



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

WALQUIRIA LIMA DE SOUSA FERREIRA

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMAS PARA REDUÇÃO
DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS EM UM PROCESSO DE
SINTERIZAÇÃO**

ARAXÁ - MG

2018

WALQUIRIA LIMA DE SOUSA FERREIRA

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMAS PARA REDUÇÃO
DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS EM UM PROCESSO DE
SINTERIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Me. Alexandre Dias Linhares
Coorientador: Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende

ARAXÁ - MG

2018

WALQUIRIA LIMA DE SOUSA FERREIRA

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMAS PARA REDUÇÃO
DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS EM UM PROCESSO DE
SINTERIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá,
como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia de Automação Industrial

Defesa: Araxá, 09 de julho de 2018.

BANCA AVALIADORA

Me. ALEXANDRE DIAS LINHARES - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Dr. DOMINGOS SÁVIO DE RESENDE - Coorientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Dr. CARLOS ANTÔNIO DE MEDEIROS - Avaliador Titular
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Dr. NATAL JUNIO PIRES - Avaliador Titular
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Dr. ADIMILSON VIEIRA DA COSTA - Avaliador Suplente
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

RESUMO

As organizações desejam cada vez mais desenvolver processos internos mais eficientes, econômicos e que garantam que ela gere competitividade, mantendo uma postura inovadora no mercado. Contudo, é necessário adotar um sistema de gestão empresarial que permita o atingimento de metas e a perseguição de resultados cada vez melhores e a busca por detalhamento de metas e indicadores que sejam factíveis e desafiadores. O consumo de combustíveis em um processo de Sinterização apresenta uma problemática de aumento de consumo, gerando com isto altos custos de transformação do minério beneficiado em minério sinterizado. O objetivo deste estudo de caso é analisar as causas principais do aumento do consumo dos combustíveis e propor ações corretivas aplicando a metodologia Seis Sigmas. Primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica acerca do tema. Em seguida, realizou-se o estudo do aumento do custo com combustíveis no processo de Sinterização por meio da aplicação das etapas Define (definir), Measure (medir), Analyse (analisar), Improve (melhorar) e Check (checar) da ferramenta DMAIC.

Palavras-chave: DMAIC. Sinterização. Seis Sigmas.

Abstract

Organizations increasingly want to develop more efficient, cost-effective internal processes, and ensure that they generate competitiveness, while remaining innovative in the market. However, it is necessary to adopt a business management system that allows the achievement of goals and the pursuit of ever better results and the search for detailing goals and indicators that are feasible and challenging.

The consumption of fuels in a sintering process presents a problem of increased consumption, thus generating high processing costs of the ore beneficiated in sintered ore. The purpose of these case studies is to analyze the main causes of increased fuel consumption and propose corrective actions applying the Six Sigma methodology. Firstly, a bibliographical review about the theme was carried out. Then, the study of the cost increase with fuels in the sintering process was carried out by applying the steps Define, Measure, Analyze, Improve and Check of the DMAIC tool.

Keywords: DMAIC. Sintering. Six Sigma.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Limite de Especificação Inferior (LIE) e Limite de Especificação Superior (LSE).	16
FIGURA 2 - Média Concentrada.	17
FIGURA 3 - Efeito do deslocamento da média no desempenho do processo.	17
FIGURA 4 - Exemplo de um Diagrama de Pareto.....	23
FIGURA 5 - Tanque espessador de minério.	25
FIGURA 6 - Filtro de disco a vácuo.....	25
FIGURA 7 - Pratos pelletizadores de minério.	26
FIGURA 8 - Forno Outotec para processos de Sinterização.....	27
FIGURA 9 - Britador hidrocônico.....	28
FIGURA 10 - Esquema representativo de um britador de mandíbulas.	28
FIGURA 11 - Peneira vibratória granulométrica.....	28
FIGURA 12 - Custos com combustíveis no processo de Sinterização.....	29
FIGURA 13 - SIPOC do processo de Sinterização.	32
FIGURA 14 - Estratificação do item de controle Custos com Insumos.	32
FIGURA 15 - Custo com gás liquefeito de petróleo.....	33
FIGURA 16 - Consumo de gás liquefeito de petróleo.	33
FIGURA 17 - Custo com coque de petróleo.....	34
FIGURA 18 - Consumo de coque de petróleo.....	34
FIGURA 19 - Coque - Uma das causas analisadas com a ferramenta dos 5 por quês.	35
FIGURA 20 - GLP - Uma das causas analisadas com a ferramenta dos 5 por quês.	36
FIGURA 21 - Matriz GUT utilizada na priorização da causa fundamental.....	36
FIGURA 22 - Regressão linear utilizada na comprovação da causa do consumo de coque.	37
FIGURA 23 - Regressão linear utilizada na comprovação da causa do consumo de GLP.....	37
FIGURA 24 - Exemplo de ação definida para a solução do problema.	38
FIGURA 25 - Resultados obtidos Consumo de Coque de Petróleo.	42
FIGURA 26 - Resultados obtidos Custo com Coque de Petróleo.	43

FIGURA 27 - Resultado do IC: Custos com Combustíveis.....43

LISTA DE QUADROS E TABELAS

TABELA 1 - Relação entre o nível sigma e defeitos por milhão de oportunidades. ...	16
TABELA 2 - DPMO de Processos de Curto e Longo Prazo.	18
TABELA 3 - Cálculo financeiro do Projeto.	31
TABELA 4 - Resultados da etapa Define.	39
TABELA 5 - Resultados da etapa Measure.	40
TABELA 6 - Resultados da etapa Analyse.	41
TABELA 7 - Resultados da etapa Improve.	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve and Check</i> Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Checar
DPMO	Defeitos por Milhão de Oportunidades
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GUT	Gravidade, Urgência e Tendência
IC	Item de Controle
ICD	Item de Controle Desdobrado
SIPOC	<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers</i> Fornecedores, Insumos, Processos, Produtos e Consumidores

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 O Programa Seis Sigmas	14
2.2 Conceito do Seis Sigmas.....	14
2.3 Limite de especificação e a Escala Sigma	15
2.4 Especialistas do Programa Seis Sigmas.....	18
2.4.1 CHAMPIONS (CAMPEÕES).....	19
2.4.2 MASTER BLACK BELT (LÍDER DO CINTURÃO PRETO)	19
2.4.3 BLACK BELT (CINTURÃO PRETO).....	19
2.4.4 GREEN BELT (CINTURÃO VERDE)	19
2.5 A metodologia DMAIC.....	20
2.5.1 DMAIC - DEFINE (DEFINIR)	20
2.5.2 DMAIC - MEASURE (MEDIR)	20
2.5.3 DMAIC - ANALYZE (ANALISAR)	21
2.5.4 DMAIC - IMPROVE (MELHORAR)	21
2.5.5 DMAIC - CONTROL (CONTROLE)	22
2.6 Diagrama de Pareto	22
2.7 Análise de Regressão Linear	23
2.8 O Processo de Sinterização	24
3. METODOLOGIA	29
3.1 Metodologia utilizada no trabalho	29
3.1.1 DEFINE	29
3.1.2 MEASURE	32
3.1.3 ANALYSE	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5. CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

As organizações desejam cada vez mais desenvolver processos internos eficientes, econômicos, e que garantam que ela gere competitividade, mantendo-se uma postura inovadora no mercado. Contudo, é necessário adotar um sistema de gestão empresarial que permita o atingimento de metas e a perseguição de resultados cada vez melhores assim como a busca por detalhamento de metas e indicadores que sejam factíveis e desafiadores.

Ter um sistema de gestão implementado em uma organização atualmente é ter indicadores e metas, é ter uma estrutura tecnológica e humana capaz de planejar, organizar e gerenciar os processos.

Para obter o controle dos resultados de indicadores e proporcionar a capacidade de ação nos desvios buscando constantemente a inovação e o atingimento das metas é necessária a utilização de uma metodologia que auxilie na gestão dos processos. O método é a base do gerenciamento, é o caminho para atingir as metas e gerar resultados, portanto não há gerenciamento sem a utilização de um método específico que auxilie no planejamento e na tomada de ações necessárias para a solução de um problema.

Um de muitos métodos existentes e reconhecido mundialmente é o método Seis Sigma, utilizado para identificar e implementar melhorias nos processos internos de uma organização, garantir custos de operação menores e, conseqüentemente, aumentar ganhos. Utilizado na estratégia gerencial das organizações, o Seis Sigma é um programa de projetos que são conduzidos por equipes lideradas pelos especialistas selecionados pelas organizações.

O Sigma é uma letra do alfabeto grego e também é utilizado para representar uma medida de variação utilizada em estatística. No universo empresarial, a letra Sigma se refere à frequência com que determinada operação ou transação utiliza mais do que os recursos mínimos necessários para satisfazer o cliente, ou seja, ela determina uma taxa de desperdício/desvio por operação. Assim, o Seis Sigma pode ser utilizado para calcular matematicamente o nível de desempenho dos processos de uma organização e conseqüentemente obter um diagnóstico (WERKEMA, 2008).

A partir de 1988, quando a Motorola foi agraciada com o Prêmio Nacional da Qualidade Malcolm Baldrige, o Seis Sigma tornou-se conhecido como o programa responsável pelo sucesso da organização. Com isso, outras organizações reconhecidas, como a General Electric, Kodak, Sony entre outras, passaram a utilizar o programa e a divulgação dos enormes ganhos alcançados por elas gerou um crescente interesse pelo Seis Sigma. “Pode-se dizer que o Seis Sigma foi celebrizado pela General Electric, a partir da divulgação dos expressivos resultados financeiros obtidos pela empresa através da implantação da metodologia. Após a adoção pela GE, houve uma grande difusão do programa” (WERKEMA, 2008).

No Brasil, cresce a utilização do Seis Sigmas está crescendo a cada dia. As organizações com unidades de negócio no exterior implementaram o Seis Sigma já há algum tempo - Motorola, ABB, Kodak e General Eletric. A partir da divulgação dos resultados obtidos pelas primeiras organizações multinacionais que adotaram o Seis Sigma, várias outras organizações que não tinham qualquer tipo de experiência com o programa passaram a utilizá-lo, já contando, desde o início, com o apoio de consultores brasileiros e obtendo resultado expressivo (WERKEMA, 2008).

A ferramenta utilizada para facilitar o desenvolvimento da metodologia Seis Sigma, e utilizada especificamente para melhorias de produtos e processos existentes e com cinco etapas, é a ferramenta DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). A primeira etapa, Define, consiste na definição do problema a ser desenvolvido; na segunda etapa, Measure, é determinado o foco do problema, bem como a meta a ser atingida; na terceira etapa, Analyze, é desenvolvido o entendimento da causa do problema definido; a quarta etapa, Improve, tem como o objetivo comprovar as causas identificadas na etapa Analyze, priorizando-as, realizando testes de processos e estabelecer um plano de ação; e por fim na quinta etapa, Control, o processo é monitorando e as ações corretivas são antecipadas para possíveis desvios identificados.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar a metodologia para a aplicação do programa Seis Sigma e realizar um estudo sobre a aplicação desta ferramenta em um processo de Sinterização, demonstrando e avaliando os resultados que podem ser obtidos a partir do seu uso, no que se refere ao consumo de combustíveis.

Para atingir o objetivo supracitado, foram estabelecidos e efetivados os seguintes objetivos específicos:

- Revisão bibliográfica da metodologia utilizada no Seis Sigma: DMAIC;
- Explanação dos procedimentos utilizados para obtenção dos dados;
- Identificação das ferramentas da qualidade aplicadas para análise dos dados do processo em questão;
- Obtenção de indícios para sugestão de intervenção no processo de Sinterização para o atingimento da meta proposta - redução do consumo de combustíveis.

Ainda, visando maior efetividade no alcance do objetivo deste trabalho, na realização do estudo de caso foi aplicada a metodologia *Define, Measure, Analyse, Improve e Control* (DMAIC), com base nos resultados adquiridos com a utilização de ferramentas de gestão e, a partir delas, estabeleceram-se ações para eliminar os problemas identificados.

