



## **Redução da variabilidade do teor de ferro do rejeito no separador magnético de alta intensidade utilizando técnicas de controle estatístico de processo.**

Deiller Henrique Fonseca<sup>1</sup>

Luan Cristiano Dias<sup>2</sup>

Otávio Chaves Cardoso<sup>3</sup>

Alecir Silva<sup>4</sup>

**Resumo:** O setor de extração de minério de ferro é reconhecido por sua abundância e importância econômica no oeste do quadrilátero ferrífero, na região de Serra Azul, em Minas Gerais. O estudo objetiva reduzir e controlar o teor de ferro presente no rejeito liberado por um equipamento magnético de alta intensidade denominado *High Intensity Magnetic Separation* e demonstrar a importância do Controle Estatístico do Processo como instrumento de acompanhamento e melhorias em uma empresa de extração de minério de ferro. Com o diagnóstico do processo observou-se que o teor de ferro presente no rejeito superava os valores estabelecidos. Assim, desenvolveu-se um plano de ação a fim de confrontar melhorias para a redução e eliminação de causas que atuavam nos valores encontrados. Diante da implementação de melhorias alcançou-se resultados eficientes, como o deslocamento da média de rejeito de ferro de 17,22% para 12,35% Fe, redução na dispersão de 6,13% para 3,46% e a porcentagem de rejeito de ferro acima de 17% caindo para 8,45%.

**Palavras-chave:** Controle Estatístico da Qualidade. Minério de Ferro. Variabilidade.

1. Engenheiro de Produção, UI, deillerhenrique@hotmail.com.

2. Engenheiro de Produção, UI, luandias36@hotmail.com.

3. Engenheiro de Produção, UI, otawiommm@yahoo.com.br.

4. Engenheiro Mecânico, Especialista em Gerência e Tecnologia da Qualidade, UI, alecir09@gmail.com.

### **1. Introdução**

Diante de um ambiente desafiador que as indústrias de modo geral vêm enfrentando, no qual a exigência para atender os clientes vem se tornando cada dia mais intensa, a qualidade como atributo essencial se tornou uma das principais estratégias de negócio. A implantação de técnicas e ferramentas de controle estatístico permite aperfeiçoar o monitoramento, o controle preventivo e a estabilização do processo, desempenhando papel fundamental para a melhoria da qualidade do produto. A conformidade com especificações, uma das dimensões da qualidade, segundo Garvin (1987), geralmente é obtida através da redução sistemática da variabilidade presente no processo.

Este trabalho retrata um estudo de caso realizado em uma empresa mineradora, o qual consiste na redução da variabilidade do teor de ferro (Fe) do rejeito do separador magnético de alta intensidade aplicando técnicas de controle estatístico de processo (CEP). A implantação deste projeto ocorreu na Arcelormittal Mineração Brasil, Mina de Serra Azul, no ano de 2016,



fundamentado pela oportunidade de melhoria da recuperação metalúrgica do conteúdo metálico presente na polpa de minério, que é processada no separador magnético de alta intensidade. O problema consiste na variabilidade do teor de Fe no rejeito maior que 17,0%, sendo que o projeto tem como objetivo principal reduzir a variabilidade do teor de Fe no rejeito menor que 17,0%, obtendo-se, conseqüentemente, um produto (*pellet feed*) de alto teor.

O comércio do minério de ferro é bastante concorrido, onde o preço do produto é estabelecido pelo mercado (*commodities*). À vista disso, surgiu a ideia, associada à necessidade de a empresa dilatar sua competitividade, de implantar técnicas de CEP com o intuito de aperfeiçoar o processo, convertendo em melhoria nos resultados de produtividade e cumprimento de especificações de qualidade. Esse produto geralmente é utilizado para corrigir minérios com qualidades inferiores, resultando, assim, em ganhos financeiros para a empresa na qual o projeto está sendo aplicado, além de reduzir gastos com movimentação de rejeitos dispostos em cavas e minimizar o volume de água utilizado no processo de beneficiamento.

## 2. Metodologia

O projeto almeja-se a redução da variabilidade do teor de ferro do rejeito no HIMS - *High Intensity Magnetic Separation*, com a utilização de conceitos e técnicas de controle estatístico aplicados sobre a massa de dados coletados no minério beneficiado e no rejeito do processo, na produção, na planta de mineração.

O estudo foi desenvolvido em uma indústria do ramo de mineração, localizada no município de Itatiaiuçu, no primeiro semestre de 2016. A pesquisa desenvolvida, do ponto de vista da natureza é classificada como sendo aplicada, uma vez que é dirigida a um objetivo prático específico, ou seja, através de teorias mais amplas, visa investigar o teor de Fe do rejeito no HIMS.

A implantação de técnicas estatísticas visando a redução da variabilidade do teor de Fe do rejeito no HIMS com o auxílio de cartas de controle é definida como quantitativa, pois os resultados podem ser mensurados.

A pesquisa é exploratória, pois se pode utilizar diversas técnicas com pequenas amostras. Esse método permite escolher as técnicas mais adequadas para o estudo e decidir sobre as questões que mais necessitam de atenção e investigação detalhada. A pesquisa é realizada sobre um problema e necessita de levantamento bibliográfico.

Verificado que a pesquisa se encontra em um contexto de investigação, pode-se classificá-la como estudo de caso, tendo em vista o controle do teor de ferro do material beneficiado. Este consiste em um caso significativo e representativo, permitindo inferências sobre os resultados obtidos com a pesquisa. Todos os dados são obtidos por análises em laboratório a partir de coletas que são efetuadas no processo de beneficiamento.

Pode-se afirmar, então, que os dados mensurados pelo sistema de amostragem são importantes para o seguimento do estudo, dado que, a partir desses, são geradas informações representativas para que seja feita a avaliação. Os resultados divulgados permitirão o acompanhamento em tempo real do processo, abrindo, assim, espaço para intervenções necessárias ou a implementação de novos recursos.

