

# REDUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA NA PRÉ-MOAGEM E MOAGEM PRIMÁRIA DO CONCENTRADOR I DA SAMARCO MINERAÇÃO S.A. UTILIZANDO A METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA<sup>1</sup>

Edgar Rodo Mantilla<sup>2</sup>

## Resumo

A energia elétrica é um dos insumos mais utilizados e caros na unidade industrial de Germano da Samarco Mineração S.A., sendo que o processo que tem a maior participação neste consumo é a moagem, com cerca de 79% do consumo total do concentrador I. Esta oportunidade levantada vem de encontro com alguns dos fatores críticos de sucesso da empresa como custos competitivos, eficiência dos processos e excelência operacional. O objetivo do projeto foi reduzir o consumo específico de energia de 4,31 kWh/TMS para 4,2 kWh/TMS no período de janeiro de 2009 até agosto de 2009. Utilizou-se a metodologia Lean Seis Sigma no desenvolvimento deste projeto por ser uma metodologia estruturada e focada em resultados condizentes com os objetivos da Samarco. O Lean Seis Sigma é baseado nas etapas Define, Measure, Analyze, Improve e Control que tem forte aplicação em ferramentas estatísticas e de qualidade. Como resultado do projeto obteve-se um ganho de R\$381.000 em redução de custos, além de melhorar a eficiência energética da moagem pré-primária e moagem primária elevando o Overall Equipment Effectiveness (OEE) do beneficiamento e aumentando o Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization (EBTIDA) da Samarco.

**Palavras-chave:** Moagem; Energia elétrica; Lean Seis Sigma.

## REDUCTION OF SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION IN THE PRE-PRIMARY AND PRIMARY GRINDING IN CONCENTRATOR I OF THE SAMARCO MINERAÇÃO S.A. USING LEAN SIX SIGMA METHODOLOGY

### Abstract

Electric energy is one of the most expensive and utilized consumables in the Germano industrial unit of Samarco Mineração S.A. and grinding process has the highest participation in the concentrator I with 79%. This raised comes opportunity is linked with some company critical success factors as competitive costs, process efficiency and operational excellence. The project goal is to reduce specific energy consumption of 4,31 kWh/TMS to 4,2 kWh/TMS in the period from January 2009 to August 2009. The Lean Six Sigma methodology was used in this project because is a structured methodology focused on results and is based on five steps Define, Measure, Analyze, Improve and Control with strong application on statistical and quality tools. The project results reduced the costs on R\$381.000 and improve the pre-primary grinding and primary grinding energy efficiency and increased the Beneficiation Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Samarco Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization (EBTIDA).

**Key words:** Grinding; Electric energy; Lean Six Sigma.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

<sup>2</sup> Engenheiro de Processo - Gerência de Engenharia de Processo e Automação – Unidade Germano - Samarco Mineração S.A.

## 1 INTRODUÇÃO

O principal processo de cominuição das usinas de beneficiamento da Samarco é a moagem. Os equipamentos desta área têm como objetivo adequar a granulometria do minério para os processos de flotação e pelotização, liberar os minerais de interesse e adequar o concentrado final para o transporte por mineroduto.

O concentrador I da Samarco possui doze moinhos em operação. Dois pré-moinhos, quatro moinhos primários e seis moinhos secundários (Figura 1).

