

# MAXIMIZAÇÃO DE RENTABILIDADE OPERACIONAL ATRAVÉS DE OTIMIZAÇÃO HOLÍSTICA DE MINA – PLANTA \*

*Walter Valery Jr<sup>1</sup>  
Roberto Carlos Valle Peche<sup>2</sup>  
Rodrigo Tadashi Hayashida<sup>3</sup>  
Erico Oliveira Tabosa<sup>4</sup>  
Kristy Duffy<sup>5</sup>*

## Resumo

A mineração vem sofrendo crescentes pressões de redução de custos, agravados com questões de fornecimento de recursos hídricos e de energia limitados. Adiciona-se o fato do esgotamento progressivo dos depósitos de alto teor, e com os atuais corpos de minério passando a ser de menor qualidade e maior complexidade em sua extração. A indústria no passado recente fez-se valer de economia de escala para mitigar tais condições de qualidade e custos, em uma abordagem de maximização de tamanhos e capacidades em extração e separação – maiores equipamentos, com processos padronizados. As práticas em geral nas operações mineiras foram projetadas a serem não-seletivos, produzindo altas tonelagens de material, perfurando, desmontando, cominuando em larga escala a tamanhos finos e deixando que a separação fizesse o resto, assumindo diluições e perdas de valor em contrapeso pela larga escala. Práticas de operações mais inteligentes, seletivos, devem ser adotadas para cada operação em particular. Os benefícios alcançados em centenas de projetos, tipicamente estão na ordem de 5 - 30% de incremento de capacidade e em um intervalo similar em termos de economia de energia (5 – 25%), que em conjunto impactam positivamente a rentabilidade operacional das companhias mineiras.

**Palavras-chave:** Mine-to-Plant, Mine-to-Mill.

## MAXIMIZATION OF OPERATIONAL PROFITABILITY THROUGH A HOLISTIC OPTIMIZATION FROM MINE TO PLANT

### Abstract

Mining has been under increasing pressure to reduce costs, aggravated by issues of limited water and energy supply. Added to the fact of progressive depletion of high grade deposits, and with the present ore bodies becoming of lower quality and greater complexity in their extraction. Industry in the recent past has taken advantage of economies of scale to mitigate such quality and cost conditions, in an approach of maximizing sizes and capacities in extraction and separation - larger equipment with standardized processes. The general practices in mining operations were designed to be non-selective, producing high tonnages of material, drilling, blasting, comminution in large scale to fine sizes and allowing the separation to do the rest, assuming dilutions and losses of value in counterweight by the large scale. Smarter, selective operations practices should be adopted for each particular operation. The benefits achieved in hundreds of projects are typically in the order of 5 - 30% throughput increase and in a similar range in terms of energy savings (5 - 25%), which together have a positive impact on the operational profitability of mining companies.

**Keywords:** Mine-to-Plant, Mine-to-Mill,

- <sup>1</sup> *PhD, Global Director Consulting and Technology, Mining and Minerals Processing, Hatch Australia.*
- <sup>2</sup> *MBA, P.Eng., Director Process Improvement, Mining and Minerals Processing, Hatch Peru.*
- <sup>3</sup> *P.Eng, Sr. Consultant Drilling and Blasting, Mining and Minerals Processing, Hatch Brasil.*
- <sup>4</sup> *PhD, Sr. Process Engineer, Mining and Minerals Processing, Hatch Australia.*
- <sup>5</sup> *P.Eng, Sr. Consultant, Mining and Minerals Processing, Hatch Australia.*
- <sup>6</sup> .

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da mineração vem sofrendo crescentes pressões de redução de custos, agravados com questões de fornecimento de recursos hídricos e de energia limitados. Adiciona-se o fato do esgotamento progressivo dos depósitos de alto teor, e com os atuais corpos de minério passando a ser de menor qualidade e com maior complexidade em sua extração, com seu aprofundamento. A indústria de mineração no passado recente fez-se valer de economia de escala para mitigar tais condições de qualidade e custos, em uma abordagem de maximização de tamanhos e capacidades em extração e separação – maiores equipamentos, com processos padronizados. As práticas em geral nas operações mineiras foram projetadas a serem não-seletivos, produzindo altas tonelagens de material, perfurando, desmontando, cominuindo em larga escala a tamanhos finos e deixando que a separação fizesse o resto, assumindo diluições e perdas de valor em contrapeso pela larga escala. Essa abordagem talvez possa ser válida em tempos de altos preços de commodities metálicas, assumindo grandes ineficiências, porém pode não ser aplicável em tempos de crise e austeridade.

Nestes períodos, em face de teores em queda conjugado com a necessidade de incremento de capacidade para atendimento de demanda seletiva, e sempre com a necessidade de incremento do valor para o acionista, o melhor uso de recursos e a otimização da eficiência de produção em uma forma sustentável, se torna mandatória. Práticas de operações mais inteligentes, seletivos, devem ser adotadas para cada operação em particular.

