

BALANÇO DE MASSAS AUTOMÁTICO – A EVOLUÇÃO DE SUA APLICAÇÃO EM UMA USINA DE MINÉRIO DE FERRO¹

Marco Aurélio Soares Martins²
Plínio Cruz Gianelli³
Marcelo Montalvão Gontijo⁴
Hugo Montalvão Gontijo⁵
Mônica Guimarães Vieira⁶

Resumo

O objetivo do trabalho é mostrar o “estado da arte” das estratégias de fechamento de balanços de massas em usinas de minério. A metodologia atual de balanço de massa é baseada na utilização de um sistema especialista que tem a função de obter e filtrar dados da planta, analisando situações de paradas de equipamentos e principalmente falhas de medidores. Foi criada uma estratégia para substituir as medidas consideradas inválidas por resultados obtidos em um simulador dinâmico de processo. O sistema é acoplado a um software com modelo Lagrangiano de fechamento de balanço de massas que recebe os dados pré-tratados. Deste modo os dados passam por processos de filtragem e reconciliação gerando um balanço de massas confiável e uma real medição da produção.

Palavras-chave: Balanço de massas; Reconciliação de dados; Sistema especialista.

AUTOMATIC MASS BALANCE – THE EVOLUTION OF ITS APPLICATION IN A ORE TREATMENT PLANT

Abstract

The purpose of this work is to present “state of the art” mass balances closing strategies in ore treatment plants. The current methodology is based on usage of an expert system which seizes and filters the plant data, analyzes situations of equipment stops and mostly instruments failures. A strategy was created to substitute the measures considered invalid of results obtained from a dynamic process simulator. The system is coupled to software with a Lagrangian model of mass balance closure that receives the pre-treated data. Thus, the data goes through filtering and reconciling processes to generate a reliable mass balance of the ore treatment plant.

Key words: Mass balance; Data reconciliation; Expert system.

¹ 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas & 12º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro – 12 a 14 de Setembro de 2011 – Vila Velha – ES.

² Eng. M. Sc. e Diretor de Operações da CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia.

³ Eng. de Processos – CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia.

⁴ Eng. de Controle e Automação, M. Sc. – CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia.

⁵ Eng. de Controle e Automação – CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia.

⁶ Eng. de Processos – CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia.

1 INTRODUÇÃO

O balanço de massas coerente e consistente com o processo real possibilita o cálculo de índices de desempenho do processo e contabilização da produção de maneira confiável.

Todas as medidas em uma usina estão sujeitas a erros de precisão, erros tendenciosos e defeitos nos instrumentos e equipamentos. Desta forma, uma contabilização simples destas medições não representa um balanço de massas coerente para a usina e dificilmente se pode confiar nestas medições para contabilizar a produção ou avaliar a performance da usina.

Kuehn e Davidson⁽¹⁾ foram os primeiros a publicar uma análise de reconciliação de dados, que busca a minimização de uma função objetivo do tipo mínimos quadrados ponderados sujeita a restrições lineares. Considerando que todas as variáveis são medidas, propuseram a resolução deste problema através da técnica de multiplicadores de Lagrange.

1.1 Método de Minimização de Erros

A maioria dos sistemas computadorizados para fechamento de balanços de massas utiliza o método dos mínimos quadrados, onde as medidas, sejam contínuas ou obtidas por amostragem sistemática, podem ser corrigidas.

Considerando que cada medida em um processo mineral possui um erro associado, que corresponde à diferença entre esse valor M_i , e o valor mais provável

\hat{M}_i , o erro em cada ponto será:

$$E_i = M_i - \hat{M}_i \text{ ou}$$

O erro total para todo o sistema será:

$$\sum E_i^2 = (M_i - \hat{M}_i)^2$$

Tendo em vista que cada medida M_i não possui o mesmo erro relativo, pesos diferentes poderão ser dados às diferenças quadráticas de forma a se encontrar o menor erro possível do balanço. Esses pesos serão tomados como sendo inversamente proporcionais à variância das medidas ($1/S_i^2$).

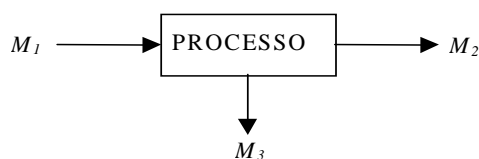
O objetivo será então minimizar a função:

$$\sum E_i^2 = \left(M_i - \hat{M}_i \right)^2 \frac{1}{S_i^2}$$

Sujeito ao constrangimento $\sum \hat{M}_i = 0$, o que será justamente a equação do balanço de massas.

Considerando uma planta simples produzindo apenas um concentrado e um rejeito, se as massas da alimentação, concentrado e rejeito forem M_1 , M_2 e M_3 , então:

$$M_1 = M_2 + M_3$$



$M_1 - M_2 - M_3 \neq 0$ (valores medidos); e

$\hat{M}_1 - \hat{M}_2 - \hat{M}_3 = 0$ (equação de constrangimento).