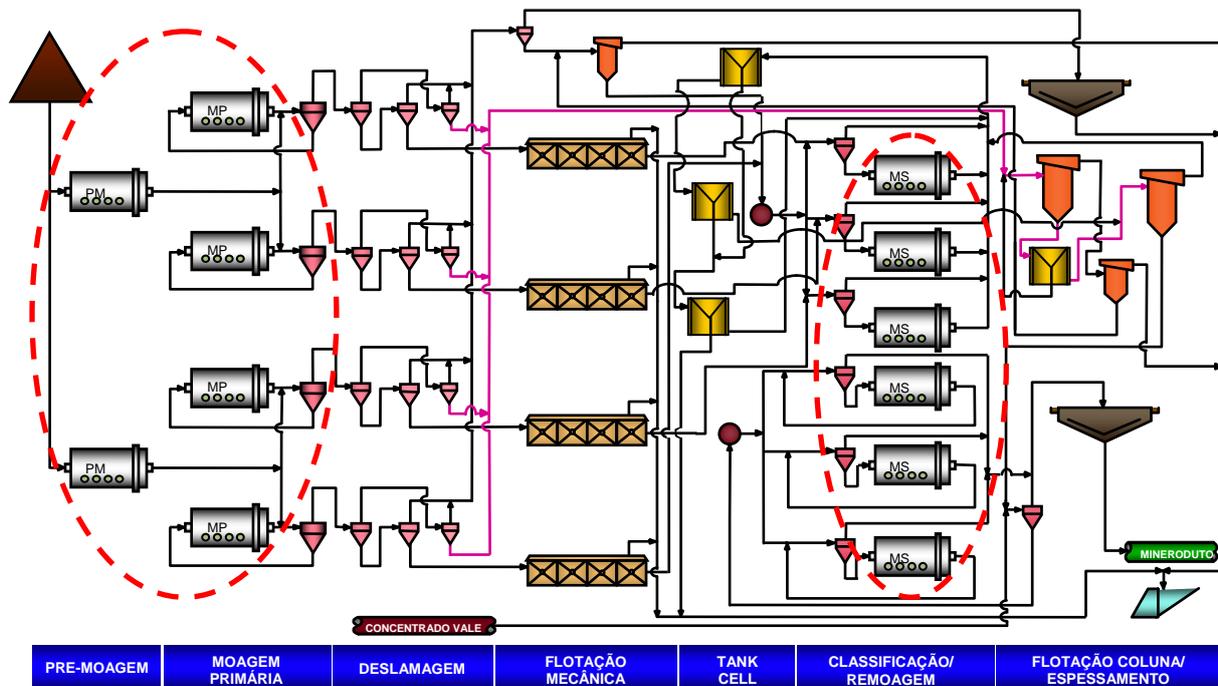
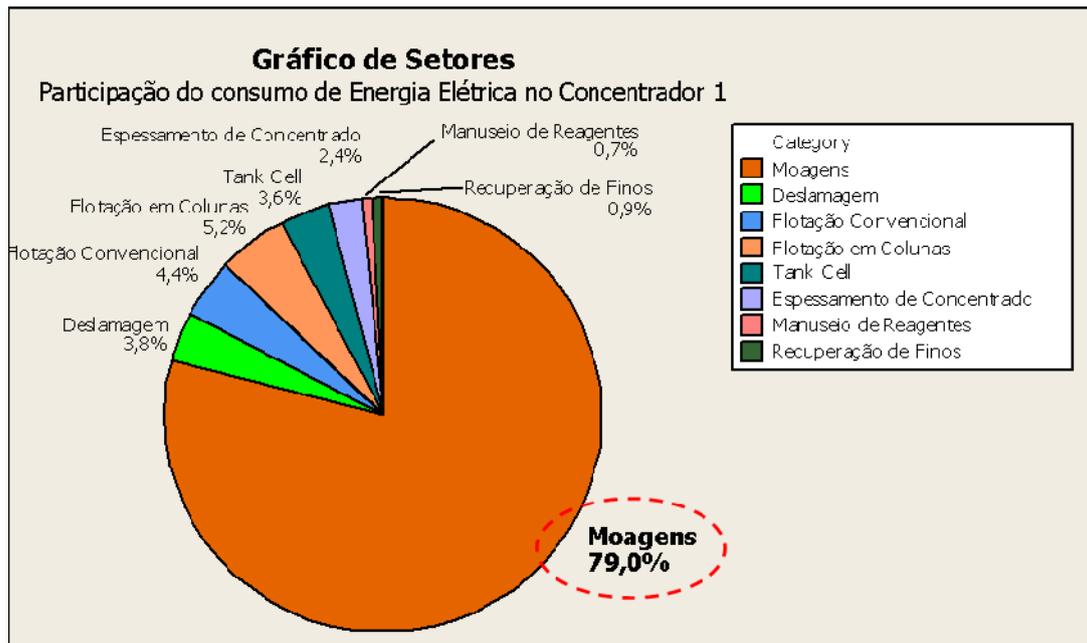


Figura 1. Fluxograma do concentrador I da Samarco.

Os moinhos da Samarco são moinhos de bolas com descarga por overflow. São equipamentos de grande porte chegando a 5,18 m de diâmetro e 10,36 m de comprimento, portanto, necessitam de grande quantidade de energia elétrica para operar. Os doze moinhos do concentrador I consomem aproximadamente 891.353 kWh por dia, que, multiplicado pelo custo de 1 kWh (0,13R\$/kWh) resulta em um gasto de R\$115.876 por dia.

Apresenta-se na Figura 2 a distribuição do consumo de energia elétrica no concentrador I da Samarco, e fica evidenciado que as moagens respondem por cerca de 79% do consumo total.



**Figura 2.** Gráfico de setores mostrando a distribuição do consumo de energia elétrica no concentrador I.

Levando em consideração somente o consumo de energia das moagens, a pré-moagem e a moagem primária respondem por aproximadamente 41% e a moagem secundária cerca de 59%.

Sendo a energia elétrica um dos insumos mais utilizados e caros na unidade de Germano, o projeto vem ao encontro de alguns dos fatores críticos de sucesso da empresa como custos competitivos, eficiência dos processos e excelência operacional.

Tem-se observado nos últimos anos que o consumo deste insumo vem crescendo e, fazendo uma análise prévia, podemos relevar que há oportunidades de ganho em eficiência energética e eficiência operacional, apesar de se ter, cada vez mais dificuldade de obtenção de granulometria dentro de especificação (minério mais duro), o que provoca um maior consumo de energia elétrica.

Melhorando a eficiência energética da moagem afetamos fortemente um indicador global do beneficiamento que é o Overall Equipment Effectiveness (OEE), indicador que mensura a eficiência global do processo, envolvendo a disponibilidade, a utilização e a performance do concentrador.

Após levantada esta oportunidade, optou-se por aplicar a metodologia Lean Seis Sigma visando a redução dos custos variáveis.