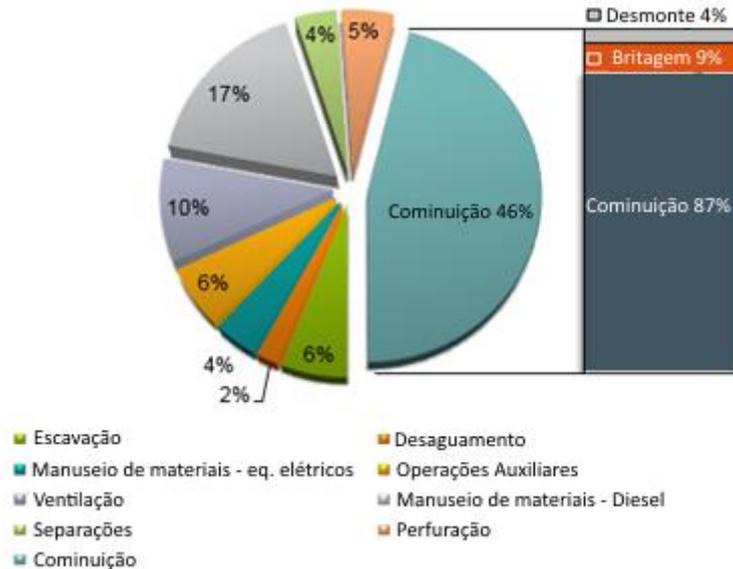
Uma abordagem mina a planta tem como objetivo adotar uma visão holística de uma série de processos que são conectados, com o desempenho de cada etapa afetando os subsequentes. A fragmentação resultante da perfuração e desmonte por explosivos pode ter um grande impacto sobre os processos de fragmentação subsequentes (o seu rendimento, custo e eficiência). Da mesma forma, o tamanho das partículas produto da moagem afeta significativamente o desempenho (teor e recuperação) no processo de separação (por exemplo flotação, lixiviação). Em outras palavras, para cada operação, tanto a fase anterior e posterior, têm de ser consideradas para garantir o melhor resultado global. Otimizar cada etapa de forma isolada pode resultar em um desempenho abaixo do ideal do funcionamento global, e acarretar em perda de rentabilidade. Portanto, é importante analisar cada fase do processo dentro do âmbito de toda a operação, começando com a otimização da perfuração e desmonte e capitalizando estas mudanças através da otimização das operações de cominuição. Os benefícios alcançados em centenas de projetos, tipicamente estão na ordem de 5 - 30% de incremento de capacidade e em um intervalo similar em economia de energia (5 – 25%), que em conjunto impactam positivamente a rentabilidade operacional das companhias mineiras.

## 2 METODOLOGIA DE MINA A PLANTA

O objetivo da metodologia é a de desenvolver estratégias de controle e operação integradas desde a mina até a planta, que irão maximizar produtividade, minimizar o consumo de energia global, o custo por tonelada, e conseqüentemente a maximização da rentabilidade global operacional. O princípio básico é de se utilizar da mesma capacidade instalada, com nenhum ou mínimo investimento de capital.

Como parte dos resultados do Mine-to-Mill, um componente inerente associado à otimização total da cadeia de valor é a Eficiência Energética. A Figura 1 mostra um

sumário da distribuição de energia necessária no processamento mineral, sendo a cominuição representando quase 50% da total de energia demandada. Dentro do componente de cominuição, operações de moagem representam quase 90% da energia demandada. Conseqüentemente, existem oportunidades de melhoria se as operações de cominuição são alavancadas pelas operações de perfuração e desmonte.



**Figura 1.** Energia Relativa e Custos em Processamento de Minerais (fonte: XVI Balkan Mineral Processing Congress).

A eficiência energética é atualmente um dos principais focos durante a avaliação de projetos de mineração e operações existentes com impacto nos custos operacionais. Além disso, observando as últimas tendências industriais e de mercado, há uma demanda crescente por sustentabilidade dentro de uma atmosfera de preços de metais flutuantes e custos de energia mais altos, o que faz com que a eficiência operativa no processamento de mineração e processamento mineral desempenhe um papel crucial. Benefícios significativos podem ser alcançados pela implementação de uma otimização integrada e holística da mina às operações da planta.

Normalmente, o aumento de tratamento alcançado em centenas de projetos está na faixa de 5 a 30% e a economia de energia (kWh / t) na ordem de 5 a 25%. Por exemplo, a mina de Antamina no Peru reconheceu que mais produção com menos energia foi obtida após a implementação de um projeto de mine-to-mill. Antes do projeto, a operação alcançava uma tonelagem de 2.600 tph com uma energia específica de 14 kWh / t; após a implementação das recomendações, uma tonelagem de 4.500 tph foi alcançada com uma energia específica de 10,5 kWh / t, representando um aumento significativo na eficiência de recursos reduzindo o impacto ambiental total da produção de concentrado com uma economia de energia de 25% (por Valery & Rybinski, 2012). Um caso semelhante foi relatado na Gold Fields Cerro Corona, onde após a implementação das recomendações de mine-to-mill, foi obtida uma economia de energia de 9,3% em termos de energia específica da moagem SAG (por Diaz e Valery, 2015) como um benefício adicional de tratamento incrementado (14% para o minério mais duro e 6% para minérios em blends).

