

MÉTODO DE PREVISÃO E SOLUÇÃO DE PERDAS DE PRODUÇÃO NA OPERAÇÃO DE GREENFIELD SITE¹

Mônica Guimarães Vieira²

Marco Aurélio Soares Martins³

Plínio Cruz Gianelli⁴

Resumo

Ao se projetar uma planta de processamento mineral de maneira convencional não é possível conceber as combinações de todos os fatores que geram impactos na produção. Esses fatores englobam as variabilidades naturais do minério, granulometria, composição química, moabilidade, etc, os rendimentos operacionais dos equipamentos e as estratégias de operação e manutenção. Este trabalho apresenta um método alternativo capaz de representar um grande número de combinações de fatores e prever os resultados ao longo do tempo. A metodologia é baseada na simulação dinâmica da operação utilizando modelos de processo rigorosos, nos quais as operações unitárias são afetadas pela variabilidade de propriedades do minério tais como granulometria e composição química. Além disso, as disponibilidades de equipamentos são geradas através de modelos estatísticos ou conforme uma premissa. Esta metodologia foi aplicada em um complexo mineral com mineroduto, envolvendo rendimentos operacionais diferentes. Inicialmente, foi realizada uma simulação conforme o projeto e foi identificado o déficit de cerca 20% na produção anual de concentrado de minério de ferro. Foram, então, levantados os motivos e tomadas ações corretivas, gerando novos cenários de simulação até que a produção prevista fosse atingida. A identificação precoce dos problemas permitirá um ramp-up de menor duração. As alterações sugeridas nos cenários simulados poderão ser feitas na planta antes do start-up implicado em menor custo.

Palavras-chave: Simulação dinâmica; Ramp-up; Projetos "Greenfield".

METHOD FOR PREDICTION AND SOLUTION TO PRODUCTION LOSSES IN "GREENFIELD SITE" OPERATION

Abstract

The conventional projects of mineral processing plants do not include the combination of all the factors which have a great impact on production. Those factors include the natural ore variability, size distribution, chemical composition, grindability, etc, the equipment operating performance of the equipments and the control and maintenance strategies. This work presents an alternative method capable of representing a large number of combinations of process factors and predicting their impacts over time. The method is based on dynamic simulation using rigorous process models, in each the unit operations are affected by the ore properties variability, such as size distribution and chemical composition. Moreover, the equipments availability is generated using a premise or statistical models. This method was applied to a mineral processing plant with a pipeline, involving different operating performances. Initially, a simulation was run accordingly to the initial project and identified a loss of approximately 20% in annual iron ore concentration production was identified. Therefore, the causes were determined and corrective actions were taken, so that new simulation scenarios were created until the planned production was reached. The early identification of problems will allow a ramp-up of shorter duration. The suggested changes in simulated scenarios may be made in the plant before the start-up, resulting in lower cost.

Keywords: Dynamic simulation, Ramp-up, "Greenfield" projects.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenharia Química, Engenheira de processos, CEMI, Belo Horizonte, Brasil

³ Engenharia de Minas, CEO, CEMI, Belo Horizonte, Brasil

⁴ Engenharia de Minas, Engenheiro de processos, CEMI, Belo Horizonte, Brasil

1 INTRODUÇÃO

As premissas a serem consideradas na viabilidade técnico-econômica de um negócio de mineração podem ser descritas como:

1. Condições geográficas e de infra-estrutura;
2. Geologia;
3. Questões legais;
4. Meio ambiente;
5. Análise mercadológica;
6. Operacionalização – escala de produção, mecânica das rochas, métodos de lavra, equipamentos de lavra, extração, transporte, planejamento, ou seja, a vida útil da mina, ensaios tecnológicos, plantas de britagem, moagem, concentração e disposição de rejeitos e estéreis ⁽¹⁾

No que se relaciona à operacionalização da usina há uma complexidade intrínseca a indústria mineral que é a heterogeneidade da matéria-prima. Este fato pode tornar o processo extremamente ineficiente, visto que normalmente os projetos são feitos de acordo com uma característica média do material (por exemplo, teor) e fatores de projeto são aplicados, portanto a usina pode operar muito tempo fora da condição de usada como premissa.