A autora coloca-se numa posição Green Belt para este trabalho. Para tanto, utiliza da metodologia proposta pelo DMAIC. O objetivo do projeto é reduzir o consumo de coque de petróleo e de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) utilizados num processo de Sinterização. O consumo desses insumos estão acima de orçamentos propostos e, em consequência, geram o aumento do custo de transformação do minério sinterizado. Na tentativa de solucionar esse problema foi implementado o Programa Seis Sigma num processo de Sinterização visando à redução do custo de transformação do minério, buscando as causas raízes dos problemas causadores dos desvios e propondo ações para bloqueá-las.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Programa Seis Sigmas

O Programa Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e muito quantitativa, que tem como objetivo aumentar consideravelmente a lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processo e do aumento da satisfação de clientes e consumidores (WERKEMA, 2008).

Podendo ser utilizado em qualquer tipo de empresa, a principal característica que se destaca no Programa Seis Sigma é a mudança da cultura da rotina do dia a dia dos colaboradores, pois auxilia na caracterização e dimensionamento de problemas provocando o amadurecimento da equipe, principalmente com relação à forma de tratá-los e identificá-los.

O Programa Seis Sigma começou a ser difundido por volta de 1987 após a divulgação dos resultados obtidos pela empresa Motorola e, posteriormente, com a divulgação dos ganhos conseguidos pela General Eletric (GE), AlliedSignal e outras empresas renomadas.

A partir de 1987, vários trabalhos foram publicados, tanto em revistas como a *Quality Progress*, *Quality Engineering* e *Journal of Quality Technology*, apresentando o funcionamento do Programa Seis Sigma. Por intermédio dessas publicações, o funcionamento do programa ficou mundialmente conhecido (AGUIAR SILVIO, 2006).

Segundo Barney (2002), o Programa Seis Sigma em sua origem estava relacionado a uma medida de qualidade e a uma abordagem para a solução de problemas de qualidade.

2.2 Conceito do Seis Sigmas

Nos estudos de estatística e probabilidade, o Sigma (σ) é a décima oitava letra do alfabeto grego e representa o Desvio Padrão. O Desvio Padrão é uma medida de dispersão em torno da média amostral de uma variável. Ter um alto desvio padrão significa que os dados encontram-se espalhados por uma ampla gama de valores. Portanto, ter um baixo desvio padrão significa que os dados

amostrados tendem a estarem mais próximos da média ou do valor esperado. Quanto menor for desvio padrão menor será a variabilidade do processo.

Equação 1: Fórmula para o cálculo do desvio padrão.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} , \text{ em que,}$$

x_i = resultado individual do processo;

\bar{x} = média dos resultados do processo;

n = número de resultados avaliados.

Rasis (2002) apresenta de forma apropriada a definição do Programa Seis Sigma:

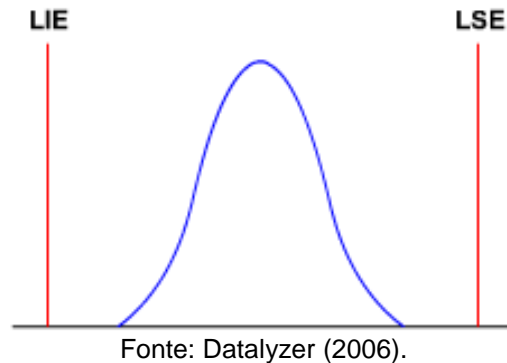
Seis Sigma é a inflexível e rigorosa busca da redução da variação em todos os processos críticos para alcançar melhorias contínuas e quânticas que impactam os índices de uma organização e aumentam a satisfação e lealdade dos clientes. É uma iniciativa organizacional projetada para criar processos de manufatura, serviço ou administrativo que gerem no máximo 3,4 defeitos por milhão de oportunidade (DPMO). A ferramenta de melhoria empregada na implantação dos projetos Seis Sigma é o DMAIC: acróstico que representa: Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar (Rasis, 2002, p. 127).

2.3 Limite de especificação e a Escala Sigma

Para avaliar um determinado processo é necessário comparar o valor do desvio padrão com outros parâmetros, pois a simples observação de um resultado não permite a interpretação do significado de forma qualitativa. Estes valores que são utilizados nas comparações são nomeados como Limites de Especificações.

Os Limites de Especificações (FIG. 1) são os valores que os dados coletados de um determinado processo devem operar e que variam de acordo com a variável a ser medida e são definidos pelo cliente.

FIGURA 1 - Limite de Especificação Inferior (LIE) e Limite de Especificação Superior (LSE).



A partir da comparação dos dados obtidos de um determinado processo, com limites de especificação, surge a escala Sigma.

A escala Sigma é utilizada para medir o nível de qualidade associado a um processo. Quanto maior o valor alcançado na escala Sigma, melhor é a qualidade associada ao processo, tornando assim o valor de Seis Sigma ou seis vezes o Desvio Padrão, um excelente valor nesta escala.

A TAB. 1 apresenta a comparação do índice de defeitos para cada nível sigma.

TABELA 1 - Relação entre o nível sigma e defeitos por milhão de oportunidades.

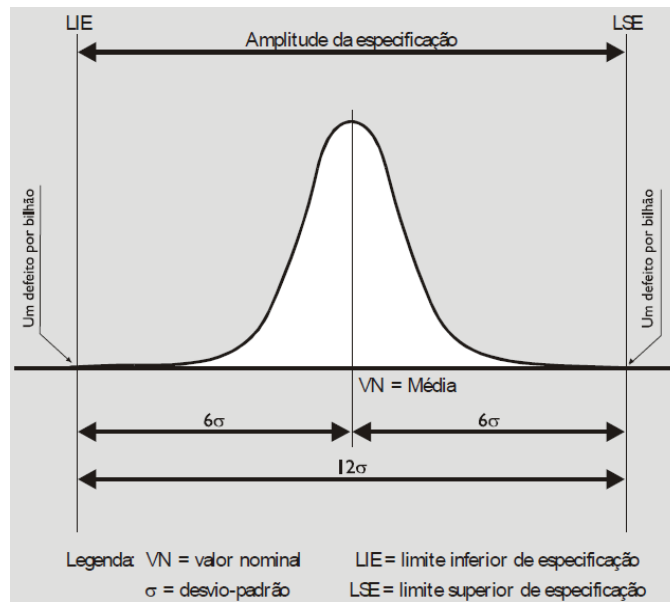
Nível Sigma	Defeito por Milhão	Custo da não Qualidade
2	308.537 (empresas não-competitivas)	Não se aplica
3	66.807	25 a 40% das vendas
4	6.210 (média da indústria)	15 a 25% das vendas
5	233	5 a 15% das vendas
6	3,4 (empresas "classe mundial")	< 1% das vendas

Fonte: Harry (2000).

De acordo com Werkema (2016), a eficácia do Seis Sigma é de 99,9999998% de produtos perfeitos, isto é, 2 defeitos por bilhão de unidades produzidas. Mesmo se o valor médio dos resultados do processo se afastar do valor ideal em 1,5 sigma, não se espera obter mais do que 3,4 produtos defeituosos por

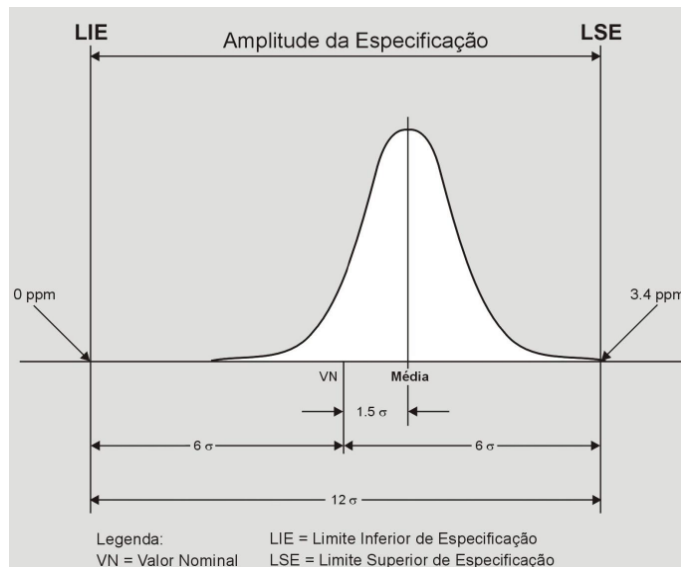
milhão de unidades fabricadas. As FIG. 2 e 3 apresentam o significado da “Qualidade Seis Sigma”.

FIGURA 2 - Média Concentrada.



Fonte: Grupo Werkema (2016).

FIGURA 3 - Efeito do deslocamento da média no desempenho do processo.



Fonte: Grupo Werkema (2016).

Segundo Scatolin (2005), um Processo Teórico (ou de Curto Prazo) é um processo que tem a média centrada entre os Limites de Especificação. Já um processo de Longo Prazo é aquele onde a média deslocada vai até no máximo $1,5\sigma$ dos limites de especificação.

Com estes conceitos e admitindo que os processos reais sejam de Longo Prazo, é possível recalcular a proporção de partes que estariam fora dos limites de especificação.

A TAB. 2 mostra a comparação do nível de defeitos de um processo teórico de curto prazo ou centrado com um processo real, de longo prazo ou deslocado 1,5 sigma do valor central, em Defeitos por Milhão de Oportunidade (DPMO).

TABELA 2 - DPMO de Processos de Curto e Longo Prazo.

Nível Sigma	DPMO (Curto Prazo)	
	Processo centralizado	Processo descentralizado 1,5 sigma
1	317.400	691.462
2	45.600	308.537
3	2.700	66.807
4	63	6.209,7
5	0,57	232,7
6	0,002	3,4

Fonte: Goh (2003).

Para Linderman (2003), um processo deve objetivar o nível sigma 6, apenas se isto for importante para o cliente e desde que o investimento para o salto em nível sigma não seja alto a ponto de inviabilizar economicamente este processo.

É evidente que melhorar o coeficiente do nível 2 ou 3 para 4 é exponencialmente mais fácil do que melhorar do nível 4 para 5 ou 6.

Para Werkema (2008), as empresas optam pelo Seis Sigma com objetivo de melhorar radicalmente o desempenho da organização e saltar à frente de seus concorrentes, obtendo maior lucratividade e gerando mais valor para os acionistas. Uma empresa que tem como meta, por exemplo, dobrar o valor do negócio em um prazo de três anos, poderá adotar o Programa Seis Sigma como uma das principais estratégias para o alcance dessa meta.

2.4 Especialistas do Programa Seis Sigmas

O Programa Seis Sigma é liderado por especialistas que enfocam nos objetivos estratégicos da organização e buscam constantemente a redução da variabilidade e melhoria de processos. Estes especialistas passam por treinamentos

para certificação de *master black belts*, *black belts* e *green belts* (SANTOS NETO, 2017).

2.4.1 CHAMPIONS (CAMPEÕES)

A função do *Champion* é definir o time que irá disseminar os conhecimentos do programa Seis Sigmas na empresa. Este time irá coordenar e desenvolver uma quantidade determinada de projetos específicos de melhoria e de redução de custo.

2.4.2 MASTER BLACK BELT (LÍDER DO CINTURÃO PRETO)

Os *Master Black Belts* possuem a função de assessoria aos *Champions*. As suas principais funções são identificar os projetos de melhorias de diferentes processos e coordenar todos os trabalhos dos demais *Black Belts*.

2.4.3 BLACK BELT (CINTURÃO PRETO)

Os *Black Belts* dedicam-se em tempo integral ao Programa Seis Sigma. Eles atuam em projetos de diferentes processos definindo metas e a equipe que irá atuar na solução do problema.

2.4.4 GREEN BELT (CINTURÃO VERDE)

Os *Green Belts* não se dedicam integralmente aos projetos de melhorias, mas participam de uma ou mais equipes de solução de problemas.

Os especialistas no programa Seis Sigmas utilizam ferramentas estatísticas de forma integrada ao método de solução de problemas baseados sempre em fatos e dados obtidos durante as mensurações realizadas, utilizando a metodologia DMAIC.

