



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

HUGO CASTRO NUNES

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA NA REDUÇÃO DO TEMPO
DE DESALINHAMENTO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS**

São Luís
2016

HUGO CASTRO NUNES

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA NA REDUÇÃO DO TEMPO
DE DESALINHAMENTO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Enrique Carozzo
Todaro

São Luís
2016

Nunes, Hugo Castro.

Aplicação da metodologia lean seis sigma na redução do tempo de desalinhamento de correias transportadoras / Hugo Castro Nunes. – São Luís, 2016.

72 f.; il.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Enrique Carozzo Todaro.

1. Lean seis sigma. 2. PDCA. 3. Vale. I. Título.

CDU 622.647:658.56

HUGO CASTRO NUNES

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA NA REDUÇÃO DO TEMPO
DE DESALINHAMENTO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão
– UEMA, como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: ____ de _____ de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mauro Enrique Carozzo Todaro (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão

Profa. Ms. Maria Amália Trindade de Castro
Universidade Estadual do Maranhão

Profº Kaio Henrique Ferreira Nogueira de Nogueira
Universidade Estadual do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Sergio Lemos e Andréa Nunes e minha irmã Gabriela Nunes pela torcida e apoio incondicional em todos os momentos.

Agradeço ao professores Mauro Todaro, por ter aceitado o desafio de desenvolver um trabalho na área de pesquisa operacional e utilização das metodologia Lean Seis Sigma.

A todos os excelentes professores e amigos que a UEMA disponibilizou para que eu pudesse ter o suporte necessário para chegar até esta etapa.

Aos colegas da VALE S.A., em especial ao Fellipe Adriano, Sergio Leão e Tiago Bispo, com os quais adquiri experiências únicas acerca da área industrial que fundamentam este projeto.

Aos grandes amigos da UEMA, por terem compartilhado alguns dos melhores momentos nesses últimos cinco anos e por muitos outros que ainda estão por vir.

Nada é tão bom que não possa ser melhorado,
qualquer um de nós está sempre em aprendizado.
Quando achamos que já sabemos tudo é o sinal
que nem começamos a aprender o básico,
humildade.

Gilmar de Freitas Vasconcelos

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso apresenta a aplicação da metodologia Lean Seis Sigma, utilizando as etapas do método PDCA (*Plan, Do, Check e Action*) no desenvolvimento de um trabalho realizado na área do embarque de minério na VALE S.A. O objetivo foi reduzir o tempo de variabilidade dos eventos de desalinhamento de correia transportadora que causam impacto direto nos indicadores de DI e HMC do embarque. Neste trabalho são apresentadas as principais técnicas e ferramentas estatísticas utilizadas nas etapas do método PDCA, tais como brainstorming, gráfico sequencial, desdobramento, carta de controle, gráfico de Pareto, FTA e boxplot. A metodologia utilizada quanto à pesquisa teve caráter de estudo de caso, pois foi realizado um trabalho prático quando se obteve um ganho de redução 43,39 % do tempo de parada das correias transportadoras por desalinhamento. Conclui-se, então, que a eficácia da aplicação da metodologia Lean Seis Sigma através do atingimento do objetivo proposto.

Palavras-chave: Lean. Seis Sigma. Lean Seis Sigma. PDCA. VALE.

ABSTRACT

This paper of course end presents the application of the Lean Seis Sigma methodology, using the steps of the PDCA method (Plan, DO, Check and Acrion) in the development of a work performed at the area of ore loading in the VALE S.A. the goal of this paper Lean Seis Sigmawas to reduce the time of variability of the events of breaking up of transport belt which cause direct impact in the indications of DI and HMC of the loading. In this paper the main technics are presented and also the statistic tools used in the steps of the PDCA method such as brainstorming, sequencial graphic, unfolding, control chart, Pareto graphic, FTA and boxplot. The used methodology as to the inquiry had a character of case study, for it was performed a practical study when it was obtained a win reduction of 43,39% of the time of the belt stop which transport by breaking Up. It concludes, then, that the efficiency of the application of the Lean Seis Sigma methodology is good through the attainment of the proposed goal.