Esta metodologia pode levar a erros de sobredimensionamento ou subdimensionamento de equipamentos, estoques e até mesmo orçamento e caixa. As consequências dos erros são sofridas logo na partida da planta e podem perdurar por toda vida produtiva dessa. Os principais reflexos são baixa produtividade, baixa qualidade além de gasto desnecessário com equipamentos sobredimensionados, gastos não previstos devido à troca de equipamentos, etc.

Com objetivo de estabelecer uma metodologia mais rigorosa para determinar a capacidade real de uma usina projetada e poder agir sobre as inconsistências encontradas, neste trabalho, foi feito um estudo de caso com simulação dinâmica.

A razão de utilizar a simulação dinâmica é a capacidade de aliar modelos que representem bem os processos e a sensibilidade das operações com uma combinação de milhares de cenários que poderão ocorrer na usina em operação.

Esta técnica é amplamente utilizada nas indústrias de óleo e gás, porém, o foco é bastante acentuado nos testes de sistemas de controle. Na mineração além desta aplicação outro bônus é a avaliação da produção com a alta variabilidade inerente ao minério.

A simulação dinâmica alia todas as vantagens da simulação estática com a possibilidade de variar cenários. Para isso os modelos presentes na biblioteca de um simulador estático são utilizados durante o processo. Este é acoplado a um sistema que por meio de regras programáveis pelo usuário possibilita a mudança dinâmica de variáveis operacionais.

O sistema desenvolvido pela CEMI para simulação dinâmica é o Optsim©. O sistema consiste de um simulador estático externo, um banco de dados, onde se podem buscar informações da variabilidade da planta, além se servir para armazenar os resultados obtidos, e uma estrutura com sistema especialista. A estrutura do Optsim pode ser representada pela Figura 1.

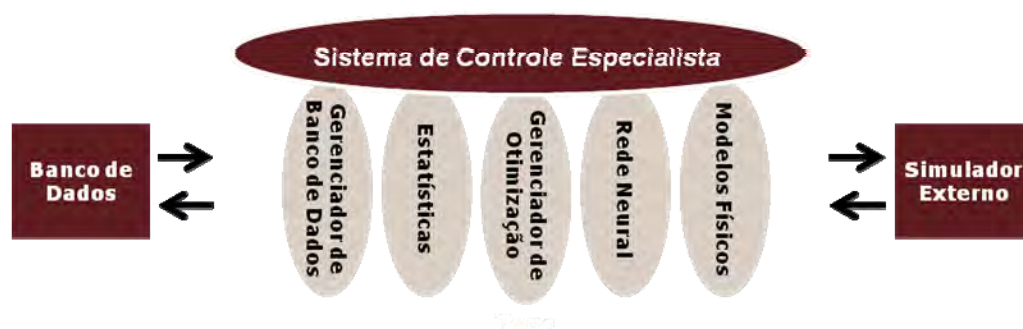


Figura 1 – Estrutura do OptSim.

Com objetivo de comprovar as vantagens que esta ferramenta pode oferecer foi realizado um estudo de caso. O projeto de uma planta de produção de pellet feed e sinter feed foi utilizado para aplicação da tecnologia.

O foco deste estudo é a análise da produtividade da usina considerando o dimensionamento projetado frente às variações de materiais de alimentação e interferências de paradas.

2 METODOLOGIA

A metodologia consiste das seguintes etapas:

- 1 – Obtenção do simulador com modelos de processos fiéis ao projeto.
- 2 – Configuração de lógicas que gerenciem os cenários.
 - A – Variabilidade do minério
 - B – Modo de operação
 - C – Estratégia de controle
 - D – Eventos de paradas corretivas
 - E – Programação de paradas programadas.
- 3 – Operação assistida da usina virtual.
- 4 – Análise do banco de dados de resultados.

A usina de beneficiamento de minério de ferro simulada é de complexidade elevada devido à integração de duas plantas, inclusive com mineroduto, em que se envolviam rendimentos operacionais diferentes. Um fluxograma esquemático está representado na Figura 2. O complexo é composto por um beneficiamento de material grosso com britagem, concentração por jig e espirais que produz sinter feed, um rejeito grosso e outro fino. O rejeito grosso é enviado à alimentação da moagem que faz parte de uma planta de beneficiamento de finos, que também recebe finos de várias fontes para alimentação da flotação. Esta usina produz pellet feed e é ligada a usina de produção de sinter feed através de um mineroduto que transporta os rejeitos finos. O mineroduto é alimentado por dois tanques e o recebimento do material também é feito por outros dois tanques. Finos vindos da barragem são recebidos em outro tanque.

