

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA – REDUÇÃO DA DIFERENÇA MÉDIA ABSOLUTA NA FRAÇÃO -0,15 mm ENTRE O PENEIRAMENTO MECÂNICO DE ROTINA E O MANUAL DE REFERÊNCIA EM MINÉRIO DE FERRO TIPO SINTER FEED¹

*José Ferreira de Abreu²
Carlos Maurílio Oliveira Santos³
Richard Roberto Xavier⁴*

Resumo

A análise granulométrica é utilizada para o controle de qualidade no processamento, estocagem e despacho de minério de ferro. A norma NBR ISO 4701 – Minérios de ferro – Determinação da distribuição granulométrica por peneiramento, especifica a metodologia empregada. A quantidade de variáveis envolvidas obriga o laboratório que o executa a mantê-las sob controle e o método sob verificação periódica contra vícios inaceitáveis. Nos laboratórios da Vale o ensaio de sinter feed é realizado através de peneiramento mecânico, opção viável devido à boa relação entre o tempo de resposta e precisão. O procedimento de verificação em questão é a comparação entre os peneiramentos mecânico e padrão, denominado de peneiramento manual. Os laboratórios participantes deste caso adotam um Programa denominado Interlaboratorial de Granulometria, através do qual, porções homogêneas de uma amostra previamente preparada são distribuídas para cada participante o qual executa em uma a análise granulométrica em equipamento de peneiramento mecânico e na outra realiza o peneiramento manual de referência. Os dados são tratados estatisticamente para posicionar cada laboratório perante os demais e orientar decisões técnicas. A diferença média entre os métodos mecânico e manual era de 2,13% na fração passante em 0,15 mm e demonstrava a necessidade de tratar as suas causas. A Metodologia Seis Sigma foi sugerida para tratamento deste caso e demonstrando sua eficácia atingiu 58% contra os 25% inicialmente propostos como meta geral, para a fração passante na abertura de 0,15 mm.

Palavras-chave: Análise granulométrica; Peneiramento; Minério de ferro; Sinter feed.

SIEVING ANALYSIS – REDUCTION OF THE ABSOLUTE AVERAGE DIFFERENCE IN – 0,15 MM BETWEEN THE MECHANICAL SIEVING OF ROTINE AND THE MANUAL OF REFERENCE IN SINTER FEED OF IRON ORE

Abstract

The sieving analysis is used for the quality control in processing, stock piles and shipment of iron ore. The standard NBR ISO 4701- Iron ore - Determination of size distribution by sieving, specifies the methodology applied. The amount of varieties involved forces the laboratory that executes it to keep them both under control and the method by periodic verification against unacceptable bias. In Vale's laboratory the assay of sinter feed is made by mechanical sieving, a possible option made by the good relation between the time of response and precision. The procedure of verification in check is the comparison between mechanical sieving and the standard, named handling sieving. The participating laboratories of this case adopt a Program named Interlaboratory of sieving test, by which, homogenous portions tests of the same sample, previously prepared, are distributed for each participate, then it is executed in one of the sieving analysis on the mechanical sieving and on the other the handling sieving of reference. Statistics are obtained by the data of each laboratory towards the rest and guide technical decisions. The average difference between the mechanical and manual methods was 2,13% in the fraction pass in 0,15 mm and showed the necessity of treating these causes. The Methodology Six Sigma was suggested for the treatment of this case and by showing its efficiency it reached 58% against the proposed initial 25% as a general target, to the fraction pass aperture of 0,15 mm.

Key words: Sieving analysis; Sieving; Iron ore; Sinter feed.

¹ *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

² *Analista Operacional, Gerência de Laboratório do Sistema Sudeste, Vale, Brasil.*

³ *Técnico de Laboratório, Gerência de Laboratório do Sistema Sudeste, Vale, Brasil.*

⁴ *Técnico de Controle de Processo - Gerência de Laboratório do Sistema Sudeste, Vale, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O programa Interlaboratorial de Granulometria foi uma iniciativa da Gerência de Laboratório Sudeste da Vale, para o qual participaram os laboratórios de Itabira, Alegria, Gongo Soco, Água Limpa, Brucutu e Timbopeba e laboratórios de outras Gerências e empresas da área. Neste projeto participaram somente os laboratórios da gerência acima mencionados, cujos nomes foram codificados. Ele foi realizado com o sinter feed de minério de ferro, produto com tamanho de partículas abaixo de 12,5 mm. As peneiras de especificação no sinter feed são: 6,3 mm, 1 mm e 0,15 mm, o acumulado nas duas primeiras e o passante na última são seus parâmetros de qualidade granulométrica. Uma rodada é iniciada quando uma amostra global é classificada e composta em porções testes de acordo com sua distribuição granulométrica original e distribuída aos laboratórios participantes, os quais realizam um peneiramento mecânico em duplicata e outro peneiramento manual de referência⁽¹⁾ conforme disposto na norma NBR ISO 4701, item 7.4. O peneiramento mecânico é realizado de acordo com o procedimento operacional local, o qual também é baseado na referida norma. As principais variáveis deste ensaio podem ser distribuídas em quatro grupos: a amostra, o equipamento, o método e o operador.

