

COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DAS TÉCNICAS ANALÍTICAS DE ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X: PASTILHA PENSADA VS PASTILHA FUNDIDA¹

Francisco Magalhães Fazollo²
Liana Joncew³

Resumo

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo detalhado comparando o custo entre as duas principais técnicas de análise de minério de ferro por espectrometria de fluorescência de raios-X (pastilha prensada e pastilha fundida). Foram considerados não só os componentes de custo diretamente envolvidos, mas todo custo de implantação/manutenção de cada técnica. Devido à diversidade de fatores que influenciam nesta avaliação foram adotadas algumas premissas de maneira a tornar as comparações mais coerentes. Entre elas as mais representativas estão relacionadas aos custos atrelados à mão de obra indireta e às instalações prediais, que não foram contabilizados. Apesar da técnica de pastilha prensada requerer mais controles e um número maior de curvas, o estudo mostrou que ela é mais viável, em termos de custos (80% mais barato que a pastilha fundida), quando grandes quantidades de amostras são analisadas. Como estudo de caso, também foi avaliado a utilização da técnica de pastilha fundida calcinada, aliada à utilização de padrões internos, com intuito de redução dos custos para viabilizar economicamente a utilização da técnica. Esse trabalho buscou subsidiar a decisão a ser tomada, sob a ótica dos custos envolvidos em cada uma das técnicas analíticas estudadas: pastilha prensada *versus* pastilha fundida.

Palavras-chave: Custo; Raios-X; Pastilha prensada; Pastilha fundida.

COMPARISON AMONG THE COSTS OF THE ANALYTICAL TECHNIQUES OF SPECTROMETRY OF FLUORESCENCE OF X-RAY: PRESSED POWDER VS GLASS DISK

Abstract

The present work has the objective of presenting a detailed study comparing the cost among the two main techniques of iron ore analysis for spectrometry of fluorescence of X-ray (pressed powder and glass disk). Were considered not only the cost components directly involved, but every implantation/maintenance cost of each technique. Due to the diversity of factors that influence in this evaluation some were adopted way premises to turn the most coherent comparisons. Among them the most representative are related to the costs harnessed by hand of indirect work and to the property facilities that were not counted. In spite of the technique of pressed powder to request more controls and a larger number of curves, the study showed that it is more viable, in terms of costs (80% cheaper than the glass disk), when great amounts of samples are analyzed. As case study, also was evaluated the use of the technique glass disk ignited, allied to the use of internal standard, with intention of reduction of the costs to make possible the use of the technique economically. This work looked for to subsidize the decision to be taken, under the optics of the costs involved in each one of the studied analytical techniques: pressed powder vs glass disk.

Key words: Cost; X-ray; Pressed powder; Glass dis.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 16 de setembro de 2011, Vila Velha, ES

² Engenheiro Metalúrgico, Gerência de Laboratório do Sistema Sudeste, Vale, Brasil.

³ Gerente de Laboratório, Gerência de Laboratório do Sistema Sudeste, Vale, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Numa rotina de um laboratório de análise de minério de ferro que utiliza como técnica analítica principal é a espectrometria de raios-X é comum adotar duas formas de preparação de amostra.

Uma técnica de preparação é chamada de pó prensado, vulgarmente conhecida como pastilha prensada e a outra técnica é pastilha fundida.

Cada técnica possui particularidades que as diferenciam não só na preparação, mas também na qualidade analítica e principalmente custos envolvidos. Conhecer essas variáveis é de grande importância para decisão de qual método de preparação será adotado na rotina de análise das amostras de um laboratório.

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo detalhado comparando o custo entre as duas principais técnicas de análise de minério de ferro por espectrometria de fluorescência de raios-X. Essas técnicas são conhecidas como pastilha prensada e pastilha fundida.

Além do custo direto dos ensaios, serão analisados os custos de implantação e controle das técnicas.

3 PREMISSAS

Para tornar a comparação mais coerente, foram adotadas premissas para definir as condições de contorno onde ela não será influenciada por variáveis particulares que possam interferir no processo.

A seguir serão apresentadas as premissas adotadas na avaliação.

- na composição de custo foram considerados os seguintes pilares de componentes:
 - insumos (energia, reagentes, materiais, outros);
 - mão de obra direta; e
 - gasto com resíduos gerados.
- não foi considerado a mão de obra indireta na composição de custo, pois essa mão de obra está correlacionada com atividades de rotina e outras extras-rotinas do laboratório. Seria complicado separar o tempo real que cada ensaio demanda desse tipo de mão de obra;
- não foi considerado custo de implantação/depreciação do prédio nem dos equipamentos envolvidos nas duas técnicas;
- não foi considerado o custo envolvido na manutenção dos equipamentos;
- o estudo se refere apenas à realidade do laboratório de Brucutu, localizado em São Gonçalo do Rio Abaixo, Minas Gerais. Apesar dos outros laboratórios da gerência apresentar rotinas de trabalho parecidas, pode existir alguma particularidade que diferencie da realidade aqui apresentada;
- foi considerado que para confecção da pastilha fundida é necessário pulverizar a amostra para adequação da granulometria, assim todas as pastilhas fundidas terão a adição do custo desse passo na sua composição; e
- no caso dos padrões MRC foi considerado apenas o custo da massa utilizada no ensaio. Teoricamente se os padrões forem adquiridos apenas para montar a curva o custo dessa curva fica muito alto, pois é utilizada apenas uma pequena quantidade do material. O restante é utilizado em outros ensaios presente na rotina do laboratório.