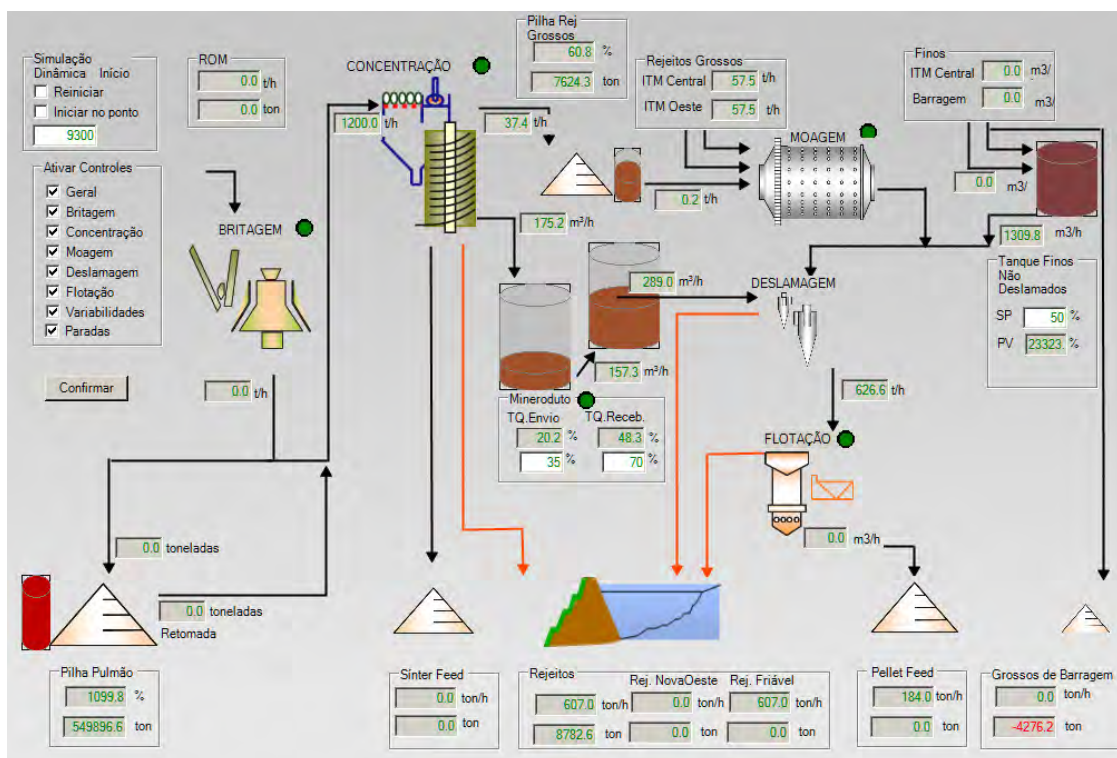


Figura 2 – Fluxograma esquemático do complexo de produção.

O processamento de finos é composto de uma flotação que recebe material de três fontes diferentes: de uma planta de moagem, de uma barragem de rejeitos e os finos de uma planta de itabiritos compactos. A flotação é composta por células de flotação rougher e scavenger e colunas nos estágios cleaner e recleaner.

A planta de moagem é procedida por uma deslamagem dupla. Os finos de barragem são classificados para retirada de material demasiado grosso.

A alimentação da flotação é composta por 57% de finos da uma planta de produção de sinter feed que chegam via mineroduto.

No simulador o material é descrito através da curva granulométrica, componentes químicos, teor de componente químico por faixa granulométrica e a densidade de cada componente. A variabilidade é representada modificando-se a granulometria e a composição de cada alimentação. O padrão de variabilidade foi definido como uma soma de funções seno e cosseno. Cada característica dos materiais variaram de acordo com as média e desvios padrão que estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Variabilidades adotadas para alimentações

Variabilidades		Simulado	
		Média	Desvio Padrão
ROM	D80 (microns)	6971	969
	Teor SiO2 (%)	17	2
Grossos da ITM Central	D80 (microns)	4715	723
	Teor SiO2 (%)	24	1
Grossos da ITM Oeste	D80 (microns)	6509	810
	Teor SiO2 (%)	26	1
Finos de Barragem	D80 (microns)	185	42
	Teor SiO2 (%)	24	2
Finos da ITM Central	D80 (microns)	198	13
	Teor SiO2 (%)	27	2

Também foram consideradas as interferências das paradas das usinas. As paradas geradas no simulador foram baseadas nos dados fornecidos presentes na Tabela 2.