Para resolução desse problema de minimização, utilizam-se os multiplicadores de Lagrange, de forma que a função a minimizar passe a ser:

$$\phi = \sum (M_i - \hat{M}_i)^2 \left(\frac{1}{S_i^2} \right) + \sum_j \lambda_j C_j$$

onde λ é o multiplicador de Lagrange para cada equação de constrangimento (C_j). Então o circuito exemplificado:

$$\phi = \sum (M_i - \hat{M}_i)^2 \left(\frac{1}{S_i^2} \right) + \lambda_1 (\hat{M}_1 - \hat{M}_2 - \hat{M}_2)$$

A função ϕ deverá ser diferenciada em relação a cada uma das medidas desconhecidas (\hat{M}_i) e em relação aos multiplicadores. As derivadas parciais deverão ter valor igual a zero para minimização da função.

1.2 Detecção de Erros Grosseiros e Sistemáticos

Os erros apresentados por um sistema de medição podem ser de diversas naturezas, costuma-se classificá-los em dois grupos, descritos a seguir.

Erros aleatórios: são erros pequenos, normalmente distribuídos e com média nula. Estes erros são inerentes ao processo de medição e estão diretamente relacionados à precisão da instrumentação utilizada.

Erros grosseiros: são erros grandes, usualmente gerados por problemas na instrumentação ou no próprio processo. Estes erros normalmente não têm relação com a precisão do equipamento nem possuem necessariamente média nula.

Os chamados erros sistemáticos, também conhecidos como desvios sistemáticos ou bias, podem ser considerados um caso específico de erros grosseiros. Os erros sistemáticos são caracterizados como medições continuamente altas ou baixas. Esses erros resultam frequentemente de problemas de calibração ou falhas consistentes de operação dos equipamentos.

A reconciliação de dados em um sistema que possui apenas erros aleatórios resulta em pequenos ajustes nas medições, dentro de um limite considerado aceitável. Quando erros grosseiros estão presentes em um sistema, os ajustes tornam-se expressivos, e as medições reconciliadas podem não representar a realidade do processo, já que possivelmente estão sob influência de falhas de instrumentos ou do próprio processo. O tratamento dos erros grosseiros tem, portanto, um importante papel na reconciliação de dados. A presença de erros grosseiros (incluindo os erros sistemáticos) deve ser detectada, a fim de identificar uma possível falha de instrumentação. Estes erros poderão ainda introduzir ajustes expressivos nas variáveis reconciliadas afastando-as do valor verdadeiro da medida.

2 MÉTODO

A metodologia para obtenção de balanço de massas automatizado para uma usina consiste no tratamento dos dados medidos de diversas naturezas para se obter um balanço global de toda a usina respeitando o princípio de conservação de massas e, principalmente, coerente com o comportamento real do processo. Os dados medidos são obtidos através dos vários instrumentos que permitem contabilizar os fluxos diretamente, como as balanças integradoras, medidores de vazão de polpa e água, densímetros, etc. Adicionalmente, podem ser utilizados vários outros dados associados aos fluxos da usina, como resultados de qualidades químicas, granulométricas e mineralógicas.

As características principais de um sistema completo para a obtenção de balanço de massas automático são descritas a seguir:

2.1 Aquisição de Dados Medidos do Processo

Nesta etapa é necessário conectar ao processo e receber diretamente as medições contínuas do processo. Adicionalmente os dados de análises laboratoriais também são recebidos diretamente dos bancos de dados do processo e laboratório – PIMS e LIMS.

2.2 Validação e Ajuste de Dados

O ajuste de dados medidos é necessário para não permitir utilização de dados contendo erros grosseiros ou sistemáticos no processamento do balanço de massas. Estes ajustes devem ser feitos através de uma rede decisória complexa como uma mímica de atitude humana consistente e com alto grau de conhecimento do processo. Os sistemas especialistas permitem serem configurados de forma simples e amigável para esta finalidade e irá funcionar como um gerente para a tomada de decisão correta para cada situação específica. Utiliza-se nesta etapa um simulador dinâmico de processo. Este simulador utiliza modelos fenomenológicos de processo e está integrado ao sistema de balanço de massas automatizado. As medidas consideradas válidas são utilizadas para ajuste dinâmico do simulador. As medidas consideradas inválidas pelo sistema especialista são substituídas pelos dados obtidos por simulação. Dessa forma obtem-se um conjunto de medidas coerentes (contendo apenas erros aleatórios) a ser empregado no fechamento do balanço de massas.