A implementação bem sucedida de um projeto Mina a Planta requer uma metodologia estruturada apoiada por extensas e detalhadas auditorias, amostragens

e análise de dados. Treinamento e incorporação de procedimentos e práticas do site também são essenciais, para garantir que os benefícios sejam mantidos no longo prazo.

A Figura 2 mostra as etapas em uma metodologia estruturada adotada pela Hatch.



**Figura 2.** Metodologia Estruturada de Mina a Planta.

O desempenho final em atividades da cadeia de mina e planta é dependente das características do maciço rochoso in situ. Uma otimização adequada deve iniciar com uma correta e precisa caracterização mineral, aonde grupos de minérios com características similares definidas com base em propriedades de desmonte, cominuição e metalúrgicas definiriam um domínio, cuja distribuição espacial ao longo da jazida deveriam ser mapeadas para reconhecimento.

Nas operações de mina, perfuração e desmonte são as primeiras etapas de cominuição e não deve ser analisada isoladamente como somente um processo de se obter o tamanho do material ideal que possibilite a escavação por shovels e transporte por caminhões, seguindo um método convencional. A distribuição granulométrica do ROM tem um impacto direto nas operações de mina, mas também mais significativa no desempenho dos processos de planta subsequentes: de britagem, moagem, separação e recuperação.

A fragmentação do desmonte é fortemente influenciada pela estrutura e dureza, propriedades intrínsecas da rocha. Zonas de mineral mais duras e maciças, demandam maiores níveis de energia, ao passo que áreas mais brandas e naturalmente mais fraturadas demandariam menos energia.

Estas propriedades do maciço rochoso são de fundamental importância para a adequada configuração de desmontes; porém são geralmente negligenciadas devida à complexidade de inúmeras características, o que leva a alta variabilidade dos resultados do desmonte que podem ser observados em prática.

A estrutura é uma medida das fraturas naturais e descontinuidades na rocha. Ela é determinada pelas juntas e fraturas in-situ e pode ser quantificado com o fator de designação de qualidade da rocha (RQD), frequência de fratura, mapeamento de juntas, entre outros. O desmonte desloca a rocha ao longo destas fraturas naturais, de modo que a estrutura geralmente afeta a fração grossa da distribuição de tamanhos.

A resistência é uma medida da dureza da rocha matriz e pode ser medido com testes laboratoriais, como Índice de carga pontual (PLI), JK Drop Weight Test (A, b, ta), e Sag Mill Comminution Index, Drop Weight Index (DWI), Axb. A resistência à compressão simples (UCS) é uma medida comum de resistência e pode ser estimada a partir dos valores de PLI para reduzir as necessidades de teste de laboratório. A dureza impacta na geração de finos no desmonte.

A gama de características com base em estrutura e dureza é mapeada e domínios de minério são definidos, com base nestas propriedades. Práticas de fragmentação (de desmonte, britagem e moagem) podem então ser otimizados para cada um dos domínios de minério.

A Figura 3 mostra um exemplo de mapeamento de diferentes domínios de minério, adotado pela Hatch.

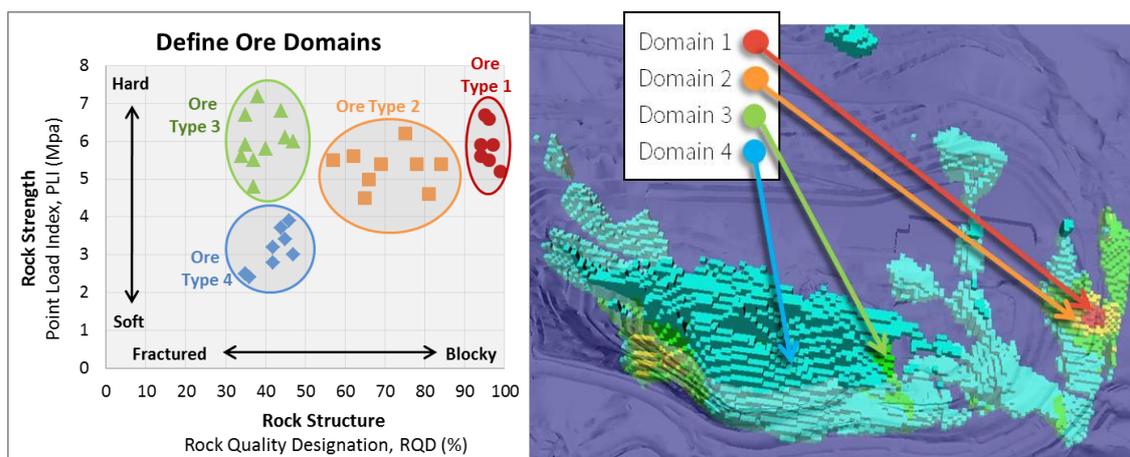
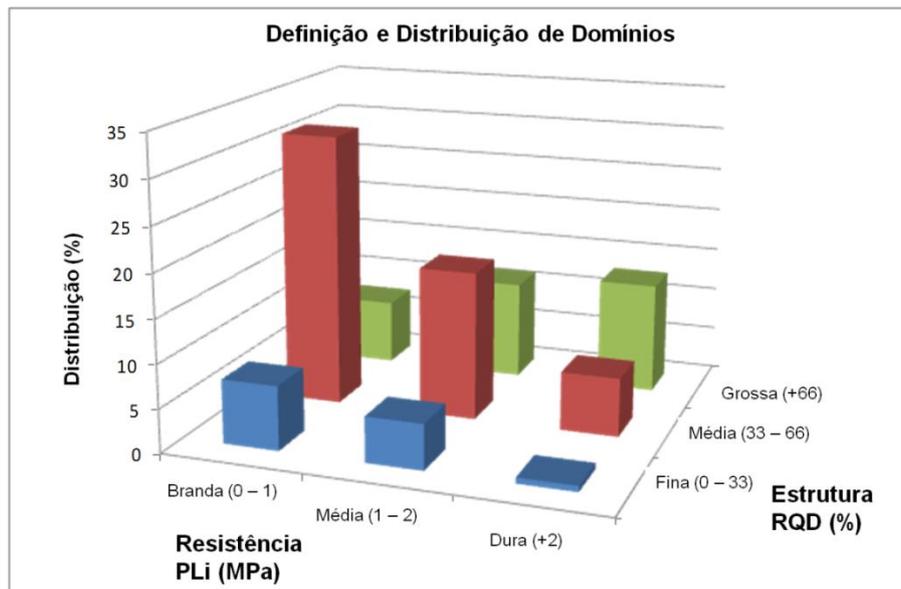