Nota Importante- Os custos aqui expressos estão normalizados por um fator para que seja mantida a confidencialidades das informações contida no trabalho que é de exclusividade da Vale. O objetivo é apresentar a diferença, em ordem de grandeza, quando comparamos as duas técnicas. Os valores serão expressos pelo símbolo - \$.

4 TECNICAS ANALÍTICAS

A análise por FRX pode ser feita com amostra no estado líquido (não muito utilizado) e no estado sólido. A amostra sólida pode ser a partir do seu estado natural, adequando-a as condições de medida que exige que a parte da amostra que será ensaiada esteja plana e limpa.^(1,2) Pode-se preparar a amostra de minério de ferro fazendo a prensagem do minério pulverizado em uma forma, formando o que se chama de pastilha prensada. Por fim outra forma de preparação é com a dissolução da amostra em uma massa de fundente, técnica conhecida por pastilha fundida.

Nos tópicos a seguir serão exploradas todas as metodologias de ensaios estudadas neste trabalho, com apresentação das vantagens e desvantagens e os componentes de custo que estão envolvidos em cada ensaio.

No item 4.4 serão enumeradas as atividades necessárias para implantação e controle das técnicas. Suas aplicações estão dispostas da seguinte forma:

- determinação de ferro total via úmida (Fe.V.U) – ensaio utilizado para complementar a técnica de pastilha fundida convencional e certificação das amostras padrões que serão utilizadas para criar as curvas de pastilha prensada e amostras de CEP;
- determinação da perda por calcinação (PPC) – ensaio utilizado para complementar os resultados analíticos das técnicas de pastilha prensada e fundida convencional quando é necessário avaliar fechamento. Para a confecção da pastilha fundida calcinada esse ensaio é uma etapa fundamental do procedimento;
- análise de plasma – ensaio utilizado para as análises de certificação das amostras padrão de curva e CEP, quando aplicável. Atividade relacionada à implantação das metodologias;
- CEP – pastilha fundida convencional, calcinada ou pastilha prensada – neste tópico será apresentada a atividade executada para controle analítico do processo, que é utilizada em todas as metodologias estudadas nesse trabalho;
- amostra padrão de CEP (pastilha prensada ou fundida) – neste tópico será abordada a forma que essas amostras são preparadas e empregadas na rotina. Atividade relacionada ao controle das metodologias;
- amostra padrão de curva (pastilha prensada e fundida) – neste tópico será abordada a forma que essas amostras são preparadas e empregadas na confecção das curvas de calibração para implantação das metodologias estudadas;
- regressão de curva (pastilha prensada/ pastilha fundida) – atividade relacionada à implantação das metodologias; e
- correção de curva – atividade relacionada ao ajuste das curvas de calibração que é feita com a utilização das amostras de CEP.

4.1 Pastilha Prensada

4.1.1 Vantagens e limitações

Vantagens da técnica de preparação de pastilha prensada:

- fácil preparação, baixa necessidade de reagentes
- tempo de resposta mais curto;
- ganho no sinal analítico do raios-X, pois não existe diluição da amostra; e
- custo baixo.

Desvantagens da técnica:

- necessidade de um controle mais rigoroso no procedimento de preparação;
- efeitos mineralógicos das amostras (estruturas cristalinas diferentes)
- presença do efeito matriz (interferência de análise);
- necessidade de curvas específicas por produto; e
- necessidade de um controle do processo mais trabalhoso, pois devidos às desvantagens anteriores, é necessário utilizar uma ou mais amostras de CEP para controle de cada curva criada. Ver tópico relacionado, item 4.4.4.

4.1.2 Composição de custo

Na composição de custo foram considerados os seguintes componentes:

- gasto envolvido no desgaste da panela de pulverização;
- agente aglomerante - Lactose;
- consumo de energia elétrica envolvida nos equipamentos (moinho de pulverização, prensa, raios-X);
- etiqueta de identificação;
- forma de alumínio;
- mão de obra envolvida no processo;

Na Figura 1, está a distribuição em percentual de cada componente no custo total.

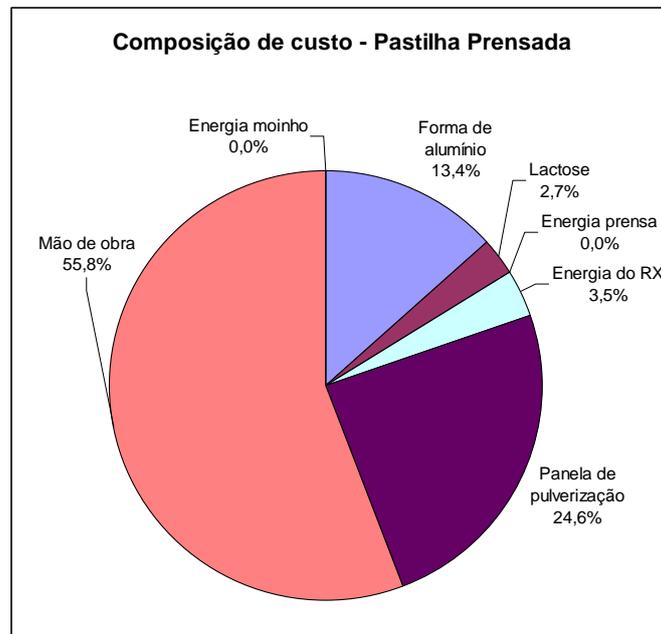


Figura 1. Representação em percentual da composição de custo da pastilha prensada.