Key-words: Lean. Seis Sigma. Lean Seis Sigma. PDCA. VALE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Círculo de movimentos dos operadores	17
Figura 2	–	Estrutura DMAIC VALE S.A.	30
Figura 3	–	Diagrama Matriz	34
Figura 4	–	Ferramenta QFD	35
Figura 5	–	Descrição do boxplot através do método dos quartis	36
Figura 6	–	Elevação lateral de uma transferência típica a 90º.....	37
Figura 7	–	Elevação lateral de uma transferência típica alinhada	38
Figura 8	–	Boxplot – HMC desalinhamentos (M130)/Mton	45
Figura 9	–	Estatísticas descritivas	46
Figura 10	–	Gráfico de Probabilidade Normal	46
Figura 11	–	Desdobramento da Falha	48
Figura 12	–	Análise de falhas	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Gráfico Sequencial	31
Gráfico 2	– Carta de Controle	32
Gráfico 3	– Diagrama de Pareto	33
Gráfico 4	– Impactos na taxa comercial do embarque - histórico 2015	42
Gráfico 5	– Gráfico Sequencial – desalinhamento	43
Gráfico 6	– Pareto – desalinhamento.....	43
Gráfico 7	– Pareto – Desalinhamento (M130) x Equipamento	44
Gráfico 8	– Sequencial – HMC desalinhamentos (M130)/Mton	47
Gráfico 9	– Sequencial – TOP 6	48
Gráfico 10	– Sequencial – 1501.....	49
Gráfico 11	– Sequencial – 2516.....	49
Gráfico 12	– Sequencial – CN4	50
Gráfico 13	– Sequencial – CN1	50
Gráfico 14	– Sequencial – CN6	51
Gráfico 15	– Sequencial – CN3	51
Gráfico 16	– Sequencial TR 315K-01-HMC desalinhamento (M130)/Mton.....	52
Gráfico 17	– Sequencial TR 325K-16-HMC desalinhamento (M130)/Mton.....	53
Gráfico 18	– Sequencial TR 325K-02-HMC desalinhamento (M130)/Mton.....	53
Gráfico 19	– Sequencial CN 321K-01-HMC desalinhamento (M130)/Mton	54
Gráfico 20	– Sequencial CN 321K-01-HMC desalinhamento (M130)/Mton	54
Gráfico 21	– Verificação da meta global	60
Gráfico 22	– Verificação da meta específica – TR 315K-01	61
Gráfico 23	– Verificação da meta específica – TR 325K-16	62
Gráfico 24	– Verificação da meta específica – CN 321K-01	62
Gráfico 25	– Verificação da meta específica – CN 325K-02.....	63
Gráfico 26	– Verificação da meta específica – CN 326K-01	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ação
BB	Black Belt
C	Verificação
CCQ	Círculos de Controle de Qualidade
CN	Carregador de Navio
Cp	Capacidade do Processo
CT	Chute de transferência
D	Execução
DF	Disponibilidade Física
DI	Disponibilidade Intrínseca
DMAIC	Define, Measure, Analyse, Improve e Control
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades
DPO	Defeito por oportunidade
FMEA	Análise de modo e efeito potencial de falhas
GB	Green Belt
GPV	Gestão de Produção VALE
h/mt	Horas por milhões de toneladas.
HMC	Horas de manutenção corretiva.
HPO	Horas de paradas operacionais.
JIT	Just-In-Time
MBB	Master Black Belt
P	Planejamento
PDCA	Planejar, fazer, checar e agir (Plan – Do – Check – Act).
PPM	Partes por milhão.
QFD	Desdobramento de função da qualidade
STP	Sistema Toyota de Produção
TPPM	Terminal Portuário de Ponta da Madeira
TPS	Toyota Production System
TR	Transportador de correia
YB	Yellow Belt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	História da manufatura enxuta	15
2.2	Desperdícios	16
2.3	Seis Sigma	20
2.3.1	Origem do Seis Sigma	20
2.3.2	Capacitações da Metodologia Seis Sigma	25
2.4	Integração do Lean + Seis Sigma	27
2.5	Implantação do Lean Seis Sigma	28
2.6	Ferramentas do Lean Seis Sigma	30
2.6.1	Brainstorming	31
2.6.2	Gráfico Sequencial	31
2.6.3	Carta de Controle	31
2.6.4	Gráfico de Pareto	32
2.6.5	Coleta de dados	33
2.6.6	Diagrama de Matriz	33
2.6.7	Desdobramento de Função da Qualidade (QFD)	34
2.6.8	Box-Plot	35
2.7	Transportadores de Correia	36
3	MÉTODOS	39
4	ESTUDO DE CASO	41
4.1	Apresentação da área de aplicação da metodologia Lean Seis Sigma	41
4.2	Planejar (Plan): identificação do problema	42
4.3	Análise do fenômeno	47
4.3.1	Estratificação por ativos	48
4.3.2	Comportamento dos ativos foco ao longo do tempo	52
4.4	Análise do processo	55