2.3 Cálculo do Balanço

O calculo do balanço é sempre feito através de métodos de otimização de funções não lineares para minimizar o resíduo da função objetiva do balanço. O resultado final será sempre a obtenção de dados ajustados que satisfaça a lei de conservação de massas. É comum a utilização de um software específico para o calculo de balanço de massas devido à possibilidade de se obter a comunicação entre módulos de gerenciamento com funções de inteligência artificial com o software de calculo. Estes softwares possuem ferramentas adequadas para a formatação de todas as equações do balanço em função do processo e estrutura dos dados, descrição dos fluxos de forma bastante simples e amigável, além de conterem um ou mais algoritmos de cálculos e solução de problemas complexos de funções não lineares.

2.4 Validação do Resultado do Balanço

Os resultados do balanço após o processo de cálculo devem ser avaliados e “criticados” para garantir não somente a lei de conservação de massas, mas também a coerência com o processo. Novamente, o modulo de gerenciamento ou o sistema especialista deverá validar os resultados ou alterar os critérios de obtenção do balanço para alcançar resultados satisfatórios.

2.5 Critérios do Balanço

Os critérios de fechamento do balanço de massas são pré-estabelecidos a partir da coerência dos dados medidos e das etapas anteriores. O módulo de gerenciamento ou sistema especialista também devera conter estratégias específicas para alterar os critérios de fechamento do balanço para se ter ao final do processo cíclico resultados finais satisfatórios.

2.6 Banco de Dados do Sistema

Durante todo o processo de recebimento de dados do processo, ajustes necessários, determinação de critérios etc, há a necessidade de armazenamento dos dados relativos a cada etapa e ciclo do sistema para garantir a segurança e confiabilidade. Um banco de dados sempre se fará necessário para o armazenamento de todas as informações de cada ciclo de calculo do sistema.

2.7 Emissão de Resultados

Os resultados do balanço somente podem ser divulgados ou enviados para os bancos de dados do processo caso sejam coerentes e aceitáveis para o processo. O envio destes dados é feito de forma semelhante ao recebimento dos dados medidos, mas neste caso o sistema integrado de obtenção de balanço de massas é um servidor de dados para o banco de dados existente ou para geração de relatórios específicos.

3 ESTUDO DE CASO

O Sistema de Balanço de Massas Automatizado foi aplicado em uma usina de beneficiamento de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero. Nesta usina o minério é beneficiado a úmido passando por processo de cominuição, lavagem e separação granulométrica. São gerados três produtos de acordo às características granulométricas: granulado, sinter feed e pellet feed. Estes produtos são estocados em pilhas. Além destes produtos a planta gera um rejeito sob a forma de lama, que é disposta na barragem de rejeitos.

A contabilização de cada um dos três produtos é realizada utilizando as medições de balanças integradoras. Há uma quarta balança integradora contabilizando a alimentação da usina.

A produção de rejeito é contabilizada utilizando-se duas medições: vazão volumétrica de lama (medidor de vazão magnético) e densidade da lama (densímetro radioativo). A produção de rejeito é utilizada para calcular a recuperação mássica do processo.

Cada um dos quatro fluxos é amostrado de forma incremental gerando uma amostra a cada 6 horas. Estas amostras são enviadas ao laboratório químico para análise do teor de ferro e umidade. Todavia os resultados de laboratório não são utilizados na rotina para cálculo de recuperação metalúrgica, sendo importante destacar que a alimentação da usina não é amostrada na rotina por dificuldades técnicas de se obter uma amostra representativa.

A confiabilidade das balanças integradoras depende da adequação do projeto de instalação, da manutenção e da correta calibração do equipamento. Há frequentemente requisitos para uma medição adequada em uma balança integradora que não são atendidos na prática industrial. O local da instalação da balança deve estar isento ou isolado contra vibrações. A balança deve ser instalada no trecho do transportador onde

a tensão da correia é menor, e distante de mecanismos causadores de variações de tensão. A estrutura do transportador deve ser contínua e rígida o suficiente para que o alinhamento dos roletes seja mantido sob todas as condições de carregamento. A emenda da correia não deve causar qualquer perturbação na operação da balança. A balança integradora deve ser calibrada estaticamente com pesos padrão, e dinamicamente com carga conhecida, para os ajustes finais de precisão. Recomenda-se uma quantidade de produto que dure, no mínimo, 10 minutos passando pela integradora.

