros, as operações de lavra consistem em perfuração, desmonte, carregamento e transporte. Normalmente nestas operações o material é transportado por caminhões fora-de-estrada até o britador primário, fixo e próximo à usina de beneficiamento mineral, onde ocorrerão as demais etapas para a obtenção do produto final.

Normalmente mais da metade dos custos operacionais na lavra convencional com caminhões referem-se ao transporte e este também comporta uma série de custos de investimento adicionais, como equipamentos para manutenção de acessos: motoniveladoras, caminhões pipa, entre outros. Assim, os crescentes custos operacionais e um mercado mundial de minérios com preços instáveis têm aumentado a procura por parte das indústrias minerais por soluções para manter sua competitividade.

Desta forma, os sistemas de britagem *in pit* têm se tornado uma alternativa cada vez mais estudada para reduzir custos operacionais, com a diminuição ou até mesmo eliminação da frota de caminhões e da distância média de transporte. Aliada a esta redução de custos, a diminuição da frota de caminhões atende à crescente demanda da sociedade por operações mineiras que gerem menos impactos ambientais, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub>. Ademais, considerando que uma parte significativa dos acidentes em mineração estão relacionados aos caminhões, os sistemas de britagem *in pit* também podem auxiliar aumentando a segurança nas operações.

Neste contexto, os sistemas de britagem *in pit* estão ganhando espaço no mercado e muitos empreendimentos mineiros já consideram sua implantação, necessitando determinar sua viabilidade.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar e discutir uma aplicação (estudo de caso) de avaliação preliminar de implantação de sistema de britagem *in pit* semi-móvel em uma mina brasileira (Mina de Chapada), focando na metodologia a ser utilizada e posterior realização de análise econômica relativa a um caso base.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. VISÃO GERAL SOBRE A OPERAÇÃO DE BRITAGEM

Segundo Kelly e Spottiswood (1982), a cominuição, redução de tamanho de partículas minerais, constitui uma importante etapa no processamento mineral e é utilizada com os seguintes escopos: produzir partículas do tamanho e forma requeridos, liberar minerais úteis da ganga para sua concentração e aumentar a área superficial disponível para reações químicas.

De acordo com Chaves e Peres (2009), a britagem consiste em uma das importantes operações de cominuição e os fragmentos grosseiros são submetidos a forças de compressão ou de impacto.

A fim de obter-se o material na granulometria desejada para produto final ou para alimentação das demais fases do processo, na maioria das vezes são necessários diversos estágios de britagem, a saber: britagem primária, secundária, terciária e até quaternária. Nestes estágios podem ser utilizados diferentes britadores, que podem operar com diferentes mecanismos. A tabela 1 apresenta os estágios de britagem e as relações de redução correspondentes.

**Tabela 1.** Visão geral sobre os estágios de britagem e correspondentes relações de redução.

Estágio	Relação de redução
Britagem primária	8:1
Britagem secundária	6 a 8:1
Britagem terciária	4 a 6:1
Britagem quaternária	Até 20

Fonte: Adaptado pelo autor, de Chaves e Peres (2009).

Segundo Chaves e Peres (2009), o mecanismo de operação das principais famílias de britadores pode ser explicado da seguinte maneira: nos britadores de mandíbulas a energia é aplicada às partículas por compressão das mandíbulas; nos britadores pertencentes à família dos giratórios, por compressão entre manto e cone, obtendo-se a fratura ao longo do plano principal de cisalhamento e nos britadores de impacto, a energia cinética do impactor é aplicada à partícula, provocando a fratura.

Há uma série de fatores que estão associados à seleção do britador a ser utilizado e o circuito de britagem a ser selecionado. Segundo Frizzell e Martin (1992), os elementos mais relevantes são:

- 1) vazão de processamento mineral;
- 2) *top size* e a distribuição da granulometria da alimentação;
- 3) granulometria do produto desejado;
- 4) método de alimentação dos britadores;
- 5) características do minério (*work index*, densidade *bulk*, abrasividade, força de compressão, quantidade de argila contida).

## **2.2. BREVE HISTÓRICO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA BRITAGEM *IN PIT***

A britagem *in pit*, como seu nome em inglês sugere, refere-se à planta de britagem primária localizada dentro da cava. Este conceito opõe-se às plantas de britagem fixas “convencionais”, que, segundo Obberauner e Turnbull (2013), são projetadas para operar em um só lugar, fora da cava, baseando-se na topografia típica e no espaço físico da área e localizadas próximas à usina de tratamento

mineral. A britagem *in pit* tem como grande diferencial a possibilidade de otimização do transporte do material lavrado até às demais operações da usina.

É importante destacar que esta modalidade de britagem tem sido utilizada cada vez mais em operações mineiras, principalmente pela possibilidade de aplicação do método *in pit crushing and conveying* (IPCC). O IPCC diz respeito à utilização de britagem *in pit*, adotando transportadores de correia (*conveyors*) para transportar o material primariamente britado à usina. Segundo Obberauner e Turnbull (2013), a utilização do IPCC permite a substituição parcial ou até mesmo total do transporte por caminhões na mina.

Conforme Boyd e Utley (2002), o primeiro britador "móvel" ou auto propelido foi instalado em 1954 em uma pedreira de calcário em Hover, na Alemanha. Contudo, somente em 1970 em minas de bauxita da Alcoa na Austrália Ocidental teve de fato início a utilização de britagem *in pit* e ao final da década de 70 os primeiros britadores giratórios completamente móveis foram instalados em minas sul- africanas a céu aberto, em Palabora e Grootgluk.

De acordo com Boyd e Utley (2002), três episódios no começo da década de 1980 foram determinantes para a aceitação mundial das britagens *in pit*, combinando necessidade, visibilidade e credibilidade:

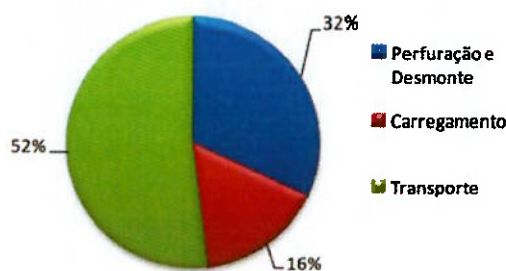
1) a crise do petróleo de 1979 acenou às mineradoras que o transporte convencional por caminhões não deveria ser necessariamente mantido no futuro. Como aproximadamente 50% dos custos operacionais com o transporte por caminhões estão relacionados ao consumo de combustível, lubrificantes e pneus, esses custos são direta ou indiretamente dependentes do custo e da disponibilidade de petróleo. Aos finais da década de 1970 e começo da década de 1980 o preço do barril de petróleo e de seus derivados era imprevisível, devido às políticas de precificação dos cartéis e a sua volatilidade no mercado mundial.

2) A *Duval Corporation*, subsidiária de mineração da então empresa americana *Pennzoil*, instalou no Arizona em sua mina a céu aberto de cobre e molibdênio (mina de "Sierrita") um sistema de britagem móvel, com alimentação indireta e transportador de correia.

3) Em 1980, o *United States Bureau of Mines* apresentou o tratado "Movable Crusher Systems – Concepts and Application" no *American Institute of Mining Engineering In Pit Crushing and Conveying Symposium* em Salt Lake City, no estado de Utah.

Assim, hoje em dia, com os custos operacionais elevados e com a necessidade de reduzi-los para manter a competitividade no setor, diferentes sistemas são levados em consideração. A componente de custos na lavra relativa ao transporte realizado por caminhões corresponde à aproximadamente 50%, como evidenciado na figura 1.

**Figura 1.** Composição dos custos da lavra convencional à céu aberto com transporte realizado por caminhões.



Fonte: Trueman *apud* Lopes (2010)

Uma forma encontrada para reduzir tal componente foi diminuir a distância média de transporte (DMT) da frente de lavra à britagem. Essa necessidade levou à popularização dos sistemas de IPCC e, portanto, das britagens *in pit*.