Figura 3. Mapeamento de Domínios

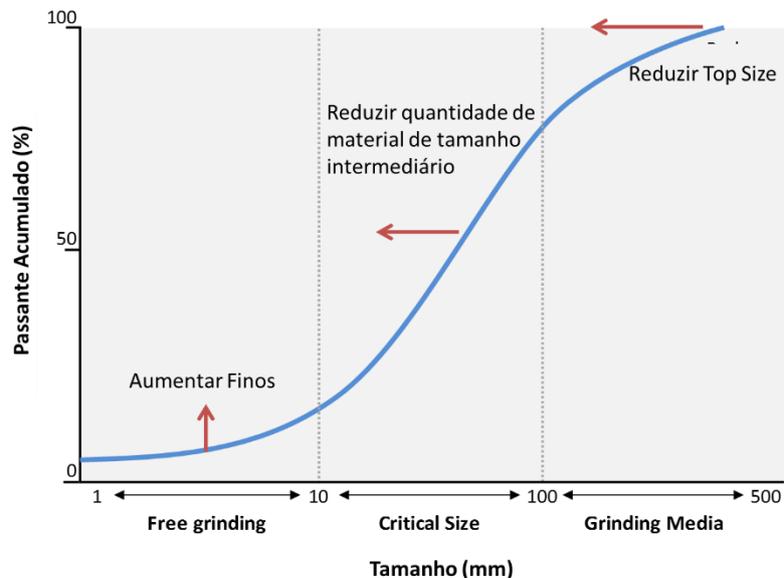
A Figura 4 mostra um exemplo de classificação do maciço rochoso por estrutura com RQD e resistência com valores de PLI dentro do modelo geotécnico, dividindo em 9 domínios minerais, por meio de uma matriz.



**Figura 4.** Mapeamento de Domínios

A melhoria no rendimento da planta muitas vezes pode ser conseguido através da manipulação da fragmentação do ROM por meio da otimização de desmonte, para reduzir sobre-tamanhos e aumentar finos. Isto não significa que se deve aumentar indiscriminadamente a razão de carga, mas como se indicou anteriormente, aumentar a energia para material mais compacto e sólido (estrutura) e duro (resistência) e reduz-se a energia quando o material está fraturado (estrutura) e branda (resistência), como resultado final em muitas operações, a intensidade de energia é mantida e em alguns casos é diminuída, devido à aplicação de energia sob medida (em função das propriedades do maciço e das necessidades do processo subsequentes).