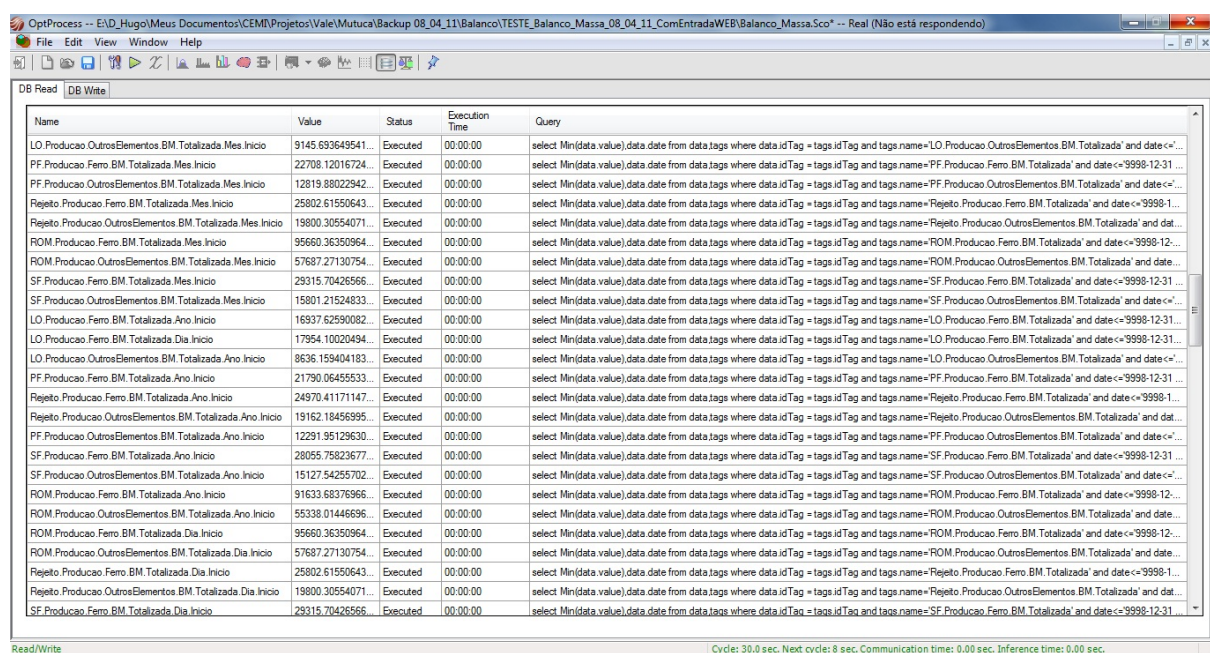
Assim como a balança integradora, o medidor de vazão magnético e o densímetro radioativo necessitam de uma adequada instalação, manutenção e calibração periódica para fornecerem medidas confiáveis e isentas de erros sistemáticos.

Não é executado na rotina um balanço de massas para reconciliar os dados de produção. Periodicamente realiza-se um inventário da produção através de levantamento topográfico das pilhas de estocagem. Sistemáticamente observa-se grande desvio entre a produção contabilizada na usina via balanças integradoras e a produção inventariada através dos carregamentos e do levantamento topográfico das pilhas.

O sistema de balanço de massas automatizado foi implantado nesta usina com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos parâmetros de desempenho da usina e melhorar o controle da produção.

3.1 Recursos

O Sistema de Balanço de Massas Automatizado foi implantado em um computador tipo PC, e obtêm diretamente do CLP (Controlador Lógico Programável) as medições dos instrumentos e as informações dos equipamentos. O sistema lê ainda os resultados do laboratório que estão disponibilizados no PIMS (*Process Information Management System* / Sistema de Gerenciamento de Informações de Processo). Estas informações são tratadas em um módulo estatístico e avaliadas pelo Sistema Especialista que está integrado ao Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (Oracle 11g). Todas as informações lidas pelo sistema são armazenadas no banco de dados.



Name	Value	Status	Execution Time	Query
LO.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Mes.Inicio	9145.693649541...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='LO.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
PF.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Mes.Inicio	22708.12016724...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='PF.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
PF.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Mes.Inicio	12819.88022942...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='PF.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
Rejeito.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Mes.Inicio	25802.61550643...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='Rejeito.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
Rejeito.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Mes.Inicio	19800.30554071...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='Rejeito.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
ROM.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Mes.Inicio	95660.36350964...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='ROM.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
ROM.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Mes.Inicio	57687.27130754...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='ROM.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
SF.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Mes.Inicio	29315.70426566...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='SF.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
SF.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Mes.Inicio	15801.21524833...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='SF.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
LO.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Ano.Inicio	16937.62590082...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='LO.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
LO.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Dia.Inicio	17954.10020494...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='LO.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
LO.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Ano.Inicio	8636.159404183...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='LO.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
PF.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Ano.Inicio	21790.06455533...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='PF.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
Rejeito.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Ano.Inicio	24970.41171147...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='Rejeito.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
Rejeito.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Ano.Inicio	19162.18456995...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='Rejeito.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
PF.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Ano.Inicio	12291.95129630...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='PF.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
SF.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Ano.Inicio	28095.75823677...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='SF.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
SF.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Ano.Inicio	15127.54255702...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='SF.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
ROM.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Ano.Inicio	91633.68376966...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='ROM.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
ROM.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Ano.Inicio	55338.01446696...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='ROM.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
ROM.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Dia.Inicio	95660.36350964...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='ROM.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
ROM.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Dia.Inicio	57687.27130754...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='ROM.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
Rejeito.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Dia.Inicio	25802.61550643...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='Rejeito.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...
Rejeito.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada.Dia.Inicio	19800.30554071...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='Rejeito.Producao.OutrosElementos.BM.Totalizada' and date <=...
SF.Producao.Ferro.BM.Totalizada.Dia.Inicio	29315.70426566...	Executed	00:00:00	select Min(data.value),data.date from data.tags where data.idTag = tags.idTag and tags.name='SF.Producao.Ferro.BM.Totalizada' and date <= '9998-12-31' ...