Baseando-se nesta utilização de britadores *in pit*, unida à operação de transportadores de correias, pode-se dizer, conforme Boyd e Utley (2002), que o sistema IPCC apresenta os seguintes aspectos positivos:

- redução significativa de custos operacionais relativos ao transporte, uma vez que a alocação do britador na cava os reduz significativamente ao diminuir a distância média de transporte desde as carregadeiras até a planta de britagem e, portanto, o consumo de combustível, lubrificantes e pneus;
- redução de custos operacionais associados à mão-de-obra. Ainda que certos sistemas *in pit* usem transporte por caminhões, a distância

média de transporte é reduzida e, portanto, o número de caminhões também. Assim, tem-se uma redução do número de operadores necessários e também do pessoal de manutenção;

- empreendimentos mineiros caracteristicamente possuem altos riscos associados e longa maturação, sendo assim o sistema IPCC é de grande valia por oferecer maior previsibilidade de custos futuros;
- transportadores de correia, em aplicações especiais, podem superar até 30 graus de inclinação em sua trajetória versus os 10-12 graus de inclinação superados por caminhões. Ademais, os primeiros podem atravessar facilmente vias de acesso, cursos d'água e outras obstruções, apresentando também maior disponibilidade física devido a maior independência de fatores meteorológicos como neblina, chuva e neve;
- transportadores de correia apresentam maior eficiência energética do que os caminhões;
- o custo de manutenção das vias de acesso é significativamente reduzido e pode-se ter fluxo contínuo de material com a utilização de transportadores de correia;
- corpos de minério de baixo teor passam a ser considerados para lavra, pois esta pode tornar-se economicamente viável com a redução dos custos operacionais citados. Este fator é particularmente importante, devido ao progressivo esgotamento de minas de médio a alto teor; e
- com o advento de tecnologias como a análise de elementos finitos e simulação computacional, os sistemas de britagem *in pit* foram aperfeiçoados até um ponto em que seu desempenho e integridade podem ser iguais à britagem fixa "convencional". Este aperfeiçoamento permite também uma relativa maior flexibilidade para planejamento de longo prazo, influenciando também na futura realocação com a expansão da mina.

Outro importante ponto positivo a ser citado sobre a adoção de sistemas IPCC é seu papel na redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Com a crescente consciência ambiental e maior pressão da sociedade para proteção do meio-ambiente, a

implantação de britagem *in pit* associada a transportadores de correia constitui um importante método para a diminuição do impacto ambiental ocasionado por empreendimentos mineiros.

Segundo Raaz e Mentges (2011), estima-se que as emissões de CO<sub>2</sub> utilizando o sistema IPCC representam aproximadamente um quinto das emissões pelo tradicional transporte por caminhões até a britagem fixa “convencional”.

Contudo, de acordo com Boyd e Utley (2002), o sistema IPCC apresenta como desvantagem a redução da flexibilidade de curto prazo. A mobilidade dos caminhões possibilita aos gerentes de mina grande flexibilidade no planejamento de curto prazo desta. Uma vez que um transportador de correia fixo é instalado, sua realocação como parte do avanço das frentes de lavra pode ser proibitivamente dispendiosa. Ademais, é importante citar que em minas onde é realizado o *blending* de minérios, a flexibilidade dos caminhões proporciona uma vantagem adicional.

### **2.3. DESCRIÇÃO E COMPARAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE BRITAGEM *IN PIT***

Esta seção utiliza como base as informações contidas em VALE e NCL Brasil (20--) e em Oberrauner e Turnbull (2013).

A britagem fixa “convencional” consiste na usina de britagem primária estacionária, projetada para operação em um só lugar, fora da cava e próxima à usina de beneficiamento mineral, sendo alimentada por caminhões e com relativamente grande distância média de transporte destes.

Já na britagem *in pit*, a britagem primária localizada dentro da cava, pode apresentar-se nas seguintes modalidades: fixa, semi-móvel e móvel, descritas a seguir.

1) Britagem *in pit* fixa: normalmente situada na borda da cava, sua localização não é afetada pela lavra do minério. Esta modalidade difere da britagem fixa “convencional”, uma vez que não está localizada próxima à usina e, assim, não recebe nesta localização o material lavrado. A britagem *in pit* fixa é projetada para a duração de toda a vida útil da mina, não muda de localização, e é alimentada

diretamente por caminhões fora-de-estrada. Associada a esta modalidade, normalmente tem-se um transportador de correia fixo para o transporte do material britado à usina. Este tipo de britagem é ilustrado na figura 2.

Vantagens: se comparada à britagem fixa “convencional”, a britagem *in pit* fixa apresenta uma redução de DMT, embora pequena. Ademais, a frota de caminhões existente pode substituir temporariamente o transportador de correia, caso haja problemas operacionais na mesma, não afetando substancialmente a produção. Verifica-se também uma maior flexibilidade para o planejamento da lavra e facilidade para implementação desta modalidade, já que pode ser adaptada em operações existentes sem maiores reconfigurações da cava.

Desvantagens: embora a concepção do britador *in pit* fixo não preveja a realocação do equipamento, se esta for absolutamente necessária terá altos custos associados.

Figura 2. Britador *in pit* fixo.



Fonte: Oberrauner e Turnbull (2013)

2) Britagem *in pit* semi-móvel: além de situar-se dentro da cava, encontra-se nas proximidades das frentes de lavra, em uma localização adequada que deve ser alterada, ainda que não frequentemente, conforme o avanço da lavra. A alimentação do britador dá-se diretamente por caminhões, embora a trajetória implique em uma curta distância média de transporte (DMT). O material britado é transportado aos próximos estágios de processamento em transportadores de correia. Uma vez que esta modalidade de britagem *in pit* não requer construções civis sofisticadas, a

necessidade de fundações de concreto é diminuída. A planta pode ser disposta sobre estruturas metálicas montáveis, sendo que seu transporte pode ser realizado em poucos dias utilizando um *transport crawler*. As figuras 3 e 4 mostram a britagem *in pit* semi-móvel da mina de cobre-ouro Grasberg operada pela empresa P.T. Freeport Indonesia.

Vantagens: neste tipo de britagem *in pit*, verifica-se uma diminuição substancial da DMT, justificando a redução do número de caminhões em circulação e, conseqüentemente, a redução da mão de obra. Ademais, dado o menor número de caminhões em circulação, obtém-se uma considerável redução do risco de segurança.

Destaca-se também a considerável redução da emissão de CO<sub>2</sub>, ainda que de menor ordem se comparada à britagem *in pit* móvel. Como também explicitado nas vantagens da britagem *in pit* fixa, a frota de caminhões remanescente pode substituir temporariamente o transportador de correia em caso de problemas operacionais neste.

Desvantagens: podem-se citar como desvantagens a necessidade de realocação periódica e seus conseqüentes custos associados. Também verifica-se menor flexibilidade para mudanças e eventuais interferências com o planejamento de lavra, já que o seqüenciamento das fases depende da localização da britagem.

**Figura 3.** Britador *in pit* semi-móvel na mina de cobre-ouro Grasberg operada pela empresa P.T. Freeport Indonesia.



Fonte: Thyssenkrupp (20--).

**Figura 4.** Transporte do britador semi-móvel da mina Grasberg por um *transport crawler*.



Fonte: Thyssenkrupp (20--).

3) Britagem *in pit* móvel: planta de britagem *in pit* que situa-se na frente de lavra e é montada sobre esteiras. Dado seu local de operação, é normalmente alimentada diretamente pelo equipamento de carregamento, e necessita de um transportador de correia móvel para transporte do material britado até o transportador de correia fixo que levará o material até a usina. Em muitos casos, britadores *in pit* móveis eliminam completamente a necessidade de caminhões. A

figura 5 apresenta um britador *in pit* móvel em operação em uma mina da empresa VALE.

Vantagens: Diferentemente das outras modalidades analisadas, esta permite a eliminação da frota de caminhões e a conseqüentemente substanciais reduções de mão de obra, do risco de segurança da operação e das emissões de CO<sub>2</sub>.

