

APLICAÇÃO PRÁTICA DE OTIMIZAÇÃO EM UM PROCESSO DE ALIMENTAÇÃO DE UMA USINA DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO¹

Bruno Nazário Coelho²
Roberto A. Mansur³
Alcenide Elisiario Barbosa⁴
Laura Fernandes Carrijo⁵
Ronilson Rocha⁶
Roberto Dias Aquino⁷

Resumo

Este trabalho trata de uma aplicação prática no setor de mineração, mais especificamente da automação e otimização de um tripper que alimenta uma usina de beneficiamento. O tripper é um equipamento móvel de descarga contínua de material que pode alimentar mais de um silo com minério. Para otimizar o tripper foram utilizadas técnicas de simulação para definição das melhores estratégias a serem adotadas. As estratégias foram implementadas na forma de um conjunto de regras no CLP. A ferramenta de simulação utilizada foi o LabVIEW. A modelagem do processo para simulação levou em consideração o grande tempo morto do processo, a disponibilidade das linhas, os problemas de processo como a aglomeração, o revezamento dos alimentadores, as malhas de controle existentes e os erros de medição dos instrumentos. Toda intervenção com a operação foi programada no sistema de supervisão existente da planta.

Palavras-chave: Simulação; Modelagem; Mineração; Sistema especialista.

A PRACTICAL APPROACH OF OPTIMIZATION AND AUTOMATION OF AN IRON ORE CONCENTRATION PLANT

Abstract

This paper presents the a practical application on mining industry, to be more specific an automation and optimization of the feed process (a tripper) from a concentration plant. A tripper is mobil equipment which provides continuous-feed system for a set of silos. Usually it is the first equipment in a mining concentration plant. Simulation techniques has been used to select the best strategic to control the tripper. The implementation has been done as a set of rules using the PLC. The Labview was the tool to develop the simulation. The modeling consider the long dead time, process availability, mining typical problems, the control loops and the measurement errors. The logics development has been made using the PLC plant for all situations.

Key words: Tripper; Simulation; Modeling; Mining; Expert System.

¹ Contribuição técnica ao 13º Seminário de Automação de Processos, 7 a 9 de outubro de 2009, São Paulo, SP.

² Graduado em engenharia de controle e automação pela UFOP. Trainee da Vale.

³ Mestre e graduado em engenharia de controle e automação. Supervisor da Vale.

⁴ Formado em matemática pela UFOP. Trabalha na gerência de automação da Vale.

⁵ Engenharia de controle e automação pela UFSC. Atua na Chemtech como engenheira.

⁶ Mestre e doutor em engenharia elétrica. Professor adjunto da UFOP.

⁷ Graduado em engenharia de controle e automação. Supervisor da Vale.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de sistemas de otimização para processos industriais é muito buscado nas grandes empresas hoje em dia devido às grandes margens de ganho proporcionadas pelos sistemas, aumentando assim a competitividade no mercado com melhorias tanto qualitativas quanto quantitativas.

Para a implementação desses sistemas, são necessários inúmeros testes e validações feitas de modo que se tenha uma garantia de perfeito funcionamento após a implantação, e que os ganhos estimados na etapa de projeto sejam reais.

Para isso é imprescindível que sejam feitas modelagens e simulações do processo de maneira que fiquem próximas da realidade em que se possam ser testadas os mais diversos cenários possíveis sem que a planta seja afetada. Com uma modelagem adequada e um processo simulado com um alto grau de compatibilidade com a realidade pode-se fazer estimativas de ganhos prevendo diferentes casos e situações extremas de controle.

Nesse tipo de processo algumas características devem ser levadas em consideração para que o sistema de controle funcione de maneira adequada, como a não linearidade, os elevados tempos de atraso, a ocorrência de tempo morto, acoplamento das variáveis, perturbações, ruídos e erros na medição.

Este trabalho trata de uma aplicação prática no setor de mineração, mais especificamente da automação e otimização de um tripper que alimenta a usina de beneficiamento de Fabrica Nova - Vale (Mariana - MG). O tripper é um equipamento que sustenta uma Correia Transportadora (TC) se movimentando sobre trilhos e fazendo uma descarga contínua de material que pode alimentar mais de um silo com minério. Usualmente é um dos primeiros equipamentos do processo de concentração de minério.