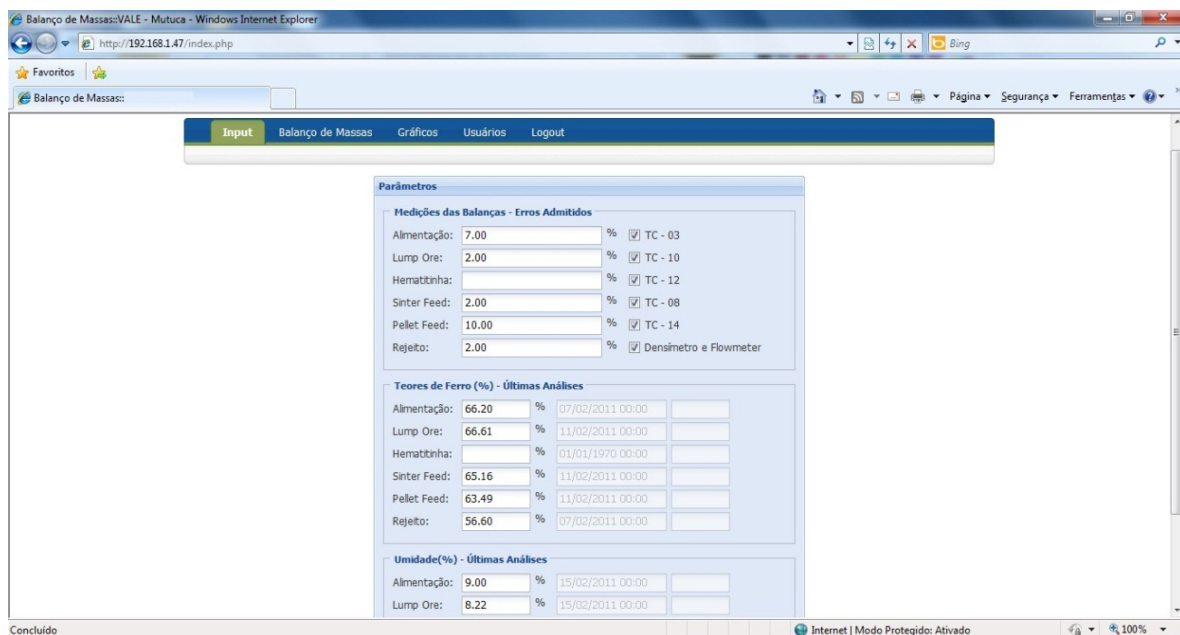
Figura 1. Módulo do sistema de balanço de massas automatizado que permite escrever no banco de dados e consultar as informações armazenadas.

O sistema lê as informações do CLP e do PIMS utilizando o protocolo de comunicação OPC (*OLE for Process Control*) que é um padrão industrial publicado para interconectividade de sistemas.

O sistema especialista gerencia ainda um simulador de processo externo. Nesta aplicação utilizou-se o *software* de simulação de processo UsimPac Versão 3.1 produzido pela BRGM. As medidas classificadas no Sistema Especialista como válidas são utilizadas para ajuste dinâmico do Simulador, de modo que o processo é simulado em tempo real. Este simulador gera informações sobre todos os fluxos da usina, sendo possível utilizá-las para substituição de uma medida inválida. Contudo, todas as medidas são armazenadas no banco de dados possibilitando um reprocessamento caso seja necessário.

O *software* utilizado para reconciliação dos dados foi o BILCO, versão 3.1, produzido pela BRGM.

Além dos módulos apresentados, uma interface WEB também está disponível para gerenciamento das informações. Através desta interface o usuário pode alterar os parâmetros para o fechamento do balanço de massas. A interface WEB apresenta, sempre sob solicitação, os resultados do balanço de um período qualquer, de forma rápida, permitindo assim a geração de relatórios de turno, diário e mensal, entre outros. Cada usuário possui um nível de permissão identificado pela chave de acesso. O acesso básico permite apenas a visualização dos balanços de massas enquanto o acesso avançado permite alterar os parâmetros utilizados pelo sistema no fechamento do balanço de massas.



The screenshot shows a web browser window titled 'Balanço de Massas:VALE - Mutuca - Windows Internet Explorer'. The address bar shows 'http://192.168.1.47/index.php'. The page has a navigation menu with 'Input', 'Balanço de Massas', 'Gráficos', 'Usuários', and 'Logout'. The main content area is titled 'Parâmetros' and contains three sections:

- Medições das Balanças - Erros Admitidos:** A table with input fields and checkboxes for various measurement points.

