

TRANSPARÊNCIA NA GESTÃO DO BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO PELA SISTEMATIZAÇÃO DO FECHAMENTO DO BALANÇO DE MASSA: UMA METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO¹

*Danilo Martins da Silva Junior*²

*Frederico Medina Vargas*³

*Felipe Pereira*³

*Flávio Waltz Moreira e Silva*³

*Diogo Grecco Ferreira Martins*³

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para o fechamento do balanço de massa global em uma unidade de beneficiamento de minérios e seus respectivos retornos que justificam o emprego dessa atividade. A metodologia que será detalhada consiste primeiramente em conceituar o balanço de massa, quantificando todas as correntes de massa que fazem fronteira com a unidade, tais como: entradas de insumo e matérias-primas, consumo de água, saídas de produtos e rejeitos da unidade. Em seguida, deve-se realizar uma checagem da instrumentação existente para tais correntes e o dimensionamento da instrumentação inexistente. Por fim, deve-se implementar um método de visualização dos dados, possivelmente utilizando ferramentas como o PIMS para buscar os dados das correntes de fronteira. O balanço de massa é fundamental para conhecer o desempenho macro da unidade a fim de tomar ações corretivas e estratégicas para o desenvolvimento. Um outro ganho em aplicar o balanço de massa seria quantificar as perdas a fim de justificar iniciativas de redução das mesmas. Além disso, facilitaria a composição de índices de desempenho (KPIs) em torno da produção e consumo, trazendo maior entendimento do funcionamento da unidade como um todo. Tais índices poderiam dar uma transparência maior da empresa à sociedade, uma vez que evidenciam tanto sua produtividade quanto a emissão de rejeitos no meio-ambiente.

Palavras-chave: Balanço de massa; Instrumentação; PIMS; KPI

TRANSPARENCY IN PROCESSING ORE MANAGEMENT BY A MASS BALANCE SYSTEMATIZATION: A METHODOLOGY FOR IMPLEMENTATION

Abstract

The scope of this paper is to present a methodology for mass balance in an Iron Ore Processing Plant and the benefits that justify this activity. The methodology detailed in this paper consists in identifying all the streams that cross the volume control (unit), followed by checking the existing instruments and specifying the missing ones. At last, it must be implemented a way to visualize, possibly using PIMS as a tool to get the information needed. The mass balance is important to get knowledge of the unit macro performance in order to apply corrective and strategic actions. Another profit in applying mass balance is to quantify the losses and justify actions for their reduction. In addition to this, it would facilitate KPIs composition around production and consume, giving a better understand of unit performance. These indexes would bring transparency to the society, because this practice would exhibit the productivity and the reject emission to the environment.

Key words: Mass balance; Instrumentation; PIMS; KPI.

¹ *Contribuição técnica ao XI Seminário de Automação de Processos, 3 a 5 de outubro, Porto Alegre-RS*

² *Líder de Projetos, Chemtech*

³ *Gerente de Projetos, Chemtech*

Introdução ao Balanço de Massa

Por Lavoisier, tem-se em sua Lei de Conservação de Massa que “na natureza nada se cria, tudo se transforma”, introduzindo que em um processo químico existem apenas transformações dos reagentes a produtos, sem a alteração de massa. Isso não é diferente para o beneficiamento de minério de ferro, embora seus processos estejam muito mais voltados para processos físicos de concentração.

A importância de quantificar as correntes de entrada (alimentação de minério bruto, água, etc.) e de saídas (produtos, rejeito e perdas) em um balanço de massa global reside principalmente em conhecer o desempenho macro da usina, determinado pela recuperação metalúrgica da unidade. Além disso, um balanço de massa pode apontar consumos excessivos de insumos, aumento de emissão de rejeitos e perdas, informações que podem auxiliar em tomadas de decisão e justificativas para empreendimentos de otimização da unidade. A propagação das informações geradas pelo fechamento do balanço de massa e a divulgação de alguns índices traz maior transparência da empresa, tanto no ponto de vista de produtividade quanto no ponto ambiental. A Figura 1 exibe as principais correntes tomando como volume de controle a própria usina.