Para o desenvolvimento e alcance dos objetivos traçados, foi utilizada a Metodologia Seis Sigma.⁽²⁾ Os resultados finais apresentados demonstraram que foi possível reduzir as diferenças entre os resultados dos métodos de peneiramento para a faixa especificada de <0,15 mm.

A Figura 1 mostra a situação antes do início deste trabalho para a diferença entre o peneiramento mecânico e manual na faixa <0,15 mm, dentro do Interlaboratorial de granulometria.

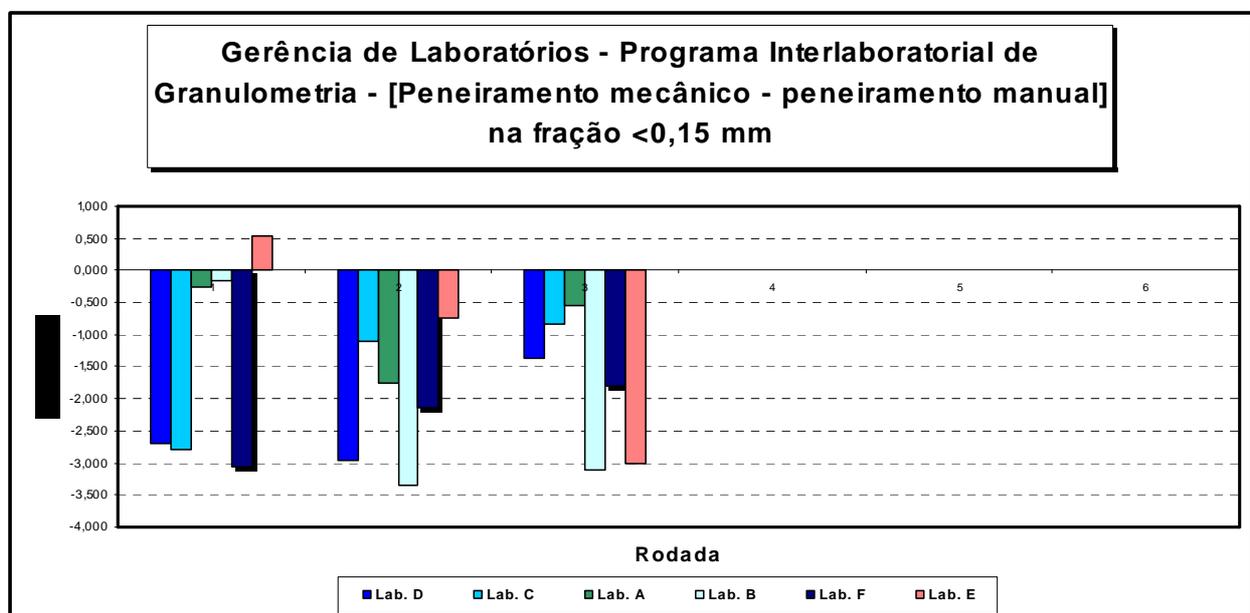


Figura 1 – Programa Interlaboratorial de Granulometria <0,15 mm – 3ª Rodada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os principais equipamentos e materiais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram:

- Massa de minério de ferro tipo sinter feed com qualidade média representativa;
- chapa térmica a $100^{\circ}\pm 10^{\circ}$ C;
- Balança com precisão de 0,1g;
- Peneirador mecânico suspenso;
- Peneiras redondas calibradas, fundo e tampa de 200 mm x 50 mm, com Aberturas entre 12,5 mm e 0,045 mm;
- Superfície lisa demarcada para deslocamento da peneira e fundo; e
- Pincel, pinça, espátula e cronômetro.

2.1 Métodos

2.2.1 Classificação das amostras para composição das porções testes

Uma amostra de sinter feed foi selecionada, secada em chapa térmica e classificada nos tamanhos de 12,5 mm; 10 mm; 8 mm; 6,3 mm; 5,6 mm; 4 mm; 2 mm; 1 mm ; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,15 mm; 0,106 mm; 0,075 mm e 0,045 mm. Em seguida foi recomposta em porções testes com a distribuição granulométrica média do produto e massa de alimentação de acordo com o Anexo B – Procedimento para determinação da massa mínima da amostra utilizada para peneiramento.⁽¹⁾

2.2.2 Procedimento para realização do peneiramento manual

Peneiramento manual na faixa de – 22,4 mm + 1 mm.



Figura 2: Superfície lisa demarcada com amplitude de 120 mm.