Alimentação:	7.00	%	<input checked="" type="checkbox"/>	TC - 03
Lump Ore:	2.00	%	<input checked="" type="checkbox"/>	TC - 10
Hematina:		%	<input checked="" type="checkbox"/>	TC - 12
Sinter Feed:	2.00	%	<input checked="" type="checkbox"/>	TC - 08
Pellet Feed:	10.00	%	<input checked="" type="checkbox"/>	TC - 14
Rejeito:	2.00	%	<input checked="" type="checkbox"/>	Densímetro e Flowmeter
- Teores de Ferro (%) - Últimas Análises:** A table showing iron content percentages and analysis dates.

Alimentação:	66.20	%	07/02/2011 00:00
Lump Ore:	66.61	%	11/02/2011 00:00
Hematina:		%	01/01/1970 00:00
Sinter Feed:	65.16	%	11/02/2011 00:00
Pellet Feed:	63.49	%	11/02/2011 00:00
Rejeito:	56.60	%	07/02/2011 00:00
- Umidade(%) - Últimas Análises:** A table showing moisture percentages and analysis dates.

Alimentação:	9.00	%	15/02/2011 00:00
Lump Ore:	8.22	%	15/02/2011 00:00

The status bar at the bottom indicates 'Concluído' and 'Internet | Modo Protegido: Ativado'.

Figura 2. Interface WEB para definição dos parâmetros de fechamento do balanço de massas.

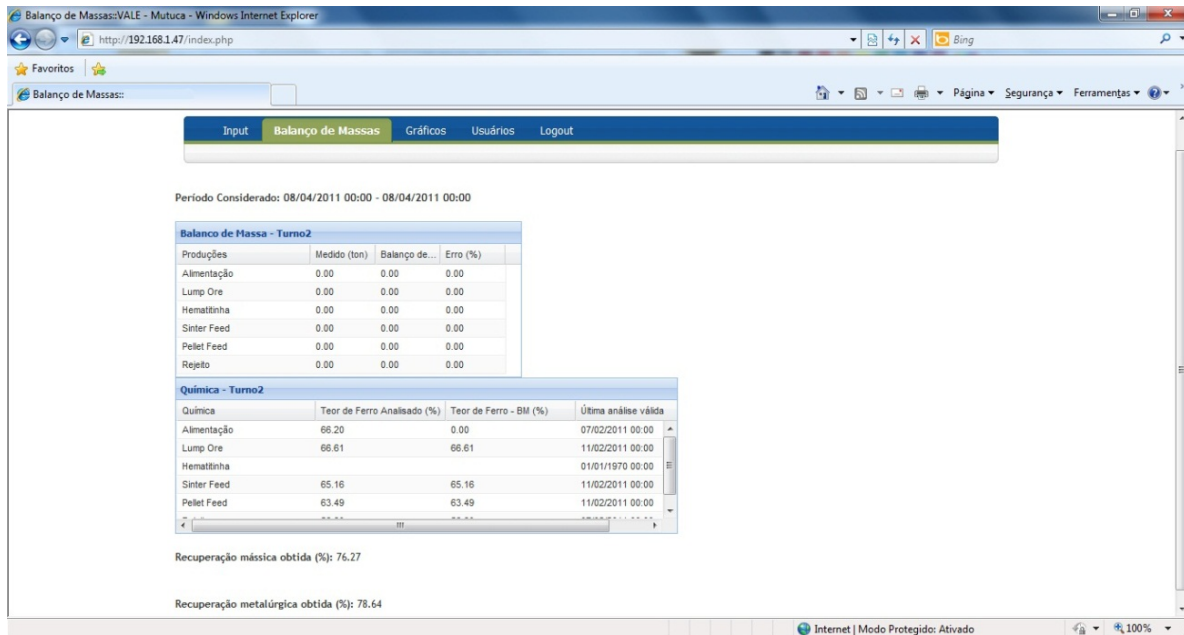


Figura 3. Interface WEB para visualização dos balanços de massas gerados.

Outros resultados apresentados pelo Balanço de Massas são a totalização do rejeito, a recuperação mássica e metalúrgica da usina.

Todas as medidas de massas enviadas ao Bilco 3.1 são convertidas previamente para base seca para equalização das informações de entrada e saída. Para isso, são utilizadas as análises laboratoriais de umidade, disponibilizados no PIMS.

Para enviar os dados ao BILCO 3.1 é necessária a utilização de uma interface chamada de Interface COM. A interface COM do BILCO 3.1 usa a tecnologia padrão COM (*Component Object Modeling*) e permite que outros aplicativos se comuniquem com o BILCO 3.1.