O tripper pode ser controlado por um operador através de uma IHM localizada dentro do próprio equipamento, onde este pode acompanhar os níveis dos silos, controlar manualmente a alimentação de minério, a velocidade e a direção do movimento do tripper. Mas na prática, ocorrem inúmeras situações que inviabilizam a operação manual, sendo uma delas a questão da segurança operacional, em que o operador precisa se deslocar até o tripper para fazer o controle. Outra dificuldade é a uma grande quantidade de variáveis que devem ser acompanhadas simultaneamente para a operação ótima, e acabam sendo geradas faltas de minérios nos silos, parando uma ou mais linhas de produção.

Para otimizar o sistema de alimentação da usina foram utilizadas técnicas de simulação para definição das melhores estratégias a serem adotadas. A ferramenta de simulação utilizada foi o LabVIEW.

A modelagem do processo para simulação levou em consideração o grande tempo morto do processo, a disponibilidade das linhas, os problemas de processo como a aglomeração ou afunilamento, o revezamento dos alimentadores, a posição dos silos, as malhas de controle existentes e os erros de medição dos instrumentos. Todo o desenvolvimento das lógicas de controle e otimização foi feito no próprio CLP da usina, abordando todos os cenários de operação possíveis. Toda intervenção com a operação foi programada no sistema de supervisão existente da planta.

Um das dificuldades é a grande distância percorrida pelo minério da Pilha Pulmão até os silos, que gera um tempo morto para o controle da alimentação de aproximadamente três minutos, considerando que a velocidade das correias é constante. Esse tempo de atraso do sistema gera inúmeros inconvenientes para a

programação, pois uma atuação qualquer na alimentação, só irá afetar o processo três minutos depois. Em casos extremos onde é necessário um corte rápido na alimentação, esse atraso pode causar a atuação de uma sonda de emergência por entupimento na saída do tripper pelo fato de um silo ultrapassar sua capacidade antes de chegar o corte da alimentação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de alimentação (Figura 1), é composto por quatro alimentadores vibratórios (AL-5001, AL-5002, AL-5003 e AL-5004) instalados abaixo da pilha de suprimento de minério (Pilha Pulmão). Esses alimentadores descarregam o minério da pilha em duas correias transportadoras paralelas (TC-5005 e TC-5006). A TC-5007 além de receber o minério das duas correias anteriores, recebe também a alimentação de dois britadores (BR-5011 e BR-5012) que são re-alimentadores do sistema. A única balança do circuito está posicionada na metade da TC-5007, e é a única informação que se tem sobre a quantidade de minério que está sendo utilizado para a alimentação da Usina, em toneladas por hora. A última correia transportadora desse circuito é a TC-5008, que tem uma parte fixa e uma parte móvel que passa dentro do tripper. Esse equipamento se movimenta lateralmente sobre trilhos posicionados acima de seis silos, ligados lateralmente, com capacidade de aproximadamente 650 toneladas de minério cada. Cada um dos seis silos possui um alimentador vibratório abaixo do seu centro, que controla a vazão de minério para as seis linhas do processo de beneficiamento.

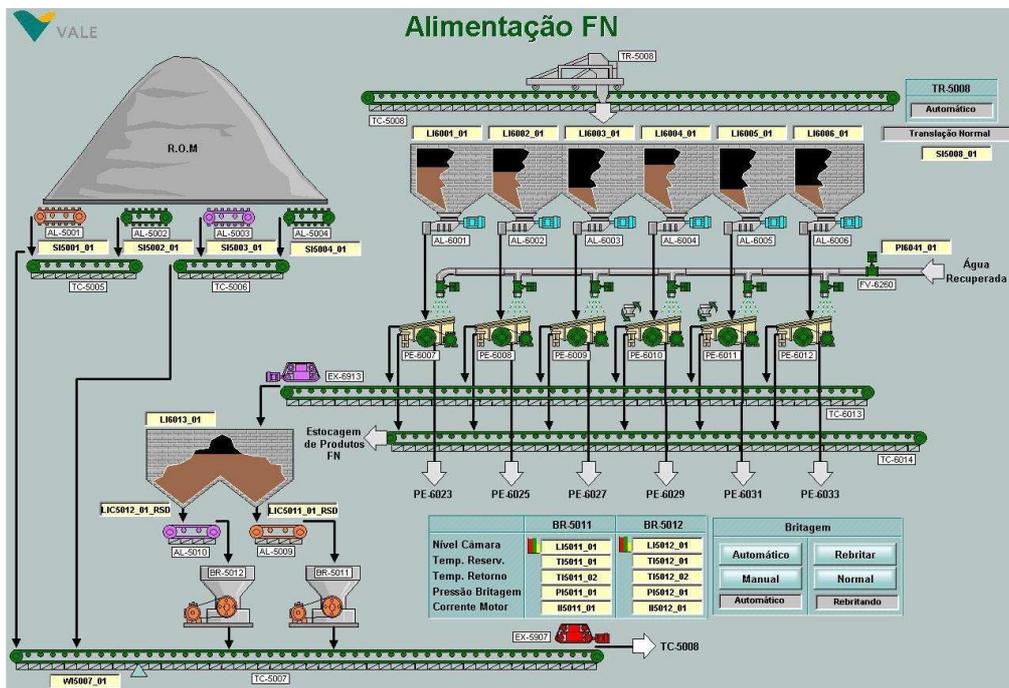


Figura 1. Circuito de Alimentação da Usina.