4.2 Pastilha Fundida Convencional

4.2.1 Vantagens e limitações

A técnica de fusão possui muitas vantagens⁽³⁾ em relação a outros tipos de preparação de amostra para análise. Entre elas estão:

- eliminação dos efeitos mineralógicos das amostras (estruturas cristalinas diferentes)
- eliminação do efeito matriz (interferência de análise);
- possibilidade de confeccionar amostras utilizando a técnica de adição de padrão para ganho de sinal analítico;
- ganho na repetibilidade e acurácia;
- utilização de pouca amostra na preparação;
- utilizada para diversos tipos de material;
- necessidade de apenas uma curva de calibração; e
- facilidade de obter padrões de acompanhamentos (material de referência certificada).

Como em toda técnica de preparação algumas limitações podem ser levantadas, como se trata de um procedimento que envolve diluição e altas temperaturas, as desvantagens⁽²⁻⁵⁾ estão listadas a seguir:

- limitada para materiais explosivos, radiativos, que formam liga com a platina e ouro, tóxicos (Hg e As) e muito voláteis (Br, I e Se);
- contaminação com fundente impuro;
- queda na intensidade de leitura dos elementos devido à alta taxa de diluição; e
- dificuldade de utilizar o resultado analítico do ferro, devido alta variabilidade, com isso, é necessário associar a essa metodologia o ensaio de Fe.V.U.

4.2.2 Composição de custo

Na composição de custo foram considerados os seguintes componentes:

- fundente;
- agente desmoldante – Iodeto de potássio;
- ácido utilizado para limpeza do cadinho;
- consumo de gás;
- consumo de energia elétrica envolvida nos equipamentos (chapa elétrica, estufa, máquina de fusão e raios-X);
- etiqueta de identificação;
- pacotinho de amostra;
- gasto envolvido na manutenção do cadinho de platina;
- mão de obra envolvida no processo;
- custo de uma pulverização para adequação da granulometria do material; e
- custo com descarte de resíduos.

A Figura 2 apresenta a distribuição em percentual de cada componente no custo total.