O programa de implementação da "cultura" Lean Seis Sigma na Samarco teve início em 2007, com a busca de uma abordagem que propiciasse à Samarco, de maneira estruturada, um aumento da eficiência de seus processos. Partiu-se de uma avaliação conceitual e optou-se pela implantação do Lean Seis Sigma, que conjuga a abordagem Lean com aumento da velocidade e redução de perdas dos processos com o Seis Sigma, cujo foco principal é a aplicação da estatística, ferramentas de qualidade e de método estruturado para atuar na redução da variabilidade dos processos, de forma a atender os objetivos da Samarco.<sup>(1)</sup>

O programa teve como objetivo reduzir os custos operacionais da Samarco em 0,5% e, definido em várias etapas, certificaram-se 35 Green Belts e 18 Black Belts, sendo que o presente trabalho foi um dos projetos Black Belt.

A metodologia Lean Seis Sigma é baseada nas etapas Define, Measure, Analyze, Improve e Control (DMAIC), que é fundamentada em aplicações de ferramentas estatísticas e de qualidade.

Perante este cenário, focou-se o projeto somente nos pré-moinhos e moinhos primários, pois, na moagem secundária já foi realizado um projeto Lean Seis Sigma. O objetivo do trabalho então foi reduzir os custos operacionais e aumentar a eficiência do processo, com foco em energia elétrica aplicando a metodologia Lean Seis Sigma alinhado fortemente no OEE da unidade e Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization (EBTIDA) Samarco.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira definição do projeto foi identificar o Key Performance Indicator (KPI) que melhor descreve o comportamento do consumo energético da pré-moagem e moagem primária.

Definiu-se então o KPI como sendo o consumo de energia em função da massa processada, ou seja,  $\frac{\text{energia}_{\text{consumida}}(\text{kWh})}{\text{massa}_{\text{processada}}(\text{TMS})}$ , sendo que a massa é em tonelada

seca.

O projeto iniciou-se em janeiro de 2009 com término em agosto de 2009.

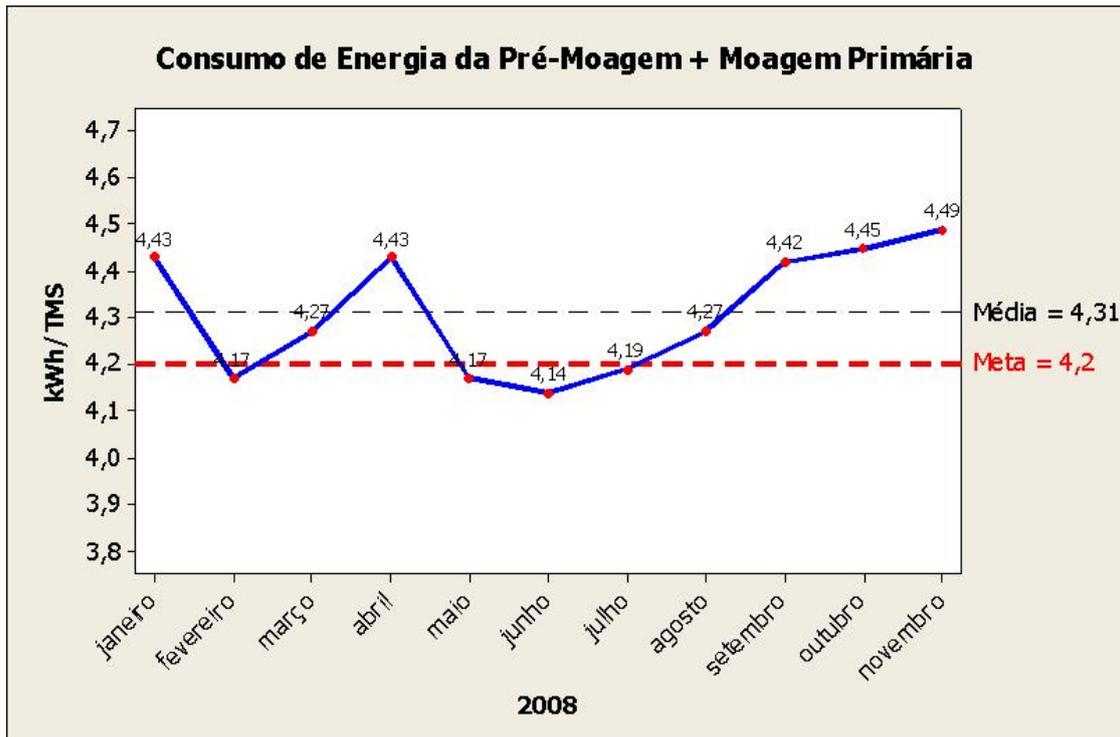
A seguir subdividiram-se os itens de desenvolvimento do projeto baseados na sequência DMAIC:

### 2.1 Define

Na primeira etapa do projeto a meta e o escopo foram claramente definidos.

O escopo do trabalho engloba a pré-moagem e moagem primária. Não está incluso a moagem secundária.