Tabela 2 - Dada de paradas das unidades

UNIDADE	Horas/Ano	Utilização	Disponibilidade Física	Rendimento Operacional
Britagem	6480	80%	92%	74%
Concentração dos compactos	7446	92%	92%	85%
Mineroduto	8584.8	99%	99%	98%
Concentração dos friáveis	7200	89%	92%	82%

Primeiramente simulou-se um Caso Base no qual se reproduziu a operação conforme o projeto, considerando as paradas e uma estratégia de controle pré-determinada. Através da análise dos resultados, modificações foram propostas e implementadas, gerando os outros casos. De acordo com os resultados dos demais casos, foram implementadas novas mudanças para se contornar os problemas que surgiram.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação do Caso Base revelou um viés entre a produção teórica e a produção real, levando a necessidade de realizar modificações. A produção de sínter feed ficou 15% abaixo do projetado e a de pellet 23% abaixo. Na Tabela 3 estão as produções em milhões de toneladas.

Tabela 3 – Produções de sínter e pellet Feed no Caso Base

Produções em milhões de toneladas	Projeto	Caso Base
Sínter Feed	3.380	2.869
Pellet Feed	4.256	3.274

Neste caso a produção de sínter foi prejudicada devido às paradas da usina por nível alto nos tanques do mineroduto. O histograma da Figura 3 mostra que a alimentação ficou nula 30% do tempo sendo que o rendimento operacional inserido pela simulação 85%, ou seja, os 15% restantes podem ser atribuídos à níveis altos dos tanques.

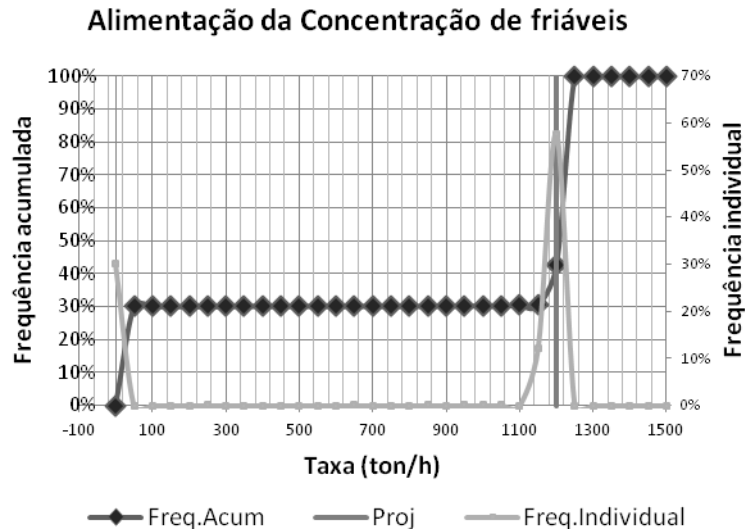


Figura 3 - Histograma da taxa de alimentação da concentração na Nova ITM Oeste no Caso Base.

Neste caso o controle dos tanques foi feito com a premissa de se evitar paradas do mineroduto. Portanto, quando o tanque de envio do mineroduto ultrapassa 95% de nível ou quando o tanque de recebimento do mineroduto ultrapassa 80% a usina de grossos é paralisada. Pelos histogramas da Figura 4 a soma dos dois casos representa cerca de 14% do tempo. Portanto, isto evidencia a limitação da produção por este controle.