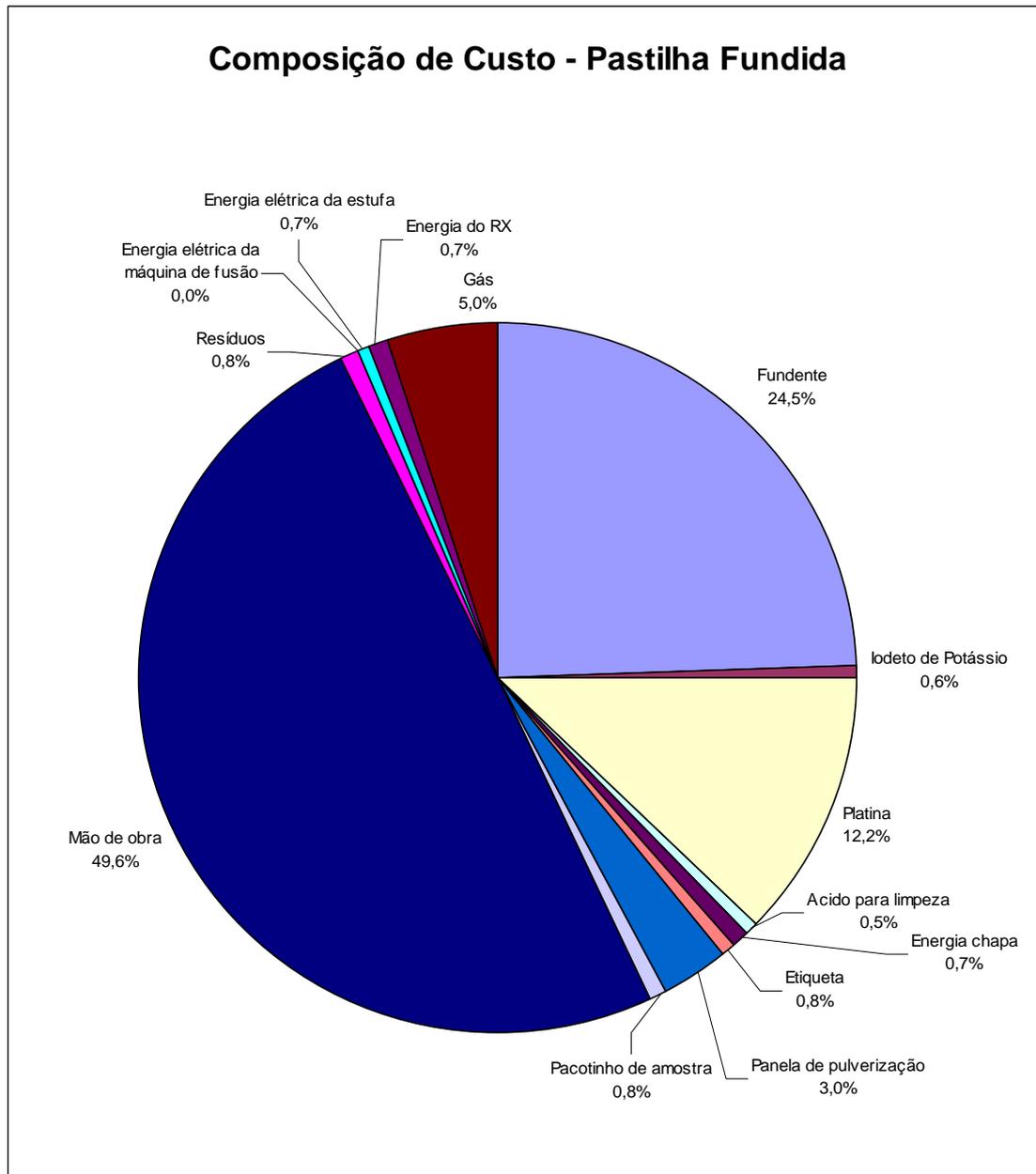


Figura 2. Representação em percentual da composição de custo da técnica de pastilha fundida.

4.3 Pastilha Fundida Calcinada

Metodologia semelhante a pastilha fundida convencional, porém devido um procedimento aprimorado na preparação, é possível utilizar o resultado analítico do teor de ferro total.

Nessa técnica a amostra é calcinada antes da confecção da pastilha, com isso é feito um ajuste no balanço de massa, gerando resultados mais confiáveis.

4.3.1 Vantagens e limitações

- eliminação dos efeitos mineralógicos das amostras (estruturas cristalinas diferentes);
- eliminação do efeito matriz (interferência de análise);
- possibilidade de confeccionar amostras utilizando a técnica de adição de padrão para ganho de sinal analítico;

- ganho na repetibilidade e acurácia;
- utilização de pouca amostra na preparação;
- utilizada para diversos tipos de material;
- necessidade de apenas uma curva de calibração;
- facilidade de obter padrões de acompanhamentos (material de referência certificada);
- possibilidade de utilização do resultado analítico de ferro total obtido na leitura da pastilha; e
- amostra com elementos no estado máximo de oxidação, gerando ganhos na conservação dos cadinhos e moldes de platina pela ausência de sulfetos que ataca platina e ganhos na solubilização dos constituintes das amostras pelo fundente.

Desvantagens:

- limitada para materiais explosivos, radiativos, que formam liga com a platina e ouro, tóxicos (Hg e As) e muito voláteis (Br, I e Se);
- contaminação com fundente impuro;
- queda na intensidade de leitura dos elementos devido à alta taxa de diluição.
- dificuldade de utilizar o resultado analítico do ferro, devido alta variabilidade, com isso, é necessário associar a essa metodologia o ensaio de Fe.V.U.; e
- comparando com o método convencional, existe a influencia de mais uma variável de processo, causado pela necessidade de realizar a calcinação antes da confecção da pastilha.

4.3.2 Composição de custo

Componentes da composição de custo:

- custo envolvido na metodologia de pastilha fundida convencional (item 4.2.2);
- custo do ensaio de PPC – perda por calcinação.

4.4 Outros Ensaios/ Atividades

Conforme já apresentado anteriormente, as atividades relacionadas a seguir estão ligadas à execução, implantação e controle das técnicas estudadas.

4.4.1 Determinação de ferro total via úmida – Fe. V.U

Esse ensaio é utilizado para determinação do teor de ferro total contido na amostra. Conforme já mencionada ele é utilizado para complementar o resultado analítico da pastilha fundida convencional.

É uma técnica clássica que envolve a utilização de reagente, com risco associado e geração de efluentes químicos.

Outra particularidade desta técnica é a demanda de mão de obra especializada.

Na composição de custo desse ensaio foram considerados os seguintes componentes:

- insumos/reagentes;
- mão de obra direta envolvida na análise;
- mão de obra indireta envolvida na preparação das soluções;
- consumo de energia elétrica envolvida nos equipamentos (chapa térmica, balança, dosimat, estufa);
- custo envolvido na fatura da solução de dicromato; e
- custo com descarte de resíduos.

4.4.2 Determinação da perda por calcinação – PPC

Esse ensaio é utilizado para determinação da quantidade de perda de material que a amostra sofre quando é submetida a altas temperaturas.

Componentes da composição de custo:

- mão de obra direta envolvida na análise;
- consumo de energia elétrica envolvida nos equipamentos; e
- gasto com cadinho de porcelana.

4.4.3 Análise via plasma

Metodologia utilizada para certificações de amostras padrões que são utilizadas para controle de processo confecção de curvas.

Outra utilização na rotina dessa técnica é a realização de comparativos, com intuito de validar os resultados obtidos via raios-X, uma vez que seus resultados são mais precisos.

Para a pastilha fundida convencional e calcinada, quando é utilizado um padrão MRC já certificado implantação e controle do processo, esse ensaio não é utilizado.

Componentes da composição de custo:

- insumos/reagentes;
- mão de obra direta envolvida na análise;
- mão de obra indireta envolvida na preparação das soluções;
- gasto envolvido na manutenção do cadinho de platina;
- consumo de energia elétrica envolvida nos equipamentos (chapa térmica, balança, ICP, estufa); e
- custo com descarte de resíduos.