2.5 A metodologia DMAIC

O DMAIC é um método estruturado de análise utilizado para solução de problemas. O objetivo dessa metodologia é realizar melhorias em produtos, serviços e processos utilizando cinco etapas que direcionam o responsável do projeto ao atingimento da meta proposta (WERKEMA, 2008).

2.5.1 DMAIC - *DEFINE* (DEFINIR)

A primeira etapa da metodologia DMAIC consiste na definição e descrição do problema a ser solucionado. Para tal, nesta etapa, é necessária:

- A descrição do problema a ser tratado;
- A definição do indicador, ou do item de controle (IC) que será utilizado para medir o resultado do projeto;
- A análise do comportamento dos dados históricos do item de controle ao longo do tempo, através de ferramentas estatísticas como, por exemplo, gráficos de Pareto;
- A definição da meta que contenha em seu escopo um objetivo, o valor a ser atingido e um prazo específico para atingir a meta (Exemplo: Reduzir o consumo específico de insumos de 22 kg/tonelada produzida para 13 kg/tonelada produzida até dezembro de 2002);
- A mensuração dos ganhos financeiros baseados na meta em comparação com o patamar de aumento ou de redução;
- A elaboração de um *Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers* (SIPOC) (Fornecedores, Insumos, Processos, Produtos e Consumidores), que possui como objetivo o mapeamento do processo envolvido, facilitando a visualização do escopo do projeto.

2.5.2 DMAIC - *MEASURE* (MEDIR)

A segunda etapa da metodologia DMAIC consiste em determinar o foco do problema, estratificando o problema principal em problemas menores. Para tal, nesta etapa, é necessária:

- A elaboração de uma árvore de estratificação do item de controle global em Itens de Controle Desdobrados (ICD);
- A definição dos ICDs a partir da árvore de estratificação, utilizando ferramentas estatísticas;
- As análises através de gráficos e de ferramentas estatísticas que demonstram como cada foco se comporta, estratificando o problema geral, em critérios como tempo, local, tipo e outros de acordo com o objeto em questão; ou gráficos de correlação que demonstram o impacto da estratificação no indicador global;
- A definição das metas para cada um dos focos analisados.

2.5.3 DMAIC - ANALYZE (ANALISAR)

A terceira etapa da metodologia DMAIC é focada para a análise e entendimento das causas raízes do problema, bem como a quantificação destas análises. Para tal, nesta etapa, é necessária:

- A análise do problema, focando na identificação das causas fundamentais que influenciam no problema;
- A utilização de uma ferramenta de priorização para todas as causas levantadas, com o objetivo de identificar apenas as causas mais relevantes;
- A utilização de ferramentas estatísticas para análise e comprovação da relação de causa e efeito entre o problema e as causas fundamentais priorizadas, utilizando gráficos, fotos, relatos, tabelas, entrevistas, etc.

2.5.4 DMAIC - IMPROVE (MELHORAR)

A quarta etapa da metodologia DMAIC é focada para a análise e entendimento das causas raízes do problema, bem como a quantificação destas análises. Para tal, nesta etapa, é necessária:

- Listar todas as soluções possíveis para cada uma das causas fundamentais;
- Priorizar as soluções, utilizando as ferramentas administrativas da qualidade para priorizar as soluções listadas;
- Elaborar um plano de ação para solução dos problemas;

- Demonstrar através de gráficos e das ferramentas estatísticas que as metas específicas foram atingidas após a implementação das soluções priorizadas.

2.5.5 DMAIC - *CONTROL* (CONTROLE)

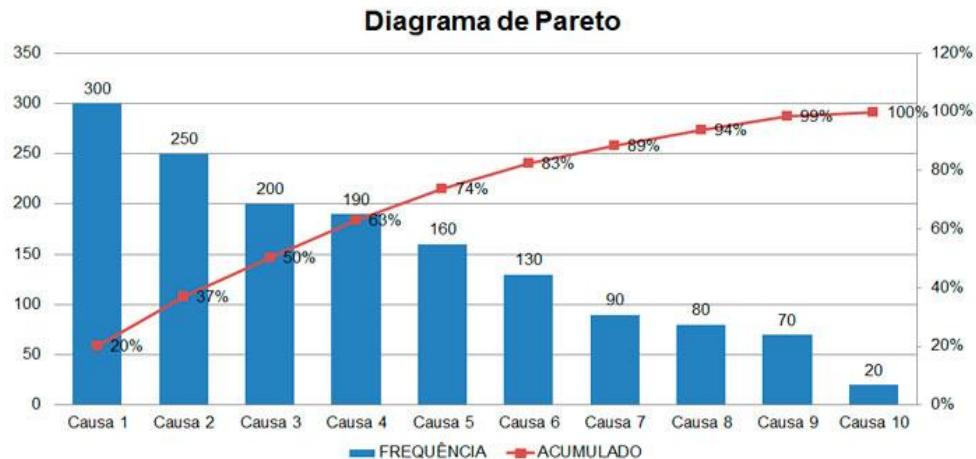
A quinta etapa da metodologia DMAIC possui como objetivo o acompanhamento dos resultados obtidos ao longo e ao final do projeto. Nessa etapa, é necessário:

- Atualização de gráficos que demonstrem o alcance da meta e a sustentabilidade do resultado;
- O acompanhamento dos ganhos financeiros reais ao longo do projeto e os ganhos financeiros projetados no ano;
- Elaborando um plano de contingência para possíveis problemas no processo;
- E por fim, registrar as ferramentas utilizadas com sucesso e as conclusões finais do projeto.

2.6 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto, segundo Hitoshi Kume (1993), é um gráfico de barras utilizado para visualizar e identificar as causas mais importantes de um banco de dados que se deseja analisar. Ordenando a frequência das ocorrências, da maior para a menor, o Diagrama de Pareto permite a visualização das causas e exibe a curva de porcentagens acumuladas, tornando-se mais fácil a concentração dos esforços sobre os problemas de maior importância. A FIG. 4 exemplifica um Diagrama de Pareto, com suas porcentagens acumuladas.

FIGURA 4 - Exemplo de um Diagrama de Pareto.



Fonte: Gestão da Segurança Privada (2018).

Para Carpinetti (2010) o Princípio de Pareto afirma também que entre todas as causas de um problema, algumas poucas são as grandes responsáveis pelos efeitos indesejáveis do problema; logo, se forem identificadas as poucas causas vitais dos poucos problemas enfrentados pela empresa, será possível eliminar quase todas as perdas por meio de um pequeno número de ações.

2.7 Análise de Regressão Linear

Segundo Hitoshi Kume (1993), a análise de regressão é um dos modelos matemáticos, que associa a variável preditora x , com uma única variável resposta y , e que estuda a relação entre elas. O modelo de regressão linear simples define a relação entre essas duas variáveis (x,y) de forma linear.

Os dados para a análise de regressão simples são da forma (x_n, y_n) , que exibem a tendência linear das variáveis, podendo ser utilizada nas seguintes necessidades:

- Analisar o grau de relacionamento linear entre as variáveis x e y de um banco de dados;
- Analisar se o grau de relacionamento linear entre as variáveis é forte ou fraco, conforme o comportamento da reta imaginária resultante da combinação do pontos definidos.

O grau de relacionamento linear entre as variáveis x e y , na análise de regressão simples, é nomeado de coeficiente de correlação simples, o qual fornece qualitativamente o grau de confiança depositada na equação de regressão.

Em outras palavras, o coeficiente de correlação simples apresenta o quanto o comportamento dos dados gerados pela variável resposta y são justificados através da variável preditora x , em uma determinada reta.

Se o valor do coeficiente de correlação simples apresenta um valor próximo de 1, significa que grande parte da variação de y é explicada por x , concluindo-se que o modelo fornecido pela reta é adequado ao processo medido. Mas caso este valor for mais próximo de 0, pode-se concluir que a proporção da variação de y não é explicada por x , portanto o modelo fornecido pela reta não é adequado ao processo medido, invalidando a correlação entre x e y . No caso dessa última análise, seria necessária aplicação de outros métodos, como a análise de correlação múltipla.

2.8 O Processo de Sinterização

Sinterização é o processo que consiste, essencialmente, em após misturar e homogeneizar um conjunto de matérias-primas, com uma umidade adequada e um certo teor de combustíveis, submeter a mistura a uma semifusão redutora-oxidante a temperaturas da ordem de 1.200 a 1.400°C (MACHADO, 2006).

O processo de Sinterização possui como objetivo principal a retirada do enxofre e da umidade incorporados no minério explorado e beneficiado através de altas temperaturas. O processo completo possui seis etapas, nas quais quatro são necessárias para preparar o minério beneficiado antes do início da Sinterização e uma para realizar a classificação final do produto sinterizado. As etapas são:

Etapa 1 - Espessamento: nesta etapa o minério beneficiado é armazenado em um equipamento nomeado de espessador (FIG. 5) que possui como objetivo a separação de sólidos suspensos através de um processo de sedimentação. O espessamento do minério beneficiado é utilizado para aumentar a concentração de sólidos de polpas até valores convenientes para o bombeamento do minério para a etapa de filtração.

FIGURA 5 - Tanque espessador de minério.



Fonte: VLC Filtragem e Sedimentação (2018).

Etapa 2 - Filtragem: após o processo de espessamento do minério, a próxima etapa do processo de Sinterização é a etapa de Filtragem, que possui como objetivo a redução e o controle da umidade do minério a ser enviado para próxima etapa do processo. A separação do minério sólido da água é realizada por intermédio do equipamento filtro a disco (FIG. 6) que, para tanto, utiliza o processo a vácuo.

FIGURA 6 - Filtro de disco a vácuo.



Fonte: Empresa Processo Industrial (2018).

Etapa 3 - Mistura: Nesta etapa os insumos necessários para a realização da Sinterização são adicionados ao minério cuja umidade já está controlada. Para auxiliar na ignição do minério é adicionado um insumo que possua carbono na sua composição, podendo ser utilizado o coque de petróleo. Para o aumento da superfície de contato do ar quente com o minério é adicionado um insumo que possui a função de aglomerante para a realização da pelotização do minério. Assim

como o coque de petróleo, existem vários tipos de insumos no mercado passíveis de serem utilizados no processo de Sinterização. O tipo de insumo a ser utilizado irá depender do custo, do desempenho e das características químicas desejadas para o produto final.

Etapa 4 - Pelotamento: é nessa etapa em que a superfície de contato do minério incorporado com os insumos é aumentada através da formação de pelotas. Nesta etapa são utilizados pratos pelotadores (FIG. 7) que são equipamentos que aglomeram o minério, controlando a granulometria através da rotação, inclinação e adição de água.

FIGURA 7 - Pratos pelotadores de minério.



Fonte: Haver & Boecker Latinoamericana (2018).

Etapa 5 - Sinterização e Lavagem de Gases: Posteriormente à etapa de pelotização, as pelotas de minério com insumos incorporados serão sinterizadas em um forno industrial, ou no termo técnico, em um forno sinterizador. O forno sinterizador (FIG. 8) é utilizado para alcançar a temperatura necessária para que o minério atinja as propriedades físicas desejadas do produto final.

O forno sinterizador pode utilizar como ignitor o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), que juntamente com faíscas liberadas pelo equipamento nomeado de Queimador, entra em ignição, aumentando a temperatura no interior do forno. Com a temperatura elevada, o carbono incorporado no insumo coque de petróleo reage liberando calor suficiente para fundir o minério, formando pelotas de minério sinterizado.

Primeiramente, a ignição inicia-se nas extremidades, e, logo após, no primeiro estágio, o ar injetado por ventiladores centrífugos realiza o arraste do calor provocado pela ignição. Esta propagação do ar prossegue gradativamente ao longo do leito das pelotas, formando uma frente de combustão, que escoar depois de queimar primeiramente em cima, até esgotar o carbono incorporado nas pelotas, prosseguindo mais para baixo, e assim sucessivamente, até se completar o ciclo de Sinterização em todo o forno sinterizador.