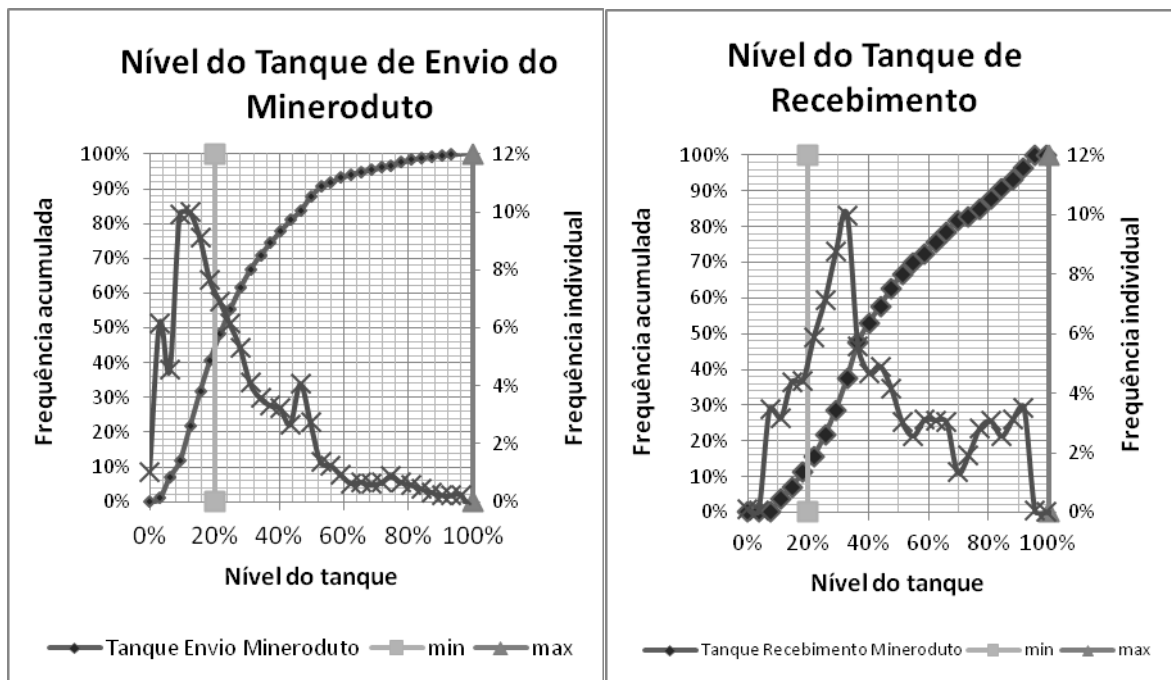


Figura 4 - Histogramas dos níveis dos tanques de envio e recebimento do mineroduto no Caso Base.

A partir da análise deste caso foram propostas soluções para adequar a produção. Um resumo das principais alterações feitas pode ser visto na tabela 4. Nela são apresentadas as principais alterações propostas em cada caso, a avaliação e o motivo da avaliação.

Tabela 4 – Resumo das principais alterações realizadas em casa caso

Casos simulados	Principais alterações	Avaliação	Motivo da avaliação	Pontos de atenção
Caso 01	Aumento do vórtex do ciclone da moagem	Pouca melhora	Pouco aumento na produção da moagem	Aumento de grossos enviados para flotação
Caso 02	Realizar paradas da das usinas de compactos e friáveis simultaneamente	Pouca melhora	Redução de eventos de tanque cheio	Necessidade de mão de obra adicional
Caso 03	Mudança de set points de trabalho dos tanques do mineroduto	Nenhuma melhora em relação ao caso 02	Bomba de saída do tanque do recebimento estabilizou em vazão baixa	Sem vantagens
Caso 04	Controle do nível do tanque de recebimento é feito pela vazão da bomba de deslocamento positivo. Redução do tempo de paradas programadas.	Melhora expressiva	A vazão do tanque de recebimento permaneceu alta e não houve ocorrências de nível alto do tanque de envio.	Número alto de paradas do mineroduto
Caso 05	Redução do vórtex dos ciclones da deslamagem da usina de compactos	Melhora expressiva	Aumento da taxa de envio de finos para mineroduto	Idem Caso 04. Ligeiro aumento do bypass de finos para flotação.

O resultado quantitativo das produções em cada caso estão representados no gráfico da Figura 5. Ele revela que a produção de pellet feed foi aumentando gradativamente com as simulações modificadas, já a produção de sínter feed sofreu um aumento substancial com a modificação executada no caso 04.