Desvantagens: Para esta modalidade verificam-se custos altos de investimento e maior dificuldade de implantação, não sendo aplicável a todo tipo de configuração de cava. Ressalta-se também os custos altos de manutenção e a total dependência da produção do sistema, que representa um risco para a operação caso ocorra um problema operacional grave. Entre as três alternativas, esta é a que oferece o menor índice de disponibilidade.

**Figura 5.** Britador *in pit* móvel da mina a céu aberto N4E de Carajás da empresa VALE.



Fonte: Thyssenkrupp (20--)

A tabela 2 apresenta uma comparação entre os diferentes tipos de britagens *in pit*, inseridas no contexto do IPCC, e britagem fixa "convencional", a fim de proporcionar uma visão geral sobre o exposto.

**Tabela 2.** Comparação geral entre diferentes tipos de britagem *in pit* em IPCC e britagem fixa “convencional” em termos de produção, custos e operação.

<b>Parâmetro</b>	<b>Britagem fixa "convencional"</b>	<b>Britagem <i>in pit</i> semi-móvel</b>	<b>Britagem <i>in pit</i> móvel</b>
CAPEX inicial	menor	médio	maior
Período de amortização	menor	médio	maior
OPEX total (pneus, diesel, mão de obra, etc)	tendencialmente maior	médio	tendencialmente menor
Razão consumo diesel/energia elétrica	Maior	médio	menor
Taxa de produção horária	menor	maior	médio
Vulnerabilidade a condições climáticas	Maior	média	menor
Geometria da cava	flexível	relativamente flexível	flexibilidade muito limitada
Potencial para automação	menor	médio	maior
CO <sub>2</sub> footprint	Maior	médio	menor

Fonte: Adaptado pelo autor, de RWE Power International – RE GmbH (2012)

### 3. DESENVOLVIMENTO – ESTUDO DE CASO

#### 3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Após a realização da revisão bibliográfica, analisaram-se estudos de avaliação de implantação de sistemas de britagem *in pit*. São estes:

a) estudos realizados para minas em operação: Lopes (2010) e relatório técnico encomendado pela *Yamana Gold Inc.*, SRK Consulting (2010), além de outros dados técnicos pertinentes à implantação da britagem *in pit* semi-móvel na mina de Chapada, pertencente à *Yamana Gold Inc.*

b) estudo realizado para projetos *greenfield*: VALE e NCL Brasil (20--).

Neste estudo de caso afirma-se que, apesar de Lopes (2010) avaliar a implantação de sistema de britagem *in pit* móvel, o método para tal avaliação tem bases que podem ser aplicadas à sistemas de britagem *in pit* de uma maneira geral, por utilizar determinados parâmetros de produção, econômicos e financeiros. Por isso, guardadas as diferenças que separam este dos demais materiais, pôde-se utilizá-lo para este trabalho.

Visando a discussão de estudo de caso de avaliação preliminar de implantação de britagem *in pit* semi-móvel, mapearam-se os parâmetros presentes nos três trabalhos e identificou-se um padrão. Assim, determinaram-se os mais relevantes e estabeleceu-se entre eles uma ordem em que devem ser determinados, para poder prosseguir com a aplicação do método. Para cada um dos parâmetros discutiram-se aspectos relevantes e possíveis formas de sua determinação. Por fim, apresenta-se e discute-se a análise econômica em questão.

O presente estudo é exemplificado e ilustrado com dados de uma avaliação preliminar de implantação do sistema de britagem *in pit* semi-móvel na mina de Chapada, da Mineração Maracá Indústria e Comércio (MMIC). Esta empresa pertence à mineradora canadense *Yamana Gold Inc.* A mina de Chapada é produtora de cobre e ouro, localizada no município de Alto Horizonte (GO) e consiste em uma lavra a céu aberto, em operação desde 2007. Segundo a mineradora, em 2015 apresentou os seguintes resultados de produção de metais contidos em

concentrado: 119 059 onças de ouro, 274 533 onças de prata e aproximadamente 60 000 toneladas de cobre.

### 3.2. PRINCIPAIS PARÂMETROS

Com o objetivo de discutir uma avaliação preliminar de implantação de sistema de britagem *in pit* semi-móvel, é importante definir os parâmetros mais importantes para tal. Lembra-se que todos estes dependem do empreendimento mineiro em questão e suas particularidades. A hierarquia criada para ordenar estes parâmetros tem base na ordem de necessidade de determinação destes, que são numerados de 1 a 4. Assim, os parâmetros são (em ordem): dados de produção e dados econômicos e financeiros, posicionamento da britagem *in pit* semi-móvel, dimensionamento da frota de equipamentos, estrutura da custos estimados e análise econômica. Estes quatro parâmetros serão discutidos a seguir.

1) Dados de produção e dados econômicos e financeiros.

É essencial conhecer a produção do empreendimento mineiro e os seguintes dados, a serem posteriormente utilizados:

- movimentação de minério anual necessária para atender a meta proposta de alimentação da usina de beneficiamento;
- densidade média da jazida, obtida através da modelagem geológica e demais características do minério e geologia do depósito;
- empolamento médio do material, importante para o dimensionamento da frota de equipamentos e o volume de material a ser transportado;
- distâncias médias de transporte do minério, analisadas através de estudo dos planos de lavra previstos e parâmetros geométricos da mina;
- tamanho máximo do produto do britador primário, definido pela necessidades de especificação das demais etapas de tratamento mineral; e
- horas programadas de operação, relacionadas ao regime de trabalho.

O conhecimento inicial dos parâmetros econômicos e financeiros também é imprescindível para a realização da análise econômica, quais sejam:

- vida útil da mina, podendo ou não ser igualada à vida útil dos equipamentos industriais para posterior efeito de cálculo de fluxo de caixa;
- taxa de juros mínima para remuneração do empreendedor, conhecida também como taxa mínima de atratividade;
- ano do investimento;
- ano do início de operação com o novo sistema;
- depreciação dos equipamentos móveis e industriais; e
- valores residuais dos equipamentos.

## 2) Posicionamento da britagem *in pit* semi-móvel;

Primeiramente, para serem viáveis, os futuros locais de implantação da britagem *in pit* semi-móvel, precisam ser de fácil acesso para caminhões de transporte. Devem-se considerar também todos os tipos de operações que serão realizadas nas praças de lavra e suas imposições, como dimensões dos equipamentos de carregamento e transporte, para determinar a dimensão necessária das bancadas.

Ademais, as configurações de cava devem ser diferentes para uma cava que contará com um sistema *in pit*. Uma cava típica tem seu desenvolvimento baseado em certos critérios como: maximização de valor presente líquido (VPL), relação estéril-minério em função da necessidade de desenvolvimento de mina, manutenção da exposição de frentes de lavra que facilitem a “blendagem” do minério e manutenção das dimensões das praças e acessos operacionais para maior flexibilidade.