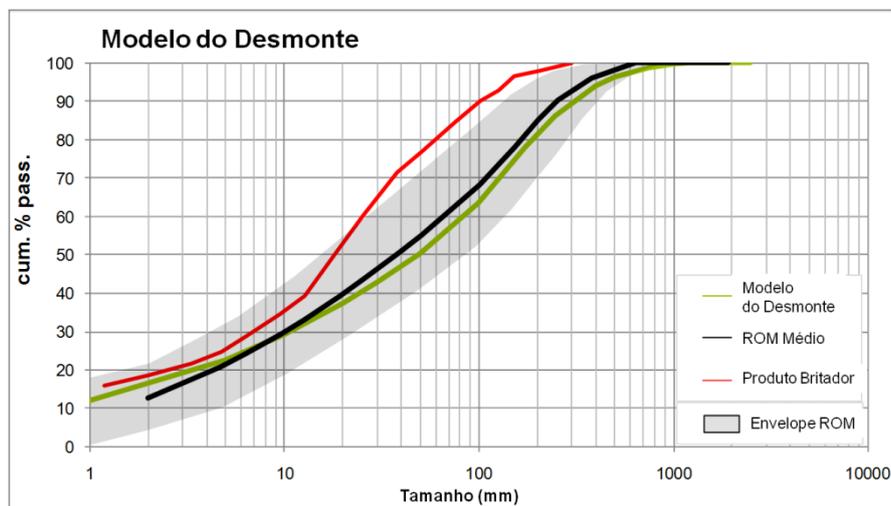
Com objetivos claros e definidos de fragmentação do ROM ideal para alimentar as etapas subsequentes de processo (como exemplo: em aplicações de moagem SAG aonde a alimentação deste tipo de moinho necessita de menor top size possível, menor volume na fração de 25 a 75mm e máxima proporção na fração -10mm de finos, ou na aplicação de HPGRs aonde a fração fina não é a primordial, mas sim o top size), pode-se gerar as recomendações necessárias usando-se de modelos de fragmentação de desmonte desenvolvidos pela Hatch, com base na caracterização e em propriedades de explosivos comerciais que serão utilizados, para uma guia de configurações de carga e geometria de malhas de perfuração para gerar este resultado de fragmentação de cada domínio.



**Figura 5.** Esquemático de otimização da distribuição de tamanhos de alimentação para moagem SAG (modificado de Valery et al., 2015)

O modelo de desmonte pode ser sensível aos principais parâmetros que afetam o resultado do desmonte, e sua calibração é feita tanto em auditorias de testes práticos quanto com análises de imagens de caminhões alimentando o britador primário com ROM, quanto com amostragem do produto do britador primário e sua distribuição de tamanho, já que a fração fina é uma conhecida limitação dos sistemas de análises de imagens disponíveis no mercado.

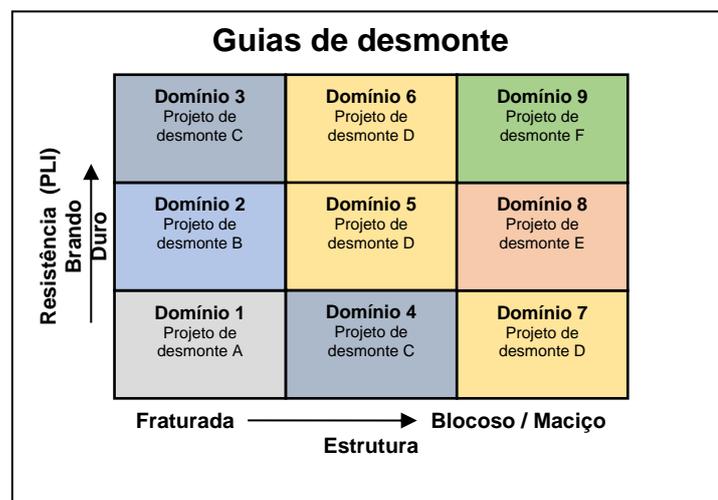
A Figura 6 mostra um exemplo do modelo de desmonte da Hatch, calibrado com o envelope do ROM e o produto do britador primário.



**Figura 6.** Exemplo de modelo de desmonte para uma operação específica

As simulações de cenários de desmonte por domínio mineral, e por fragmentação ótima necessária, são agrupados em uma matriz como mostrado na Figura 7, dando assim à operação uma receita de melhores configurações de desmonte que serão adaptados por domínio, perfuração disponível, produtos explosivos, oferecendo maior consistência na distribuição do resultado do desmonte e redução de variabilidade do processo como um todo. Assim como evitando uso desnecessário

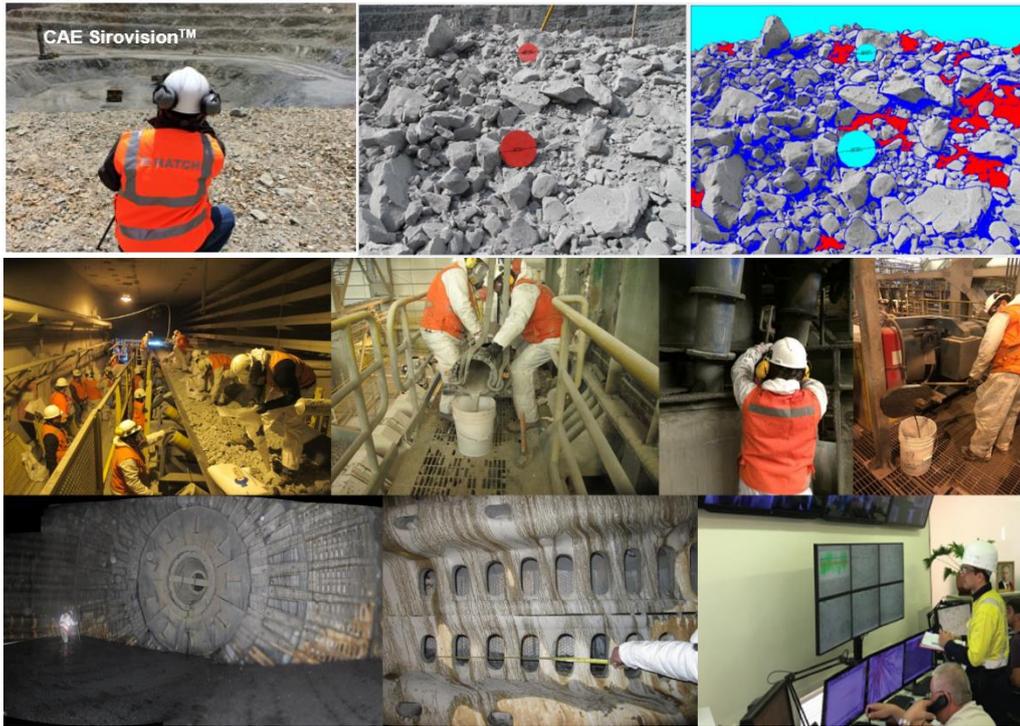
de energia em domínios mais brandos, conseqüente redução do consumo energético de processos de planta e prevenção da geração de ultra-finos que podem ser prejudiciais a alguns processos subsequentes.