### 2.1 O Processo de beneficiamento do minério

Luz; Sampaio; França (2010, p. 367) descrevem que a separação magnética no



**SICIT**  
Semana de Iniciação  
Científica e Tecnológica

25 a 29 de setembro de 2017  
Engenharias e Computação

 Universidade de Itaúna

processamento de minério de ferro é realizada em equipamentos de baixa intensidade para minerais ferromagnéticos; por exemplo, o tambor magnético de terras-raras (*wet drum rare earth* – WDRE) e de separação magnética de alta intensidade (*high intensity magnetic separation* – HIMS) para concentração de minérios paramagnéticos e remoção de impurezas como sílica, por exemplo, o concentrador magnético via úmido de alto campo magnético – tipo Jones (*wet high concentration* – WHC).

A usina de beneficiamento de minério de ferro da Arcelormittal é composta por duas plantas, sendo uma de britagem na qual se produz o *lump ore* (minério granulado) e a outra de concentração, onde é produzido o sinter feed. O processo produtivo que se inicia com a extração do *rom of mine* na mina, ocorrendo as etapas de perfuração, desmonte, carregamento e transporte; em seguida, esse minério *in natura* é beneficiado nas plantas de britagem e concentração, ocorrendo a transformação em produto final. A classificação por tamanho das partículas ocorre através de peneiras. As partículas nas faixas maiores que 6,3 mm e menores que 31 mm geram o produto *lump ore* que é usado em fornos de redução para a fabricação de ferro gusa. O material fino composto por partículas maiores que 0,8 mm tendem a se sedimentar dentro do tanque (*underflow*). As partículas menores que 0,8 mm, que não se sedimentam, saem por transbordo (*overflow*) alimentando o HIMS.

## 2.2 O controle estatístico do processo

O CEP tem como objetivo auxiliar na obtenção dos padrões especificados de qualidade e reduzir a variabilidade em torno dos padrões especificados (REIS, 2001). É uma técnica estatística que pode ser utilizada em qualquer processo produtivo, permitindo a redução sistemática da variabilidade das características da qualidade inerentes ao processo, contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, produtividade, confiabilidade e custo do processo produtivo (RIBEIRO; CATEN, 1998)

## 2.3 Diagnóstico atual do processo

Após o processo de concentração no HIMS, o rejeito deve conter o menor teor de Fe possível, otimizando a recuperação mássica e metalúrgica. A gerência de beneficiamento estabeleceu que o rejeito deve conter um teor de Fe de no máximo 17%. Para analisar o teor de Fe presente do rejeito no HIMS foram retiradas 726 amostras periódicas, com  $n = 1$ , nos seis primeiros meses de 2016, GRÁFICO 1.

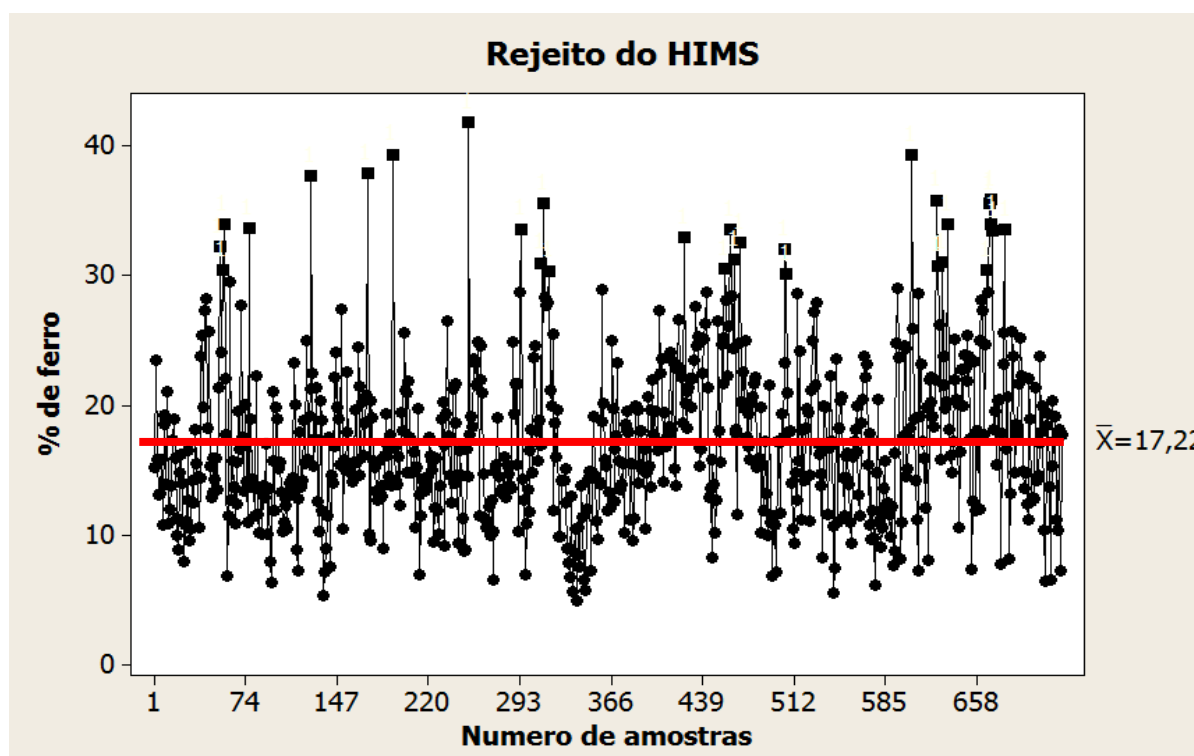


GRÁFICO 1 – Amostras do rejeito HIMS no período de janeiro a junho de 2016. Fonte: Arcelormittal, 2016.

Ao analisar os resultados do GRÁFICO 1, percebe-se que no primeiro semestre do ano de 2016 houve uma quantidade expressiva de amostras com o teor de ferro acima dos 17%, demonstrando uma variabilidade acentuada do processo em questão, chegando a resultados superiores a 30% de Fe. O resultado médio das amostras foi um teor com 17,22% de Fe, resultado elevado, considerando que o teor de Fe máximo permitido para esse equipamento é de 17,0%, conforme estabelecido pela gerência. Observa-se que o processo em questão está instável e que antes da implementação das cartas de controle é necessário intervir no processo, a fim de garantir estabilidade e menor variabilidade das medidas.