4.4.4 CEP - pastilha fundida convencional, calcinada ou pastilha prensada

Ensaio utilizado para controle das curvas, adequando-as às condições de ensaios atuais, pois com passar do tempo os equipamentos vão de desgastando e/ou modificando ou a característica da amostra na mina vai alterando. Essas alterações criam desvios nos resultados analíticos, e são corrigidos em função dos resultados obtidos pelo CEP.

O padrão utilizado deve ser um MRC – material de referência com certificação nacional, internacional ou interno. Este último refere-se a padrões confeccionados dentro do próprio laboratório, veja tópico a seguir, item 4.4.5. A possibilidade de utilizar um padrão interno reduz consideravelmente os custos do ensaio.

Para realização desse controle existe um cronograma diário onde são variados os padrões MRC utilizados com intuito de controlar diversas faixas de concentração das curvas.

Para a técnica de pastilha prensada, devido a quantidade de material utilizado só existe a opção de utilizar amostra padrão interno, pois custo de empregar o uso de um material certificado fora é muito alto.

Componentes da composição de custo:

- custo envolvido na metodologia de pastilha fundida convencional, calcinada ou pastilha prensada;
- custo do material de referência certificado ou padrão interno; e
- mão de obra envolvida na digitação e avaliação dos resultados.

4.4.5 Amostra padrão de CEP – pastilha prensada

Os padrões de CEP são amostras preparada dentro do laboratório com todo critério de homogeneização e divisão para serem utilizadas na rotina no controle do processo.

Como é direcionado para metodologia de pastilha prensada, é fundamental que tenha uma amostra padrão CEP para cada tipo de produto, o que geralmente está ligado a uma curva específica.

Assim, a quantidade de amostra, depende da rotina de amostra do laboratório. Neste estudo de caso, o laboratório de Brucutu possui 14 padrões de CEP.

O motivo de ter uma amostra por curva baseia-se na necessidade de manter as características desse padrão o mais próximo da realidade da amostra. Para isso a massa preparada e o suficiente para um período de no máximo um ano. Com isso sempre estamos coletando uma amostra mais representativa, mais atualizada com as condições de lavra/características geológicas da época.

Após a preparação a amostra com granulometria abaixo de 1mm é fracionada em alíquotas (350 alíquotas), realiza-se um teste de homogeneidade e a certificação química que geralmente envolve no mínimo duas determinações por plasma e três por raios-X.

Componentes envolvidos na composição de custo:

- embalagem para arquivamento;
- custo com certificação química (duas determinações por plasma e três por raios-X com padrão de acompanhamento);
- energia gasta com equipamentos (moinho de pulverização);
- custo com confecção de pastilha prensada para teste de homogeneidade; e
- mão de obra.

4.4.6 Amostra padrão de CEP – pastilha fundida

Como item anterior, essas amostras são utilizadas para controle do processo.

Como é utilizada uma pequena porção de amostra para confecção das pastilhas fundidas (convencional e calcinada) é possível adquirir no mercado amostras já preparadas e certificadas ou utilizar uma amostra já preparada conforme item anterior 4.4.5

Componentes envolvidos na composição de custo:

- amostras preparadas dentro do laboratório - Componente adotados no item 4.4.5 para amostras internas; e
- amostras preparadas com certificação externa - compra direta no mercado

4.4.7 Amostra padrão de curva (pastilha prensada e pastilha fundida)

Estas amostras são utilizadas para implantação das curvas de calibração de pastilha prensadas e fundidas.

O que diferencia estas amostras das anteriores item 4.4.5 é a quantidade preparada de aproximadamente 1 kg. Como se trata de uma amostra de curva, sua validade é maior, chega ser utilizada por até três anos.

Para a implantação da curva de pastilha fundida, as amostras podem ser adquiridas diretamente no mercado ou preparadas internamente, visando redução de custo.

Componentes envolvidos na composição de custo:

- embalagem para arquivamento;
- custo com certificação química (duas determinações por plasma e três por raios-X com padrão de acompanhamento);
- energia gasta com equipamentos (moinho de pulverização); e
- mão de obra.

4.4.8 Regressão de curva - pastilha prensada/ pastilha fundida

Nesta atividade está contemplada a confecção da curva de calibração no equipamento de raios-X. Desde a preparação das amostras, a avaliação das distribuições dos pontos obtidos (regressão) até a documentação necessária para o sistema da qualidade interna do laboratório.

Como a regressão é o retrato das características das amostras padrão de curva preparadas na época, faz-se necessário em um ou dois anos a atualização das curvas com adição de novos pontos/amostras ou criar uma nova curva desde o início.

Componentes envolvidos na composição de custo:

- confecção das pastilhas prensada ou fundida;
- leitura das pastilhas no raios-X; e
- mão de obra envolvida com a avaliação das regressões e documentação necessária para sistema da qualidade.

A Figura 3 apresenta um exemplo de curva de calibração de pastilha fundida.