O ar frio, ao ser injetado por baixo do leito é aquecido pela combustão da camada de coque e fornece calor suficiente para sinterizar as camadas seguintes. Quanto maior a temperatura de Sinterização e mais longo o tempo de residência da mistura em combustão, maior será a Sinterização das pelotas e, conseqüentemente, maior será a produtividade do processo.

Simultaneamente à queima das pelotas de minério, os gases formados na etapa de Sinterização são “lavados” utilizando produtos químicos específicos que reagem com o enxofre proveniente do minério, descartando-os na forma líquida para as barragens de rejeito.

FIGURA 8 - Forno Outotec para processos de Sinterização.



Fonte: Outotec Steel Belt Sintering Plant (2018).

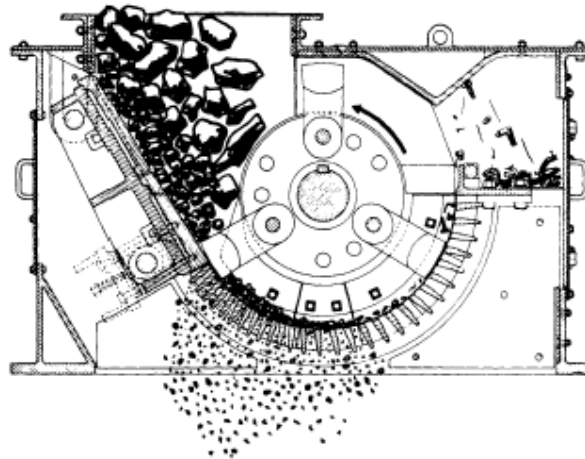
Etapa 6 - Britagem e Classificação: Uma vez realizada a Sinterização do minério, os blocos de pelotas formados são britados através de britadores hidrocônicos (FIG. 9) e/ou de britadores de mandíbulas (FIG. 10). Após a realização da separação, as pelotas sinterizadas serão classificadas na granulometria especificada pelo cliente, através de peneiras granulométricas (FIG. 11).

FIGURA 9 - Britador hidrocônico.



Fonte: Brasil Mineral (2018).

FIGURA 10 - Esquema representativo de um britador de mandíbulas.



Fonte: Frank e Sustentabilidade (2018).

FIGURA 11 - Peneira vibratória granulométrica.



Fonte: Soluções Industriais (2018).

3 METODOLOGIA

3.1 Metodologia utilizada no trabalho

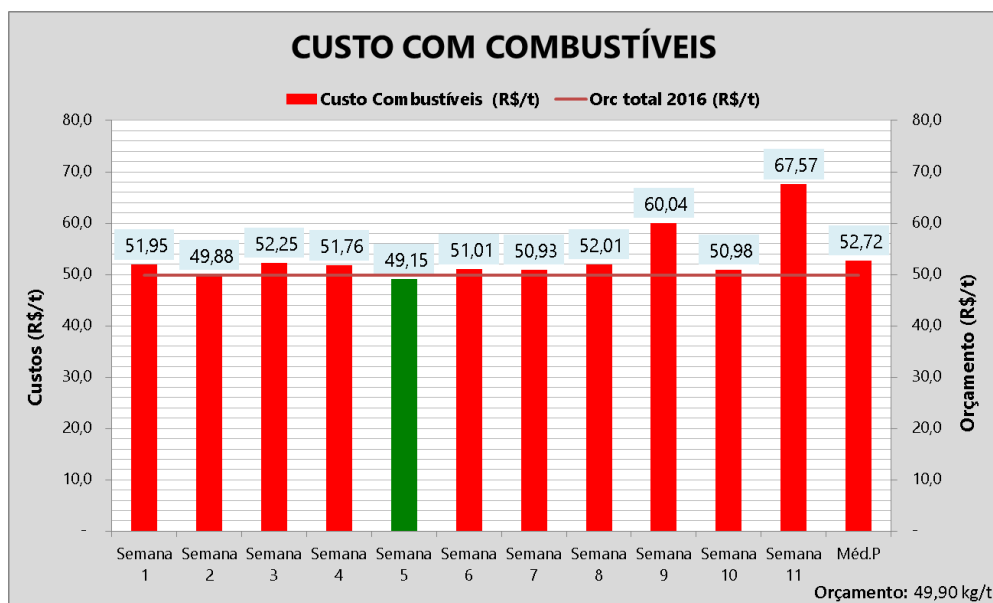
A autora coloca-se numa posição Green Belt para esse trabalho. Para tanto, utiliza da metodologia proposta pelo DMAIC. O objetivo do projeto é reduzir o consumo de coque de petróleo e de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) utilizados num processo de Sinterização. O consumo desses insumos no ano de 2016 estavam acima do orçamento proposto no ano e, em consequência, gerava o aumento do custo de transformação do minério sinterizado. Na tentativa de solucionar esse problema foi implementado o Programa Seis Sigma no processo de Sinterização visando à redução do custo de transformação do minério, buscando as causas raízes dos problemas causadores dos desvios e propondo ações para bloqueá-las.

Para efeito de manutenção de sigilo, foram utilizados multiplicadores nos valores de custos e consumos específicos apresentados na metodologia e nos resultados.

3.1.1 DEFINE

A partir do banco de dados do custo com combustíveis do processo de Sinterização no ano de 2016, conforme FIG. 12, definiu-se o problema.

FIGURA 12 - Custos com combustíveis no processo de Sinterização.



Fonte: Autoria própria.

Conforme demonstrado na FIG. 12, a média ponderada do custo com combustíveis consumidos no processo de Sinterização no ano de 2016 é de 52,72 R\$/t¹, que representa +5,7% do orçamento proposto para o ano, 49,90 R\$/t. A partir dessa análise, foi definido o indicador, metodologicamente nomeado de Item de Controle (IC), que foi utilizado para demonstrar o comportamento dos resultados de consumo dos combustíveis obtidos ao longo do desenvolvimento do projeto.

Utilizando os valores realizados no ano de 2016, a meta foi calculada utilizando a análise de lacuna, na qual é definida um percentual de captura da diferença entre a média dos valores analisados com o melhor valor do período, (benchmarking), obtendo assim a meta principal do projeto: Reduzir o custo com combustíveis de 52,72 R\$/t para 49,22 R\$/t até dezembro de 2017.

Uma vez conhecido o patamar inicial do custo com combustíveis e o valor proposto a ser atingido, torna-se possível o cálculo do ganhos financeiro estimado do projeto, conforme demonstrado na TAB. 3.

¹ Para efeito de manutenção de sigilo, foram utilizados multiplicadores nos valores apresentados na metodologia e nos resultados.

TABELA 3 - Cálculo financeiro do Projeto.

Combustível	Média	Meta	Economia	Economia		
Coque (kg/t)	24,05	22,29	1,76	R\$	153.894	
GLP (kg/t)	14,88	13,95	0,93	R\$	228.710	
			Total	R\$	382.605	*Ganho projetado no ano
Combustível	Mês	Meta escalonada	Referência	Ganho (kg/t)		Ganho R\$
Coque	1	24,05	24,05	-	R\$	-
Coque	2	24,05	24,05	-	R\$	-
Coque	3	24,05	24,05	-	R\$	-
Coque	4	23,73	24,05	0,32	R\$	2.744
Coque	5	23,01	24,05	1,04	R\$	7.908
Coque	6	22,29	24,05	1,76	R\$	13.380
Coque	7	22,29	24,05	1,76	R\$	15.211
Coque	8	22,29	24,05	1,76	R\$	10.704
Coque	9	22,29	24,05	1,76	R\$	16.197
Coque	10	22,29	24,05	1,76	R\$	15.493
Coque	11	22,29	24,05	1,76	R\$	14.225
Coque	12	22,29	24,05	1,76	R\$	3.099
GLP	1	14,88	14,88	-	R\$	-
GLP	2	14,88	14,88	-	R\$	-
GLP	3	14,88	14,88	-	R\$	-
GLP	4	14,67	14,88	0,21	R\$	5.025
GLP	5	14,30	14,88	0,58	R\$	12.381
GLP	6	13,95	14,88	0,93	R\$	19.872
GLP	7	13,95	14,88	0,93	R\$	22.592
GLP	8	13,95	14,88	0,93	R\$	15.898
GLP	9	13,95	14,88	0,93	R\$	24.056
GLP	10	13,95	14,88	0,93	R\$	23.010
GLP	11	13,95	14,88	0,93	R\$	21.127
GLP	12	13,95	14,88	0,93	R\$	4.602
					R\$	247.524

Notas:

**Ganho no período estipulado do projeto

* Ganho calculado com base na redução do consumo e no plano de produção do ano.

** Ganho calculado considerando o atingimento da meta proposta após a execução das ações propostas.

Fonte: Autoria própria.

Após as definições iniciais do projeto, foi elaborado o SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers*) - em tradução livre : Fornecedores, Insumos, Processos, Produtos e Consumidores. O SIPOC possui como objetivo o mapeamento dos processos envolvidos, facilitando a visualização das etapas que serão envolvidas no escopo do projeto, conforme FIG. 13.

FIGURA 13 - SIPOC do processo de Sinterização.

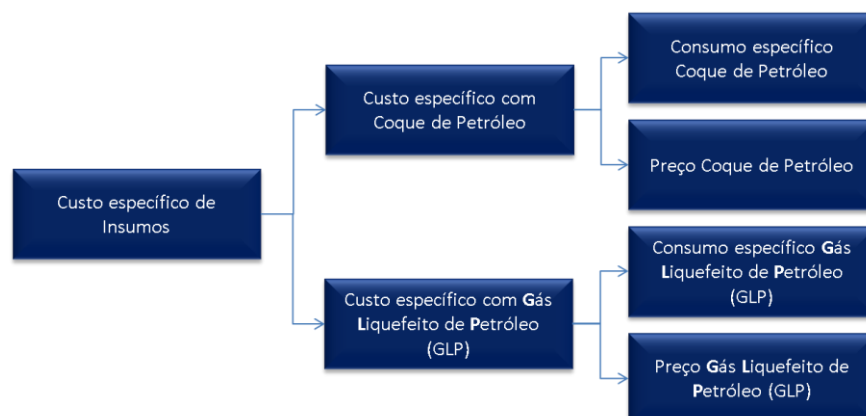
Fornecedores Suppliers	Insumos Inputs	Processos Process	Produtos Outputs	Consumidores Customers
Departamento de Beneficiamento	Minério Beneficiado	Bombeamento	Minério Beneficado Bombeado	Desaguamento
Desaguamento	Minério Beneficado Bombeado	Espessamento	Minério Beneficado com Densidade Controlada	Filtragem
Filtragem	Minério Beneficado com Densidade Controlada	Filtragem	Minério Beneficado Filtrado	Mistura e Pelotamento
Almoxarifado	Coque de Petróleo, Melão e GLP	Homogeneização do Minério com os Insumos	Minério Beneficado Filtrado, Coque de Petróleo, Melão e Água	Mistura e Pelotamento
Mistura e Pelotamento	Minério Beneficado Filtrado, Coque de Petróleo, Melão e Água	Pelotização do Minério Homogeneizado com os Insumos	Pelotas Verdes Classificadas	Queima e Lavagem de Gases
Queima e Lavagem	Pelotas Verdes Classificadas e GLP	Sinterização das Pelotas Verdes e Lavagem dos Gases da Combustão	Pelotas Sinterizadas	Britagem e Despoeiramento
Britagem e Despoeiramento	Pelotas Sinterizadas	Britagem e Classificação das Pelotas e Filtragem das Partículas geradas	Pelotas Sinterizadas Classificadas	Próxima etapa de Transformação das Pelotas Verdes

Fonte: Autoria própria.