O problema consiste em controlar a alimentação da Usina através da movimentação do tripper para uma melhor distribuição do minério nos seis silos. O tripper alimenta o silo que está posicionado exatamente abaixo dele, sendo que essa alimentação só pode ser realizada em um silo a cada momento.

Um problema identificado foi o maior número de faltas de minério nas linhas 1 e 6, que são as linhas das pontas. Analisando essa característica, foi identificado

que o tripper ficava menos tempo alimentando esses dois silos. Nas linhas intermediárias o tripper atravessa todo o silo enquanto alimenta, já nas linhas da ponta, o tripper chega somente até a metade dos silos, pois é desnecessária a montagem de uma estrutura física para o tripper chegar no início do silo 1 e no final do silo 6, sendo que o ponto ideal de enchimento de cada silo é no meio.

Foi definido como ponto inicial a ser trabalhado, a redução do tempo de falta de minério nos silos 1 e 6. Para a resolução desse problema, analisando os dados históricos da planta, verificou-se que aumentando o tempo médio de permanência do tripper em cada um dos dois silos seria uma estratégia viável e de simples implementação no CLP, sendo necessários somente alguns ajustes na programação.

Outro ponto a ser analisado foi o caso em que a linha 2 ou a linha 5 estavam indisponíveis. Com isso, as linhas 1 e 6 ficam isoladas das outras e o tripper tem que passar sobre a 2 e 5 sem alimentação, pois as linhas podem encher e gerar paradas por emergência de sobrecarga e nível alto nos silos.

Para o sistema de alimentação funcionar de forma ótima, foi desenvolvido um conjunto de regras no CLP definindo a atuação na planta em todos os casos possíveis de operação. A programação da movimentação do tripper, os cortes de alimentação da pilha, as velocidades dos inversores foram definidos nas regras.

Outra melhoria foi a implementação de uma malha na alimentação da pilha de minério, fazendo o controle pelo nível médio dos silos. O controle é feito para manter o nível médio das seis linhas em 55%. Em geral, a alimentação é dependente do número de linhas operando, sendo que para cada linha ocorre um aumento na alimentação. O funcionamento de dois britadores inseridos no meio do processo de alimentação dos silos também é levado em consideração para o pedido da alimentação.

2.1 Instrumentação

O posicionamento do tripper é identificado por sensores indutivos posicionados em pontos estratégicos do trajeto. A medição principal é feita por um sensor acoplado na roda do tripper que a cada volta envia um pulso para o CLP. A distância total percorrida pelo tripper nos trilhos é 35 metros, que começa na metade do primeiro silo e termina na metade do sexto, totalizando 73 pulsos gerados uniformemente durante o percurso. Para efeito de correção do posicionamento foram instalados cinco sensores posicionados na separação dos silos, essa correção é feita de maneira automática no CLP corrigindo o pulso gerado pela roda, de acordo com o posicionamento fixo no trajeto. Existem também dois sensores indutivos como medida de segurança, garantindo o Fim de Curso quando o tripper chega ao limite.

Sensores indutivos emitem sinais que fazem a detecção de partes metálicas que atravessam seu campo magnético, mesmo não tendo contato direto com o material, e retorna um sinal elétrico para posterior identificação e tratamento da detecção.

A medição do nível dos silos é feita por um sensor ultra-sônico localizado no centro de cada silo sendo, portanto seis sensores. Esses seis sensores são comandados por uma única central eletrônica, que tem um ciclo de leitura de aproximadamente 12 segundos, uma leitura a cada 2 segundos nos sensores. O sinal da central eletrônica é disponibilizado para a leitura de um CLP, que faz a conversão do sinal recebido de 0 a 4095 para 0% a 100% dos níveis.

Para esse tipo de aplicação, há uma grande vantagem na utilização de sensores ultra-sônicos, pois no momento da alimentação dos silos é gerada uma grande quantidade de poeira no local, o que tornaria inviável a utilização de sensores laser.