Elaborou-se um gráfico sequencial com o histórico do KPI de janeiro de 2008 a novembro de 2008, que é o período definido como baseline (Figura 3). A média do consumo específico de energia neste período foi de 4,31 kWh/TMS e, nos últimos meses, o KPI elevou-se chegando ao valor de 4,49 kWh/TMS.



**Figura 3.** Gráfico Seqüencial mostrando o comportamento do KPI, média do período baseline e meta proposta.

Na Figura 3 está indicada também a meta proposta do projeto, que tem como requisito para sua formulação, um valor desafiador e factível para um período de oito meses de execução do projeto.

Foi definida uma equipe multidisciplinar para o projeto com profissionais de várias áreas da empresa como técnicos de controle de produção, operadores, engenheiros de processo e chefe de equipe instrumentação/elétrica.

## 2.2 Measure

Nesta etapa do trabalho o objetivo é validar o sistema de medição, estratificar o problema e avaliar o nível sigma inicial do projeto.

### 2.2.1 Validação do sistema de medição

Para a validação do sistema de medição realizaram-se testes de hipótese (2-sample-T) para comparação de médias de dois grupos amostrais: 1. medidor de energia na área ; 2. valores do sistema de automação. Esta etapa tem como objetivo verificar se não há nenhum erro na transmissão ou comunicação dos dados entre o medidor de energia e o sistema de automação.

A validação foi realizada em todos os seis moinhos e todos os p-valores ficaram acima de 0,05, exceto o pré-moinho 2 (Tabela 1).

**Tabela 1.** p-valor dos testes de hipótese para comparação de médias entre os valores do medidor de energia e o sistema de automação.

	Pré-moinho 1	Pré-Moinho 2	Moinho Primário 1	Moinho Primário 2	Moinho Primário 3	Moinho Primário 4
p-valor	0,081	0,006	0,071	0,974	0,160	0,486

Quando o p-valor fica acima de 0,05 pode-se afirmar estatisticamente que não há diferença entre as médias, ou seja, os valores do sistema de automação estão confiáveis em relação ao medidor de energia na área.

Ao verificar o problema no teste de hipótese do pré-moinho 2, foi realizado e seguido um plano de ação “Ver e Agir” e, após finalizado este plano de ação, realizou-se novamente o teste de hipótese no pré-moinho 2 e o resultado do p-valor foi de 0,353, validando assim o sistema de medição.

### 2.2.2 Estratificação dos dados e elaboração das metas específicas

Como o escopo de trabalho engloba os dois moinhos pré-primários e os quatro moinhos primários, estratificou-se os dados em função destas etapas.

KPI pré-moagem = 2,53 kWh/TMS e KPI moagem primária = 1,78 kWh/TMS. Somando os dois valores temos a média praticada no período baseline de 4,31 kWh/TMS.

Logo, definiram-se as metas específicas em função do 3º quartil de cada parte estratificada (Figura 4).

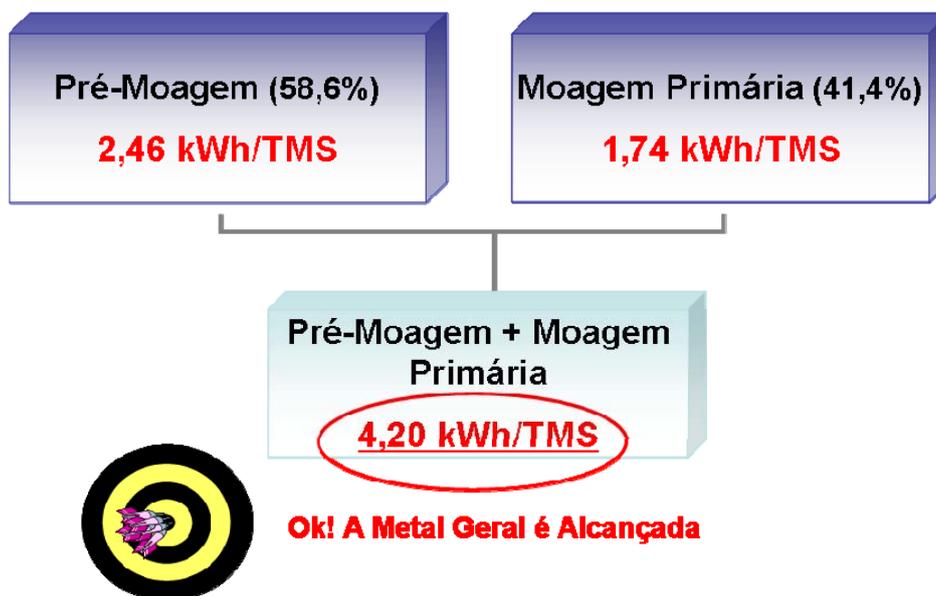


Figura 4. Diagrama de árvore para a elaboração das metas específicas.

### 2.2.3 Análise de capacidade

Em função da meta proposta de 4,2 kWh/TMS calculou-se o nível sigma inicial do projeto,  $0,41\sigma$ , e Defeitos Por Milhão Observado (DPMO) de 798.644 ppm.