Figura 1 – Principais Correntes de Fronteira da Usina

As totalizações das correntes compõem o equacionamento para um balanço de massa global dado pela Equação 1, onde **Entradas** corresponde à totalização das massas das alimentações, **Saídas** à totalização das massas dos produtos e rejeitos, e $\frac{dM_{acumulada}}{dt}$ à variação da massa acumulada na usina entre os períodos que delimitam o fechamento do balanço.

$$Entradas = Saídas + \frac{dM_{acumulada}}{dt}$$

Equação 1 - Balanço Global de Massa

Em outras palavras, a variação de massa acumulada é basicamente o total de massa existente dentro da usina no final do período do fechamento, subtraído do total de massa existente dentro da usina no início do período de fechamento do balanço de massa. Como é impossível saber qual é o real valor de massa dentro da usina, podem ser consideradas apenas as maiores fontes de estocagem de massa.

Em uma usina de beneficiamento de minério de ferro, essas fontes seriam os silos, pilhas e espessadores.

Para um período longo de fechamento do balanço de massa, o termo de variação de acúmulo pode ser desconsiderado, pois os valores de massa de entrada e de saída serão muito maiores. Neste caso, simplifica-se bastante o balanço de massa, dada a dificuldade de se medir a massa acumulada principalmente em pilhas e espessadores.

Para um balanço de massa global nestas usinas, as maiores dificuldades encontradas são:

- conhecimento do %Fe nas correntes envolvidas;
- medição de rejeito em canaletas com instrumentação não convencional; e
- definição de um intervalo para fechamento do balanço de massa.

Este trabalho apresenta nos tópicos seguintes uma metodologia para seqüenciar os esforços de modo que o balanço de massa possa ser implementado.

Metodologia de Implementação do Balanço de Massa

As dificuldades para implementação de um balanço de massa global em uma usina de beneficiamento de minério de ferro não devem ser subestimadas pelo fato do processo ser de concentração, envolvendo praticamente nenhuma reação química para a obtenção do produto final. Estas usinas normalmente não realizam análise de composição nas correntes envolvidas e não possuem instrumentação nos pontos de rejeito, dificultando o conhecimento das correntes de fronteira da usina.

A metodologia apresentada neste artigo possui as seguintes fases:

- Levantamento das correntes de fronteira do volume de controle (usina);
- Equacionamento do Balanço de Massa com instrumentação parcial;
- Checagem da Instrumentação Existente;
- Especificação de novos Instrumentos;
- Análise da composição das correntes;
- Visualização do balanço de massa parcialmente instrumentado;
- Piloto para medição de correntes de rejeito; e
- Fechamento do balanço de massa.

Os tópicos seguintes sumarizam as fases para sistematicamente estabelecer um processo para o fechamento de balanço de massa.

Levantamento das correntes de fronteira do volume de controle

Em uma primeira etapa, é preciso identificar quais correntes que entram ou saem da usina e se há medição para as mesmas. Esse processo pode ser complicado, visto que nem sempre a realidade da usina confere com os fluxogramas de processo existentes. Além da equipe de processos da usina, este levantamento deve ser realizado em conjunto com a operação, pois essa última é detentora do conhecimento da situação atual da planta e do local preciso da instrumentação existente.

Em seguida, deve-se levantar toda instrumentação existente que tenha relação com as correntes de fronteira. Como dito anteriormente, normalmente não há medições para as correntes de rejeito, além da pouca importância dada ao rejeito por ser inerte, existem grandes dificuldades técnicas para a medição dos mesmos, tais como:

- rejeitos são descartados em tubulações parcialmente preenchidas ou em canaletas de concreto, contrariando a instrumentação usual adotada em usinas de beneficiamento de minério de ferro que exigem tubulações preenchidas;
- alta concentração de sólidos, principalmente a sílica, conferindo um caráter abrasivo ao rejeito e inviabilizando a instalação de medidores intrusivos;
- em uma situação de descarga da usina, as vazões nas correntes de rejeito aumentam consideravelmente, exigindo uma ampla faixa de operação para um provável instrumento de medição, o que prejudica a precisão do instrumento.