Utilizando as 726 amostras coletadas, verificou-se o índice de capacidade do processo do rejeito no HIMS, demonstrado no GRÁFICO 2.



## Índice de capacidade do processo HIMS

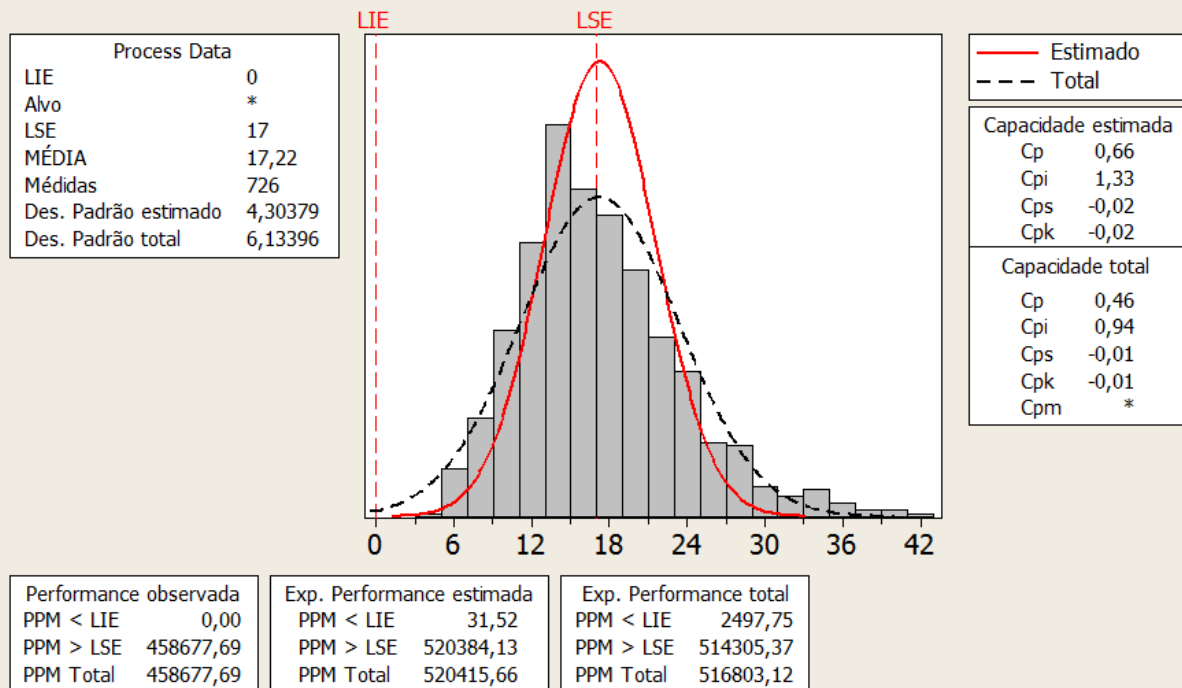


GRÁFICO 2 – Análise da capacidade do processo a partir das amostras do rejeito no HIMS no período de janeiro a julho de 2016. Fonte: Arcelormittal, 2016.

Analisando o GRÁFICO 2, observa-se que há muitos dados fora do limite superior de especificação de 17% estabelecido pela gerência, obtendo resultados elevados que atingem até 40% de teor de Fe. Deste modo, a média dos dados está deslocada para uma medida maior do que o próprio limite especificado, atingindo um valor de 17,22%.

O desvio padrão total de 6,13% demonstra uma acentuada dispersão do processo e, conseqüentemente, elevada variabilidade, reduzindo a capacidade do processo. Como se trata de um processo unilateral (apenas limite superior), o Cp não se aplica; utiliza-se como referência o valor do Cps = Cpk, que é de -0,01 %, demonstrando que o processo é totalmente incapaz, obtendo um ppm (partes por milhão) maior que 516803 de produtos defeituosos, ou seja, mais de 50% do rejeito no HIMS está com o teor de Fe acima de 17%.

Diante da elaboração e implantação do plano de ação, cujo objetivo é eliminar/reduzir a variabilidade do teor de Fe do rejeito no HIMS, houve uma melhora significativa dos resultados obtidos. As ações implantadas obtiveram efeitos eficazes; isso foi analisado com base na percepção dos empregados, na qual foi notória a evolução do desempenho da operação do equipamento, e confirmado através de coletas e análises de amostras periódicas.

Comparando o GRÁFICO 3 ao GRÁFICO 1, apresentado no diagnóstico antes das melhorias inseridas no processo observa-se que houve uma redução significativa da variabilidade do teor de Fe no rejeito no HIMS. As amostras coletadas, confrontadas com as do primeiro diagnóstico, estão com o teor de Fe mais próximos do alvo estabelecido pela gerência e com uma variabilidade menor do que a da coleta do GRÁFICO 1.