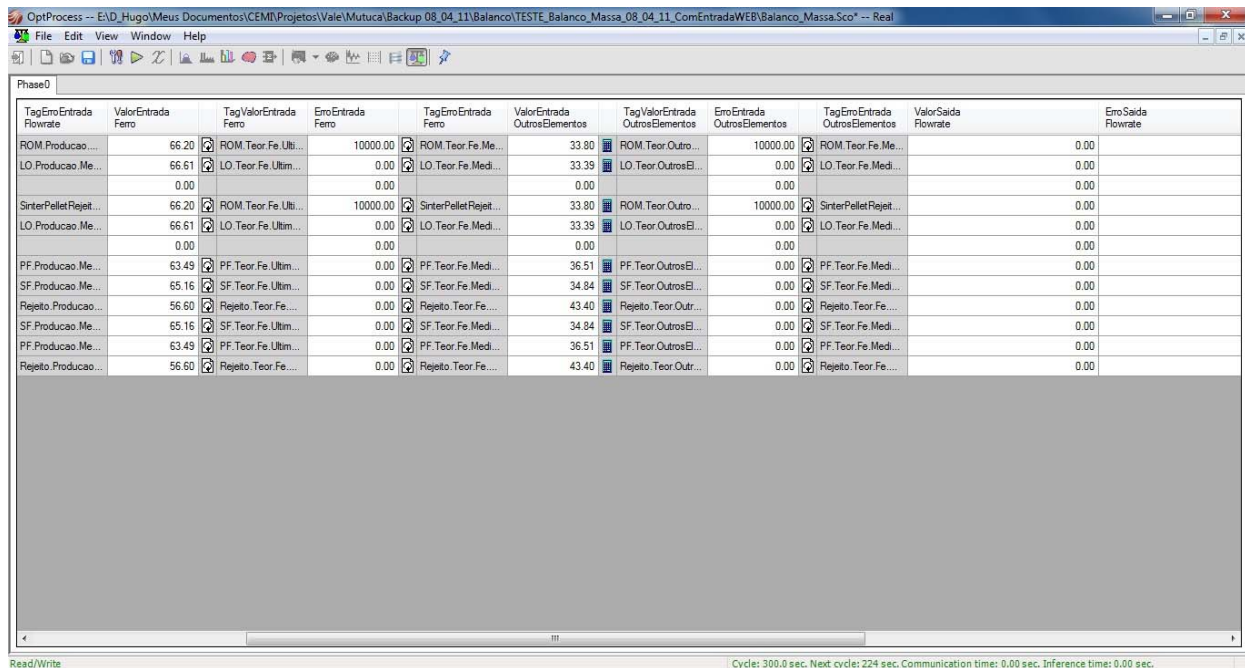


Figura 4. Modulo de comunicação do Sistema de Balanço de Massas Automatizado com o BILCO 3.1

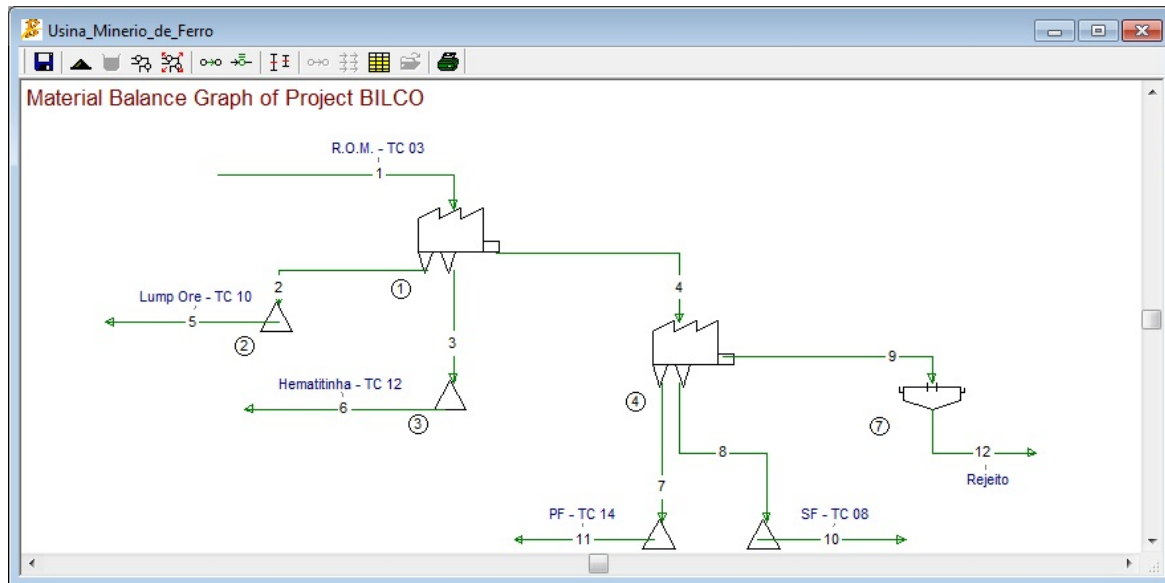


Figura 5. Software Bilco Versão 3.1 com o fluxograma da usina de beneficiamento de minério de ferro.