Carregar a peneira com a massa de alimentação, tampar e com ambas as mãos movê-la horizontalmente para frente e para trás na plataforma por cerca de 120 vezes por minuto com uma amplitude de cerca de 120 mm. Se as partículas forem difíceis de ser peneiradas, especialmente na fração granulométrica - 4 mm + 1 mm, o movimento para frente e para trás deve ser interrompido três vezes por minuto por um movimento circular, no caso de peneiras redondas, ou por uma seqüência de movimentos levantando cada lado da peneira, no caso de uma peneira quadrada. Uma sacudida vertical periódica pode ser dada quando estiver usando uma peneira redonda.

Concluir o peneiramento ao satisfazer a regra do ponto final para a peneira de especificação de 0,15 mm ou depois de decorrido o tempo fixado para o peneiramento.⁽¹⁾

2.2.3 Peneiramento manual na faixa de -1 mm

Nesta faixa de tamanho, a peneira deve ser usada junto com uma tampa e um fundo receptor.

Usar uma peneira individual com um fundo receptor. Colocar a carga na peneira e fixar a tampa. Pegar a peneira com uma das mãos e dar uma batida leve aproximadamente 120 vezes por minuto contra a outra mão, numa inclinação de 10º a 20º, com o ponto de apoio na posição inferior inclinado para baixo. Após 30 batidas, colocar a peneira na posição horizontal, girar 90º e, então, dar uma batida forte com a mão contra o caixilho da peneira. Uma sacudida vertical periódica pode ser dada.

Concluir o peneiramento ao satisfazer a regra do ponto final ou após ter decorrido o tempo fixado para peneiramento. Pesas, individualmente, as frações granulométricas separadas.

Na Figura 3, laboratorista segura o conjunto formado por peneira, fundo e tampa, em posição adequada para o peneiramento manual.

Considera-se o peneiramento concluído quando é atendida a regra do ponto final, isto é, a massa do passante é menor que 0,1% da massa de alimentação, na menor malha de especificação.



Figura 3: Movimentos manuais com peneira, fundo e tampa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Projeto Seis Sigma utiliza o ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar). Ele é dividido em onze fases seqüenciadas e executadas sistematicamente ao mesmo tempo em que se documenta o desenvolvimento do projeto.⁽²⁾

3.1 Etapa Definir

3.1.1 Fase I - Identificação das prioridades

Através do programa Interlaboratorial de Granulometria percebeu-se a existência de diferença sistemática entre os métodos de peneiramento manual de referência e o mecânico. A diferença impacta na qualidade dos ensaios realizados pelos laboratórios e motivou o projeto Seis Sigma.

3.1.2 Fase II - Estabelecimento da meta geral

O indicador utilizado para avaliar o resultado do projeto foi o valor da média das diferenças absolutas dos resultados granulométricos entre o ensaio mecânico e o manual da fração -0,15 mm nos laboratórios pertencentes à Gerência de Laboratórios.

$$Média = \frac{\sum |(resultado\ mecânico) - (resultado\ manual)|}{Número\ de\ ensaios}$$

Figura 4 – Fórmula do indicador definidor da meta.

A quantidade disponível de dados históricos era insuficiente. Para a obtenção de mais dados foi definida uma coleta durante três meses, para tanto a cada laboratório participante foi solicitado testes com amostra de sinter feed comparando o peneiramento mecânico e manual de referência. Os resultados médios destes testes estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1– Resultado dos testes nos laboratórios e Cálculo da meta geral % -0,15 mm⁽³⁾

Diferença absoluta entre peneiramento mecânico e manual % < 0, 15 mm				
Mês	Resultado médio por período	Valor médio atual	Meta Geral calculada	Benchmark
Out/ 07	1,8	2,1	1,6	1,06
Nov/07	1,3	2,1	1,6	
Dez/07	3,3	2,1	1,6	
Jan/08	2,1	2,1	1,6	
% de redução	25%			

Como benchmark foi utilizado o laboratório “E” que individualmente apresentava as menores diferenças na fração -0,15 mm: 1,06%. Para o cálculo da meta, considerou-se a média obtida no levantamento de dados da qual foi deduzida o valor do benchmark, resultando na lacuna. A metade da lacuna foi somada ao valor do benchmark constituindo a meta a ser alcançada, correspondente a melhoria de 25%, saindo de 2,13% para 1,60%. Um cronograma foi montado e atualizado durante todo o trabalho.

O problema não estava focado devido ao grande número de variáveis em equipamento, operador, amostra e método, além da distribuição geográfica dos participantes, portanto tornou-se necessário o desdobramento e priorização do problema.

3.2 Medir

3.2.1 Fase 3 - Desdobramento da meta

A participação de cada laboratório no total das diferenças foi definida através da análise dos dados em gráfico de Pareto conforme demonstrado na Figura 5.