2.2 Aquisição de Dados

Para efetuar as modelagens necessárias do sistema, e para o desenvolvimento de um simulador foi necessária a programação de um cliente OPC para efetuar leituras rápidas nas redes de comunicação, de aproximadamente 50 ms. Os dados lidos são automaticamente gravados em uma planilha.

O padrão OPC, segundo Fonseca,⁽¹⁾ estabelece as regras para o desenvolvimento de sistemas com interfaces padronizadas para comunicação dos dispositivos de campo, como CLPs, sensores e atuadores, com os sistemas de monitoração, supervisão e gerenciamento, como SCADA, MES, ERP e PIMS. O desempenho da comunicação pelo padrão OPC é próximo do desempenho apresentado por sistemas que utilizam *drivers* de comunicação específicos e otimizados.

Além da utilização desse cliente OPC, foi utilizado o histórico do sistema PIMS da planta, *process information management systems*, para uma análise geral dos casos mais ocorridos e validação do sistema em casos mais específicos.

De acordo com Carvalho,⁽²⁾ os PIMS são sistemas de aquisição de dados que recuperam os dados do processo vindos de diferentes fontes, e os armazenam em um Banco de Dados para posterior disponibilização através de diversas ferramentas.

Segundo Mansur,⁽³⁾ o PIMS deve ser capaz de buscar dados utilizando, muitas vezes, o padrão OPC e sua capacidade de armazenamento e compactação dos dados é normalmente de 10:1. Em um sistema completo de automação, o PIMS é localizado na parte intermediária, abaixo do sistema corporativo e acima do chão de fábrica.

2.3 Modelagem dos Níveis

A modelagem do nível dos silos foi de grande importância para o desenvolvimento do sistema de controle, pois com essa modelagem foi possível prever a movimentação do tripper baseado nos níveis futuros dos silos, e a alimentação pôde ser alterada prevendo grandes variações nos níveis.

Outra vantagem da modelagem dos níveis é que esta foi necessária para a implementação no simulador, com a finalidade de deixá-lo da maneira mais realista possível, em que se possam testar casos semelhantes aos ocorridos em circunstâncias reais.

Segundo Amaral,⁽⁴⁾ realizar um controle com grande tempo morto na resposta do sistema impõe uma ação oscilatória ao processo, então efetuando um controle em 'n' instantes de tempo à frente, mesmo com pequenos erros nos valores previstos comparados com o valor real, acredita-se ser possível melhorar o controle de nível.

Foram desenvolvidas duas abordagens diferentes para a modelagem da variação dos níveis. A primeira foi feita com o ajuste de curvas pelo método dos Quadrados Mínimos, em que o ajustamento da curva é feito tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre a curva ajustada e os dados. A segunda abordagem foi desenvolvida geometricamente, traçando a curva teórica esperada

pela variação de nível em cones ideais, sendo aproximados do que ocorre no silo real.

Na primeira abordagem, método dos Mínimos Quadrados, foram utilizados os dados adquiridos anteriormente pelo cliente OPC, e também alguns conjuntos de dados retirados do PIMS.

Segundo Souza,⁽⁵⁾ na maioria dos casos tem-se uma tabela de pontos (x_i, y_i) , em que cada y_i é obtido experimentalmente. A partir disso é possível obter a expressão analítica de uma dada curva $y = f(x)$ que melhor se ajusta ao conjunto de pontos.

Para fazer o ajuste a uma função polinomial,

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$$

onde, $m \leq n - 1$.

A soma dos quadrados das distancias é dada por:

$$q = \sum (y_i - P(x_i))^2$$

e depende de $m + 1$ parâmetros.

Para minimizar a função, devem-se satisfazer as condições que fornecem $m + 1$ equações normais.

$$\frac{\partial q}{\partial a_i} = 0 \quad \forall i = 0, 1, \dots, m$$

No caso de uma função polinomial quadrática:

$$\left\{ \begin{array}{l} na_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a_2 = \sum_{i=1}^n y_i \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3 \right) a_2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3 \right) a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^4 \right) a_2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \end{array} \right.$$