3.1.2 MEASURE:

Com o objetivo de obter mais conhecimento sobre o comportamento dos dados de alto custo com combustíveis, foi realizada a estratificação do item de controle IC (Custos com insumos): Custos com Combustíveis realizados ao longo do período definido. A estratificação do indicador deu-se da seguinte forma:

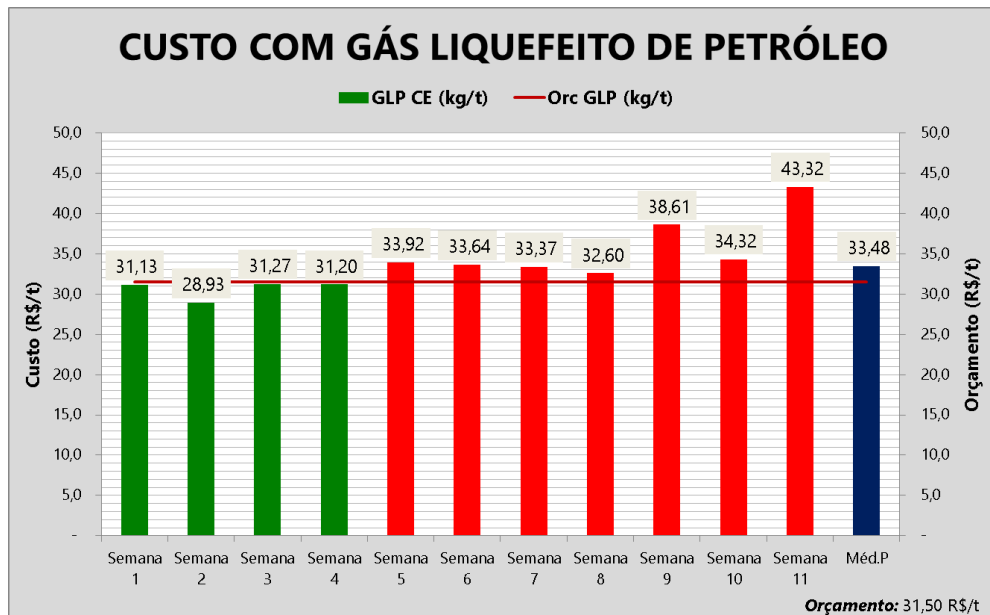
FIGURA 14 - Estratificação do item de controle Custos com Insumos.



Fonte: Autoria própria.

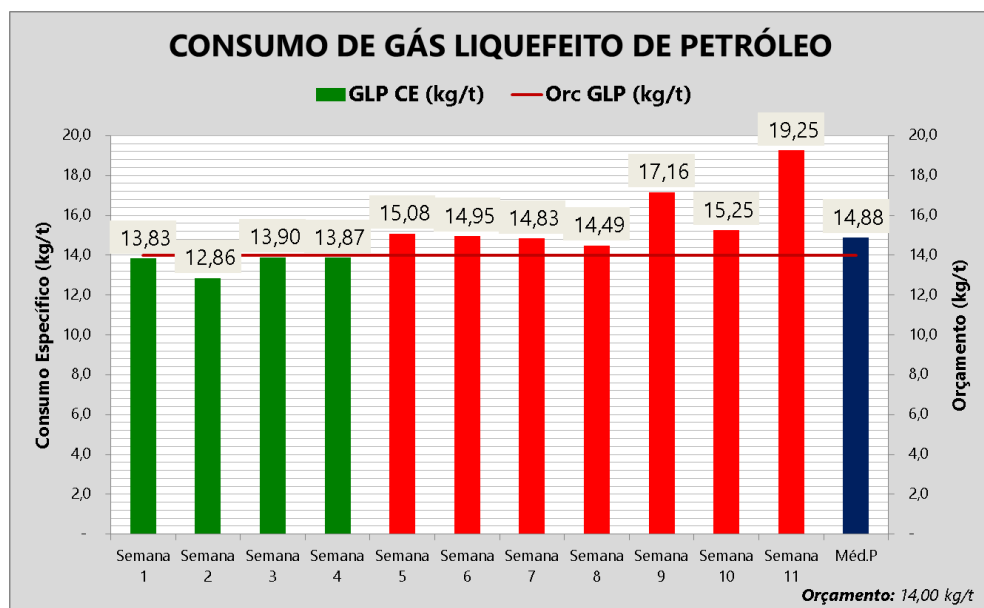
A estratificação realizada ilustra o comportamento do problema maior em problemas menores, assim foi possível realizar a análise dos custos e consumos individuais dos combustíveis utilizados no processo de Sinterização, o Gás Liquefeito de Petróleo e o Coque de Petróleo. A partir desta estratificação foram obtidos gráficos dos custos e consumos conforme ilustrado nas FIG. 15 a 18, foi a definição dos itens de controle desdobrados (ICD) do item de controle (IC).

FIGURA 15 - Custo com gás liquefeito de petróleo.



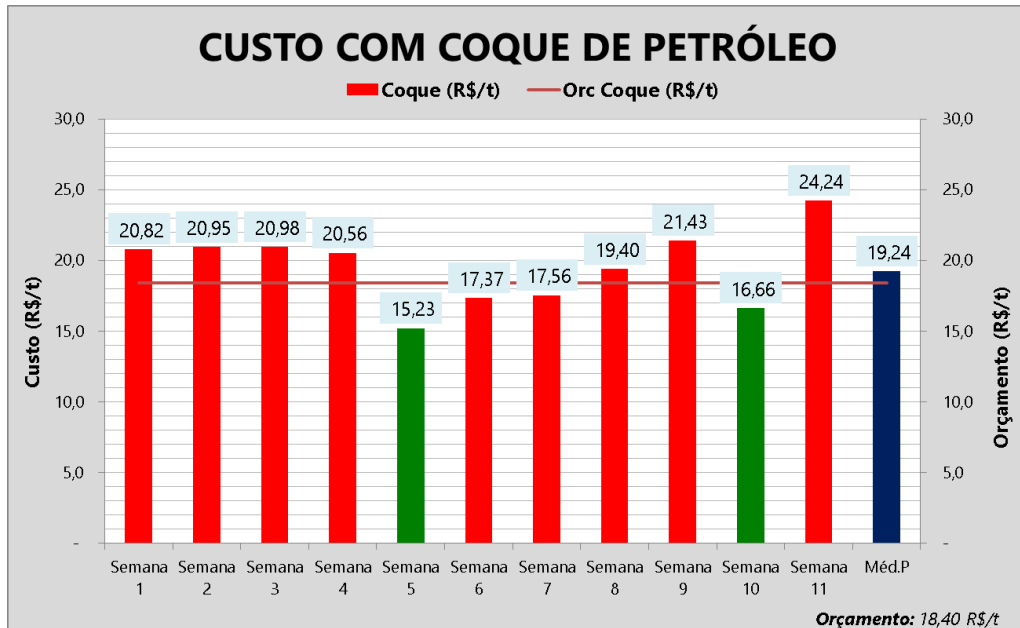
Fonte: Autoria própria.

FIGURA 16 - Consumo de gás liquefeito de petróleo.



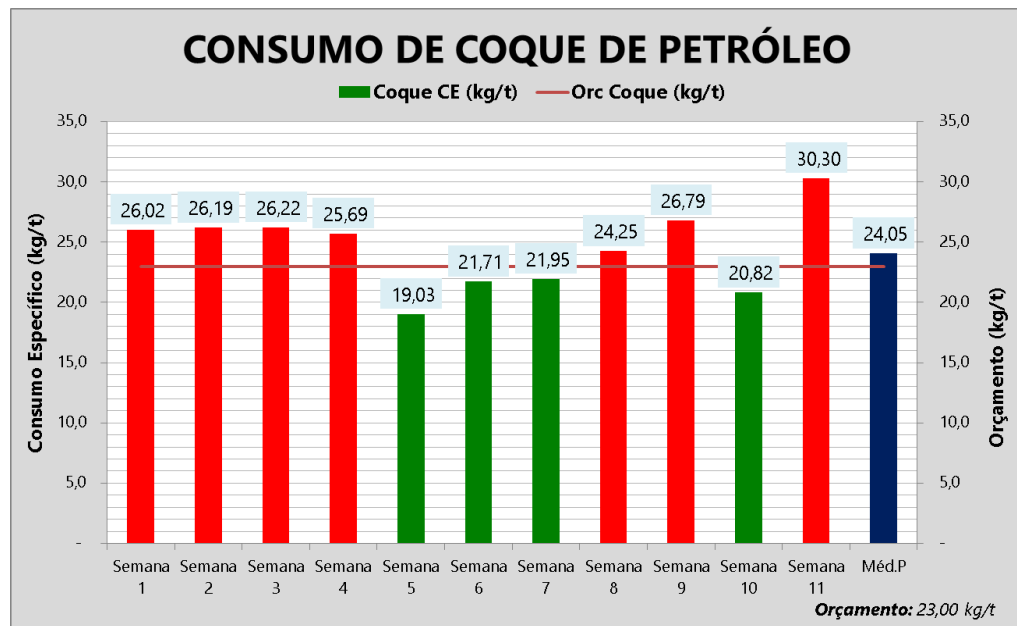
Fonte: Autoria própria.

FIGURA 17 - Custo com coque de petróleo.



Fonte: Autoria própria.

FIGURA 18 - Consumo de coque de petróleo.



Fonte: Autoria própria.

Considerando oscilações dos preços de mercado dos combustíveis, definiu-se que para os cálculos do ganho financeiro real, seriam utilizados os valores do orçamento definido para o ano em que o projeto foi desenvolvido.

A partir da análise dos dados dos consumos específicos individuais destes insumos os consumos específicos do GLP e do Coque foram definidos como Itens de Controle Desdobrados do projeto e, logo após, foi realizada a análise lacuna, para a definição das metas para cada ICD:

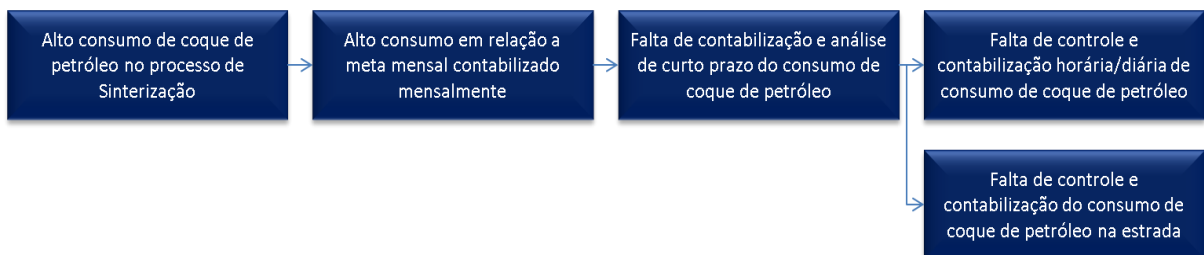
1. Consumo mensal de GLP (kg/t produzida); Meta: Reduzir o consumo específico de insumos de 14,88 kg/tonelada produzida para 13,95 kg/tonelada produzida até o final de dezembro de 2017.

2. Consumo mensal de Coque (kg/t); Meta: Reduzir o consumo específico de coque de petróleo de 24,05 kg/tonelada produzida para 22,29 kg/tonelada produzida até o final de dezembro de 2017.

3.1.3 ANALYSE

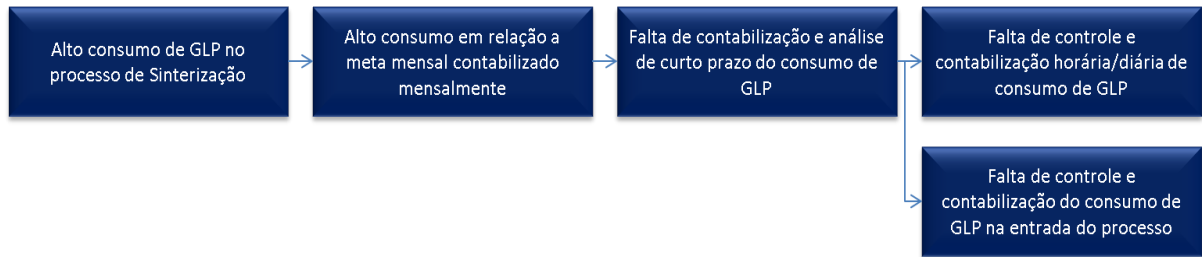
Após a realização das duas primeiras etapas do DMAIC, foi realizado o brainstorming para identificação das possíveis causas do aumento do consumo de Coque e de GLP. Com a auxílio da ferramenta 5 por quês, que possui como objetivo a identificação das causas fundamentais, foram identificadas 30 causas que influenciam no auto custo com os combustíveis. As FIG. 19 e 20, ilustram a duas análises de causas fundamentais realizadas com o auxílio da ferramenta 5 por quês:

FIGURA 19 - Coque - Uma das causas analisadas com a ferramenta dos 5 por quês.