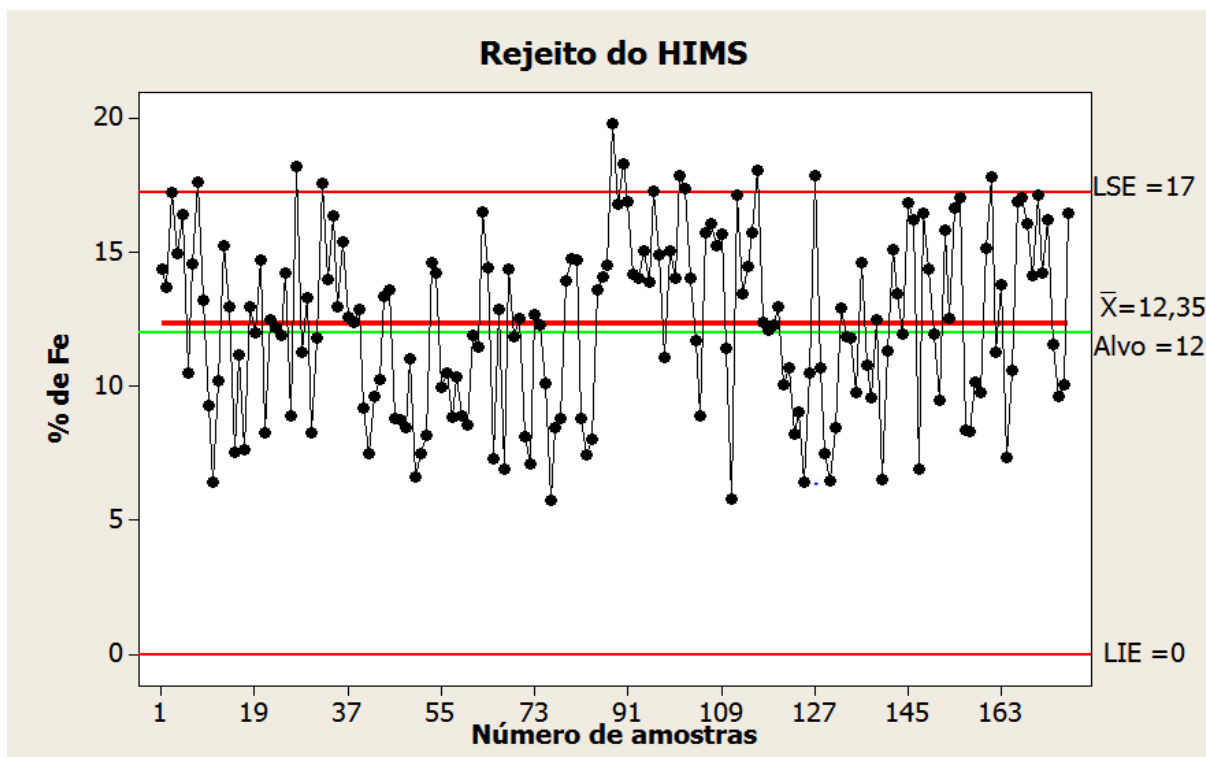


GRÁFICO 3 – Amostragem do rejeito HIMS no período de agosto 2016. Fonte: Arcelormittal, 2016.

## 2.4 Identificando as principais causas da variabilidade do processo

Diante dos resultados descritos no item 2.3, foi realizado um *brainstorming* com a equipe do setor de beneficiamento com a finalidade de identificar as causas que estão interferindo na variabilidade do processo. Foram levantadas possíveis causas que influenciam diretamente no elevado teor de Fe presente no rejeito e priorizando as mais relevantes. Em seguida criou-se o diagrama de Ishikawa, apontando essas principais causas.

As principais causas validadas e permitiu a criação de um plano de ação para tratamento das causas influentes. As ações foram escalonadas de forma a atender à mitigação das causas de maior influência do processo produtivo.

Uma determinante favorável para a eficácia do plano de ação foram os critérios de apadrinhamento das ações (quem), no qual as ações delegadas estão de acordo com o cargo ocupado pelo responsável da mesma. Foi realizado um alinhamento a todos, esclarecendo os objetivos e principais ganhos com a implementação do projeto, FIGURA 1.



Projeto: Aumento da recuperação metalúrgica no HIMS mantendo a seletividade.										
Data da criação do plano:		01/06/2016	Responsável:	Elton Souza		Meta:	Teor de Fe máximo de 17% do rejeito no HIMS.			
Data da revisão do plano:		12/09/2016	Responsável:	Luan Dias		Indicador:	Teor de Fe.			
ITEM	O que	Como	Quem	Quando		Onde	Por que	hoje	% Completo	Situação Atual
				Início	Fim					
1	Melhorar pressão de água de lavagem das matrizes (ideal de 3,0 a 6,0 kgf/cm <sup>2</sup> )	Corrigir isométrico da Bp 13	Carlota	01/09/2016	30/09/2016	CM 1	Pressão de água de lavagem atual está inadequada (< 3,0 kgf/cm <sup>2</sup> )	100%	100%	🟢
2	Realizar inspeções periódicas dos bicos de sprays da água de lavagem	Estabelecer e cumprir plano de revisão periódica	Hélio Roncaly	01/07/2016	31/07/2016	CM 1 e CM 2	Evitar ocorrências de entupimentos dos bicos de sprays de água de lavagem	100%	100%	🟢
3	Realizar inspeções periódicas dos filtros de água de lavagem das matrizes	Estabelecer e cumprir plano de revisão periódica	Hélio Roncaly	01/07/2016	31/07/2016	CM 1 e CM 2	Evitar entupimentos e desgaste na tela do filtro	100%	100%	🟢
4	Aumentar o percentual de sólidos na alimentação do HIMS	Instalar revestimento (polietileno) minimizando a aderência na calha.	Carlota	01/09/2016	30/12/2016	CM 1 e CM 2	Reduzir água na calha de alimentação do classificador espiral.	50%	0%	🟡
5	Reduzir a quantidade de minerais ferrimagnéticos na alimentação.	Adequar bacia de polpa do Sm 10.	Carlota	15/09/2016	30/12/2016	SM 10	WDRE SM 10 não está desempenhando a função adequada (formando leito)	60%	0%	🔴
6	Melhorar os ajustes de controle operacional	Treinar e educar todos os operadores.	Luan	01/10/2016	31/10/2016	CM 1 e CM 2	Ajuste de controle operacional inadequado	100%	100%	🟢

FIGURA 1 – Plano de ação para eliminação/redução da variabilidade do rejeito no HIMS. Fonte: Arcelormittal, 2016.