Para o ajuste da curva de decaimento do nível com uma função polinomial quadrática, foi obtida a equação:

$$y = 56,90753 - 0,0201837x - 0,0001054x^2$$

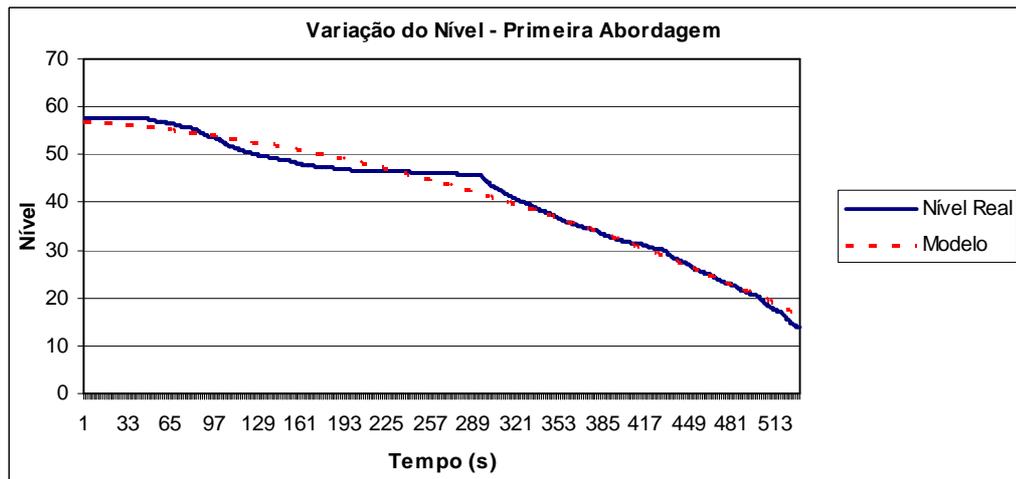


Figura 2. Tendência de Variação do Nível – Primeira Abordagem.

Na segunda abordagem, foram considerados dois cones representando o volume útil de cada silo, sendo um cone invertido na parte inferior e outro cone acima, sendo que as bases dos cones são a mesma e se encontram ao meio. Esses cones formam uma pequena pilha de minério dentro do silo.

Nessa abordagem não foram utilizados dados adquiridos da planta, mas sim gerados de acordo com uma variação ideal simulada nos volumes cônicos. Essa abordagem foi utilizada principalmente para comparação dos resultados obtidos com a primeira abordagem, e os únicos dados da planta utilizados para essa abordagem foram de capacidade e dimensão dos silos.

Foi obtida a seguinte equação para variação do nível:

$$y = 99,908 - 0,1635x + 0,0002x^2 - 1E-07x^3$$

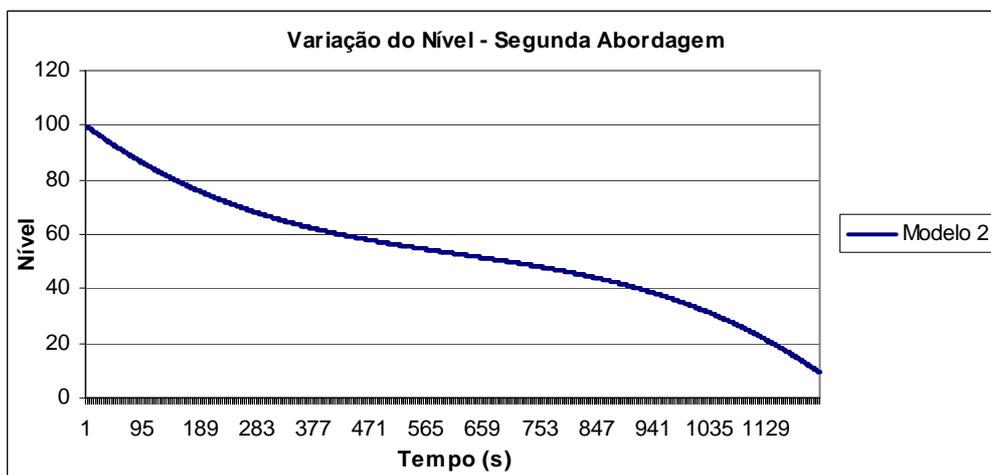


Figura 3. Curva Teórica de Variação do Nível – Segunda Abordagem.

Comparando a curva teórica esperada com o modelo dos Mínimos Quadrados, é observado que as modelagens são próximas na faixa de nível de 10 a 60%, que é considerado a faixa mais crítica de operação, e que ocorre na maior parte do tempo.

A variação de volume no tempo também pode ser observada para a mesma conclusão, em que foi gasto um tempo de aproximadamente 500 segundos para a variação de 55% para 15% do nível.

Foram feitos ainda outros testes para a validação do modelo comparando com a variação real ocorrida em diversas situações. Uma pequena discrepância entre os valores pode ocorrer devido a variações de densidade e umidade do minério, que não foram considerados na modelagem.

A curva de 2º grau encontrada na primeira abordagem foi utilizada para a simulação dos níveis.