Fonte: Autoria própria.

FIGURA 20 - GLP - Uma das causas analisadas com a ferramenta dos 5 por quês.



Fonte: Autoria Própria.

Logo após a identificação das causas fundamentais, foi utilizada a matriz de priorização de causas - Gravidade, Urgência e Tendência (GUT), com os critérios ilustrados na FIG. 21. Das 30 causas fundamentais identificadas, 27 foram priorizadas.

FIGURA 21 - Matriz GUT utilizada na priorização da causa fundamental.

G GRAVIDADE	U URGÊNCIA	T TENDÊNCIA
5 = extremamente grave	5 = precisa de ação imediata	5 = irá piorar rapidamente se nada for feito
4 = muito grave	4 = é urgente	4 = irá piorar em pouco tempo se nada for feito
3 = grave	3 = o mais rápido possível	3 = irá piorar
2 = pouco grave	2 = pouco urgente	2 = irá piorar a longo prazo
1 = sem gravidade	1 = pode esperar	1 = Não irá mudar

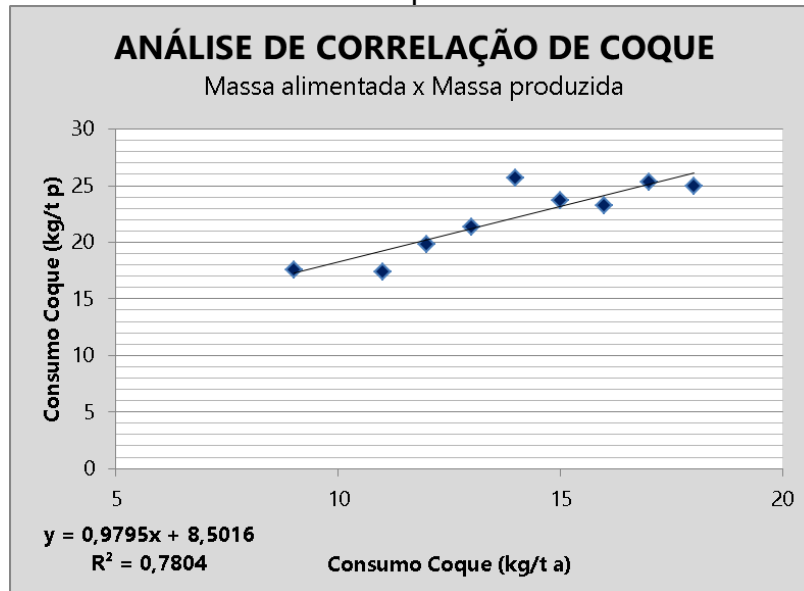
Fonte: Portal do Hiperador (2018).

Uma vez as causas priorizadas, foi necessário a realização da comprovação para verificar a relação de causa e efeito entre elas. No caso das causas ilustradas pelas FIG. 19 e 20, foi utilizada a regressão linear simples na tentativa de verificar se a medição do consumo específico de coque de petróleo e GLP na entrada do processo do possui alto grau de correlação entre o consumo destes insumos medidos no final do mesmo.

Para realizar a medição, tomou-se os valores de consumo específico de coque de petróleo e GLP medidos na saída do processo, como as variáveis respostas, as ordenadas (eixo Y) do processo, e os valores de consumo específico

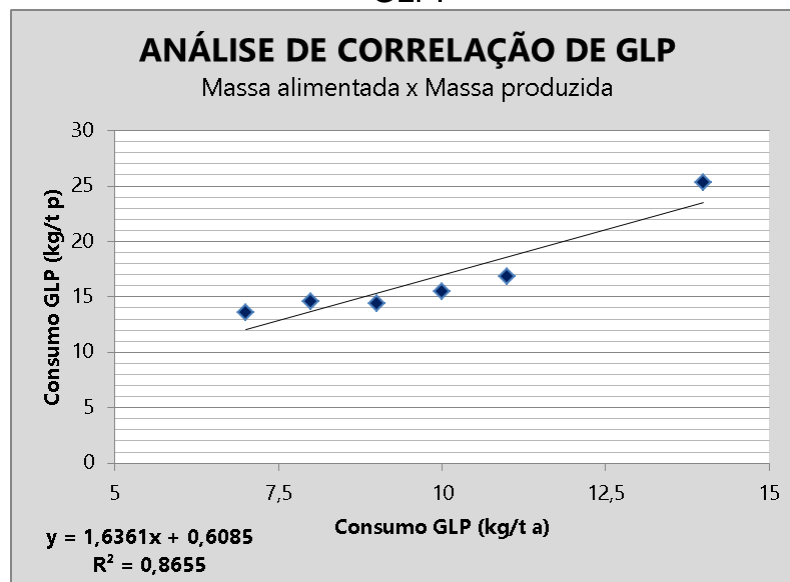
medidos na alimentação pela massa de minério alimentada, como as variáveis preditoras, ou sejam, as abcissas (eixo X) do processo, conforme as FIG. 22 e 23.

FIGURA 22 - Regressão linear utilizada na comprovação da causa do consumo de coque.



Fonte: Autoria própria.

FIGURA 23 - Regressão linear utilizada na comprovação da causa do consumo de GLP.



Fonte: Autoria própria.

Após a comprovação das causas, foi elaborado o plano de ação com 84 ações estabelecidas a partir das causas fundamentais identificadas, conforme exemplificado na FIG. 20 apresentada anteriormente.

FIGURA 24 - Exemplo de ação definida para a solução do problema.

Causa Fundamental	Ação	Etapas
Falta de controle da contabilização horária/diária de consumo de GLP por turma	Criar contabilização horária de consumo de GLP no AMPLA e adotar a sistemática de tratamento de anomalia para dados fora da meta	Definir metas de consumo
		Emitir nota de manutenção para criar contabilização dos consumos software
		Criar sistemática de acompanhamento dos resultados
		Criar sistemática de tratamento de anomalias

Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos utilizando a ferramenta DMAIC são apresentados nas TAB. 4, 5, 6 e 7.


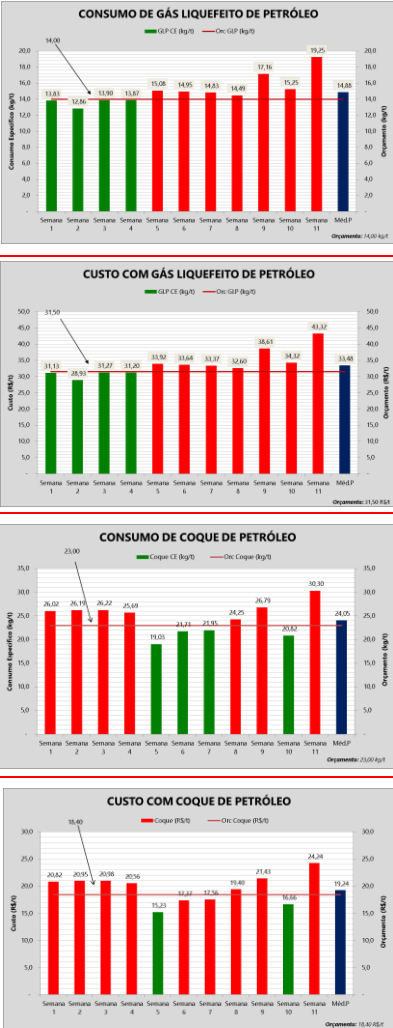
Elas consolidam a utilização das diversas ferramentas e, de forma sistemática, levam a avaliações mais aprofundadas com o objetivo de resolver a causa raiz.

TABELA 4 - Resultados da etapa Define.