Entretanto, uma cava que contará com um sistema *in pit* deve ser distinta, especialmente na geometria das expansões de novas fases, *pushbacks*, que consistem em avanços operacionais. Esta cava deve ser planejada ou readequada para contar com melhor geometria possível para receber a instalação dos transportadores de correia em sua parede, de forma a reduzir o número de pontos

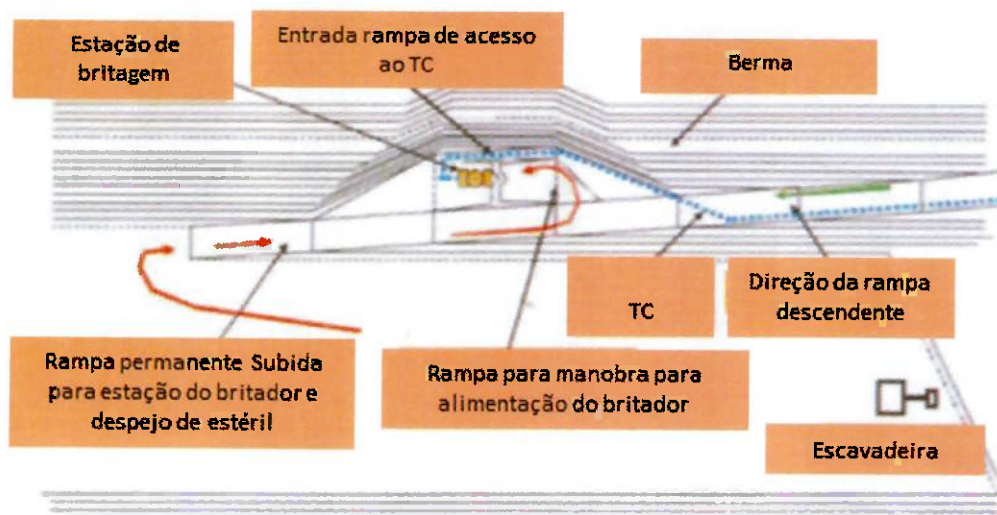
de transferência de material nestes equipamentos e, assim, otimizar o transporte do material.

É importante também que o planejamento da lavra procure realizar a expansão das frentes de lavra o máximo possível lateralmente, antes de realizar o aprofundamento das mesmas. Desta forma, o tempo de instalação da britagem num mesmo nível de operação é maximizado. Deve-se procurar reduzir ao máximo sua frequência de realocação, porque, a mesma é bastante onerosa e pode ocasionar paradas na operação.

Assim, para uma configuração de cava com sistema de britagem *in pit* semi-móvel, existem três modalidades recomendadas para a locação do britador, tanto por sua maior flexibilidade para escoamento do material, como por fornecer menor transtorno à operação de lavra, a saber:

- instalado na parede da cava com rampa de acesso para os caminhões, conforme apresentado na figura 6;

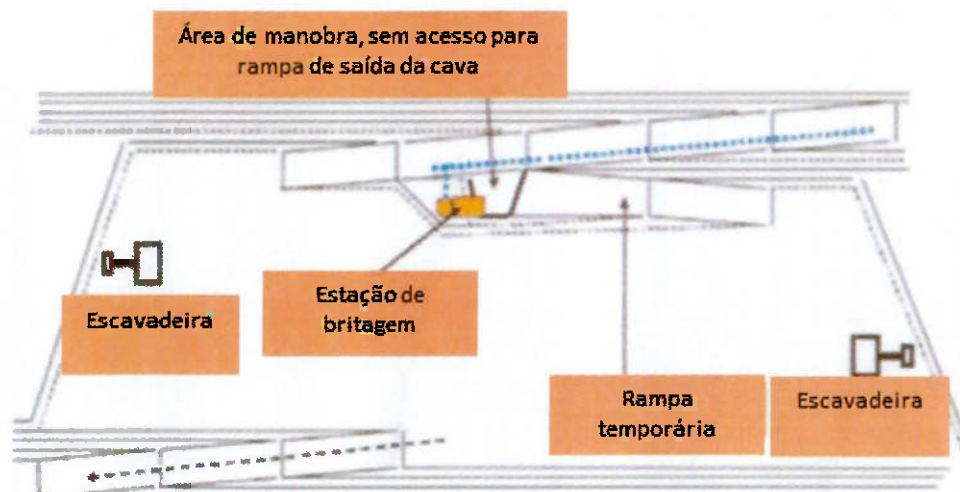
**Figura 6.** Modalidade de locação do britador *in pit* semi-móvel na parede da cava.



Fonte: Adaptado pelo autor, de VALE e NCL Brasil (20--).

- instalado temporariamente abaixo da rampa principal de acesso, com construção de uma rampa temporária para o acesso dos caminhões, conforme mostrado na figura 7;

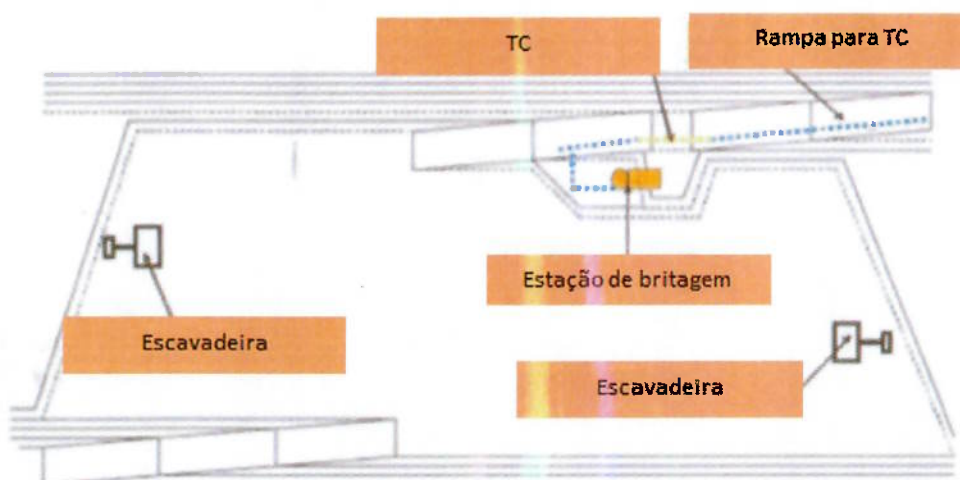
**Figura 7.** Modalidade de locação do britador *in pit* semi-móvel, abaixo da rampa principal e com rampa temporária.



Fonte: Adaptado pelo autor, de VALE e NCL Brasil (20--).

- instalado temporariamente abaixo da rampa principal de acesso, mas sem construção de rampa temporária para o caminhão e sim uma saída da própria rampa principal de acesso conectada à instalação da britagem, como evidenciado na figura 8.

**Figura 8.** Modalidade de locação do britador *in pit* semi-móvel, abaixo da rampa principal sem rampa temporária.



Fonte: Adaptado pelo autor, de VALE e NCL Brasil (20--).

Ressalta-se também que, se a operação de lavra acontecer acima do nível de instalação do britador, devem-se ponderar os possíveis riscos de danos à instalação, como consequência das operações de perfuração e desmonte.

Considerando o exposto, discute-se um procedimento para determinação do posicionamento do britador, que consiste em uma simulação de pontos viáveis para a localização da britagem. Para tal, considera-se a situação da mina em questão no momento da implantação da britagem (plano de lavra correspondente) e as considerações realizadas para preliminarmente excluir locais que não possam receber a britagem *in pit*, por inadequação da cava nestes pontos, por exemplo.

Para tal simulação, é possível utilizar dois critérios, o trabalho necessário para transportar o minério das frentes de lavra até os pontos em questão e a distância média de transporte para o mesmo percurso. Destaca-se que o critério mais amplamente utilizado para esta fase preliminar de avaliação é a DMT, ainda que o critério do trabalho represente melhor os esforços devidos à movimentação vertical. Porém, é importante ressaltar que se a variação de cotas no percurso não for muito elevada, é praticamente equivalente a utilização dos dois critérios.

Logo, para cada um destes pontos calcula-se o total do trabalho realizado para levar o *run-of-mine* (ROM) da frente de lavra até esta posição e para retornar com os caminhões vazios, através da fórmula exposta abaixo:

$$T = \Sigma[(F_{a_i} \times D_i) + (F_{b_i} \times D_i)]$$

Onde:

T: trabalho total;

F<sub>a</sub>: força necessária para levar o caminhão carregado até a britagem. Esta é igual ao peso total do caminhão carregado x resistências ao rolamento e de rampa;

F<sub>b</sub>: força necessária para levar o caminhão vazio de volta à frente de lavra. Esta é igual ao peso bruto do caminhão x resistências ao rolamento e de rampa;

D<sub>i</sub>: distância de cada segmento do perfil de transporte do bloco à britagem.