## 2.3 Analyze

A terceira etapa do DMAIC tem como finalidade procurar as fontes de variação ( $x_s$ ) que aumentam a variabilidade do processo e que são responsáveis pela geração de “defeitos”.<sup>(2)</sup> Após essa determinação, foram priorizadas e quantificadas estatisticamente as causas potenciais em relação ao Y (indicador).

Elaborou-se um mapa de processo com objetivo de detalhar e documentar o conhecimento sobre o processo, bem como o relacionamento de suas variáveis com as saídas. Logo, realizou-se um brainstorming onde foi levantado qualitativamente quarenta e duas potenciais causas que afetam o consumo específico de energia.

Após um filtro das causas em que não se tem atuação ou causas dependentes da demanda de produção, restaram trinta e seis potenciais causas. Então, priorizou-se essas causas através de uma matriz de priorização em função do impacto no KPI, restando apenas onze.

Feito isso, os **x**s foram classificados em uma matriz de esforço x impacto, onde pode-se focar as causas em que devemos atuar (Figura 5).

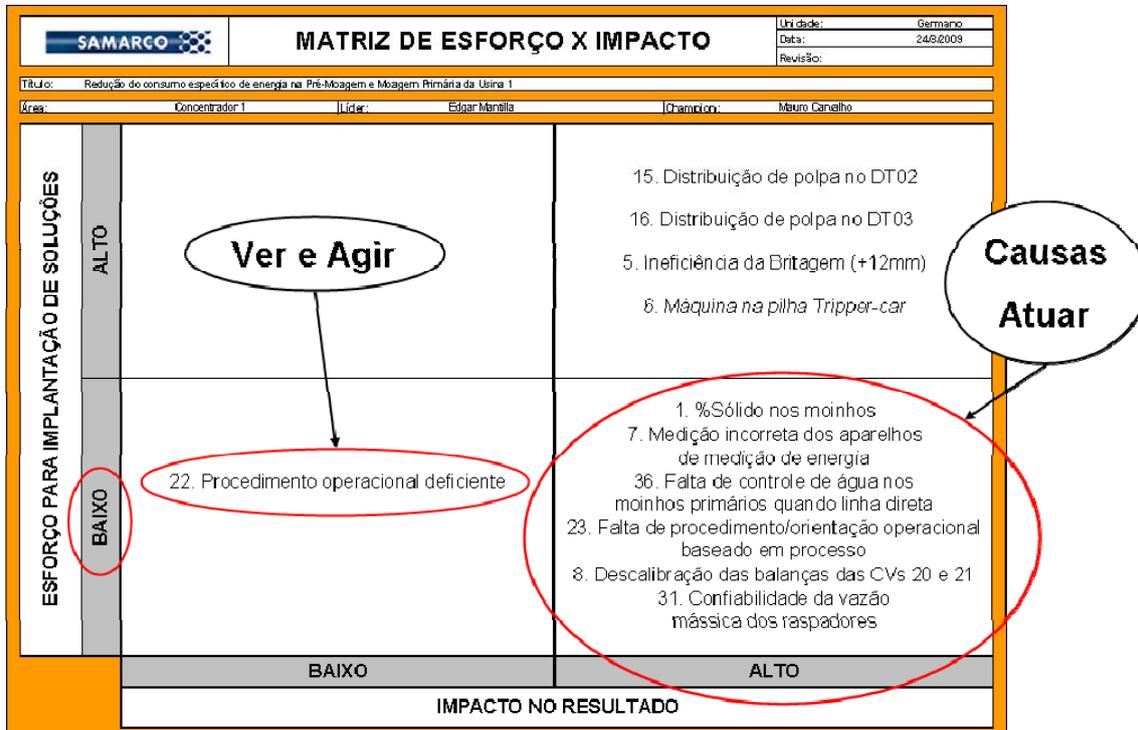


Figura 5. Matriz de esforço e impacto das causas priorizadas.

Elaborou-se o mapa de análise estatística para comprovar a influência quantitativa das causas de alto impacto e baixo esforço no consumo de energia.

Sendo que das seis causas apenas duas são possíveis de comprovar estatisticamente a influencia no KPI (Y), sendo elas o percentual de sólidos da polpa e a descálbrãção das balanças das correias 20 e 21.

O primeiro **x** analisado é a porcentagem de sólidos (%sólidos) da polpa nos moinhos. Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) como ferramenta estatística para essa comprovação, pois o **Y** analisado é uma variável continua e o **x** uma variável discreta (atributo).

Pelo resultado da análise de variância pode-se afirmar que a %sólidos da polpa, classificada em “%Sólidos Baixo e %Sólidos Ideal”, afeta em 70,5% a Potência do Pré-Moinho 2 (Figura 6).