O aumento gradativo da produção de pellet reflete algumas modificações de processo ao longo dos casos como:

- modificação do set point de granulometria da moagem passando de 5% para 7,3% retido em 0,15 mm no over da ciclonagem.
- os ciclones da deslamagem dos finos de barragem tiveram o vórtex modificados de 6 polegadas para 4 polegadas.
- os ciclones da deslamagem dos finos da usina de compactos tiveram o vórtex modificados de 2,5 polegadas para 2 polegadas para redução de perda.

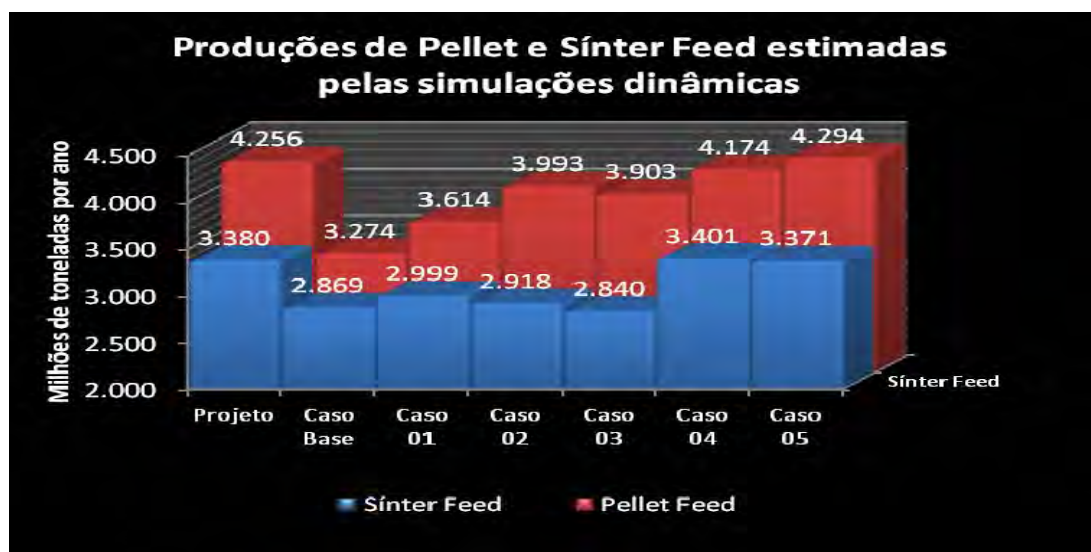


Figura 5 - Comparação das produções de pellet e sínter feed obtidas através do trabalho de simulação dinâmica.

A principal mudança ocorrida no caso 04 foi a forma de controle do mineroduto e seus tanques. Esta possibilitou a identificação do problema operacional que impedia a produção de sinter feed ser atingida. O principal motivo é o fato de sequências de paradas longas ocasionarem enchimento rápido dos tanques. Em média o tempo de residência de cada tanque é de 10 horas. Como a operação é feita com um tanque quase cheio e o outro na maioria das vezes vazio, o tempo de residência do sistema pode ser considerado de 10 horas. As paradas duram menos tempo que a residência, porém ao finalizar uma parada o esvaziamento do tanque é lento. Isto se deve a pequena diferença entre as vazões de entrada e saída dos tanques e a menor probabilidade de parada da usina que alimenta os tanques. Desta forma, o tanque de envio na maioria das vezes ainda está esvaziando, mas com nível alto e ocorria outra parada da flotação então ele se enche rapidamente chegando ao limite máximo e provocando a parada da usina de compactos.

Portanto, para atingir a produção três ações foram imprescindíveis: realizar a parada programada da flotação apenas quando o tanque de recebimento do mineroduto estiver vazio; reduzir a média do tempo de paradas programadas e controlar o nível do tanque de recebimento do mineroduto através da bomba do mineroduto.

Isto implica que haverá sucessivas paradas do mineroduto como revela o gráfico da Figura 6. É apresentada a vazão da bomba do mineroduto na parte de cima do gráfico e na parte de baixo o nível do tanque de recebimento. O período representado no gráfico é de 20 dias e ocorreram 49 paradas devido ao nível do tanque de envio ter atingido menos de 20%.