2.4 Simulação

Sistemas de simulação têm uma grande importância em projetos de automação, pois permitem que diversos cenários diferentes sejam testados antes da implantação, sem que haja risco para a planta em funcionamento. Outra vantagem é a possibilidade de se estimar ganhos de produtividade, analisando a viabilidade da implantação de um determinado sistema.

Gavira⁽⁶⁾ ressalta que experimentos de simulação computacional devem começar com a formulação do problema e com o planejamento do estudo. A simulação permite antecipar problemas e soluções antes da implantação. Um ponto importante que deve ser verificado durante o projeto é o desempenho do sistema, e com as ferramentas computacionais adequadas o comportamento do sistema pode ser simulado por completo, sendo validado em relação ao desempenho e a resposta a falhas. Modelar problemas reais exige um grande esforço de tratamento de informações, por isso um modelo deve ter um formato computacional reconhecível.

Segundo Freitas,⁽⁷⁾ a simulação computacional de modelos pode acontecer de duas formas, discreta ou contínua. Na simulação discreta a observação do comportamento do sistema ocorre somente em determinados instantes de tempo, por exemplo, sistemas baseados em eventos e uma fila de banco. Na segunda forma, a observação do comportamento do sistema no tempo é contínua, utilizando modelos matemáticos de sistemas dinâmicos, como por exemplo, o modelo de um motor de corrente contínua.

O simulador foi desenvolvido na plataforma LabVIEW utilizando a programação de blocos em geral, e a linguagem texto estruturado para descrever o conjunto de regras da movimentação do tripper. O modelo dos níveis determinado anteriormente foi implementado no simulador.

Para o monitoramento da simulação foi desenvolvido um Front-End dividido em duas partes, visualização e controle. Na visualização, é mostrada de maneira animada, toda a parte afetada do processo, desde a alimentação na pilha, até o silos. A movimentação do tripper pode ser vista de maneira muito simplificada, analisando de maneira prática os cortes na alimentação, a variação de minério nos silos e a falta de material nas linhas.

O controle da simulação é realizado com a entrada de dados iniciais do sistema, onde é definido o número de linhas funcionando, nível inicial dos silos, capacidade dos silos e das correias, entre vários outros parâmetros. A velocidade da simulação também pode ser controlada, sendo que é possível simular várias horas com diversas características de funcionamento da planta, em alguns segundos, e isso é de grande importância para a análise de falhas e ganhos de produtividade com o sistema a ser implementado.

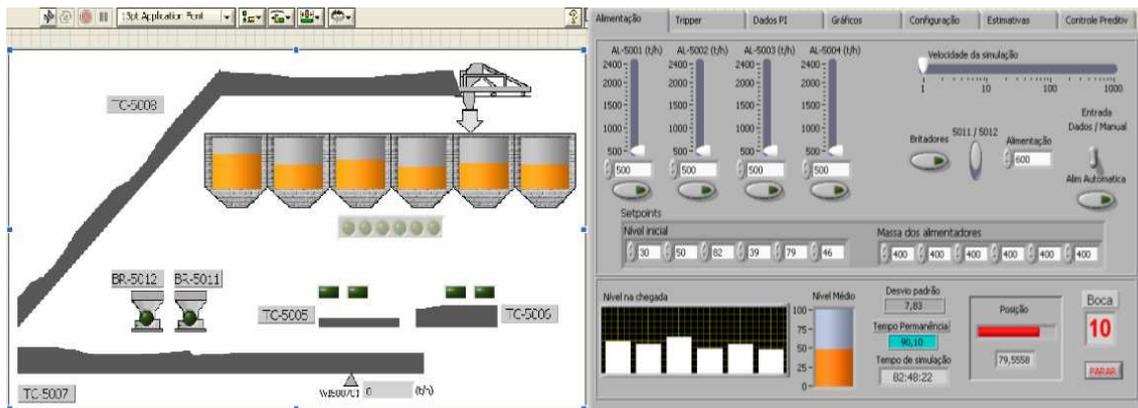


Figura 4. Visualização e Controle no Front-End do simulador - LabVIEW.

2.5 Sistema Especialista

A estratégia adotada consistiu na caracterização e no desenvolvimento de um conjunto de regras englobando todas as possibilidades possíveis de operação incluindo casos extremos de controle em que a operação já se torna inviável, mas que devem ser tratados pelo sistema para casos emergenciais.

O conjunto de regras foi implementado em um CLP, que de acordo com as prioridades identificadas no processo executa a tomada de decisão implementada.