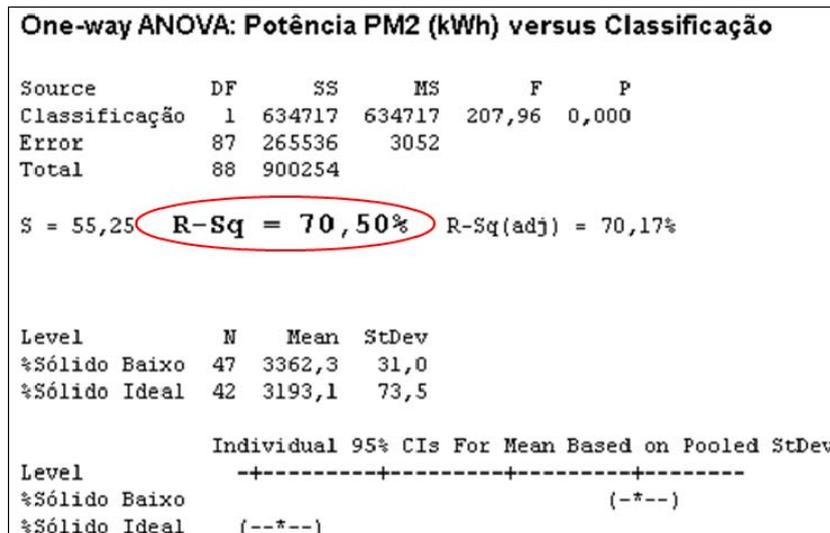


Figura 6. Resultado da análise de variância da influência do “%Sólido Baixo e %Sólido Ideal” no KPI.

A segunda variável analisada foi a descalibração das balanças das correias 20 e 21, e para a avaliação da influência deste x (variável contínua) no Y (variável contínua) foi utilizado uma regressão simples. Essas correias alimentam os pré-moinhos 1 e 2, e a medição incorreta destas balanças influenciam no %sólidos da polpa dentro dos moinhos.

Feito uma primeira avaliação dos dados observou-se que eles não seguem uma distribuição normal, então, fez-se uma transformação dos dados através da transformação Box-Cox, e o resultado da análise de regressão pode ser visto na figura 7, onde se mostra que 49% da variação do consumo específico de energia pode ser explicada pela variação da descalibração das balanças das correias 20 e 21.

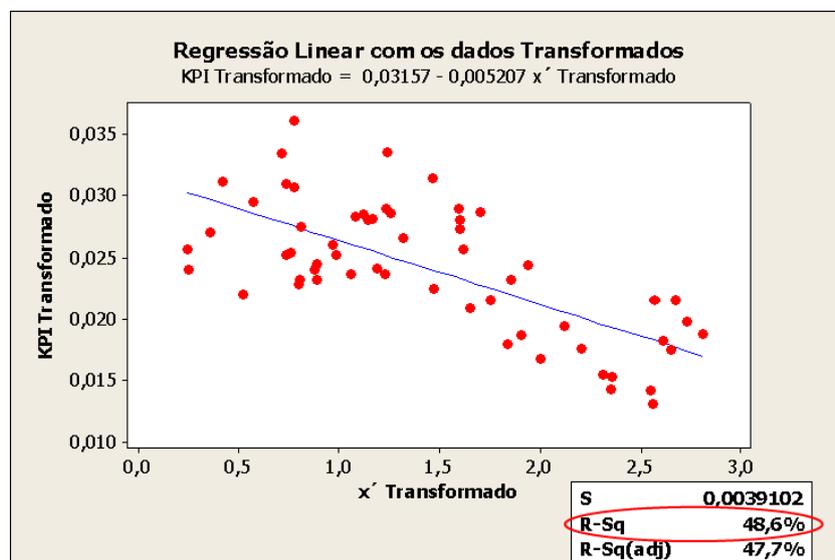


Figura 7. Regressão linear das variáveis “descalibração das balanças das correias 20 e 21” (transformado) e KPI (transformado).

## 2.4 Improve

Na etapa do improve inicialmente deve-se gerar idéias sobre as soluções potenciais para a eliminação das causas priorizadas na etapa analyze.<sup>(3)</sup> Logo, priorizam-se as

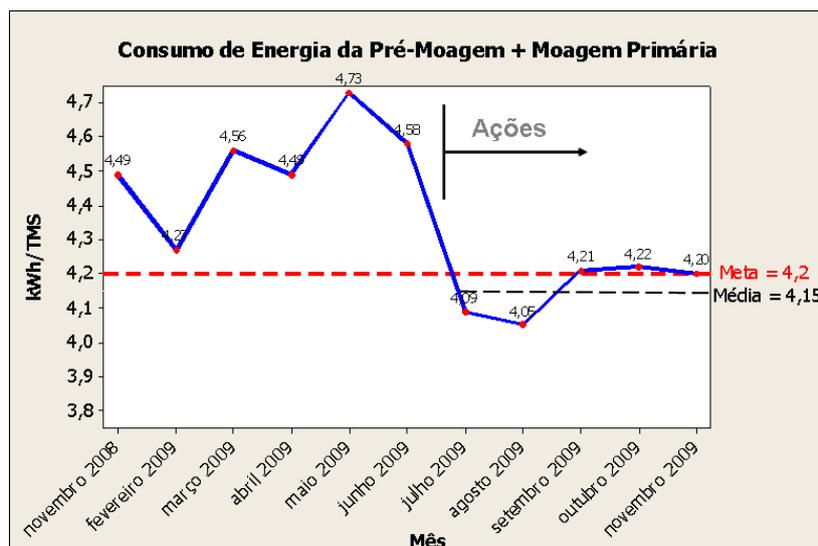
potenciais soluções e tomam-se as ações sobre o processo para melhorá-lo. Ao final, avalia-se o novo nível sigma do processo e comprova-se se houve alguma melhoria significativa.