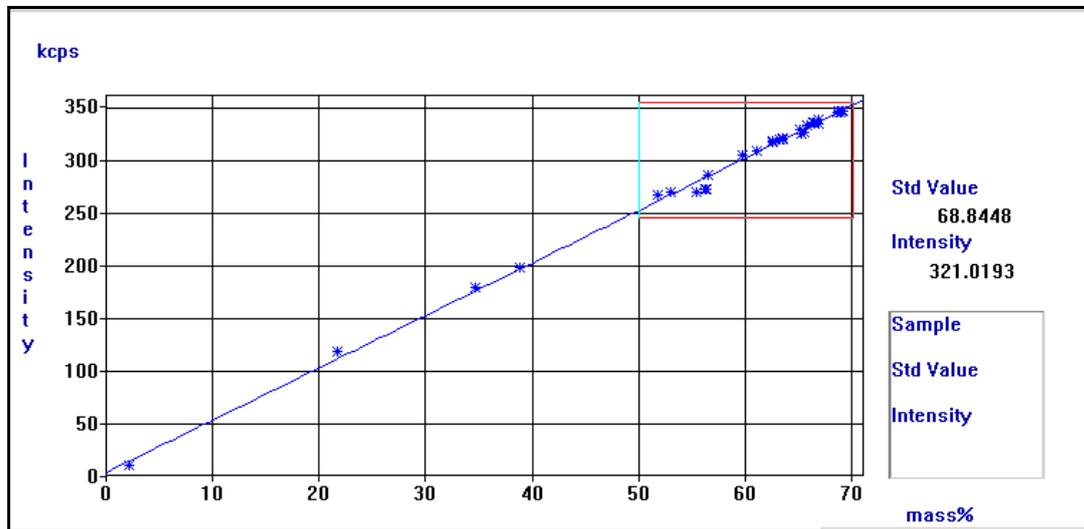


Figura 3. Exemplo de curva de calibração.

4.4.9 Correção de curva

Essa atividade consiste em avaliar os resultados das amostras de CEP e promover as correções necessárias nas curvas de calibração. Como já descrito, essas correções são realizadas para adequar as condições do equipamento de medida às condições atuais das variáveis de preparação atuais. Que vão desde as interferências humanas, até as interferências físicas.

Componente envolvido na composição de custo:

- mão de obra envolvida na avaliação e correção das curvas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Custo por Atividade

Conforme apresentado anteriormente, segue na Tabela 1 o compilado do custo final de cada atividade, considerando o somatório das componentes de custo envolvidos em cada atividade.

Tabela 1. Custo discriminado pelo tipo de ensaio

Atividade	Unidade	Custo (\$)
Pastilha fundida + pulverização	ensaio	4,06
Pastilha fundida calcinada	ensaio	5,21
PPC - Perda por Calcinção	ensaio	1,15
Fe.V.U (com fatoração)	ensaio	3,33
CEP pastilha fundida	ensaio	7,63
CEP pastilha fundida (padrão interno)	ensaio	3,94
Pastilha prensada	ensaio	1,00
Confecção amostra CEP (350 pacotinhos)	alíquota	1,11
CEP pastilha prensada	ensaio	2,52
Confecção amostra padrão de curva	padrão	89,66
Regressão curva pastilha prensada	curva	1321,88
Regressão curva pastilha fundida	curva	580,39
Regressão curva pastilha fundida calcinada	curva	649,35
Correção de curva	curva	8,97

5.2 Implantação das Técnicas

5.2.1 Pastilha fundida

Devidos as vantagens já descritas da técnica, para sua implantação é necessário confeccionar apenas uma curva, pois a linearidades das regressões são boas mesmo quando as faixas de concentrações das amostras são amplas. Para exemplificar, é possível fazer uma curva de sílica com concentrações de 0,10% a 100%.

No laboratório de Brucutu trabalhamos com duas curvas de pastilhas fundidas, sendo que uma delas é na técnica de pastilha calcinada. Esta segunda, como já dito, é utilizada para o aproveitamento do resultado analítico do teor de ferro da amostra. Para o cálculo do valor de implantação das curvas foi considerado a utilização de 60 padrões MRC em cada metodologia.

O custo de implantação das duas curvas está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Custo total da implantação da metodologia de pastilha fundida

Implantação - Pastilha Fundida	
Técnica	Custo (\$)
Regressão curva pastilha fundida	580,39
Regressão curva pastilha fundida calcinada	649,35
Total	1229,74

5.2.2 Pastilha prensada

Para a técnica de pastilha prensada foram necessárias 14 curvas para suprir a rotina do laboratório de Brucutu. Conforme já mencionado, a quantidade de curva vai depender das características de controle dos processos produtivos e das características da própria amostra (composição química, mineralogia, rota de

preparação, etc.). Assim, o número de curvas necessárias para atender a rotina altera de acordo com a realidade de cada laboratório.

Existem curvas bem elaboradas que são utilizadas para controle de amostras mais importante que possuem mais de 20 pontos de regressão e curvas que são menos criteriosas que possuem menos pontos na regressão, assim, para o trabalho, foi considerado a utilização de uma quantidade média de 12 amostras para cada curva, sendo que cada amostra, representa um ponto na regressão.

O custo total para a implantação dessa metodologia foi de \$ 18.506,25 conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Custo total da implantação da metodologia de pastilha prensada

Implantação - Pastilha Prensada

Técnica	Custo (\$)
Regressão curva pastilha prensada	1.321,88
Total (14 curvas)	18.506,25

5.2.3 Controles

A manutenção das técnicas exige um controle rigoroso adotado por curva de calibração. Para esse controle é necessário utilizar padrões que podem ser MRC ou padrões internos confeccionados dentro do laboratório.