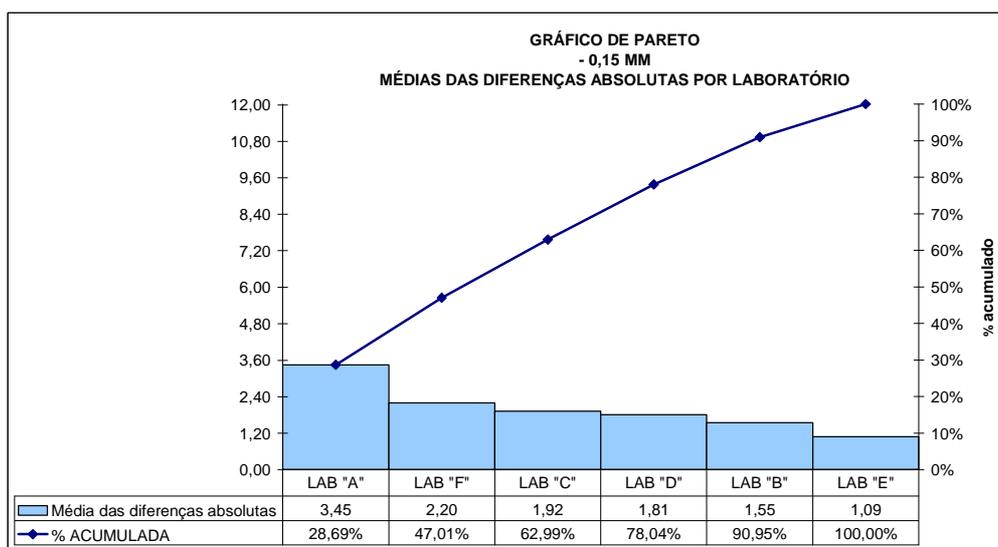


Figura 5 – Gráfico de Pareto por Laboratório.

Através da mesma técnica de Pareto foi verificada a contribuição dos peneiradores nas diferenças em cada laboratório, elas eram muito próximas, de forma que se decidiu que o trabalho seria focado por laboratório. Para definir a ordem em que os laboratórios priorizados seriam trabalhados, adotamos a ferramenta Matriz de priorização, na qual os critérios criticidade, facilidade e autoridade são julgados pelos membros do grupo.

Tabela 2 - Matriz de priorização⁽³⁾

Parâmetro/Laboratório	Criticidade	Facilidade	Autoridade	Total	Priorização
"A"	5	4	5	14	1
"C"	3	5	5	13	2
"F"	3	4	5	12	3
Critério de avaliação	1=Baixa; 3=Média; 5=Alta				

A partir deste ponto definiu-se que os Laboratórios A, C e F seriam focados, pois juntos representavam 63% do problema. As soluções encontradas seriam aplicadas aos demais no momento oportuno.

3.2.2 Fase 4 – Determinação de oportunidades nas variações

Nesta fase, foram utilizadas cartas de controle e histogramas para avaliação da variabilidade dos dados coletados. Devido à inexistência de limites de especificação para a diferença entre os peneiramentos mecânico e manual em norma ou procedimento interno, estes foram definidos como a metade da média das diferenças absolutas calculadas para cada laboratório. A Tabela 3 mostra os limites, a tendência central, dispersão e a avaliação dos dados.

Tabela 3 – Limites de Especificação, medidas de Dispersão e avaliação dos dados⁽³⁾

Laboratório	Especificação		Medidas		Abaixo do LIE		Acima do LSE	
	LIE	LSE	Média	D.padrão	Total	%	Total	%
A	-1,73	1,73	- 3,45	1,94	17	77	0	0
C	-0,96	0,96	- 1,92	1,11	8	67	0	0
F	-1,10	1,10	- 1,91	2,07	12	100	0	0

As análises dos dados da Tabela 3 e os gráficos das Figuras 6 a 14, apontaram as seguintes conclusões:

- Para o Laboratório “A” a especificação da Tabela 3 não é atendida pois 77% dos dados estão abaixo do LIE e indicam a existência de uma causa especial conforme a Figura 8. As oportunidades de melhorias indicadas foram: reduzir a variabilidade devido às causas especiais, deslocar a média e reduzir a variabilidade devido às causas comuns;
- Para o Laboratório “C”, 67% dos dados comparativos estão abaixo do LIE, porém sem causas especiais. As oportunidades de melhoria indicadas foram: reduzir a variabilidade das causas comuns e deslocar a média; e
- Para o Laboratório “F”, 100% dos dados comparativos estão abaixo do LIE. As oportunidades de melhoria indicadas foram: reduzir a variabilidade e deslocar a média para as causas especiais e comuns.