**Figura 7.** Guias de Desmonte

Para se valer dos potenciais benéficos da fragmentação do ROM otimizada, com origem em práticas de desmonte ajustadas, a otimização deve ser realizada em todos os processos subsequentes. Não é suficiente otimizar a energia no desmonte, sem ajustar e otimizar processos subsequentes.

A cominuição é a operação de maior consumo energético na produção mineral (responsável por mais da metade do total de energia necessária), e mudanças na alimentação (em dureza ou em tamanho de partícula proveniente do desmonte) e na estratégia de operação do circuito de cominuição, podem resultar em redução no consumo de energia, ou incremento do rendimento do circuito. Modelos específicos à operação dos processos de cominuição permitem simulações de diferentes condições operacionais, configurações de circuitos alternativos, opções de expansão, etc, um exemplo de modelo é apresentado na Figura 9. Isto facilita na avaliação de diferentes cenários, evitando testes baseados em tentativa e erro tanto na mina como na planta, que podem ser arriscados e caros devido à produção perdida nestes testes e amostragens. Tendências e análises de variabilidade de dados operacionais históricos, cálculos de potência, e benchmarking com operações similares podem ser usados para determinar gargalos e oportunidades de melhorias. O desenvolvimento de modelos matemáticos se baseia em um trabalho rigoroso de campo, conduzindo uma série de medições tanto dos fluxos de processo como das condições internas dos equipamentos. A Figura 8 mostra um exemplo do trabalho que se realiza em campo para contar com informação confiável, para o desenvolvimento dos modelos.



**Figura 8.** Amostragem, inspeção e medições prévias ao desenvolvimento de modelos

Assim como o tamanho do material do desmonte afeta a britagem e moagem, o tamanho de partícula e liberação do produto da moagem afeta a recuperação do componente valioso nos processos de separação. A energia da cominuição aumenta exponencialmente à medida que o tamanho das partículas diminui. Portanto, é importante entender o trade-off entre os custos mais altos, o consumo de energia e o rendimento possivelmente menor de produzir um tamanho de cominuição mais fino, versus a melhor liberação e recuperação do componente valioso resultante do tamanho mais fino. Isso varia consideravelmente para diferentes tipos de minério e também mecanismos de quebra, portanto, o trade-off precisa ser entendido pelas condições particulares de cada caso.

Além da interação importante com os circuitos de cominuição anteriores, os processos de separação, que podem incluir ore sorting, flotação, lixiviação, separação magnética, concentração por gravidade, etc., também devem ser otimizados. A amostragem abrangente desses processos, realizada em conjunto com auditorias do desmonte e da cominuição, permite que o impacto de cada um seja compreendido. Os dados da auditoria são usados juntamente com dados operacionais históricos em modelagem e simulações para avaliar estratégias alternativas. Essas técnicas, juntamente com uma extensa experiência e bancos de dados industriais e de consultoria, são usadas para destacar oportunidades de melhoria de desempenho.