4 RESULTADOS E CONCLUSÕES

O Sistema de Balanço de Massas Automatizado descrito neste artigo foi implantado em uma usina de beneficiamento de minério de ferro como uma ferramenta complementar ao sistema de controle de produção e análise de processo, disponibilizando informações a todos os profissionais envolvidos no processo (das áreas operacionais, técnicas e gerenciais).

Contudo a tendência é que o sistema substitua os sistemas de controle existentes por apresentar apontamentos de produção e performance mais condizentes com a realidade. Abaixo é mostrada uma tela do sistema onde é possível visualizar a produção medida no turno, a produção reconciliada através do balanço de massas, os teores de ferro analisados no turno, o teor de ferro na alimentação da usina calculado através do balanço de massas e as recuperações mássicas e metalúrgicas obtidas a partir dos dados já tratados.

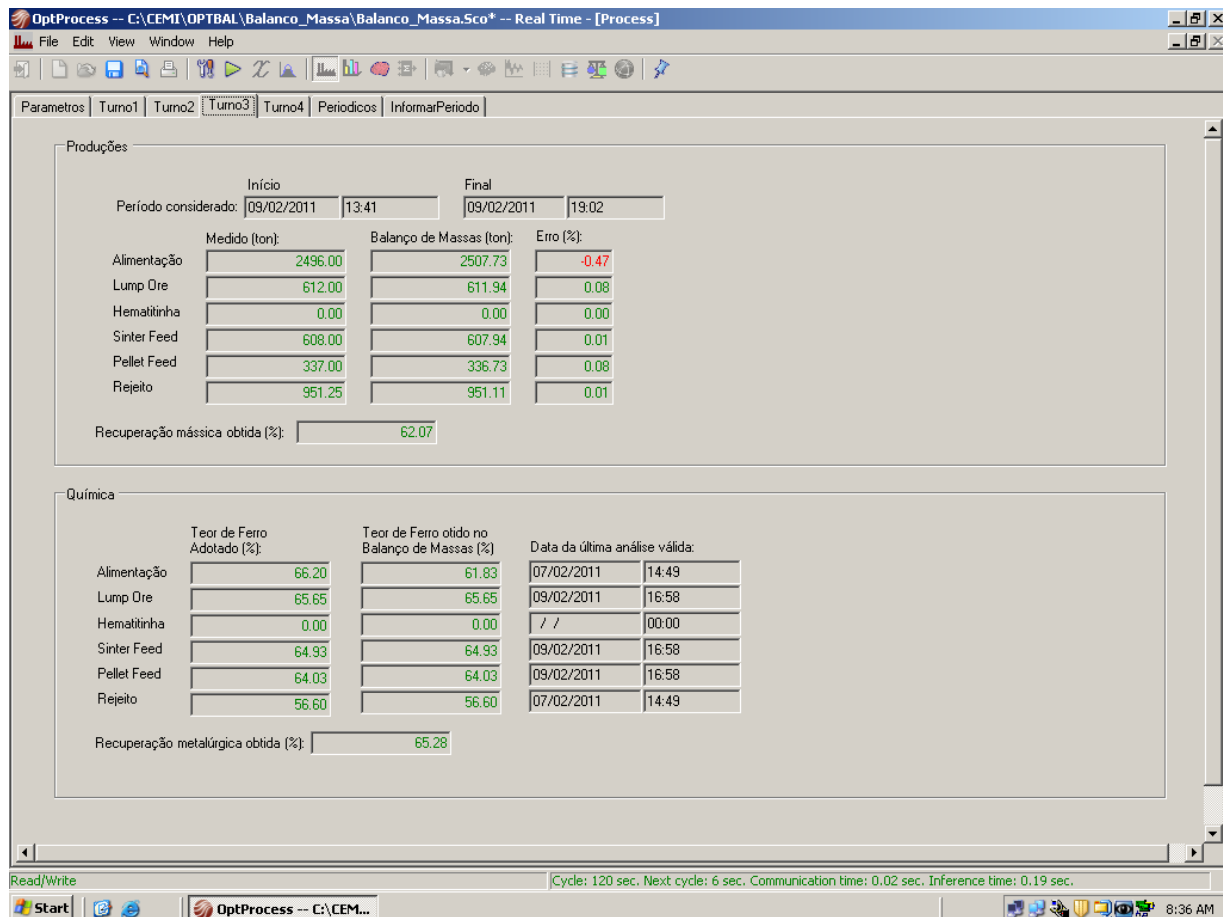


Figura 6. Tela do Sistema de Balanço de Massas Automatizado mostrando a produção medida no turno de trabalho, a produção reconciliada via balanço de massas e as recuperações metálicas e metalúrgicas calculadas.

REFERÊNCIAS

- 1 Romagnoli, J. A.; Sánchez, M. C. Data processing and reconciliation for chemical process operations. Academic Press, 2000.