Como pode-se notar, para poder realizar esta simulação é necessário indicar o modelo de caminhão a ser utilizado e os parâmetros operacionais da mina. Já a

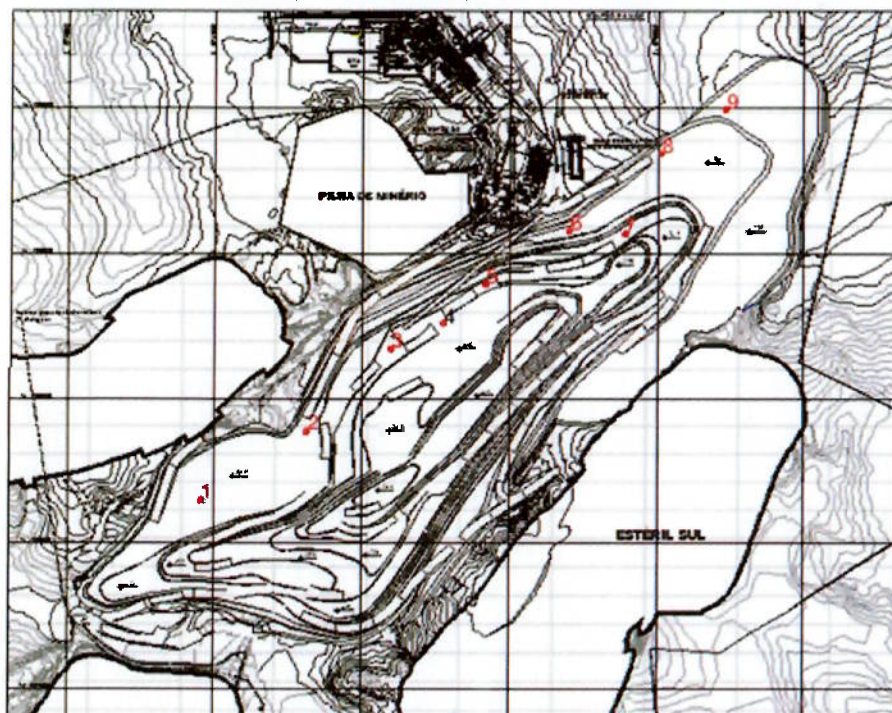
massa transportada em cada viagem pode ser estimada conhecendo-se a média anual de ROM alimentado ao britador.

Assim, o posicionamento do britador deverá ser realizado na área correspondente aos menores valores de trabalho encontrados e às condições geométricas de cava mais favoráveis.

Após essa definição de local, o próximo passo deve ser a realização de novos planos sequenciais de lavra. Os primeiros planos, prévios à instalação do britador, devem ser desenvolvidos de modo a adequar e preparar a cava para receber a instalação do britador e dos transportadores de correia. Já os demais, para atender às metas e especificações estabelecidas pelo empreendimento, considerando a nova geometria de cava.

A título de exemplo, a figura 9 evidencia os pontos (em vermelho) a serem analisados para a localização do britador na Mina de Chapada. A tabela 3 mostra o produto das simulações realizadas para os pontos em questão, mostrando em verde as opções que obtiveram melhor resultado e, em azul, as segundas melhores opções, de acordo com o método para simulação escolhido (DMT ou trabalho total). Na sequência, a figura 10 mostra os dois pontos com melhores resultados, evidenciados em amarelo.

**Figura 9.** Visão geral das posições possíveis para o britador na cava – Mina de Chapada.



Fonte: SRK Consulting (2010)

**Tabela 3.** Distâncias de transporte e trabalho para diversas posições da britagem na cava – Mina de Chapada.

Posição	DMT (m)	Trabalho IDA (m x Kt) x 10 <sup>6</sup>	Trabalho VOLTA (m x Kt) x 10 <sup>6</sup>	Trabalho TOTAL (m x Kt) x 10 <sup>6</sup>
B1	2.354	36	7	43,8
B2	1.964	32	6	38,0
B3	1.529	20	7	27,0
B4	1.409	16	7	23,5
B5	1.358	19	6	24,8
B6	1.723	44	1	44,9
B7	1.427	30	2	32,5
B8	1.776	45	1	45,3
B9	2.000	51	0	51,1

Fonte: SRK Consulting (2010)

**Figura 10.** Posição ótima para britagem na cava –Mina de Chapada.



Fonte: SRK Consulting (2010)

### 3) Dimensionamento da frota de equipamentos

Uma vez definido o local do britador *in pit* semi-móvel, pode-se passar ao dimensionamento da frota de equipamentos. Considera-se que a composição da frota de equipamentos e seus modelos sejam definidos pelo empreendimento mineiro em questão. Considerando também que, a largura mínima dos transportadores de correia depende do tamanho máximo de fragmento do produto do britador, caberá também ao empreendimento mineiro respeitar esta largura mínima e definir as demais especificações necessárias.

Desta forma, torna-se necessário dimensionar a frota de equipamentos de carregamento e caminhões e o comprimento do transportador de correia.

Sabendo que a frota de caminhões representa um grande impacto sobre os custos operacionais, seu dimensionamento é extremamente importante. Assim, para tal, devem ser utilizados os parâmetros operacionais da mina em questão e, quando estes não estiverem disponíveis, podem-se estimá-los, com base em operações similares e informações de fabricantes, por exemplo.

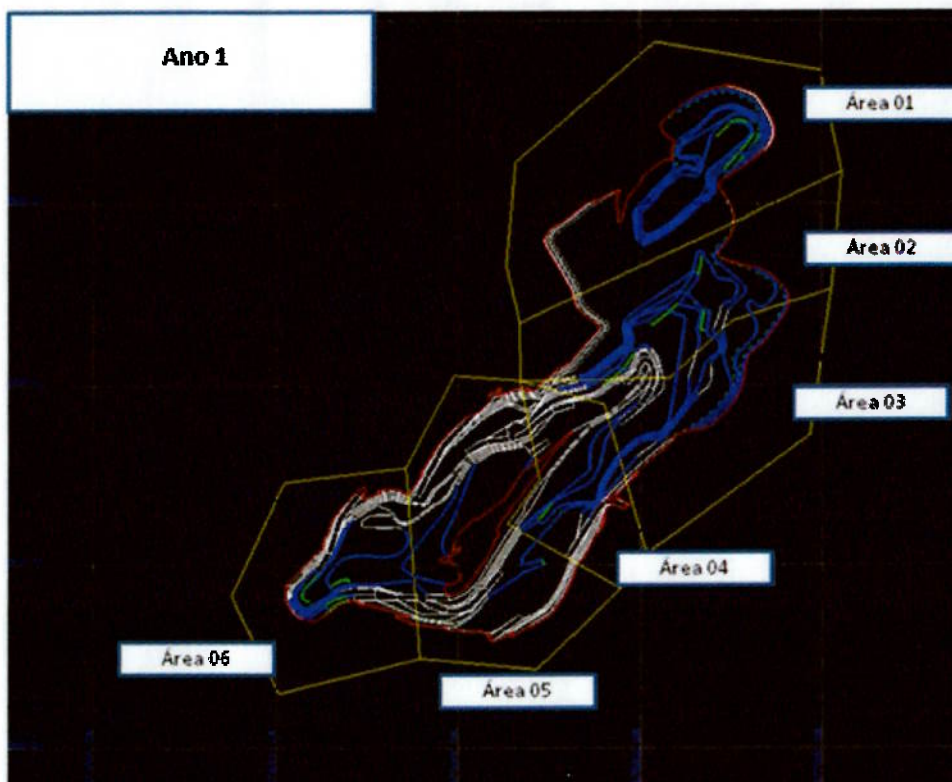
Uma forma de realizar este dimensionamento é utilizar *softwares* auxiliares tais como o programa FPC, *Fleet Production and Cost*, da Caterpillar, que simulam velocidades em cada trecho dos variados perfis de transporte para todos os planos de lavra. Ressalta-se que, tanto por respeito às condições de segurança do empreendimento mineiro em questão, como por melhor adequação à realidade, devem ser estabelecidas velocidades máximas para os segmentos dos trechos percorridos com os caminhões nas simulações, tanto na ida (caminhão carregado) quanto na volta (caminhão vazio).