A primeira ferramenta utilizada foi novamente uma reunião de brainstorming onde foi levantado dezessete possíveis soluções para as causas priorizadas. Logo, priorizou-as através de uma matriz de priorização levando em consideração o impacto no resultado, a facilidade de implementação e o custo. Restando então dez soluções, elaborou-se um plano de ação 5W2H para a implementação destas (Quadro 1).

**Quadro 1.** Plano de ação 5W2H para implementação das soluções priorizadas.

SAMARCO		PLANO DE AÇÃO - 5W2H				
Projeto Lean Six Sigma: Redução do consumo específico de energia na pré-moagem e moagem primária						
O QUE	COMO	QUANDO	QUEM	ONDE	CUSTO	STATUS
Estudo e implementação da % Sólido Ideal	Fazendo testes em moino piloto e implementando industrialmente	12/06/2009	Alan e Edgar	LCP, Pré-Moagem e Moagem Primária	R\$ 0	Concluído
Elaborar e executar planejamento de parada para manutenção	Elaborando e implementando um planejamento no SAP junto a operação e instrumentação	15/06/2009	Edmur	SAP, CV 20 e 21	R\$ 0	Concluído
Implementar programação de afiação / calibração	Acordando uma programação semanal para afiação dos densímetros	18/08/2009	Edgar, operação e laboratórios	Densímetros dos raspadores	R\$ 0	Concluído
Elaborar e executar procedimento operacional baseado em processo	Reunindo a equipe para o elaboração do procedimento	03/08/2009	André, Rogério, Roberto, Vladimir e Edgar	Pré Moagem e Moagem Primária	R\$ 0	Concluído
Reavaliar a densidade de sólido usada no cálculo da vazão mássica	Investigando o valor de densidade de sólido da equação no sistema de automação e mudando se necessário	02/06/2009	Edgar	Sistema de Automação	R\$ 0	Concluído
Identificar melhor a área de pesagem	Colocando placas de identificação entre os 24 roletes especiais de balanceamento	10/08/2009	Edgar	CVs 20 e 21	R\$ 0	Concluído
Melhorar descrição dos tags no PIMS	Abriundo um chamado para corrigir a descrição	04/06/2009	Edgar	PIMS	R\$ 0	Concluído
Display para indicação de densidade no local	Instalando um display para a indicação local de densidade, facilitando a aferição/calibração dos densímetros.	11/08/2009	Instrumentação	Densímetros dos raspadores das linhas 1/2/3/4	R\$ 0	Concluído
Elaborar e executar procedimento de limpeza na rotina	Criando e divulgando um procedimento de limpeza nas áreas das balanças da CV 20 e 21	11/08/2009	André, Rogério, Roberto, Vladimir e Edgar	CVs 20 e 21	R\$ 0	Concluído
Substituição de roletes danificados e auto-alinhantes	Substituindo roletes da CV 20	18/08/2009	Instrumentação e manutenção mecânica	CV 20	R\$ 354,9	Concluído

Após a implementação das ações de melhoria, elaborou-se um gráfico seqüencial para comprovar a efetividade das ações (Figura 8), e calculou-se o novo nível sigma do processo passando de  $0,41\sigma$  para  $1,78\sigma$ .



**Figura 8.** Gráfico seqüencial mostrando o comportamento do indicador após as ações de melhoria do projeto.

## 2.5 Control

O principal objetivo do control é dar sustentabilidade ao projeto, ou seja, através de ferramentas gerenciais oferecer suporte aos donos do processo para que possam monitorar as principais fontes de variação ( $\mathbf{x}$ s) e manter o indicador dentro da meta. Para isso documentou-se e divulgou-se as alterações e ações do projeto como: procedimentos operacionais, gestão a vista e check-list de medição de energia. Realizou-se o On the Job Training (OJT) que é um treinamento no trabalho sobre as principais ações e padrões estabelecidos para a sustentabilidade do KPI. Paralelo a isso, implementou-se um Out of Control Action Plan (OCAP) que é um plano para a tomada de ações corretivas, caso surjam problemas no processo (Figura 9).