## 2.5 Construção das cartas de controle

Uma vez eliminadas as principais causas que afetam o processo e estabelecidas as medidas contra a reincidência de tais causas, pode-se iniciar a construção das cartas de controle. Para a construção destas foi estabelecida uma equipe, que passou por um treinamento para efetuar as coletas de amostras, a fim de não ocorrer erros durante o processo de amostragem. Os integrantes da equipe de amostragem foram treinados e acompanhados pelo supervisor de beneficiamento com o intuito de proporcionar maior exatidão aos dados gerados. Foram coletadas 44 amostras periódicas, na frequência de 30 a 30 minutos, durante o mês de agosto, em subgrupos com  $n = 4$ , totalizando 176 medidas. Essas amostras eram encaminhadas diariamente para a equipe técnica do laboratório para análises químicas.

O *software* Minitab gera a carta de controle das amplitudes juntamente com a carta de controle das médias para análise, como demonstra o GRÁFICO 4 e o GRÁFICO 5.

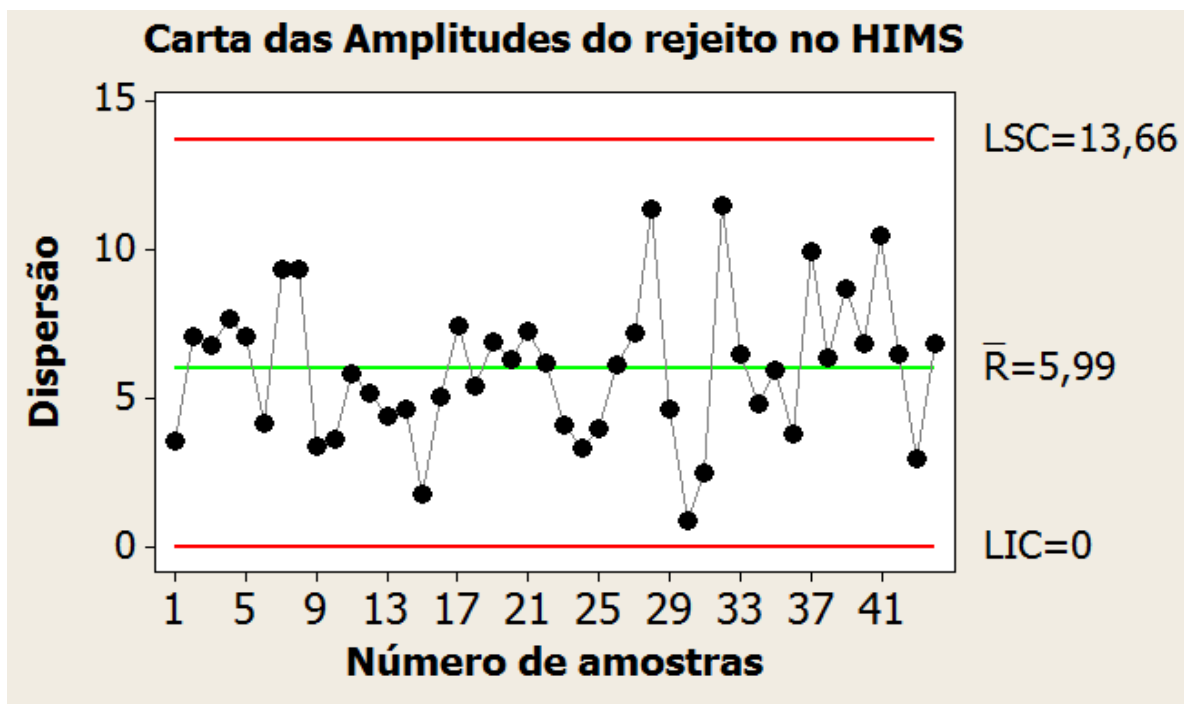


GRÁFICO 4 – Carta das amplitudes do teor de Fe do rejeito no HIMS durante o mês de agosto de 2016. Fonte: Arcelormittal, 2016.

Na carta das amplitudes verifica-se que não há ponto fora dos limites de controles estabelecidos e que a dispersão do processo, que é medida pela variabilidade dentro da amostra, encontra-se sob controle. Assim, aceita-se a hipótese de que o processo está sob controle estatístico para a carta das amplitudes. Deve-se prosseguir adiante com a construção da carta de controle das médias, demonstrada no GRÁFICO 5.

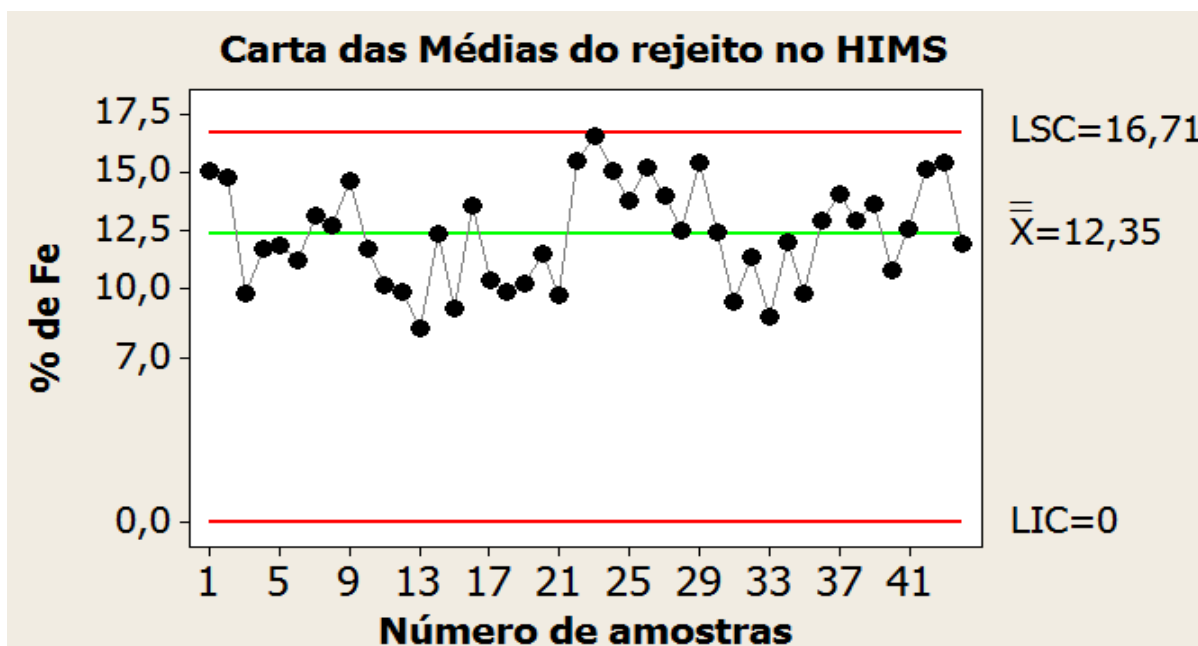


GRÁFICO 5 – Carta das médias do teor de Fe do rejeito no HIMS durante o mês de agosto de 2016. Fonte: Arcelormittal, 2016.