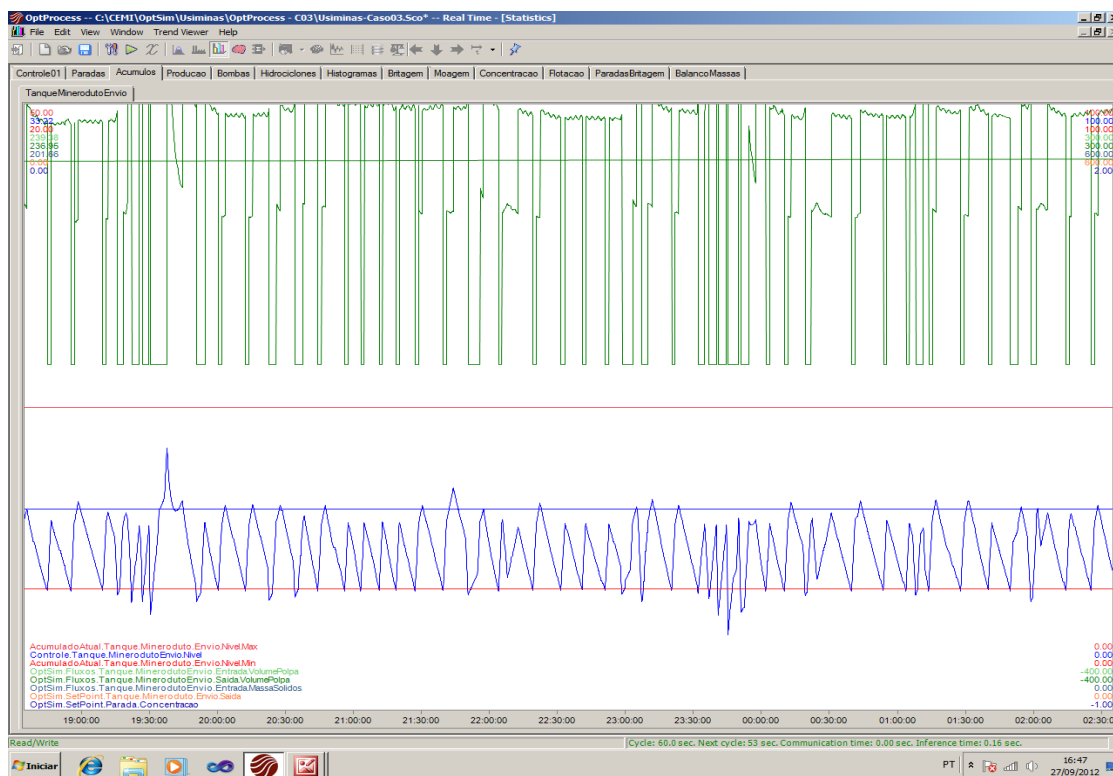


Figura 6 - Histograma de teor de Fe no pellet feed.

Para manter o nível do tanque de recebimento a bomba do mineroduto deve manter uma vazão próxima da máxima. Deste modo, na maioria do tempo a vazão de saída dos tanques de envio era maior que a vazão de entrada. Por isso a linha do nível no gráfico tem este comportamento periódico de declive, ou seja, esvaziamento do tanque até que chegue ao mínimo de controle de 20%. Então a vazão do mineroduto

é cessada até que o tanque de envio retome um nível mínimo aceitável. Isto ocorre rapidamente e logo a bomba do mineroduto retoma o bombeamento de polpa começando um novo ciclo.

4 CONCLUSÃO

A análise do projeto do ponto de vista de processo e de capacidades foi proveitosa, visto que o caso estudado obteve um resultado ruim no início e as soluções para atingir a produção partiram tanto do ponto de vista de processo como das estratégias de controle e manutenção.

O resultado gera mais confiança no projeto visto que a usina foi operada virtualmente antes de sua construção. Este fato possibilitou a inclusão de equipamentos como inversores de velocidade de bombas no orçamento antes que o problema fosse identificado na operação. Além disso, com as estratégias de controle e manutenção pré-definidas o ramp-up da planta será reduzido. O conhecimento do forte impacto de paradas longas pode ser utilizado como foco de atenção para as equipes responsáveis.

A principal vantagem da metodologia foi a capacidade de reconhecer problemas de diversas naturezas no projeto e testar as soluções propostas.

REFERÊNCIAS

- 1 ALMEIDA; M. R., Avaliação dos mecanismos de garantia financeira para fins de fechamento de mina e o seu impacto na viabilidade de projeto de mineração e grande porte no estado de Minas Gerais. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica. Junho, 2006. Ouro Preto – MG.