4.5	Melhorar (Do).....	58
4.6	Checar (<i>Check</i>).....	60
4.7	Agir (<i>Action</i>)	64
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS	68
	APÊNDICE A – Base de Dado (GPV)	72

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da globalização e a competitividade no mercado de trabalho as empresas têm buscado estar atualizadas para obter os melhores resultados e ser destaque num cenário de competição. Em resposta a esse objetivo as empresas buscam dar qualidade aos seus processos e produtos para ganharem vantagens competitivas com o objetivo de atender a seus clientes e acionistas. A ideia de produzir o máximo de valor possível com o mínimo recurso vem sendo adotada em forma de orientação pelo mundo corporativo moderno. Para isso utiliza-se de técnicas de gerenciamento como o Lean Seis Sigma. A fundamentação consiste no pensamento enxuto e na melhoria contínua, visando a redução da variabilidade de processos. Sempre com foco no cliente, o Lean Seis Sigma baseia-se em fatos e na utilização de ferramentas da qualidade para identificar a causa e os efeitos do problema.

Seis Sigma é a inflexível e rigorosa busca da variação em todos os processos críticos para alcançar melhorias contínuas e quânticas que impactam os índices de uma organização, aumentando 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 oportunidades. A ferramenta de melhoria empregada na implantação dos projetos de Seis Sigma é o DMAIC, sigla que significa Definir- Medir-Analisar-Implementar-Controlar. (RASIS, 2003, p. 127).

Até o início da década de 90 o ciclo de Melhoria Contínua PDCA (Plan – Do – Check – Act) era utilizado pela maioria das organizações que possuíam uma iniciativa de Melhoria Contínua no âmbito do seu Sistema de Gestão. Era bastante utilizado, principalmente pelas grandes montadoras de automóvel e seus fornecedores, assim como na indústria de eletroeletrônicos. Trazia a disciplina do método para as iniciativas de melhoria de processos, assim como introduzia as Organizações no uso das ferramentas analíticas básicas, ou, como ficaram mais conhecidas, as 7 ferramentas básicas da qualidade: Diagrama de Pareto, Diagrama de Causae-efeito, Lista de verificação, Histograma, Diagrama de Dispersão; Gráfico linear e Carta de Controle. O grande foco era a resolução dos problemas de qualidade das Organizações.

O PDCA ainda é o “coração” da maioria dos modelos de Gestão adotados nas organizações com iniciativas de melhoria contínua e é complementado pelo DMAIC e suas ferramentas estatísticas mais avançadas.

Na essência do *Lean Manufacturing* está a redução dos sete tipos de desperdício, que são definidos por Ohno (2007). Estes setes desperdícios são defeitos nos produtos, excesso de produção, processamento, movimento e transporte desnecessários, tempo de espera e estoque de mercadorias. O antídoto para eliminação de desperdícios é o pensamento enxuto. O Lean representa cinco princípios: especificar o valor (aquilo que o cliente valoriza), identificar o fluxo de valor, criar fluxos contínuos, ter uma produção puxada e buscar a perfeição. Para colocar esses princípios em prática o Lean conta com o auxílio de ferramentas como mapeamento do fluxo de valor, Kaizen, Kanban, Padronização e 5s. (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2009).

De acordo com Werkema (2006), o programa resultante da integração do Lean com o Seis Sigma é uma estratégia poderosa. O Lean baseia-se na filosofia da produção que elimina desperdícios, contribuindo para o progresso da produtividade, ou seja: transforma o modo como as organizações trabalham, fazendo com que haja um retorno mais ágil dos investimentos financeiros. Enquanto o *Lean Manufacturing* propõe-se a uma produção enxuta, o Seis Sigma se volta para a otimização de produtos, serviços e processos, para satisfazer os clientes e consumidores.