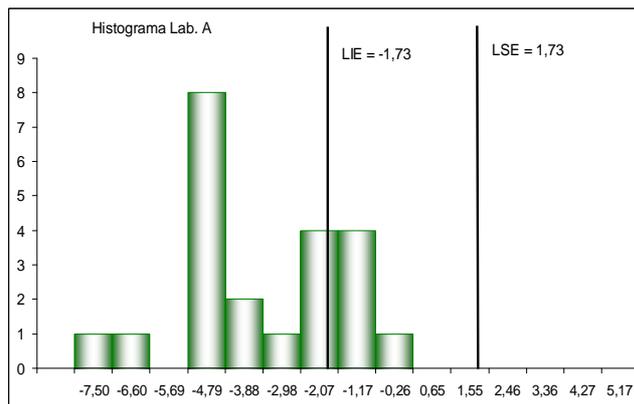


Figura 6 – Histograma Lab. A

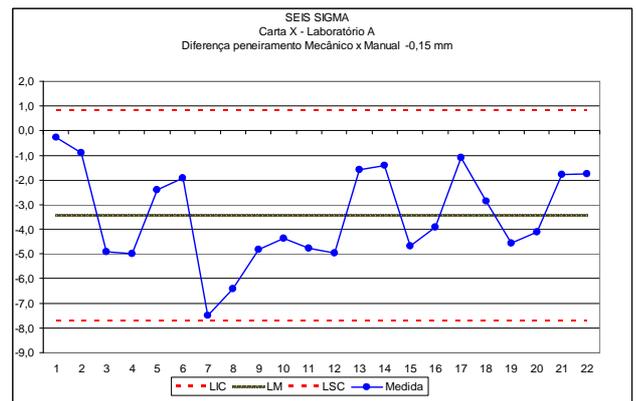


Figura 7 – Carta X - Lab. A

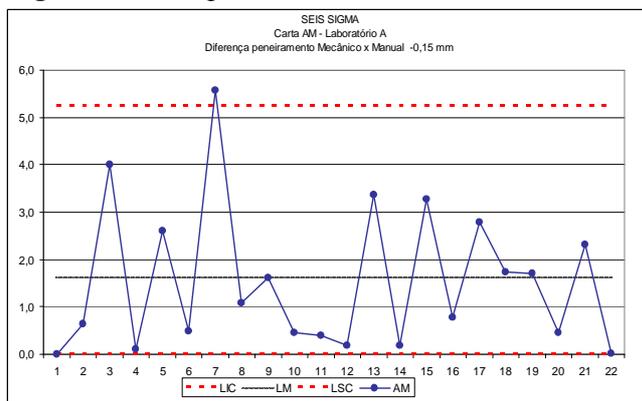


Figura 8 – Carta AM - Lab. A

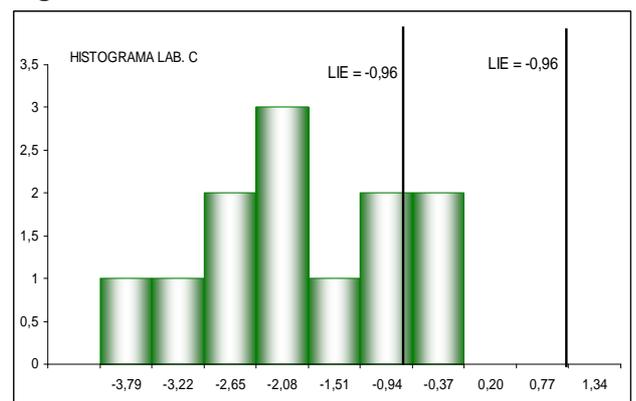


Figura 9 – Histograma Lab. C

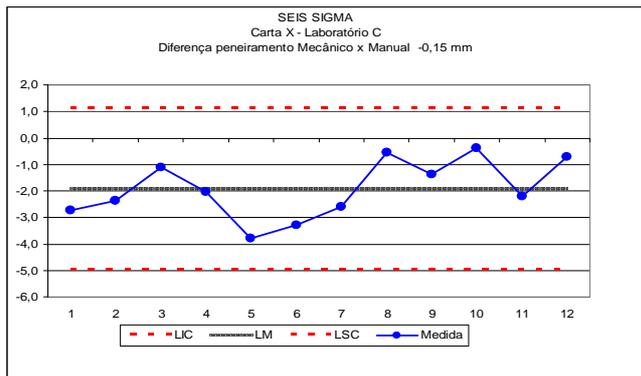


Figura 10 – Carta X - Lab. C

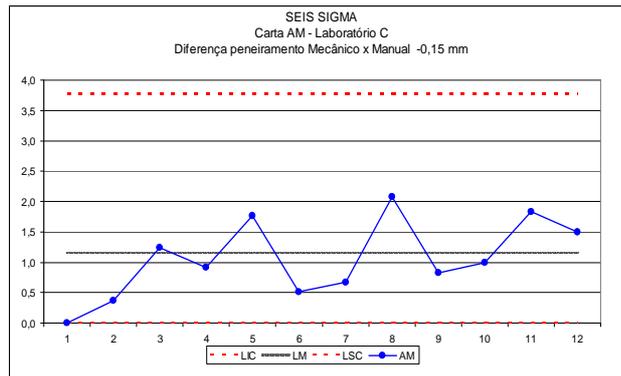


Figura 11 – Carta AM Lab. C

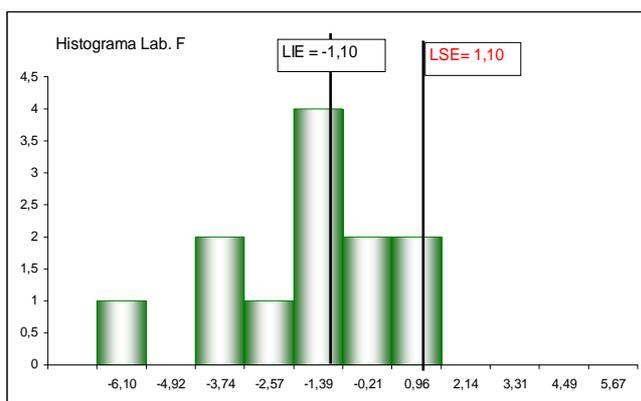


Figura 12 – Histograma Lab. F

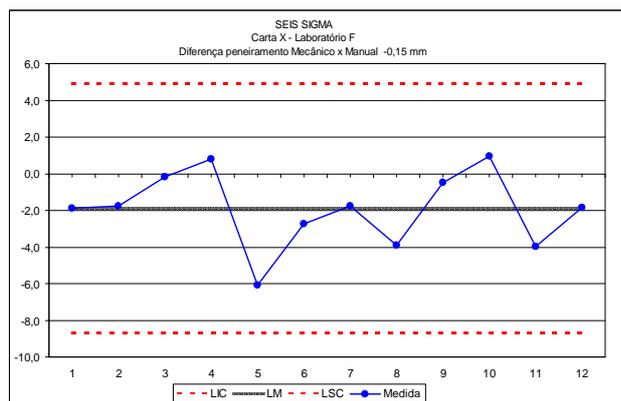


Figura 13 – Carta X Lab. F

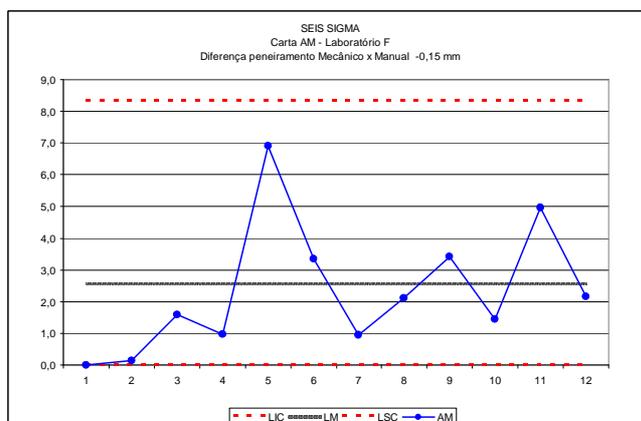


Figura 14 – Carta AM - Lab. F

3.2.3 Fase V- Estabelecimento das metas específicas

Para atingir a meta geral foi necessário determinar as metas específicas para os laboratórios priorizados, para tanto com base na soma das diferenças absolutas em <0,15 mm de todos os laboratórios em 156,28, estabeleceram-se as metas específicas mínimas para os três laboratórios priorizados, no indicador Diferença entre o peneiramento mecânico e manual de referência na fração – 0,15mm. Para o Laboratório “A” - Reduzir em 60%, saindo de 44,85 para o mínimo de 26,91; Laboratório “C” - Reduzir em 30%, e para o Laboratório “F” - Reduzir em 30%.

3.3 Analisar

3.3.1 Fase VI - Identificação das causas potenciais e Fase VII- Quantificação e priorização das causas potenciais

Para esta fase foi utilizada a ferramenta Mapa de Processo, ela possibilita o seqüenciamento do processo específico do laboratório baseado nas observações locais e a identificação das variáveis. Na Figura 15, é apresentado um exemplo do mapa de processo, aplicados a todos os laboratórios.