Etapa	Descrição	Ferramentas utilizadas	Resultados Obtidos																																																																																											
D (Define - Definir)	Definição do problema	Banco de dados (Excel)	<p>Auto custo com combustíveis em um processo de sinterização</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Semana</th> <th>Coque CE (kg/t)</th> <th>GLP CE (kg/t)</th> <th>Coque (R\$/t)</th> <th>GLP (R\$/t)</th> <th>Custo Total (R\$)</th> <th>Custo Total (R\$/t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Semana 1</td><td>26,02</td><td>13,83</td><td>20,82</td><td>31,13</td><td>R\$ 97.241</td><td>51,95</td></tr> <tr><td>Semana 2</td><td>26,19</td><td>12,86</td><td>20,95</td><td>28,93</td><td>R\$ 91.585</td><td>49,88</td></tr> <tr><td>Semana 3</td><td>26,22</td><td>13,90</td><td>20,98</td><td>31,27</td><td>R\$ 104.819</td><td>52,25</td></tr> <tr><td>Semana 4</td><td>25,69</td><td>13,87</td><td>20,56</td><td>31,20</td><td>R\$ 123.235</td><td>51,76</td></tr> <tr><td>Semana 5</td><td>19,03</td><td>15,08</td><td>15,23</td><td>33,92</td><td>R\$ 107.241</td><td>49,15</td></tr> <tr><td>Semana 6</td><td>21,71</td><td>14,95</td><td>17,37</td><td>33,64</td><td>R\$ 95.139</td><td>51,01</td></tr> <tr><td>Semana 7</td><td>21,95</td><td>14,83</td><td>17,56</td><td>33,37</td><td>R\$ 113.888</td><td>50,93</td></tr> <tr><td>Semana 8</td><td>24,25</td><td>14,49</td><td>19,40</td><td>32,60</td><td>R\$ 128.662</td><td>52,01</td></tr> <tr><td>Semana 9</td><td>26,79</td><td>17,16</td><td>21,43</td><td>38,61</td><td>R\$ 134.010</td><td>60,04</td></tr> <tr><td>Semana 10</td><td>20,82</td><td>15,25</td><td>16,66</td><td>34,32</td><td>R\$ 138.760</td><td>50,98</td></tr> <tr><td>Semana 11</td><td>30,30</td><td>19,25</td><td>24,24</td><td>43,32</td><td>R\$ 68.097</td><td>67,57</td></tr> <tr><td>Total</td><td>24,05</td><td>14,88</td><td>19,24</td><td>33,48</td><td>R\$ 1.202.677</td><td>52,72</td></tr> </tbody> </table>	Semana	Coque CE (kg/t)	GLP CE (kg/t)	Coque (R\$/t)	GLP (R\$/t)	Custo Total (R\$)	Custo Total (R\$/t)	Semana 1	26,02	13,83	20,82	31,13	R\$ 97.241	51,95	Semana 2	26,19	12,86	20,95	28,93	R\$ 91.585	49,88	Semana 3	26,22	13,90	20,98	31,27	R\$ 104.819	52,25	Semana 4	25,69	13,87	20,56	31,20	R\$ 123.235	51,76	Semana 5	19,03	15,08	15,23	33,92	R\$ 107.241	49,15	Semana 6	21,71	14,95	17,37	33,64	R\$ 95.139	51,01	Semana 7	21,95	14,83	17,56	33,37	R\$ 113.888	50,93	Semana 8	24,25	14,49	19,40	32,60	R\$ 128.662	52,01	Semana 9	26,79	17,16	21,43	38,61	R\$ 134.010	60,04	Semana 10	20,82	15,25	16,66	34,32	R\$ 138.760	50,98	Semana 11	30,30	19,25	24,24	43,32	R\$ 68.097	67,57	Total	24,05	14,88	19,24	33,48	R\$ 1.202.677	52,72
	Semana	Coque CE (kg/t)	GLP CE (kg/t)	Coque (R\$/t)	GLP (R\$/t)	Custo Total (R\$)	Custo Total (R\$/t)																																																																																							
	Semana 1	26,02	13,83	20,82	31,13	R\$ 97.241	51,95																																																																																							
	Semana 2	26,19	12,86	20,95	28,93	R\$ 91.585	49,88																																																																																							
	Semana 3	26,22	13,90	20,98	31,27	R\$ 104.819	52,25																																																																																							
Semana 4	25,69	13,87	20,56	31,20	R\$ 123.235	51,76																																																																																								
Semana 5	19,03	15,08	15,23	33,92	R\$ 107.241	49,15																																																																																								
Semana 6	21,71	14,95	17,37	33,64	R\$ 95.139	51,01																																																																																								
Semana 7	21,95	14,83	17,56	33,37	R\$ 113.888	50,93																																																																																								
Semana 8	24,25	14,49	19,40	32,60	R\$ 128.662	52,01																																																																																								
Semana 9	26,79	17,16	21,43	38,61	R\$ 134.010	60,04																																																																																								
Semana 10	20,82	15,25	16,66	34,32	R\$ 138.760	50,98																																																																																								
Semana 11	30,30	19,25	24,24	43,32	R\$ 68.097	67,57																																																																																								
Total	24,05	14,88	19,24	33,48	R\$ 1.202.677	52,72																																																																																								
Definição do indicador (IC - Item de Controle)	Estratificação através de gráfico de pareto		<p>Gráfico de pareto</p>																																																																																											
Definição da meta do projeto	Análise de Lacuna		Reduzir o custo com combustíveis de 52,72 R\$/t para 51,26 R\$/t até 2017.																																																																																											
Definição dos ganhos potenciais do projeto	Estimativa de custo		Ganho estimado de R\$248 mil; conforme tabela 3.																																																																																											
Elaboração SIPOC	Estruturado em excel		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fornecedores Suppliers</th> <th>Insumos Inputs</th> <th>Processo Process</th> <th>Produtos Outputs</th> <th>Consumidores Customers</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Departamento de Beneficiamento</td> <td>Minério Beneficiado</td> <td>Bombeamento</td> <td>Minério Beneficiado Bombeado</td> <td>Desaguamento</td> </tr> <tr> <td>Desaguamento</td> <td>Minério Beneficiado Bombeado</td> <td>Espessamento</td> <td>Minério Beneficiado com Densidade Controlada</td> <td>Filtragem</td> </tr> <tr> <td>Filtragem</td> <td>Minério Beneficiado com Densidade Controlada</td> <td>Filtragem</td> <td>Minério Beneficiado Filtrado</td> <td>Mistura e Pelotamento</td> </tr> <tr> <td>Almoxarifado</td> <td>Coque de Petróleo, Melaço e GLP</td> <td>Homogeneização do Minério com os Insumos</td> <td>Minério Beneficiado Filtrado, Coque de Petróleo, Melaço e Água</td> <td>Mistura e Pelotamento</td> </tr> <tr> <td>Mistura e Pelotamento</td> <td>Minério Beneficiado Filtrado, Coque de Petróleo, Melaço e Água</td> <td>Pelotização do Minério Homogeneizado com os Insumos</td> <td>Pelotas Verdes Classificadas</td> <td>Queima e Lavagem de Gases</td> </tr> <tr> <td>Queima e Lavagem</td> <td>Pelotas Verdes Classificadas e GLP</td> <td>Sinterização das Pelotas Verdes e Lavagem dos Gases da Combustão</td> <td>Pelotas Sinterizadas</td> <td>Britagem e Despoejamento</td> </tr> <tr> <td>Britagem e Despoejamento</td> <td>Pelotas Sinterizadas</td> <td>Britagem e Classificação das Pelotas e Filtragem das Partículas geradas</td> <td>Pelotas Sinterizadas Classificadas</td> <td>Próxima etapa de Transformação das Pelotas Verdes</td> </tr> </tbody> </table>	Fornecedores Suppliers	Insumos Inputs	Processo Process	Produtos Outputs	Consumidores Customers	Departamento de Beneficiamento	Minério Beneficiado	Bombeamento	Minério Beneficiado Bombeado	Desaguamento	Desaguamento	Minério Beneficiado Bombeado	Espessamento	Minério Beneficiado com Densidade Controlada	Filtragem	Filtragem	Minério Beneficiado com Densidade Controlada	Filtragem	Minério Beneficiado Filtrado	Mistura e Pelotamento	Almoxarifado	Coque de Petróleo, Melaço e GLP	Homogeneização do Minério com os Insumos	Minério Beneficiado Filtrado, Coque de Petróleo, Melaço e Água	Mistura e Pelotamento	Mistura e Pelotamento	Minério Beneficiado Filtrado, Coque de Petróleo, Melaço e Água	Pelotização do Minério Homogeneizado com os Insumos	Pelotas Verdes Classificadas	Queima e Lavagem de Gases	Queima e Lavagem	Pelotas Verdes Classificadas e GLP	Sinterização das Pelotas Verdes e Lavagem dos Gases da Combustão	Pelotas Sinterizadas	Britagem e Despoejamento	Britagem e Despoejamento	Pelotas Sinterizadas	Britagem e Classificação das Pelotas e Filtragem das Partículas geradas	Pelotas Sinterizadas Classificadas	Próxima etapa de Transformação das Pelotas Verdes																																																			
Fornecedores Suppliers	Insumos Inputs	Processo Process	Produtos Outputs	Consumidores Customers																																																																																										
Departamento de Beneficiamento	Minério Beneficiado	Bombeamento	Minério Beneficiado Bombeado	Desaguamento																																																																																										
Desaguamento	Minério Beneficiado Bombeado	Espessamento	Minério Beneficiado com Densidade Controlada	Filtragem																																																																																										
Filtragem	Minério Beneficiado com Densidade Controlada	Filtragem	Minério Beneficiado Filtrado	Mistura e Pelotamento																																																																																										
Almoxarifado	Coque de Petróleo, Melaço e GLP	Homogeneização do Minério com os Insumos	Minério Beneficiado Filtrado, Coque de Petróleo, Melaço e Água	Mistura e Pelotamento																																																																																										
Mistura e Pelotamento	Minério Beneficiado Filtrado, Coque de Petróleo, Melaço e Água	Pelotização do Minério Homogeneizado com os Insumos	Pelotas Verdes Classificadas	Queima e Lavagem de Gases																																																																																										
Queima e Lavagem	Pelotas Verdes Classificadas e GLP	Sinterização das Pelotas Verdes e Lavagem dos Gases da Combustão	Pelotas Sinterizadas	Britagem e Despoejamento																																																																																										
Britagem e Despoejamento	Pelotas Sinterizadas	Britagem e Classificação das Pelotas e Filtragem das Partículas geradas	Pelotas Sinterizadas Classificadas	Próxima etapa de Transformação das Pelotas Verdes																																																																																										

Fonte: Autoria Própria.

TABELA 5 - Resultados da etapa Measure.

Etapa	Descrição	Ferramentas utilizadas	Resultados Obtidos
<p>M (Measure - Medir)</p>	<p>Elaboração da árvore de estratificação</p>	<p>Estratificação através do método de árvore</p>	
	<p>Comportamento dos focos definidos</p>	<p>Estratificação através de gráfico de pareto</p>	
	<p>Definição das metas específicas para cada um dos focos</p>	<p>Análise de Lacuna</p>	<p>1. Consumo mensal de GLP (kg/t produzida); Meta: Reduzir o consumo específico de insumos de 14,88 kg/tonelada produzida para 13,95 kg/tonelada produzida até o final de dezembro.</p> <p>2. Reduzir o consumo específico de coque de petróleo de 24,05 kg/tonelada produzida para 22,29 kg/tonelada produzida até o final de dezembro.</p>

Fonte: Autoria própria.

TABELA 6 - Resultados da etapa Analyse.

Etapa	Descrição	Ferramentas utilizadas	Resultados Obtidos
	Definição das causas fundamentais	5 por quês	
	Comprovações das causas fundamentais	Análise de regressão linear	

Fonte: Autoria própria.

TABELA 7 - Resultados da etapa Improve.

			Causa Fundamental	Ação	Etapas
I (Improve - Melhorar)	Elaboração do plano de ação	Estruturado em excel	Falta de controle da contabilização horária/diária de consumo de GLP por turma	Criar contabilização horária de consumo de GLP no AMPLA e adotar a sistemática de tratamento de anomalia para dados fora da meta	Definir metas de consumo Criar nota de manutenção para criar contabilização dos consumos software Criar sistemática de acompanhamento dos resultados Criar sistemática de tratamento de anomalias

Fonte: Autoria própria.

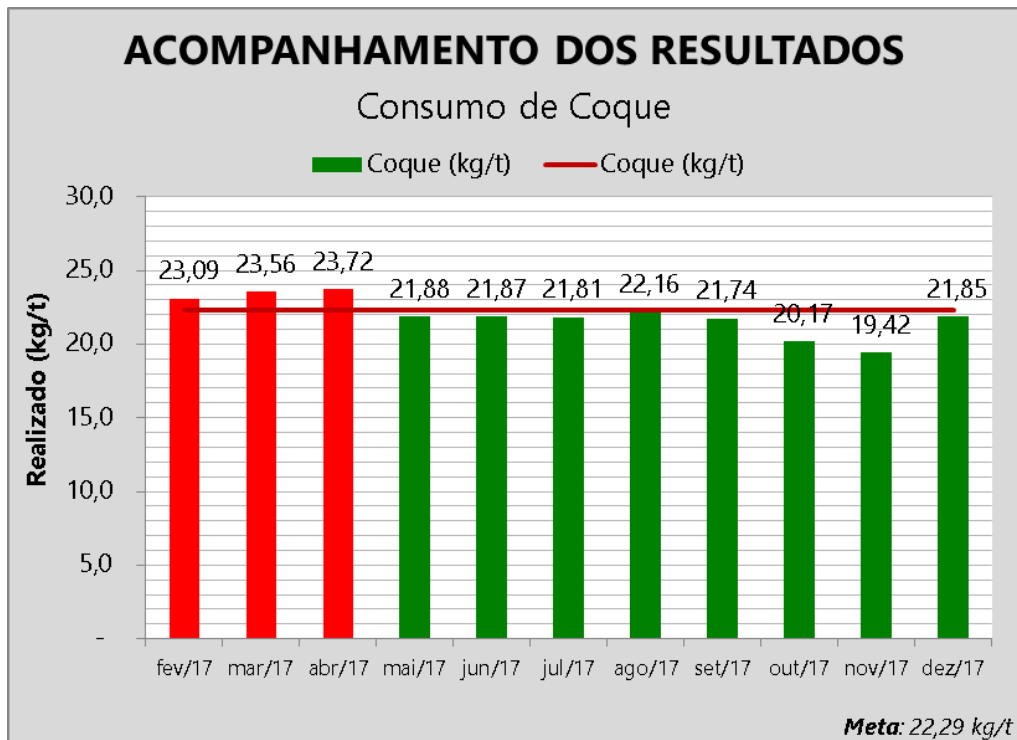
Um das ações tomadas no projeto de redução de custos com combustíveis, apresentada na FIG. 20, foi a implementação do acompanhamento do consumo específico de insumos alimentados na entrada do processo. Teoricamente, a medição do consumo específico medido com a massa de minério inserida no início do projeto deveria ser na mesma proporção em comparação com o consumo específico medido com a massa produzida. Devido as várias perdas existentes ao longo do processo de Sinterização, esta teoria se torna inválida.

Partindo da premissa de existência de perdas ao longo do processo, optou-se pela a análise regressão linear para verificar e avaliar o grau de correlação

entre a variável x, consumo específico na alimentação do processo (kg/t a), e o consumo específico na saída do processo (kg/t p), variável resposta y. Conforme demonstrado na FIG. 18 e 19, o coeficiente de determinação, R^2 , em ambos os casos apresentam um resultado acima de 75%, donde se conclui que é possível explicar o comportamento da variável y (consumo específico medido na saída do processo), pela variável x (consumo específico medido na entrada do processo), tomando-se como referência 70% de correlação do R^2 para o processo de Sinterização, como parâmetro base.