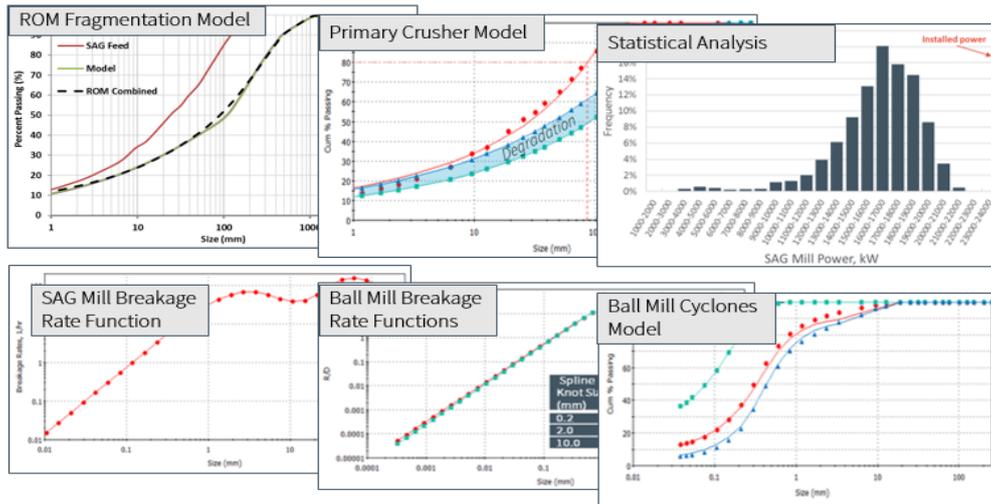


Figura 9. Exemplos de modelos matemáticos específicos ao site

Esta abordagem integrada permite que uma gama de estratégias operacionais seja simulada e avaliada para diferentes tipos de minério na mina e na planta. Para garantir que os resultados esperados sejam alcançados e mantidos, as mudanças recomendadas devem ser incorporadas nas decisões gerenciais e nos procedimentos operacionais, e o treinamento é crucial para garantir que todos tenham sua compreensão. Essa abordagem tem ajudado muitas operações a aumentar significativamente sua produção metálica com pouco ou nenhum gasto de capital. Os custos são cortados, a energia é economizada e a eficiência geral do processo melhorada e consequentemente a rentabilidade global. Além disso, essa abordagem integrada pode ser aplicada ao longo da vida útil da mina (LOM). Os modelos podem ser combinados com o planejamento da mina para gerar previsão de produção e estendido para desenvolver modelos geometalúrgicos. Isso fornece uma compreensão da variabilidade do minério e seu efeito na mina e no processo, da LOM. As aquisições de equipamento de capital podem ser previstas com bastante antecedência, o planejamento estratégico de longo prazo torna-se mais fácil e preciso e pode ser usado para reduzir riscos e maximizar a lucratividade.

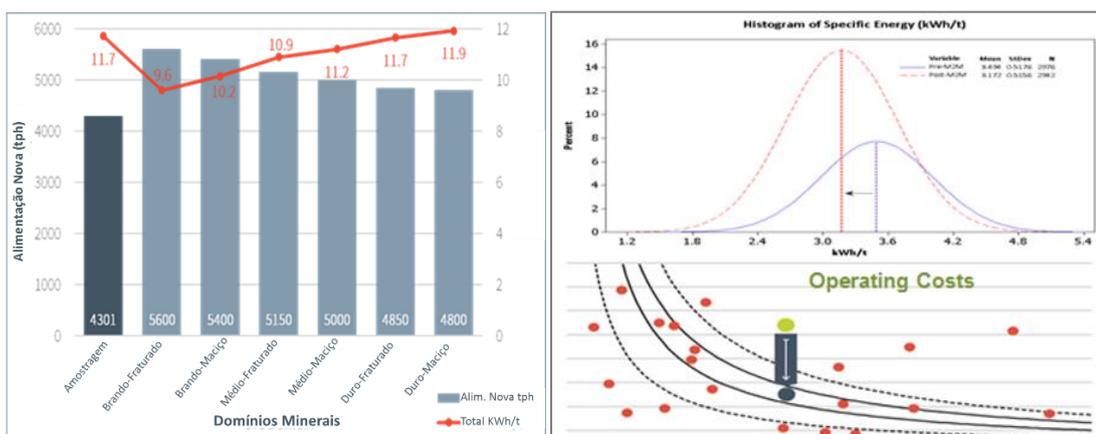


Figura 10. Exemplo de simulações e redução em custos operacionais e energia

### 3 CONCLUSÃO

A previsão e o incremento de tratamento e capacidade de processos metalúrgicos, conciliado com eliminação de gargalos operacionais em planta e otimização dos circuitos de britagem, moagem, flotação, desaguamento, em redução de consumo energético (significativamente maior do que a energia consumida em processos de perfuração e desmonte) dá a oportunidade de integrar as estratégias operacionais de processos desde à mina até a usina.

A abordagem de mina a planta tem provado ser extremamente bem sucedida quando implementado utilizando uma abordagem estruturada e apoiada por extensa coleta e análise de dados. Aumentos significativos na capacidade e redução no consumo de energia e custos foram alcançados em várias operações em todo o mundo e através de várias commodities. Os benefícios Mina a Planta são sustentados no longo prazo, quando os resultados são incorporados em práticas do site, procedimentos e treinamento. Alguns exemplos notáveis incluem: Goldfields Operação Cerro Corona, Compañía Minera Antamina, e PanAust Operação Phu Kham, Polyus Gold mines in Russia, Chadormalu and Gole-Gohar in Iran, Caserones in Chile, entre outros.

A produção, eficiência e custo-benefícios de uma otimização Mina a Planta se tornarão mais críticos no futuro, à medida que a indústria de mineração vem enfrentando crescentes desafios com a diminuição de teor de alimentação, incremento das pressões por custo, questões de energia e abastecimento de água e legislação mais rigorosa. As operações de mina terão que operar de forma mais eficiente para cumprir as metas ambientais e também para permanecerem economicamente viável.