Nessa estratégia, a identificação de qual linha está funcionando e qual está parada é o primeiro item a ser avaliado, pois qualquer decisão posterior é dependente dessa informação. Com base nessa informação o sistema avalia as melhores alternativas de atuação, segundo as regras implementadas. O sistema também efetua o cálculo de todos os tempos de translação de um silo para qualquer outro. Esse cálculo é feito com tempos diferentes para avanço e para retorno, pois existe uma pequena diferença de velocidade máxima de translação do tripper para frente ou para trás.

As regras foram separadas em oito principais grupos de atuação, grupo A ao grupo H, sendo que a primeira escolha a ser feita pelo sistema é a de qual grupo é o mais indicado para aquela determinada situação ocorrida.

As divisões dos grupos foram feitas de maneira que o Grupo A compreende dezesseis regras com os casos em que todas as linhas funcionando são vizinhas, não existindo linhas isoladas, linhas paradas, nem silos cheios no meio da sequência. Para esse grupo, a movimentação do tripper é fixa e atua de forma contínua em um “vai e vem” sobre as linhas funcionando. O Grupo B contém oito regras com os casos em que apenas uma linha fica isolada de uma sequência de três ou quatro linhas funcionando. No Grupo C a situação é semelhante ao Grupo B, com a diferença que duas linhas ficam isoladas de uma sequência de três linhas funcionando. O Grupo D é ativado quando duas sequências de duas linhas estão funcionando de forma isolada. Ao todo foram criadas 80 regras divididas entre os oito grupos de atuação, tratando 63 situações possíveis, com algumas delas contendo pequenas variações.

Depois de definido o grupo mais adequado para o momento é iniciado o processo de translação e de controle da alimentação. Quando ocorre algum caso que é necessário efetuar uma pausa na alimentação para atravessar uma linha parada, é feita uma manobra com cálculo de tempo para o posicionamento correto do tripper para coincidir com o corte da alimentação exatamente no momento da passagem sobre a linha parada. O atraso no corte da alimentação da pilha até a

chegada do minério no tripper é de aproximadamente três minutos. Em geral são feitos dois cortes na alimentação em um curto espaço de tempo, pois o tripper tem que ir até a linha isolada e depois voltar para o grupo de linhas funcionando, e para isso deverá passar sobre a linha parada duas vezes.

A identificação das seqüências pode ser feita a cada ciclo de leitura do CLP ou a um tempo determinado. Uma nova seqüência para a movimentação irá iniciar somente após o termino da execução anterior, não deixando uma seqüência pela metade.

3 RESULTADOS

A implantação sistema proposto resultou na redução direta do tempo de falta de minério nos silos da Usina de Fábrica Nova, exceto por problemas de falta de pilha de alimentação, conforme gráfico da Figura 5. No gráfico cada ponto representa o total mensal de falta de minério de todos os silos da planta.

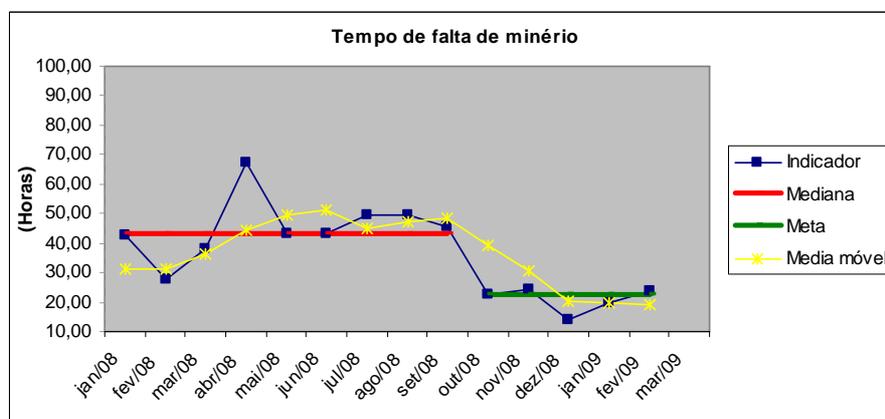


Figura 5. Tempo de Falta de Minério

A otimização do tripper foi bem sucedida e início da implantação ocorreu no mês de agosto. O sistema foi finalizado em dezembro de 2008.

4 DISCUSSÃO

Em projetos anteriores, com problemas semelhantes ao descrito neste artigo, foram utilizados sistemas de otimização para o controle avançado da alimentação de silos através de trippers. Estes sistemas permitem a modelagem de tomadas de decisões considerando as mais diversas variáveis do processo, através da utilização de várias técnicas de controle, tais como, lógica fuzzy e redes neurais

O desenvolvimento de lógicas em sistemas de otimização e controle avançado é extremamente simples e rápido, além disso, o próprio sistema de desenvolvimento permite a simulação de diversos cenários.