Dependendo da faixa de concentração da curva, torna-se necessário a utilização de vários padrões para controlar a mesma curva.

Observe no quadro a seguir a frequência de amostras de controle CEP adotado para manutenção das curvas do laboratório de Brucutu, com o custo associado de acordo com a metodologia (pastilha prensada ou fundida).

Tabela 4. Relação dos custos relacionados aos controles das curvas

Metodologia	Número de curvas	Quantidade de padrões por mês	Custo mensal utilizando padrão externo (\$)	Custo mensal utilizando padrão interno (\$)
Pastilha Prensada	14	226	-	568,72
Pastilha Fundida Convencional	1	30	228,70	118,28
Pastilha Fundida Calcinada	1	30	228,70	118,28

5.2.4 Comparação

É possível observar que o custo de implantação da metodologia de pastilha prensada é mais cara do que a pastilha fundida

Tabela 5. Relação do custo de implantação das técnicas estudadas

Rotina	Custo unitário por ensaio (\$)	Valores por Ano					Custo total (\$)
		Volume de amostra	Custo por ensaio (\$)	Implantação da curva (\$)	Correção das curvas(\$)**	Acompanhamento/CEP (\$)	
Pastilha prensada	1,00	132.000	132000,00	18506,25	3013,37	6824,61	160344,23
Pastilha Fundida	7,40*		976235,29	580,39	215,24	2744,37	979775,29
Pastilha Fundida Calcinada	5,21		688235,29	649,35	215,24	2744,37	691844,25

* custo do ensaio da pastilha fundida mais o custo do ensaio de ferro total via úmida.

** considerado duas correções por curva/mês.

Trabalhando os dados apresentados (Figura 4), é possível notar que neste cenário de 14 curvas de pastilhas prensadas existe um ponto de equivalência de custos quando anualmente é analisada uma quantidade entre 4.000 a 6.000 amostras. Números inferiores a esse, recomenda-se a adotar a técnica de pastilha fundida no processo operacional. Caso a rotina operacional não demande a quantidade de curva de pastilha prensada aqui relacionadas é necessário correlacionar a quantidade de curva com a quantidade de amostras para identificar qual será o ponto de equilíbrio entre as técnicas.

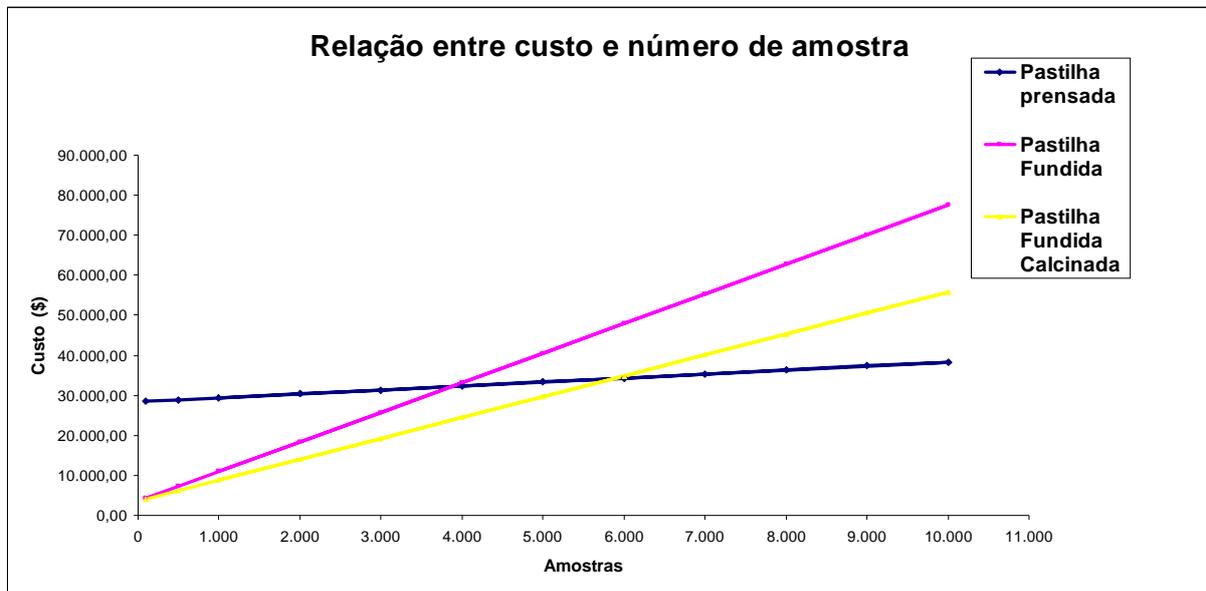


Figura 4. Relação do custo de cada técnica e o número de amostras analisadas.

A Figura 5 apresenta a relação entre o número de amostras/ano e a quantidade de curvas prensadas necessárias, para definir qual técnica é mais viável economicamente.