Estes dados dos perfis de transporte, que serão utilizados como *input* no programa, podem ser encontrados da seguinte forma: divide-se cada plano de lavra anual em áreas, com base também nas frentes de lavra esperadas. Para essas áreas são calculadas as quantidades de minério a serem extraídas para tal ano, seus respectivos centros de massa e os perfis de transporte desses centros ao ponto de localização da britagem *in pit* e vice-versa. É também importante estimar uma densidade média do minério para cada área e assim estimar uma densidade média do minério para cada plano de lavra anual.

Assim, simulam-se os tempos de deslocamento e consumos de combustível, calculando então os consumos médios horários de combustível e as velocidades médias de deslocamento, para os perfis das áreas definidas.

A título de exemplo, mostra-se o exposto para a mina Chapada para o ano 1, na figura 11 e tabela 4.

**Figura 11.** Subdivisão em áreas para planos de lavra do ano 1 – Mina de Chapada.



Fonte: SRK Consulting (2010)

**Tabela 4.** Estimativas de produção, tempo e consumo de diesel para modelo CAT 785c pelo programa FPC Caterpillar para o ano 1 – Mina de Chapada.

Área	Massa (kt)	Dens. Média (t/m³)	DMT (km)		Tempo de viagem (h)		Velocidade média (km/h)		Consumo Diesel/Viagem (L)		Consumo Diesel/Hora (L/h)	
			Ida c/ carga	Volta vazio	Ida c/ carga	Volta vazio	Ida c/ carga	Volta vazio	Ida c/ carga	Volta vazio	Ida c/ carga	Volta vazio
1	7.398	2,66	3,47	3,47	0,14	0,10	25,30	33,10	25,20	14,00	183,60	133,30
2	3.725	2,66	2,08	2,08	0,08	0,07	26,00	31,50	12,80	9,40	159,20	141,30
3	2.879	2,69	3,03	3,03	0,10	0,09	29,20	33,60	18,10	12,40	173,80	137,00
4	3.747	2,70	3,74	3,74	0,17	0,11	21,50	34,90	38,20	9,00	219,60	84,10
5	3.838	2,70	3,10	3,10	0,17	0,09	18,40	35,10	39,40	4,60	233,70	52,50
6	2.443	2,70	2,88	2,88	0,15	0,08	19,00	34,40	34,70	4,80	229,00	57,10
<b>TOTAL</b>	<b>24.030</b>	<b>2,68</b>	<b>3,13</b>	<b>3,13</b>	<b>0,14</b>	<b>0,09</b>	<b>23,5</b>	<b>33,7</b>	<b>27,7</b>	<b>9,9</b>	<b>196,9</b>	<b>106,7</b>

Fonte: Adaptado pelo autor, a partir de dados selecionados de SRK Consulting (2010).

Conhecendo previamente o empolamento do material e tendo o modelo do equipamento do carregamento definido, devem-se conhecer algumas características, como: tempo de ciclo, capacidade de concha da carregadeira em m³ e fator de enchimento. Analogamente para o caminhão, devem-se conhecer as

seguintes características: volume ( $m^3$ ) e capacidade (t) de caçamba, número de ciclos do equipamento de carregamento necessários para encher a caçamba, eficiências horária e de operação conjugada e utilização.

Com a simulação realizada para o caminhão em *software* específico, é possível então conhecer os valores médios anuais de: DMT, tempo variável e velocidade média. Estimando-se também os tempos fixos e disponibilidade física, podem-se estimar também produções nominal e efetiva. Assim, decorrente dessa estimativa de produção de horas efetivas trabalhadas, é possível estimar também as unidades requeridas dos equipamentos.

No que diz respeito ao dimensionamento do comprimento do transportador de correia, conhecendo-se o material em questão, a inclinação máxima, velocidade máxima recomendada e a largura mínima, é possível escolher um tipo de transportador. Conhecendo seu traçado na cava, este comprimento pode ser calculado.

A título de exemplo, a partir de dados selecionados do estudo encomendado pela Yamana, a tabela 5 mostra o resultado do dimensionamento da frota de caminhões para a mina Chapada, com estimativa anual do número de unidades com sistema de britagem *in pit* semi-móvel. Ressalta-se que, para tal análise, estabeleceu-se:

- equipamento de carregamento: escavadeira hidráulica O&K modelo RH120, com capacidade de caçamba de  $17 m^3$ , tempo de ciclo de aproximadamente 35 s e fator de enchimento de 85%
- caminhão *Caterpillar* modelo CAT 785C, com volumes real de  $78 m^3$  e requerido de  $70 m^3$ , capacidades de carga real de 135 t e efetiva de 135 t. Ademais, seriam necessários 5 passes para a operação de carregamento, a eficiência horária seria de 83% e da operação conjugada de 90% e a utilização de 85%. Foram também utilizados como tempos fixos: manobra para carga e para descarga com durações de 0,7 min e 1,1, respectivamente e carga com duração de 2,9 min,

Além disso, para a realização deste dimensionamento foram necessários dois parâmetros já mencionados na seção 3.2., a saber:

- densidade média no corte: sendo 2,65 t/m<sup>3</sup> para o ano 1 e 2,7 t/m<sup>3</sup> para os demais anos, e;
- empolamento médio: 40%

Tabela 5. Dimensionamento da frota de caminhões para britagem na cava – Mina de Chapada

Ano	DMT (m)	Veloc. Média (km/h)	Tempo Variável (min)	Tempo Total (min)	Disp. Física	ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO HORÁRIA E NO. CAMINHÕES NECESSÁRIOS						No. unidades estimada			
						Produção Nominal		Produção Efet./Hora Trabalhada		Produção Efet./Hora Produtiva		Nominal	Por Hora Trabalhada (HT)	Por Hora Produtiva (HP)	Nº de unidades final
						(t)	(m <sup>3</sup> no corte)	(t)	(m <sup>3</sup> no corte)	(t)	(m <sup>3</sup> no corte)				
1	3128	29	13	18	0,92	454	169	339	125	265	99	7	9	12	12
2	2771	27	12	17	0,90	471	174	352	130	275	102	7	9	11	12
3	2771	27	12	17	0,88	471	174	352	130	275	102	7	9	11	12
4	2771	27	12	17	0,86	471	174	352	130	275	102	7	9	11	12
5	2771	27	12	17	0,84	471	174	352	130	275	102	7	9	11	12
6	3008	27	14	18	0,82	443	164	331	123	259	95	7	9	12	13
7	3321	24	13	17	0,84	468	173	349	129	273	101	7	9	12	12

Fonte: Adaptado pelo autor, a partir de dados selecionados de SRK Consulting (2010).

#### 4) Estrutura de custos estimados.

Este parâmetro, apesar de ser o último a ser analisado por necessitar de todos os demais expostos, é fundamental para a posterior análise econômica.

Os custos são subdivididos em duas classes, a saber:

- investimentos (CAPEX): devem ser estimados os investimentos a serem realizados com a implantação do sistema de britagem *in pit* semi-móvel. Estes podem ser resumidos em: custos dos equipamentos industriais e móveis necessários para o sistema *in pit* e custos dos projetos, obras civis e montagem. Esta classe, além de levar em consideração o desembolso com a compra dos equipamentos, deve levar em conta os custos de transporte até a mina, os custos alfandegários, no caso de equipamentos importados e o custo de despachantes e impostos específicos;
- custos operacionais (OPEX): devem ser considerados os custos das principais categorias: custos com diesel e energia elétrica, lubrificantes, pneus, peças de reposição, manutenção e mão de obra. Desta forma, para

estas estimativas de custo, devem-se conhecer ou estimar: os preços de combustível e da energia elétrica, preços dos lubrificantes e dos pneus, preços das peças de reposição e da mão de obra.