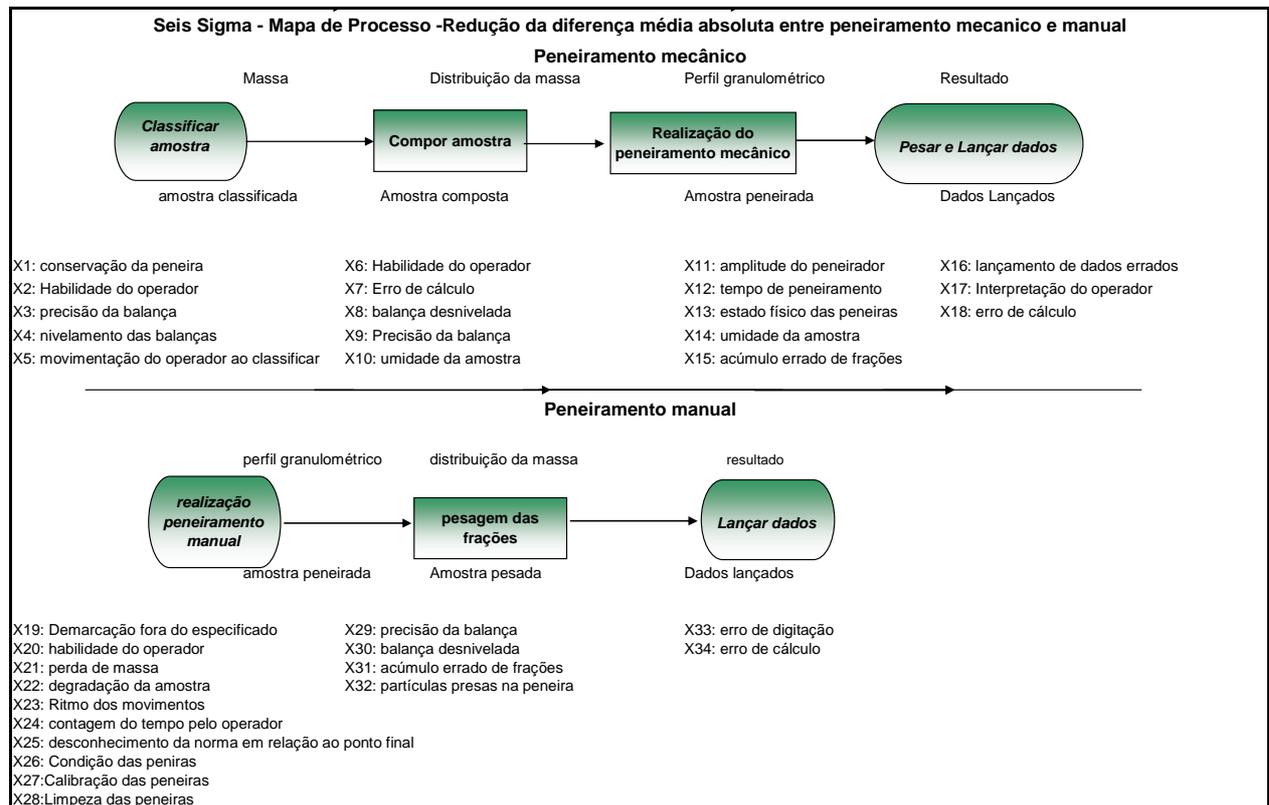


Figura 15 – Mapa de processo.

Para as trinta e quatro variáveis levantadas no Mapa de Processo foram confrontadas a sua condição atual - aquela em que cada variável era executada com a condição ideal baseada nos preceitos normativos e conhecimento técnico e executante dos laboratórios.

Deste confronto, chegamos às potenciais causas do processo que poderiam ser consequência da diferença entre os peneiramentos:

- Laboratório A: massa de alimentação do peneiramento, amplitude de peneiramento, massa máxima retida por peneira, peso do excêntrico;
- Laboratório C: ritmo do peneiramento manual; e
- Laboratório F: massa de alimentação do peneiramento, massa máxima retida por peneira, tempo de peneiramento mecânico.

3.4 Implementar

3.4.1 Fase VIII – Teste de medidas e elaboração do plano de ação

As soluções propostas para tratamento das potenciais causas precisam ser avaliadas antes de compor o Plano de Ação, esta avaliação de viabilidade é realizada pela Matriz 6 V, - viabilidades técnica, política, ambiental, econômica, de segurança e de continuidade recebem pesos de 1, 3 e 5.

3.4.2 Fase IX – Execução do plano de ação

Foram montados planos de ação específicos para os laboratórios “A”, “C” e “F” e outro geral para todos os laboratórios. Algumas datas foram ajustadas devido a dificuldades encontradas. A última ação ocorreu em 31/07/08.

3.5 Controlar

3.5.1 Fase X – Verificação

Tanto a meta geral quanto as metas específicas foram alcançadas sem a observação de efeitos secundários. O gráfico da Figura 16 demonstra que os resultados ultrapassaram a meta, atingindo a diferença média de 0,76% em setembro de 2008.