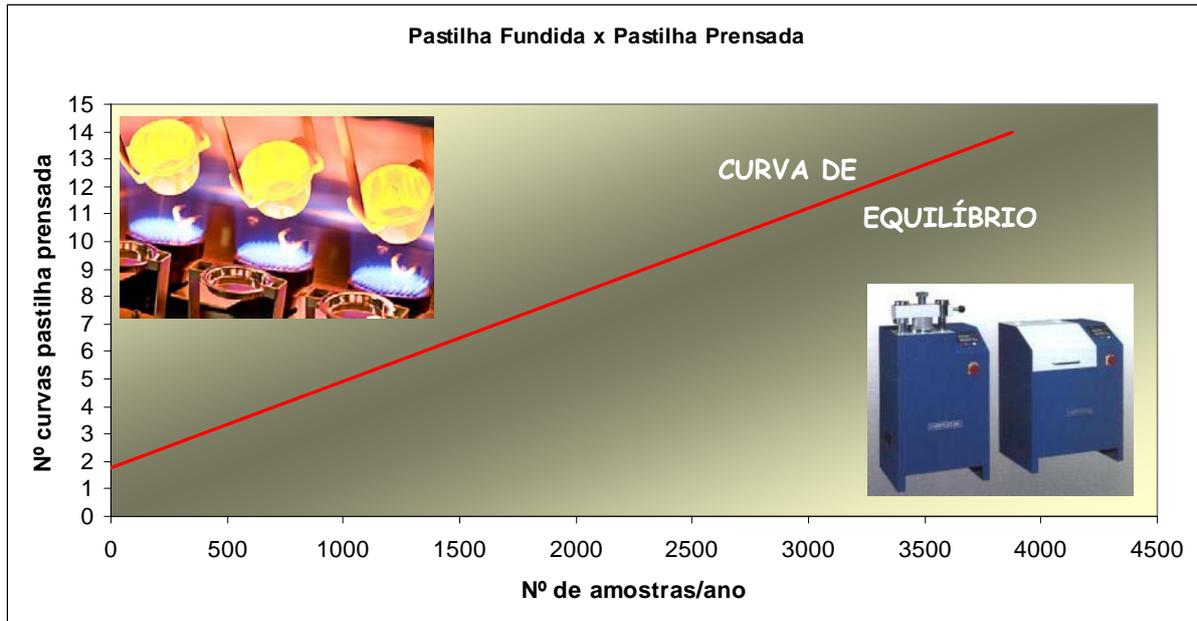


Figura 5. Curva de equilíbrio entre as técnicas.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo é de suma importância para conhecer as diferenças de custo entre as principais técnicas analíticas adotadas para análise de minério de ferro via espectrometria de raios-X.

Analisando a composição de custo para ambas as técnicas, foi possível identificar que o custo de mão de obra é a componente mais representativa do conjunto, aproximadamente 50%.

A utilização da técnica de pastilha fundida é mais cara, pois associada a ela está a necessidade do ensaio de ferro total por via úmida, elevando o custo da técnica em aproximadamente 82%. Uma forma de reduzir esse custo é adotar a metodologia de pastilha fundida calcinada, técnica que não necessita do ensaio de ferro total via úmida. Fazendo uma comparação entre as duas metodologias de pastilha fundida, essa é aproximadamente 30% mais barata.

Apesar da técnica de pastilha prensada apresentar maior custo para implantação e demandar mais controles, sua utilização é mais viável, pois o valor do ensaio na rotina é consideravelmente menor quando comparado com a técnica de pastilha fundida. Para o estudo de caso a pastilha prensada está na ordem de 80% mais barata que a pastilha fundida.

Avaliando a quantidade de curva necessária para adotar a técnica de pastilha prensada foi possível estabelecer uma relação de custo benefício correlacionando com a quantidade de amostra analisada. Para exemplificar, um laboratório que tem uma demanda de 3000 amostras por ano, deve adotar a metodologia de pastilha fundida se para atender as amostras for necessário um número maior que 11 curvas de pastilha prensada. Ou seja, a análise vai depender muito das características físicas das amostras (top size, mineralogia, rota de preparação, composição química entre outros).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como considerações finais, pode-se citar:

- o trabalho pode ser melhorado, incluindo a componente de custo relacionado ao parque de equipamentos necessários para implantação de cada técnica, bem como a manutenção dos equipamentos. Pode ocorrer que a manutenção relacionada aos equipamentos utilizados para confecção das pastilhas fundidas seja mais onerosa que a manutenção dos equipamentos da pastilha prensada; e
- incluir nos cálculos as rotinas operacionais de outros laboratórios, para obter dados mais equalizados diante das rotinas dos laboratórios, para tomada de decisões.

REFERÊNCIAS

- 1 TORRES, Dalmir M. **Princípios Básicos sobre Fluorescência de Raios-X**. 2ª edição. Anacon Científica, 55 p, 1999.
- 2 RATTI, Giuliana. **Fluorescência de Raios-X**. VII Curso de Fluorescência de Raios-X. USP, 59 p., 2003.
- 3 CLAISSE, Fernand. **Glass Disks and Solutions by Fusion For Users of Claisse Fluxers**. Corporation Scientifique Claisse Inc., 2ª ed., 2003.
- 4 CLAISSE. **Advances in XRF Sample Preparation by Fusion**. Corporation Scientifique Claisse, www.claisse.com (03/08/2006), Florida, 16 p., 2001.
- 5 NAKAYAMA, Kenichi; NAKAMURA, Toshihiro. **X-Ray Fluorescence Analysis of Rare Earth Elements in Rocks Using Low Dilution Glas Beads**. *Analytical Sciences*, vol. 21, 815-822 p., 2005.