A título de exemplo, ilustram-se as tabelas de estimativas de custo de investimento e operacionais realizadas pela autora a partir de premissas estabelecidas, conforme seu entendimento dos dados da mina de Chapada.

Na tabela 6, apresenta-se a estimativa de CAPEX para a aquisição de: britador *in pit* semi-móvel de mandíbulas METSO modelo C160; 900 m de transportador de correia de largura de 55", projetos, obras civis e montagem da instalação total do britador e 12 caminhões fora-de-estrada, Caterpillar, modelo CAT 785C.

**Tabela 6.** Estimativas de custos de investimento – Mina de Chapada.

CAPEX		
Discriminação	Preço unitário (R\$)	Custo total (R\$ X 1000)
Britador	4.000.000	4.000
Transportador de correia	8.000	7.200
Projetos, obras civis e montagem	40.000.000	40.000
Caminhão	3.161.623	37.939
<b>TOTAL</b>		<b>89.139</b>

Fonte: Elaborado pela autora, a partir dados selecionados de SRK Consulting (2010).

Na tabela 7, apresenta-se a estimativa de OPEX para custos relativos à: mão de obra, manutenção, consumíveis dos caminhões (pneus, diesel e lubrificantes) e transportador de correias. Destaca-se que, para a composição desta estimativa, foram levadas em conta as seguintes informações:

- número de caminhões: conforme determinado no dimensionamento da frota;
- horas trabalhadas no ano: conforme determinado no dimensionamento da frota;
- remuneração dos motoristas com encargos: R\$3.400/mês;
- números de turnos por dia e turmas: 3 e 4, respectivamente;
- índice de absenteísmo: 15%;

- disponibilidade física dos caminhões: média de 86%, sendo 92% para o ano 1 e 80% para o ano 7
- custo horário de manutenção: R\$168,70/hora;
- preço, vida útil de pneus para caminhões e número necessário por caminhão: R\$ 40.000, 4.000 horas e 6 unidades, respectivamente;
- potência bruta do caminhão CAT 785C: 1450 hp;
- custo do lubrificante em relação ao custo do combustível: 2,5%;
- preço do combustível (diesel): R\$1,48/litro;
- consumo horário nas manobras de carga e descarga: 38,28 litro/hora;
- horas improdutivas referentes à eficiência horária: 38,28 litro/hora;
- consumo durante as esperas: 22,33 litro/ hora;
- tempo relativo à espera em relação às horas trabalhadas: 10% em todos os anos considerados;
- tempo improdutivo referente à eficiência horária (10 min/h): 16,7% em todos os anos considerados;
- tempo de manobras, carga e descarga em relação ao tempo total do ciclo: média de 26%, sendo 26,4% para o ano 1 e 27,2% para o ano 7, e;
- custo operacional total com transportador de correias: aproximadamente R\$ 0,11/t.

**Tabela 7. Estimativas de custos operacionais - Mina de Chapada.**

Ano	OPEX										
	No. de motoristas	Consumo pneus (no./ano)	Consumo médio total diesel-viagem +HT improdutiva (litro/hora)	Consumo diesel (litro/ano)	Massa transportada por TC (kt)	Custo anual motoristas (R\$x1000)	Custo anual manutenção (R\$x1000)	Custo anual pneus (R\$x1000)	Custo anual diesel/Hubrif. (R\$x1000)	Custo anual TC (R\$x1000)	Custo anual total (R\$x1000)
1	51	112	90	6.689.462	14.002	2.081	12.552	4.464	10.122	1.474	30.693
2	50	108	86	6.198.701	13.936	2.040	12.100	4.303	9.360	1.467	29.270
3	48	108	86	6.198.701	13.936	1.958	12.100	4.303	9.360	1.467	29.188
4	47	108	86	6.198.701	13.936	1.918	12.100	4.303	9.360	1.467	29.148
5	46	108	86	6.198.701	13.936	1.877	12.100	4.303	9.360	1.467	29.107
6	48	114	89	6.777.189	14.542	1.958	12.853	4.571	10.255	1.531	31.168
7	44	108	84	6.036.347	25.086	1.795	12.188	4.335	9.134	652	28.104

Fonte: Adaptado pela autora, a partir de dados selecionados de SRK Consulting (2010).

### 3.3. FLUXO DE CAIXA E ANÁLISE ECONÔMICA

A partir da estrutura de custos estimados e utilizando os parâmetros econômicos e financeiros já especificados, é possível seguir com a realização de uma análise econômica para a avaliação preliminar da implantação do sistema de britagem *in pit* semi-móvel.

A análise começa pela elaboração dos fluxos de caixa, compostos por saídas, referentes aos custos de investimento e operacionais estimados e entradas, referentes aos valores residuais e ao “efeito imposto de renda”. Desconsideram-se as receitas referentes à produção do empreendimento, uma vez que este trabalho centra-se sobre os aspectos relacionados aos custos com a implantação de britagem *in pit* semi-móvel e não à produção. O “efeito imposto de renda” mencionado consiste no resultado da depreciação e amortização dos investimentos, que resulta na redução da parcela tributável e contribuição social sobre lucro. Isto é especialmente importante, pois os equipamentos utilizados na mineração apresentam, contabilmente, uma depreciação mais acelerada em relação aos demais equipamentos.

Com o descrito e conhecendo-se as depreciações dos equipamentos, estabelecidos na legislação tributária e, assim, seus valores residuais, é possível realizar a análise econômica.

O indicador mais comumente utilizado para esta avaliação econômica e financeira consiste no valor presente líquido (VPL), que desconta para o valor presente todos os fluxos de caixa estimados. Contudo, nada impede que outros indicadores, como valor anual equivalente (VAE), possam ser utilizados.

Embora o trabalho analisado apresentasse um fluxo de caixa, a autora realizou um fluxo de caixa próprio para posterior análise de sensibilidade, ao variar-se um dos parâmetros em questão, o CAPEX relacionado ao comprimento do transportador de correia, estabelecido como caso base com comprimento de 900m.

Logo, para a elaboração do fluxo de caixa da tabela 8, estabeleceram-se os seguintes parâmetros:

- desmobilização da britagem na cava para realocação: 10% do investimento inicial com transportador de correias e britador no fim do período considerado (ano 7);
- taxa de desconto: 12%;
- valor residual e depreciação do caminhão: 16% do investimento inicial no fim do período considerado (ano 7) e em 4 anos (25% ao ano);
- valor residual e depreciação do transportador de correia: 30% do investimento inicial no fim do período considerado (ano 7) e em 5 anos (20% ao ano), e;
- valor residual e depreciação do britador: 30% do investimento inicial no fim do período considerado (ano 7) e em 5 anos (20% ao ano).

Tabela 8. Fluxo de caixa – Mina de Chapada.

Item	Discriminação	Unidade	Ano							
			0	1	2	3	4	5	6	7
A	CAPEX	R\$×1000	- 89.139	0	0	0	0	0	0	0
B	Desmobilização da britagem na cava		0	0	0	0	0	0	- 1.120	
C	OPEX		-30.693	-29.270	-29.188	-29.148	-29.107	-31.168	- 28.104	
D	Desembolso total		- 89.139	-30.693	-29.270	-29.188	-29.148	-29.107	-31.168	- 29.224
E	Valor residual		0	0	0	0	0	0	9.430	
F	Depreciação		11.725	11.725	11.725	11.725	11.725	2.240	0	
G	Balanço final		- 89.139	-18.968	-17.545	-17.463	-17.423	-17.382	-28.928	- 19.794

Fonte: Elaborado pela autora.

Visando exemplificar possíveis análises de sensibilidade a serem efetuadas sobre o apresentado, consideram-se diferentes comprimentos de correias. Os comprimentos analisados são: 900m (caso base), 1000m, 1100m e 1200m e seus respectivos fluxos de caixa encontram-se nas tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9. Fluxo de caixa para comprimento de correia de 1000m.