Equacionamento do Balanço de Massa com Instrumentação Parcial

Diante desses fatores, para se extrair os primeiros resultados de um balanço de massa, pode-se considerar apenas as medições nas correntes de entrada e de produtos, tomando-se conhecimento dos rejeitos e perdas apenas de forma calculada e não mensurada. Com o intuito de agregar maior valor ao resultado do balanço, torna-se interessante fazê-lo em termos do componente principal, o minério de ferro, possibilitando o cálculo da recuperação metalúrgica que é um importante KPI para o beneficiamento de ferro. Neste artigo a denominação ferro será relacionada ao minério de ferro puro, considerando que a usina produz apenas um tipo de minério de ferro.

Nestas condições o balanço de massa por ferro pode ser equacionado segundo a Equação 2, onde **Alimentação_{Fe}** é o somatório da massa de ferro de cada corrente de alimentação, **Produtos_{Fe}** é o somatório de ferro de cada corrente de produto, **ΔM_{Fe}** é a variação de ferro acumulado nos processos e **Rejeito_{Fe}** é a quantidade de ferro rejeitada. É importante salientar que modificações bruscas na composição das correntes de alimentação aliada à baixa precisão da composição de ferro nas fontes de acúmulo podem tornar o balanço de massa inconsistente. Para uma maior precisão, o fechamento do balanço pode ser realizado levando em consideração o tempo de residência médio do ferro na unidade, ou ainda, considerar um período para fechamento relativamente longo para que a variação de acúmulo da planta tenha pouco valor significativo e possa ser considerado nulo.

$$Alimentação_{Fe} - Produtos_{Fe} - \Delta M_{Fe} = Rejeito_{Fe}$$

onde:

$$Alimentação_{Fe} = \sum Alimentação_i \cdot \%Fe_i$$

$$Produtos_{Fe} = \sum Produtos_i \cdot \%Fe_i$$

$$\Delta M_{Fe} = \sum \Delta M_i \cdot \%Fe_i$$

Equação 2 - Equacionamento para Balanço para o Componente Ferro

Checagem da Instrumentação Existente

A próxima etapa para a implementação seria verificar toda a instrumentação existente das correntes pertinentes ao balanço. É preciso verificar o funcionamento, a comunicação e a aferição dos instrumentos, dando prioridade aos densímetros, pois normalmente são instrumentos do tipo radioativo, cuja aquisição, caso seja necessário, pode ser um gargalo devido aos cuidados para importação de materiais radioativos.

Especificação de novos Instrumentos

Em paralelo a verificação da instrumentação, pode-se fazer a especificação e aquisição de todos os instrumentos pertinentes ao balanço, incluindo os instrumentos cuja fase de verificação mostrou necessário a sua substituição. Além da fase de especificação, deve-se incluir uma fase de estudo para viabilizar a instrumentação das correntes de rejeito. Tais correntes possivelmente irão necessitar de instrumentação não convencional, fazendo-se necessário a criação de um projeto piloto para instrumentá-las.

Análise da composição das correntes

Outro fator que deve ser considerado para o balanço de massa é a frequência das análises de composição de ferro das correntes envolvidas. Seria conveniente a especificação de analisadores on-line de composição para as correntes envolvidas, porém os custos envolvidos poderiam inviabilizar o projeto. Deve-se, portanto existir uma etapa de estudo para a verificação da composição das correntes. Esta etapa pode consistir em campanhas de amostragem e análises laboratoriais para conhecer tanto a composição quanto a variabilidade das correntes, além de estudos do impacto que ocasionaria na precisão do balanço de massa.

Os laboratórios em usinas de beneficiamento de minérios geralmente são bem equipados podendo absorver as campanhas laboratoriais pontuais. Porém a inclusão de uma rotina laboratorial, com amostragens e análises diárias, poderá ser comprometida pela falta de recursos humanos para executá-las.