Na carta das médias verifica-se também que não há existência de pontos fora dos limites de controle. Portanto, o processo está sob controle estatístico para a carta das médias, pois a média não está sendo afetada por causas especiais; dessa forma, aceita-se a hipótese de que o processo está sob controle estatístico para a carta das médias. Assim, o processo está sob controle estatístico para as cartas  $\bar{X}$  e R.

### 3. Resultados

Como o processo está sob controle estatístico para as cartas  $\bar{X}$  e R, os limites de controle tentativos são adotados como limites de controle do processo do rejeito no HIMS, a fim de que se inicie o controle *on-line* do mesmo por meio da marcação referente ao resultado das próximas amostras coletadas. É importante que o tamanho da amostra e a frequência da coleta sejam mantidos, para maior confiabilidade dos dados.

#### 3.1 Controle on-line do processo

Durante o mês de setembro foram coletadas amostras no HIMS cumprindo os mesmos procedimentos da amostragem que foram praticados na construção das cartas. Foram coletadas 29 amostras, com  $n = 4$ , totalizando 116 medidas. Os GRÁFICOS 6 e 7 demonstram esses dados plotados nas cartas das amplitudes e das médias, respectivamente.

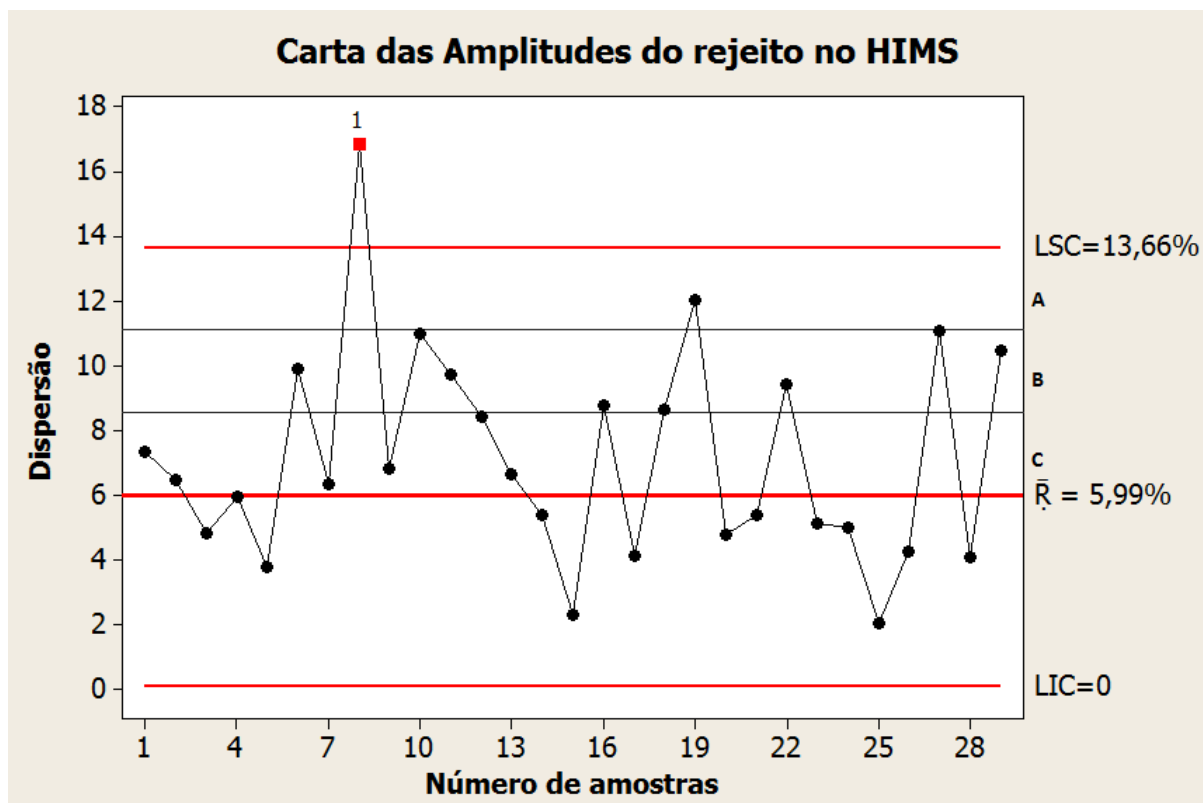


GRÁFICO 6 – Controle on-line do processo, utilizando a carta das amplitudes para monitoramento do teor de Fe do rejeito no HIMS setembro de 2016. Fonte: Arcelormittal, 2016.