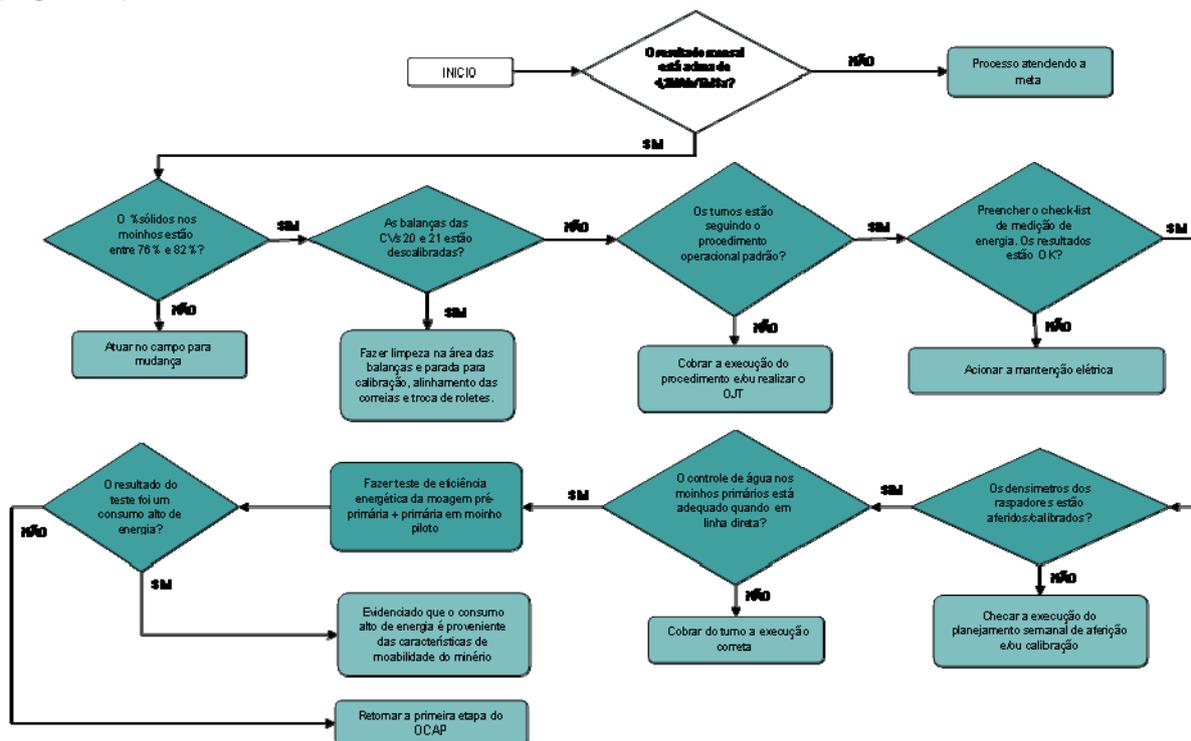


Figura 9. OCAP (Out of Control Action Plan).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentro da etapa control foram valorados os ganhos financeiros do projeto entre os meses de julho de 2009 a novembro de 2009.

Tomando como referência o valor médio do KPI no período baseline do projeto (Figura 3), comparou-se o consumo específico de energia médio praticado entre os meses de julho de 2009 e novembro de 2009 com o valor do consumo específico de energia do período baseline.

Os ganhos financeiros do projeto podem ser separados em duas partes: ganho com energia elétrica e ganho com consumo de corpo moedor.

A memória de cálculo para o ganho com energia elétrica pode ser visto na Figura 10.

Baseline =	4,31 kWh/TMS
Valor praticado =	4,15 kWh/TMS
Baseline - valor =	0,16 kWh/TMS
Preço de 1kWh =	0,0974 R\$

<b>Cálculo do Ganho</b>
Preço de 1kWh * Baseline - valor praticado * Alimentação da Usina

**Ganho = 158.618,44 R\$**

Figura 10. Memória de cálculo para o ganho com energia elétrica.

O ganho financeiro com consumo de corpo moedor foi de R\$222.000. Somando os dois ganhos tem-se um ganho total de **R\$381.000** referentes aos meses de julho a novembro de 2009.

#### 4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir a respeito do trabalho realizado que a Samarco Mineração S.A., mesmo em período de crise mundial, teve uma visão de oportunidade de negócio, focados em excelência operacional buscando ganhos com aumento de desempenho, redução de variabilidade, melhoria dos processos e redução de custos. Isto é comprovado na aplicação deste projeto Lean Seis Sigma que aumentou a eficiência energética de moagem e obteve ganhos econômicos de R\$381.000 elevando o OEE do processo e aumentando o EBTIDA Samarco.

#### Agradecimentos

O autor agradece a toda equipe Lean Seis Sigma que, com dedicação, comprometimento e espírito coletivo, concretizaram o sucesso do projeto. São eles: André Henrique, Alan Castro, Roberto Márcio, Vladimir Figueiredo, Rogério Cirilo, Edmur Vilela, Mauro Carvalho, Marcos Gomes, Joaquim Donda, Victor Hugo Machado, Herynson Nunes e todos os outros que participaram e contribuíram de maneira exemplar. E finalmente à Samarco Mineração S.A. pela oportunidade.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Revista Samarco. Publicação destinada aos empregados da Samarco Mineração S.A., seus familiares e comunidades vizinhas as suas unidades industriais. 2009, p. 4 - 5.
- 2 SETA desenvolvimento gerencial. Disponível em: <<http://www.setadg.com.br/textos/6/seis-sigma.html>>. Acesso em: 21 de junho de 2009.
- 3 WERKEMA, Cristina. Criando a cultura Seis Sigma. Minas Gerais: Werkema terceira edição, 2004. (Seis Sigma;v.1).