Visualização do balanço de massa parcialmente instrumentado

Após a instalação dos novos instrumentos e interligação dos dados em uma ferramenta de PIMS, o balanço de massa pode ser implementado utilizando um software específico ou desenvolvendo um aplicativo para a recuperação dos dados armazenados no PIMS e cálculo dos termos da Equação 2 para o balanço de massa global e por ferro.

Com este aplicativo, o balanço de massa poderá ser visualizado junto com a recuperação metalúrgica do ferro. Além disso, pode-se instituir KPIs relativos à consumo de água, razão de concentração (razão entre massa alimentada e produto)⁽¹⁾ e razão de enriquecimento (razão entre o teor de ferro no produto e o teor de ferro na alimentação).⁽²⁾

Piloto para medição de correntes de rejeito

Para que o balanço de massa seja totalmente baseado em medições instrumentadas, é preciso a construção de um projeto piloto de medição de rejeito em caráter de teste. Nesta etapa, deve-se considerar todas as dificuldades técnicas para a medição listadas anteriormente e em caso de sucesso promover a propagação da solução para as demais correntes de rejeito.

Uma possível solução para essas medições seria construir um piloto com a instalação da instrumentação em uma canaleta. Para este piloto, as modificações demandariam um projeto civil para a inclusão de uma calha na qual seriam instalados o densímetro e o medidor de vazão ultrassônico, que irá atribuir uma vazão conforme o nível do leito dentro da calha com dimensões conhecidas.

Fechamento do balanço de massa

Após a propagação da solução de medição de rejeito, o balanço de massa pode ser calculado com todas as correntes medidas. Com isso pode-se realmente mensurar a quantidade de rejeito sendo emitida sabendo-se que os rejeitos fazem parte do termo **Saídas** da Equação 1 e dessa forma, compor KPIs referentes à emissão de rejeito.

Algo que ficará visível após esta fase será o denominado erro de fechamento². Ao tentar fechar o balanço de massa, possivelmente o somatório das correntes de entrada não será equivalente ao somatório das correntes de saída, mesmo para totalizações em um longo período para o termo de variação de acúmulo ser desprezível. Esta diferença pode ser ocasionada principalmente pelos seguintes fatores:

- vazamentos em tubulações, bombas e transbordo de tanques; e
- imprecisão de instrumentação, instrumentos não calibrados ou análise de composição.

Para que o fechamento do balanço de massa seja realizado adequadamente, é possível nesta fase utilizar um software para a reconciliação, atuando de forma estatística nos dados coletados pelo PIMS, utilizando basicamente a soma dos quadrados dos resíduos das equações do balanço por componente ou a minimização da soma dos quadrados dos ajustes do componente². Dessa forma, tem-se o fechamento do balanço de massa de forma realista e consistente.

Considerações Finais

Apesar da teoria envolvida para o balanço de massa global ser simples, promover seu fechamento em uma usina de beneficiamento de minérios de ferro está sujeita a diversas fases passando por grandes complicações técnicas em instrumentação e estudos de variabilidade de composição das correntes.

O balanço de massa obtido com a instrumentação parcial das correntes agrega valor por exibir índices relacionados à alimentação e os produtos da planta. Porém, nesta fase o balanço de massa pode mascarar problemas da usina como perdas por vazamento que só poderão ser evidenciadas ao medir as correntes de rejeito da planta e aplicar um balanço de massa com medição em todas as correntes.

Uma forma mais simples para efetuar o balanço seria executá-lo apenas nos processos críticos ao invés de fazê-lo na usina inteira. Esse balanço poderia exigir um esforço de instrumentação maior em termos de quantidade, porém os resultados obtidos trariam informações mais palpáveis e cuja atuação da operação poderia ser localizada nas intermediações daquele processo.

REFERÊNCIAS

- 1 WILLS, B.A. (Barry Alan). Mineral processing technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. 6th. ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 1997. cap. 3, p. 67.
- 2 VALADÃO, G. E. S. ; ANDRADE, D. G. . Desenvolvimento de Software para Reconciliação de Dados em Balanços de Materiais. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS HIDROMETALURGIA, 1995, Rio de Janeiro. XVI ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS. Rio de Janeiro : CETEM, 1995. v. 2. p. 500-509.