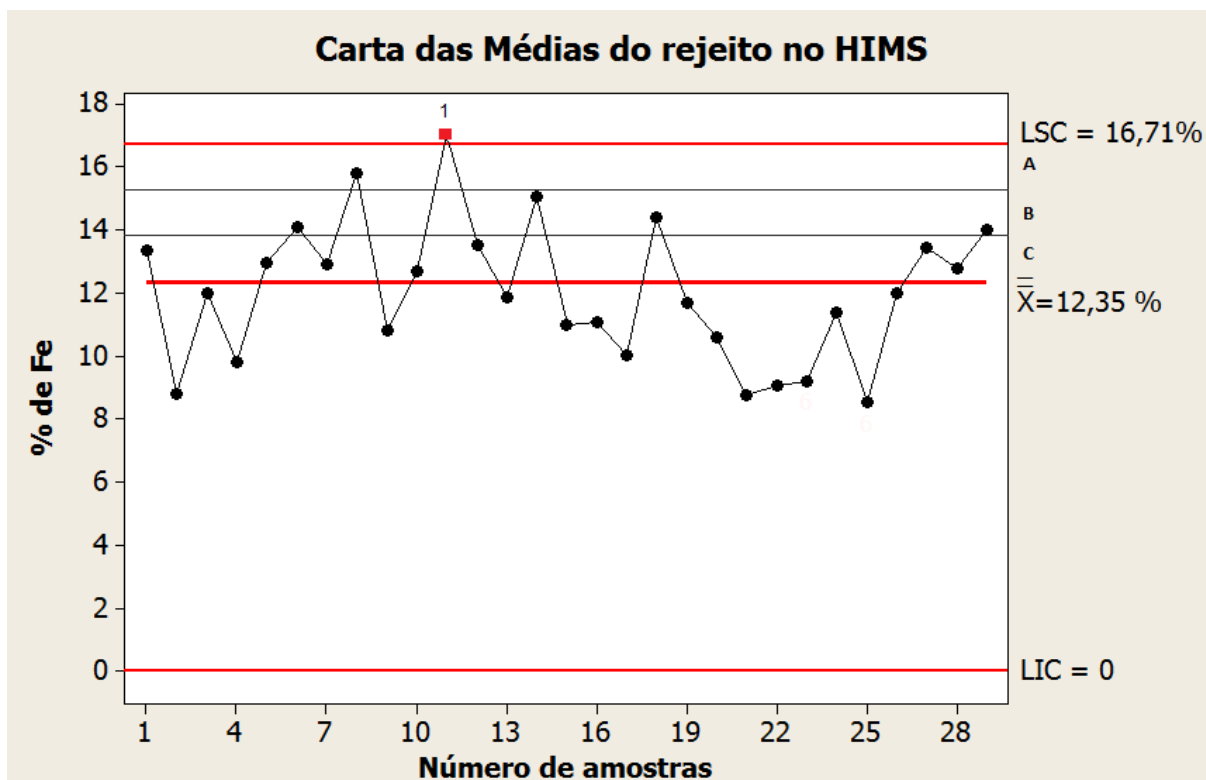


GRÁFICO 7 – Controle *on-line* do processo, utilizando a carta das médias para monitoramento do teor de Fe do rejeito no HIMS setembro de 2016. Fonte: Arcelormittal, 2016.

Pode-se perceber nos GRÁFICOS 6 e 7 que o processo durante o mês de setembro obteve um bom desempenho, estando, assim, quase todos os pontos dentro dos limites de controle estabelecidos e obedecendo as regras de decisão que foram determinadas.

Observa-se que ambos os gráficos obtiveram pontos fora dos limites de controle: a oitava amostra no GRÁFICO 6 e a décima primeira no GRÁFICO 7. Esses resultados indesejados não eram esperados, pois, acompanhando as cartas de controle, nota-se, para a carta das amplitudes, que os dois pontos anteriores ao ponto fora do limite superior de controle se encontram em declínio na direção da zona B para C; para a carta das médias, os dois pontos anteriores ao ponto fora do limite superior de controle se encontram abaixo da linha média e na zona C, respectivamente. Esses eventos inesperados foram decorrentes de uma manutenção corretiva no sistema de abastecimento de água devido a um vazamento na linha principal de alimentação do reservatório da usina.

### 3.2 Estudo de capacidade do processo

O fato de um processo estar sob controle estatístico e com distribuição normal não significa necessariamente que não esteja produzindo itens defeituosos. O estudo da capacidade de processo permite concluir se o processo é capaz de atender ou não à quantidade de itens defeituosos, ou seja, teores de Fe do rejeito no HIMS acima de 17%, valor que foi determinado pela gerência de beneficiamento. A capacidade do processo só pode ser estimada quando este está sobre controle estatístico, ou seja, tem comportamento previsível caracterizado por uma distribuição normal. O GRÁFICO 8 demonstra a capacidade do processo do teor de Fe do rejeito no HIMS dos meses de agosto e setembro de 2016.



### Índice da capacidade do processo (Rejeito HIMS)

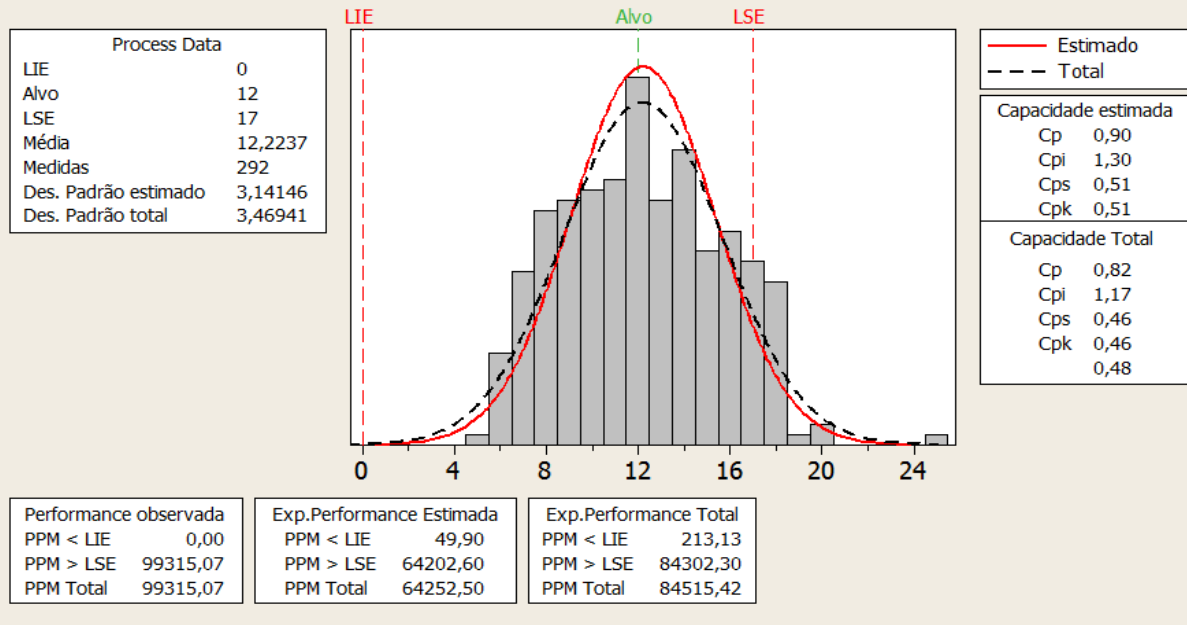


GRÁFICO 8 – Capacidade do processo referente ao teor de Fe do rejeito no HIMS nos meses agosto e setembro de 2016. Fonte: Arcelormittal 2016.