Entretanto, a utilização destes sistemas requer normalmente a aquisição de um software proprietário e servidores próprios, onerando em muito o custo do projeto. E gerando um ponto a mais de falha, obrigando o desenvolvimento de lógicas de contingência simplificadas no CLP.

Além disso, os CLPs atuais possuem artifícios bastante avançados, tais como linguagem IEC 61131-3, entre outros, permitindo assim o controle ótimo para a maioria das situações encontradas na alimentação de silos através de trippers.

Com este projeto foi possível medir ganhos tangíveis para o mesmo, como o tempo de falta de minério reduzido após implantação do sistema, mostrado na Figura 5. Esta melhora de performance do processo é acompanhada pelo indicador do projeto de otimização de tempo em automático, mostrado na Figura 6. Além do tempo em automático o maior distribuição de cargas nas correias transportadoras aumenta a vida útil dos equipamentos.

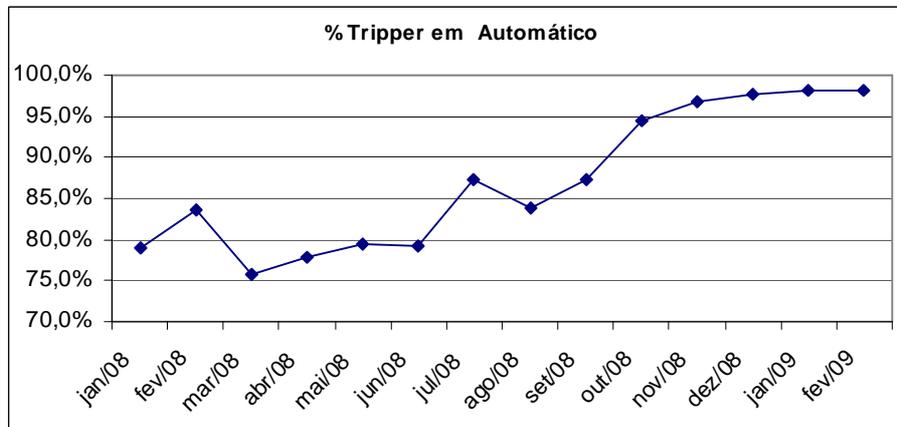


Figura 6. Tempo de Funcionamento em Automático do Tripper

5 CONCLUSÃO

Com esse projeto de automação e otimização, o tempo de falta de minério e as paradas das linhas foram reduzidos, gerando um bom retorno financeiro comparado com o pequeno gasto para implementação. A escolha do CLP como ferramenta de implementação do sistema especialista mostrou-se adequada, prática e econômica. Uma vez que não houve alterações na arquitetura de automação e nem aquisições de softwares adicionais.

Como sugestão de trabalho futuro e melhorias, pode-se utilizar metodologias de árvores de decisão para simulação on-line do comportamento do tripper e assim encontrar o ponto ótimo de operação.

REFERÊNCIAS

- 1 FONSECA, M. de O. Comunicação OPC – Uma abordagem prática. VI Seminário de Automação de Processos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 9-10 de outubro de 2002 – Vitória – ES, Brasil.
- 2 CARVALHO, F. B. *et al.* Sistemas PIMS – Conceituação, Usos e Benefícios. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.I, n.4, p.1-5, abr-jun. 2005.
- 3 MANSUR, R. A. *et al.* Modelagem de um Processo Mineral: Mineroduto da Samarco. ass VII Seminário de Automação de Processos - ABM, Santos - SP, p298-307. 2003.
- 4 AMARAL A. M. Inteligência computacional aplicada para controle preditivo de nível. X Seminário de Automação de Processos - ABM, 4 a 6 de outubro de 2006, Belo Horizonte – MG. 2006.
- 5 SOUZA, M. J. F. Notas de aula de Métodos Numéricos. Disponível em : <<http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Disciplinas/MetodosNumericoseEstatisticos/QuadradosMinimos.pdf>> Acesso em: 12 de junho de 2008

- 6 GAVIRA, M. O. Simulação Computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento Tese de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 150 pp, 2003.
- 7 FREITAS E. F. *et al.* Utilização de técnicas de simulação para desenvolvimento, testes e validação de projetos de automação. X Seminário de Automação de Processos - ABM, 4 a 6 de outubro de 2006, Belo Horizonte – MG. 2006.