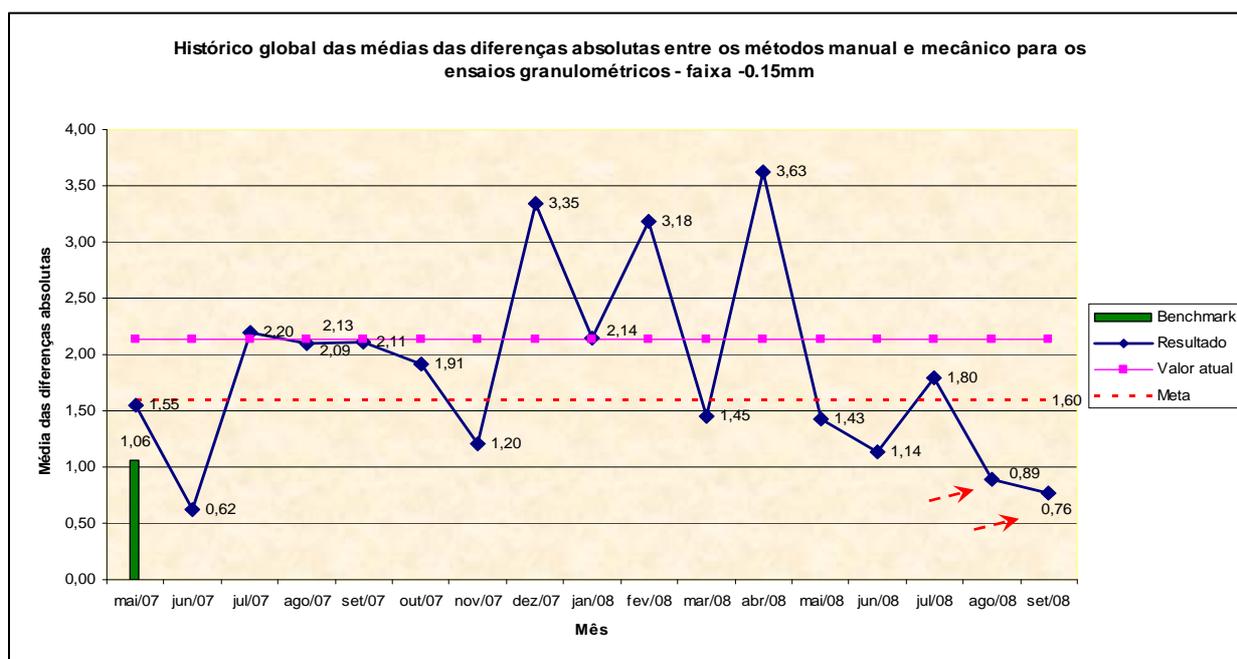


Figura 16 – Histórico global das médias após a conclusão do plano de ação.

3.5.2 Fase XI – Ações a serem executadas

Adequar os peneiradores suspensos dentro das especificações construtivas. Revisar os procedimentos operacionais dos ensaios granulométricos com as novas práticas em todos os laboratórios.

Manter o sistema de verificação periódico interno, abrindo condições para prosseguimento do Programa Interlaboratorial de Granulometria.

Criar o Procedimento Operacional: *Verificação de peneiramento mecânico através do peneiramento manual.*

Treinar todos os envolvidos na execução e controle de análise granulométrica dos laboratórios e no peneiramento manual de referência.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que a meta foi atendida e com tendência de redução contínua. Embora não resulta em resultado econômico direto, os benefícios em precisão e exatidão garantem valores intangíveis como confiança no processo de preparação e medida. Da mesma forma, podem ser listados os seguintes ganhos percebidos com este trabalho:

- A metodologia Seis Sigma mostrou sua capacidade de trabalhar problemas com grande número de variáveis de forma estruturada para chegar a resultados seguros, valendo como aprendizado dos envolvidos e aplicação em outros problemas;
- Forneceu subsídios importantes para a continuidade dos controles internos de cada laboratório e um controle de verificação confiável das análises de rotina;
- Criação de procedimento padrão dos laboratórios para realização de peneiramentos manuais, baseados na descrição da norma, a qual gerava dúvidas na execução das atividades;
- Padronização e definição de itens de especificação dos peneiradores mecânicos; e
- Revisão das massas de alimentação de peneirados, recalculadas de acordo com o perfil granulométrico de novos produtos.

Como uma pendência fica a criação de um procedimento operacional para composição de amostra teste para o peneiramento mecânico x peneiramento manual.

Agradecimentos

Aos colaboradores Cláudio Guimarães, Carlos Roberto Lino e Karina Santana e a todos os técnicos e engenheiros que participaram das revisões.

REFERÊNCIAS

- 1 NBR ISO 4701:2004 – Minérios de Ferro – Determinação da distribuição granulométrica por peneiramento;
- 2 INDG TecS, Apostila Seis Sigma, Abr. 2006, Versão 5
- 3 Banco de Dados Seis Sigma Vale – Arquivo virtual – Grupo -0,15 mm