Analisando o GRÁFICO 8, observa-se que alguns dados ainda se encontram fora do limite superior de especificação de 17% estabelecido pela gerência, obtendo resultados elevados que atingem acima de 17% de teor de Fe; também se percebe vários valores distantes do alvo.

O desvio padrão total de 3,47% demonstra uma acentuada dispersão do processo e, conseqüentemente, elevada variabilidade, reduzindo a capacidade do processo. Como se trata de um processo unilateral (apenas limite superior), o Cp não se aplica; utiliza-se como referência o valor do Cps e Cpk, que é de 0,46 %, demonstrando que o processo é totalmente incapaz, obtendo um ppm (partes por milhão) maior que 84515 de produtos defeituosos, ou seja, 8,45% do rejeito no HIMS está com o teor de Fe acima de 17%.

Apesar do estudo da capacidade do processo atual ter demonstrado ser incapaz, ou seja,  $Cpk < 1$ , nota-se uma melhora significativa quando comparado à análise da capacidade de processo antes da implantação das ações de melhorias. Em conversa com a gerência de beneficiamento para elevar a capacidade do processo atual, serão necessários investimentos de alto custo, porém isto se torna inviável devido à relação custo versus benefício. Todavia, os resultados alcançados trouxeram redução de perdas financeiras e, conseqüentemente, rentabilidade à empresa.

#### 4 Conclusão

O projeto desenvolvido numa mineradora consiste em reduzir a variabilidade do teor de Fe do rejeito do separador magnético de alta intensidade, utilizando técnicas de CEP para maximizar a recuperação do *pellet feed* e reduzir despesas com a disposição de rejeitos.

O objetivo proposto é obter um teor de Fe do rejeito no HIMS de, no máximo, 17%, valor este estabelecido pela gerência. O objetivo não foi cumprido na íntegra, sendo que, mesmo



após a implantação do projeto, alguns valores ainda se encontraram acima do limite estabelecido. Todavia, o projeto obteve redução significativa do teor de Fe do rejeito no HIMS quando comparado a resultados anteriores.

Primeiramente, foi realizada uma avaliação do diagnóstico do processo no HIMS, destacando-se o teor de Fe no rejeito. Por meio de dados coletados, um gráfico de linha demonstrou uma variabilidade acentuada, obtendo uma média de 17,22% de teor de Fe no rejeito. O estudo de capacidade do processo obteve um desvio padrão total de 6,13% e um Cps = Cpk de -0,02%, demonstrando que o processo é totalmente incapaz, obtendo um ppm (partes por milhão) maior que 516803 de produtos defeituosos, ou seja, mais que 50% do rejeito no HIMS estava com o teor de Fe acima de 17%.

Diante da implantação das melhorias estabelecidas através de um plano de ação, foram eliminadas/reduzidas as causas da variabilidade do processo. Uma segunda avaliação foi realizada, na qual foram estabelecidas as cartas de controle; após estas estarem estruturadas, iniciou-se o controle on-line do processo. Um novo estudo de capacidade de processo foi realizado e obteve-se um desvio padrão médio de 3,47% e um Cps = Cpk de 0,46%, alcançando, assim, um ppm de 84515 de produtos defeituosos.

Logo, pode-se analisar que a variabilidade do teor de Fe do rejeito no HIMS obteve uma diferença significativa quando comparados os dois momentos avaliados: antes e depois das ações implantadas. A média do processo foi deslocada em direção ao alvo de 12%, estabelecido pela gerência, permitindo ao processo, assim, uma redução dos valores que estavam acima dos 17%.

O volume de rejeito gerado no HIMS inicialmente de 36000 toneladas por mês foi reduzido após implantação do projeto para 31000 toneladas. Isso resultou em uma redução aproximada de U\$ 122,000.00 por mês, além de reduzir gastos com movimentação dos rejeitos que são dispostos em cavas, mitigando o passivo ambiental da empresa.

Contudo, são louváveis os resultados alcançados com a implantação do projeto. O aprendizado adquirido pelos alunos não se limita apenas ao setor de beneficiamento de minério de ferro, mas também a todos os outros que aplicam controles e ferramentas estatísticas na gestão e fabricação de seus produtos. Pode-se dizer que o sucesso do controle estatístico de processos depende de vários fatores, destacando-se o apoio total da gerência, treinamento, desenvolvimento do quadro de funcionários, comprometimento das pessoas envolvidas nos processos e, principalmente, a tomada de ações corretivas na ocorrência de causas especiais.

## Referências

- ARCELORMITTAL. *Pasta de beneficiamento*. Itatiaiuçu, Minas Gerais, 2016.
- GARVIN, D. A. *Competing on the Eight Dimensions of Quality*. Harvard Business Review, p.101- 109, November - December, 1987.
- LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves. *Tratamento de minérios*. Rio de Janeiro; CETEM/MCT, 2010, 965 p.
- REIS, M. M. *Um modelo para o ensino do controle estatístico da qualidade*. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).
- RIBEIRO, José Luis Duarte; CATEN, Carla ten. *Controle Integrado de atributos*. In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 1998, UFF, Niterói, RJ. Disponível em : [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004\\_Enegep0202\\_2099.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0202_2099.pdf).