A metodologia de Mine-to-Mill é igualmente aplicável para projetos Greenfield, assim como para operações existentes. Isso dá a oportunidade de um novo começo, a desenvolver algo mais inteligente e mais eficiente, ao invés de apenas implementar as mesmas práticas da indústria de mineração de idade e tecnologias que se tornaram obsoletas ao longo do tempo. Novas aplicações de tecnologias existentes ou adaptadas e soluções sob medida com base na compreensão das interações entre processos e tipos de minério proporcionam uma oportunidade para desenvolver mais soluções que sejam eficientes e rentáveis para a operação global. Tipicamente, os benefícios alcançados em termos de tratamento de mineral são da ordem de 5 – 30% com a mesma capacidade instalada ou com nenhum ou mínimo investimento de capital. Um intervalo similar é de 5 – 25% é alcançado em termos de redução de energia, que juntos maximizam a rentabilidade global das companhias mineiras.

## REFERÊNCIAS

- 1 Valery, W., Jankovic, A., Duffy, K., "Advances in Ore Comminution Practices over the last 25 years", XVI Balkan Mineral Processing Congress, June17-19, 2015, Belgrad, Serbia
- 2 Valery, W., Valle, R., Hayashida, R., Duffy, K., Tabosa, E., Holtham, P., (2017). Achieving Excellence in Sustainable Operating Efficiency; Minexcellence 2017, 2nd International Seminar on Operational Excellence in Mining, Santiago, Chile.
- 3 Bennett, D. Tordoir, A, Walker, P, La Rosa, D, Valery, W, Duffy, K, 2014. Throughput Forecasting and Optimisation at the Phu Kham Copper-Gold Operation, in Proceedings of the 12th AusIMM Mill Operators' Conference 2014, 1-3 September, Townsville.
- 4 Burger, B, McCaffery, K, Jankovic, A, Valery, W, McGaffin, I, 2006. Batu Hijau Model for Throughput Forecast, Mining and Milling Optimisation and Expansion Studies, SME 2006.

- 5 Diaz, R, Mamani, H, Valery, W, Jankovic, A, Valle, R, and Duffy, K, 2015. Diagnosis of Process Health, its Treatment and Improvement to Maximise Plant Throughput at Goldfields Cerro Corona, in SAG 2015 Conference Proceedings. Vancouver, Canada.
- 6 Duffy, K, Valery, W, Jankovic, A, and Holtham, P, 2015. Resource Efficient Mining Processes of Tomorrow, in Proceedings of Future Mining Conference, Sydney, Australia, 4-6 November.
- 7 Hart, S, Rees, T, Tavani, S, Valery, W, Jankovic, A, 2011. Process Integration and Optimisation of Boddington. In SAG 2011 Conference Proceedings, Vancouver, Canada, 25-28 September
- 8 Hukki, R, 1962. Proposal for a solomonic settlement between the theories of von Rittinger, Kick, and Bond. Trans. AIME, 223, 1962. pp. 403–408.
- 9 Lam, M, Jankovic, A, Valery, W, and Kanchibotla, S, 2001. Increasing SAG Mill Circuit Throughput at Porgera Gold Mine by Optimising Blast Fragmentation, in SAG 2001 Conference Proceedings. Vancouver, Canada.
- 10 McCaffery, K, Mahon, J, Arif, J, and Burger, B. 2006. Batu Hijau – Controlled Mine Blasting and Blending to Optimise Process Production at Batu Hijau. In SAG 2006 Conference Proceedings, Vancouver, Canada.
- 11 Renner, D, La Rosa, D, DeKlerk, W, Valery, W, Sampson, P, Bonney Noi, S, Jankovic, A, 2006. Anglogold Ashanti Iduapriem Mining And Milling Process Integration And Optimisation In SAG 2006 Conference Proceedings, Volume 1, 249 – 264, Vancouver, Canada.
- 12 Rybinski, E, Ghersi, J, Davila, F, Linares, J, Valery, W, Jankovic, A, Valle, R, Dikmen, S, 2011. Optimisation and Continuous Improvement of Antamina Comminution Circuit, in SAG 2011 Conference Proceedings, Vancouver, Canada, 25-28 September.
- 13 Valery, W, and Rybinski, E. 2012. Optimisation Process at Antamina Boosts Production and Energy Efficiency: Helping a large copper/zinc mine meet the economic challenge of processing harder ore types, Engineering and Mining Journal (E&MJ), September 2012.
- 14 Valery, W, Morrell, S, Kovovic, T, Kanchibotla, S, and Thornton, D, 2001. Modelling and Simulation Techniques Applied for Optimisation of Mine to Mill Operations and Case Studies. In Proceedings of VI Southern Hemisphere Conference on Minerals Technology, Rio de Janeiro, Brazil, 27-30 May.
- 15 Valery, W, Benzer, H, King, C, Schumacher, G, 2015. Chapter 11 - Comminution Circuits for Ores, Cement and Coal. In Lynch, A (Ed), Comminution Handbook (pp. 167-189). Melbourne: AusIMM.
- 16 Valery, W., Duffy, K., Jankovic, A., Tabosa, E., Valle, R., Yelkin, I., 2016. Submitted to Mining and Minerals Processing Journal Zoloto-i-tehnologii, Russia