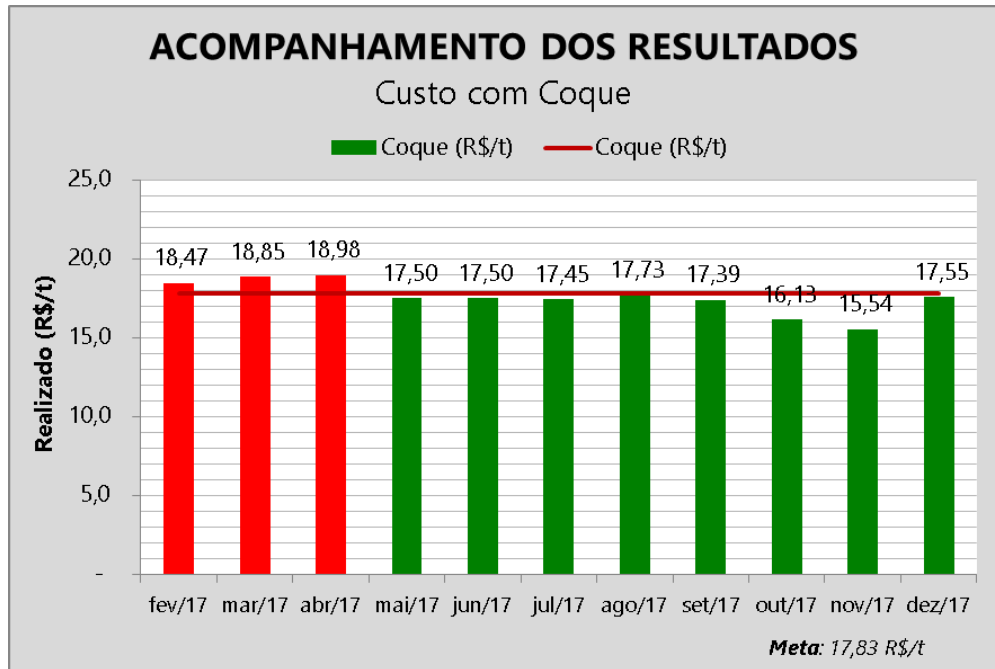
Com a implementação das 82 ações propostas no projeto utilizando a metodologia DMAIC, foram obtidos os seguintes resultados:

FIGURA 25 - Resultados obtidos Consumo de Coque de Petróleo.



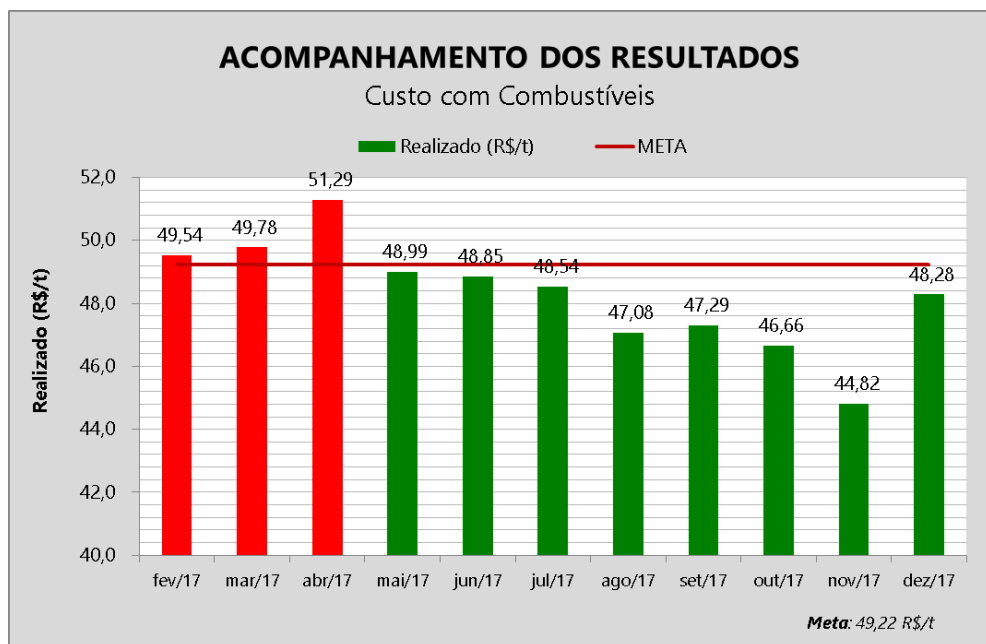
Fonte: Autoria própria.

FIGURA 26 - Resultados obtidos Custo com Coque de Petróleo.



Fonte: Autoria própria.

FIGURA 27: Resultado do IC: Custos com Combustíveis.



Fonte: Autoria própria.

Portanto, a partir da certeza de que as variáveis mencionadas possuem um grau de correlação consideravelmente forte, foi possível estabelecer metas para cada consumo medido na entrada da usina e, com as metas definidas, foi possível estabelecer a sistemática de tratamento de anomalias no processo de Sinterização,

na tentativa de controlar a quantidade de combustíveis inseridas antes da sinterização do minério, na tentativa de controlar e garantir a meta dos ICDs e do IC.

CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho, de apresentar a metodologia para a aplicação do programa Seis Sigma e realizar um estudo sobre a aplicação dessa ferramenta em um processo de Sinterização, demonstrando e avaliando os resultados que podem ser obtidos a partir do seu uso, foi atingido.

A autora, ao colocar-se numa posição de consultora dos dados obtidos, utilizou da metodologia proposta pelo DMAIC. A redução no consumo de coque de petróleo e de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) utilizados num processo de Sinterização foi perceptível, deslocando a média do custo desses combustíveis por tonelada, em 11%. Dessa forma, pode-se projetar um ganho financeiro maior do que o estimado

Portanto, a metodologia permitiu que fossem identificadas as causas raízes, as quais estavam fortemente ligadas aos desvios existentes no processo antes da aplicação da metodologia, proporcionando ações de alto poder de bloqueio, para a eliminação dessas causas que foram obtidas por intermédio de ferramentas da gestão da qualidade.

Além dos ganhos quantitativos, estima-se ganhos qualitativos em relação a mudança de cultura através do aumento de controle dos consumos específicos obtidos graças a implementação da sistemática de tratamento de anomalia no processo de Sinterização.

Contudo, a metodologia Seis Sigmas proporcionou para o processo de Sinterização não somente a redução de custos, mas também impulsionou a melhora na liderança ao disponibilizar as ferramentas necessárias para soluções de problemas considerados difíceis em primeira instância, deslocando o foco da gestão do processo de Sinterização para fora de si própria e concentrando-a no cliente.

De forma sintética:

1. A definição do problema foi definida e medida, tornando-se itens de controle com acompanhamento diário, semanal e mensal;
2. As metas foram estipuladas de forma a atingir o objetivo proposto de redução do patamar de custos com combustíveis;

3. As causas fundamentais, ou causas raízes, foram devidamente analisadas através das ferramentas de gestão fornecidas pela metodologia Seis Sigmas;
4. Ações corretivas foram estruturadas e implantadas através de planos de ações eficientes e eficazes;
5. Resultados foram acompanhados sistematicamente conforme sugerido no método;
6. A meta global foi atingida e superada em consequência da aplicação do método Seis Sigmas;
7. Ainda não é possível medir se atingiu-se 6sigmas, visto que essa análise demanda mais dados ao longo dos anos.

De toda sorte, parafraseando William Edwards Deming, um dos precursores de métodos de controles estatísticos de processos no Japão pós guerra, a melhoria que se apresenta representa uma parcela importante no resultado final. Isso está dentro da filosofia de melhoria contínua que tanto se busca nas empresas: o aperfeiçoamento constante e contínuo de todo o processo objetivando o aumento da qualidade e da produtividade e, conseqüentemente, gerando a redução de custos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Silvio. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma**. Nova Lima: INDG, 2006.

BARNEY, M. **Motorola's second generation. Six Sigma Forum Magazine**. Milwaukee, v. 1, n. 3, p.13 -16, May 2002.

BRASIL MINERAL. **Britador Hidrocônico**. 2016. Disponível em: <<http://www.brasilmineral.com.br/noticias/thyssenkrupp-ian%C3%A7a-novos-britadores>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da Qualidade, Conceitos e Técnicas**. São Paulo: Atlas, 2010.

DATALYZER. **CEP - Controle Estatístico de Processo**. Set. 2006. Disponível em: <<http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/docs/arquivos/doc57/57.html>>. Acesso em: 03 mar. 2018.

FRANK E SUSTENTABILIDADE. **Britador de Mandíbulas**. Disponível em: <<https://engenhafrank.blogspot.com.br/search/label/reciclagem?updated-max=2016-08-31T05:47:00-07:00&max-results=20&start=127&by-date=false>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

GESTÃO DE SERENÇA PRIVADA. **Gráfico de Pareto**. Disponível em: <<https://www.gestaodesegurancaprivada.com.br/diagrama-ou-grafico-de-pareto-conceito/>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

GOH, T. N; XIE, M. **Statistical Control of a Six Sigma Process**. Quality Engineering, 15, p. 587-592, abr. 2003.

GRUPO WERKEMA. Visão geral do sistema Seis Sigmas. In: **Curso de Green Belt**, 2016. Araxá. Apresentação. Araxá: CBMM, 2016, 71 p.

HARRY, M. J. **Abatement of business risk is key to Six Sigma**. Quality Progress, 33, p. 72-76, jul. 2000.

HAYER & BOECKER LATINOAMERICANA MÁQUINAS LTDA. **Pratos Pelotizadores**. Disponível em: <http://b2bmaquinas.com.br/Anuncios/Cimento_e_MineraAAo/PelotizaAAo/prato_pelotizador/204_414_5/>. Acesso em: 31 mar. 2018.

LINDERMAN, K; SCHROEDER, R. G; ZAHEER, S; CHOO, A. Six Sigma: a goal-theoretic perspective. **Journal Operations Management**, 21, p. 193-203, 2003.

MACHADO, M. L. P. **Siderurgia – Da matéria prima ao aço laminado**. Espírito Santo, 2006.

OUTOTEC STEEL BELT SINTERING PLANT. **Forno Sinterizador**. Disponível em: <<http://www.outotec.com/products/sintering-and-pelletizing/steel-belt-sintering-plant/>> Acesso em: 01 mar. 2018.

PORTAL DO HIPERADOR. **Entenda como funciona a Gestão de Tickets**. 2018. Disponível em: <https://hiper.zendesk.com/hc/pt-br/articles/360001099491-Entenda-como-funciona-a-Gest%C3%A3o-de-Tickets>>. Acesso em: 05 abr. 2018.

PROCESSO INDUSTRIAL. **Filtro a disco a vácuo**. Disponível em: <<http://www.processoindustrial.com.br/Produto-Filtro-de-disco-a-vacu/64>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

RASIS, D; GITLOW, H. S; POPOVICH, E. Paper Organizers International: A Fictitious Six Sigma Green Belt Case Study I. **Quality Engineering**, 15 (1), p.127-145, 2002.

SANTOS NETO, Sergio Tenorio dos. **A capacidade dos Green Belts na metodologia Lean Six Sigmas: um mapeamento dos custos de capacitação na região do Vale do Paraíba**. 106f. Dissertação (Mestrado profissional em gestão e tecnologia em sistemas produtivos) – Centro Estadual de Educação Paula Souza, 2017. São Paulo: CEETEPS, 2017.

SCATOLIN, André Celso. **Aplicação da Metodologia Seis Sigma na Redução das Perdas de um Processo de Manufatura**. 2005. 155f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Peneira Granulométrica**. Disponível em: <http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/transportadores_elevacao_e_manipulacao_industrial/mvl-maquinas-vibratorias-ltda-/produtos/transportadores-elevacao-e-manipulacao/limentador-eletromecanico>. Acesso em: 01 abr. 2018.

VLC FILTRAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO. **Espessador de Lama**. Disponível em: <<http://www.vlc.com.br/espessador-de-lama/>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

WERKEMA, Cristina. **Perguntas e Respostas sobre o Lean Seis Sigma**. Belo Horizonte: Werkema, 2008. (Seis Sigma, v. 6).