Discriminação	Unidade	Ano								
		0	1	2	3	4	5	6	7	
CAPEX	R\$x1000	- 89.939	0	0	0	0	0	0	0	
Desmobilização da britagem na cava			0	0	0	0	0	0	- 1.200	
OPEX			-30.693	-29.270	-29.188	-29.148	-29.107	-31.168	- 28.104	
Desembolso total			- 89.939	-30.693	-29.270	-29.188	-29.148	-29.107	-31.168	- 29.304
Valor residual				0	0	0	0	0	9.670	
Depreciação				11.885	11.885	11.885	11.885	11.885	2.400	0
Balanco final			- 89.939	-18.808	-17.385	-17.303	-17.263	-17.222	-28.768	- 19.634

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 10. Fluxo de caixa para comprimento de correia de 1100m.

Item	Discriminação	Unidade	Ano								
			0	1	2	3	4	5	6	7	
A	CAPEX	R\$x1000	- 90.739	0	0	0	0	0	0	0	
B	Desmobilização da britagem na cava				0	0	0	0	0	0	- 1.280
C	OPEX				-30.693	-29.270	-29.188	-29.148	-29.107	-31.168	- 28.104
D	Desembolso total			- 90.739	-30.693	-29.270	-29.188	-29.148	-29.107	-31.168	- 29.384
E	Valor residual				0	0	0	0	0	0	9.910
F	Depreciação				12.045	12.045	12.045	12.045	12.045	2.560	0
G	Balanco final			- 90.739	-18.648	-17.225	-17.143	-17.103	-17.062	-28.608	- 19.474

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 11. Fluxo de caixa para comprimento de correia de 1200m.

Item	Discriminação	Unidade	Ano								
			0	1	2	3	4	5	6	7	
A	CAPEX	R\$x1000	- 91.539	0	0	0	0	0	0	0	
B	Desmobilização da britagem na cava				0	0	0	0	0	0	- 1.360
C	OPEX				-30.693	-29.270	-29.188	-29.148	-29.107	-31.168	- 28.104
D	Desembolso total			- 91.539	-30.693	-29.270	-29.188	-29.148	-29.107	-31.168	- 29.464
E	Valor residual				0	0	0	0	0	0	10.150
F	Depreciação				12.205	12.205	12.205	12.205	12.205	2.720	0
G	Balanco final			- 91.539	-18.488	-17.065	-16.983	-16.943	-16.902	-28.448	- 19.314

Fonte: Elaborado pela autora.

A tabela 12 apresenta o resultado das análises econômicas realizadas utilizando o indicador VPL, sendo a opção mais atrativa marcada em verde.

**Tabela 12.** Diferentes comprimentos da correia e respectivo VPL.

<b>Comprimento da correia (m)</b>	<b>VPL (R\$x1000)</b>
900	- 158.069
1000	- 158.131
1100	- 158.194
1200	- 158.256

Fonte: Elaborado pela autora.

A opção mais atrativa em termos econômicos e financeiros consiste naquela com menor VPL resultante. Como neste caso não foram consideradas receitas e, portanto, o balanço final é um valor negativo, o VPL mais atraente consiste naquele com maior valor. Este é o VPL de aproximadamente R\$ -158.069.000. para a opção de 900m (caso base).

Verifica-se, entretanto, que, como a variação no indicador escolhido foi pouco significativa, o comprimento da correia é um fator que pode ser alterado sem maior impacto econômico, o que é particularmente positivo no caso da localização do britador necessitar ser mais distante da usina do que no caso base apresentado.

#### 4. CONCLUSÃO

O estudo de caso avaliado neste trabalho demonstra sua utilidade como apoio em avaliações preliminares de implantação de britagem *in pit* semi-móvel, podendo guiar outras análises a serem desenvolvidas. Os resultados do estudo de caso base aqui apresentados indicaram um VPL de R\$ -158.069.000. Cabe, entretanto, observar que o estudo de caso realizado através do método descrito é, ainda, preliminar. Trata-se assim de um método adequado para emprego em estágios preliminares de engenharia de projetos, típicos de etapas conceituais e/ou pré-viabilidade econômica. A fim de determinar se a implantação do sistema de britagem *in pit* semi-móvel é de fato viável e a melhor opção, estudos posteriores devem ser realizados para reduzir e/ou eliminar imprecisões e questionamentos ainda existentes.

O presente trabalho insere-se assim na análise preliminar de alternativas contidas no elenco e contexto atual da mineração, segundo o qual é premente a revisão de métodos e técnicas para melhoria do desempenho de empreendimentos mineiros. Portanto, ao auxiliar a manutenção da competitividade e também apresentar impactos positivos nos âmbitos ambiental e de segurança do trabalho, recomenda-se que os sistemas de britagem *in pit* sejam alternativas a serem contempladas de forma robusta, conforme discutidas no estudo de caso aqui tratado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOYD, K. e UTLEY, R. W. "In Pit Crushing Design and Layout Considerations" . In: Mular A.L., Halbe, D.N. e Barratt, D. J. **Mineral Processing Plant Design, Practice and Control Proceedings**. 1ª edição. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc 2002. Volume 1, p. 537-621.

CHAVES A. P. e PERES, A. E. C.. **Teoria e prática do tratamento de minérios - britagem, peneiramento e moagem**. 4ª edição. São Paulo: Signus, 2009. Volume 3. 237p.

FRIZZELL, E. M. e MARTIN, T. W. "In pit Crushing and Conveying ". In: Hartman, H. **SME Mining Engineering Handbook**. 2ª Edição. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. 1992. Volume 2, p. 1343-1351.

KELLY, E. G. e SPOSTISWOOD. J. **Introduction to mineral processing**. 5ª Edição. New York: John Wiley and Sons, 1982. 491p.

LOPES, J. R., **Viabilização técnica e econômica da lavra contínua de minério de ferro com uso de sistema de britagem móvel *in pit* auto propelido**. Dissertação – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2010. 105 p.

OBERRAUNER, A. e TURNBULL, D. **Essentials on In-Pit Crushing and Conveying (IPCC)**. In: BELTCON CONFERENCE, 17, 2013, Johannesburg. Disponível em: < <http://www.beltcon.org.za/beltcon-17-review.html/> > Acesso em 12 de mar. de 2016.

RAAZ, V. e MENTGES, U., **Comparison of Energy Efficiency and CO2 Emissions for Truck Haulage Compared to In-Pit Crushing and Conveying: Calculation Methods and Case Studies**. In: IPCC EVENT, 1, 2011, Belo Horizonte. Disponível em: <[http://mineplanning.com/Homepage/publications\\_documents/Energy%20Efficiency%20&%20CO2%20Emissions%20in%20Open%20Pit%20Mines%202011%20SME%20Annual%20Meeting.pdf](http://mineplanning.com/Homepage/publications_documents/Energy%20Efficiency%20&%20CO2%20Emissions%20in%20Open%20Pit%20Mines%202011%20SME%20Annual%20Meeting.pdf)> Acesso em 30 de jun. de 2016.

RWE POWER INTERNATIONAL, IPCC – in Pit Crushing and Conveying. RWE Power International, RE GmbH. Belo Horizonte, 2012. (Estudo Técnico).

SRK CONSULTING, **Mineração Maracá Indústria e Comércio S.A. – Britagem na Cava**. SRK Consulting, Belo Horizonte, 2010. (Estudo Técnico, 1.945-2010).

THYSSENKRUPP FÖRDERTECHNIK. **Project Fact Sheet: Relocation of Two Semi-Mobile Crushing Plants and a Semi-Mobile Spreader**. ThyssenKrupp, [S.l.; 20--] (Estudo Técnico).

VALE e NCL BRASIL, **Estudo Conceitual de Avaliação de Transportadores Contínuos na Mineração**. VALE, [S.l.; 20--] (Estudo Técnico, RL-1000CA-U-10346)

YAMANA GOLD Inc. **Dados de produção da Mina Chapada (GO)**. Disponível em: <http://www.yamana.com/English/portfolio/producing-mines/chapada/>. Acesso em 01 de nov. de 2016.