O Lean Seis Sigma é uma metodologia de melhoria de negócios que maximiza o valor do acionista ao alcançar a taxa de melhoria mais rápida em satisfação de clientes, custos, qualidade, velocidade de processos e capital investido. (GEORGE, 2004). Entretanto, surge a seguinte pergunta de pesquisa: A metodologia do Lean Seis Sigma será eficaz na solução do recorrente desalinhamento de correias no sistema produtivo da Vale?

O Lean Seis Sigma é um método quantitativo, estruturado, disciplinado e focado na melhoria de processos já existentes. Muitas empresas se utilizam desta metodologia com o objetivo de otimizar e maximizar seus processos, eliminando seus defeitos e reduzindo na medida do possível as não conformidades existentes.

No Brasil, o desenvolvimento de trabalhos de Seis Sigma é cada vez mais frequente. O grande exemplo de pioneirismo da aplicação do Seis Sigma no Brasil foi do Grupo Brasmotor (Multibrás e Embraco) que, na década de 90, obteve uma lucratividade entorno de 20 milhões de reais, através da conclusão dos trabalhos de

Seis Sigma. Muitas outras companhias vêm adotando a ideia e consequentemente obtendo resultados financeiros positivos, dando cada vez mais credibilidade a metodologia aplicada.

Na empresa Vale é possível identificar alguns modos de falha recorrentes durante o processo. Um deles é o desalinhamento de correia. O desalinhamento de correia traz muitos prejuízos como a paralisação operacional do processo sem contar que uma ação não planejada proporcionará um aumento nos custos orçamentários da empresa. Devido a esse problema a empresa Vale tem buscado seguir a metodologia Lean Seis Sigma como referência para solução do mesmo, pois com a otimização e controle do processo torna-se mais fácil eliminar ou reduzir o número de defeitos e cuidar para que não surjam novas oportunidades de erros, pois a falha tornará o produto mais caro e menos confiável, além de desapontar os clientes e deixá-los insatisfeitos.

Assim, este trabalho tem uma importância fundamental, uma vez que possibilita identificar, através da metodologia do Lean Seis Sigma e a utilização de suas ferramentas de qualidade, quais serão os benefícios que elas trarão para a solução do problema.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Aplicar a metodologia Lean Seis Sigma na redução do tempo da falha operacional de desalinhamento de correia no processo de transporte do minério.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar o problema, analisar o fenômeno, analisar o processo e estabelecer um plano de ação;
- b) Executar as ações necessárias para alcançar a meta proposta;
- c) Verificar a efetividade das ações executadas e se a meta foi alcançada;
- d) Atuar no processo em função dos resultados e padronizar no caso de sucesso ou tomar alguma ação corretiva no caso de insucesso.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 História da manufatura enxuta

A Manufatura Enxuta, ou Lean Manufacturing, se originou do Sistema Toyota de Produção e foi fundamentada por Womack e Jones (2004), através de bibliografias de própria autoria tais como, “A Máquina que Mudou o Mundo” e “A Mentalidade Enxuta nas Empresas”. Ainda de acordo com Womack e Jones (2004), em meados dos anos 50, um jovem engenheiro japonês, Eiji Toyoda, saiu para uma visita de três meses à fábrica Rouge (Ford) em busca de observar possíveis oportunidades de melhorias para que, então, pudesse estruturar um processo sistemático de identificação e eliminação de perdas que impactavam diretamente o produtividade da Toyota.

A fábrica Rouge era a maior e mais complexa da Ford, se não de todo o mundo, logo era tida como referência para as demais montadoras. Depois de muito estudo, Eiji voltou ao Japão e, com a ajuda de seu gênio da produção, Taiichi Ohno, concluíram facilmente que a produção em massa nunca funcionaria no Japão, pois a força de trabalho interna japonesa não desejava ser tratada como um custo variável ou como peças intercambiáveis. O Japão também não tinha imigrantes que aceitavam condições deploráveis de trabalho, em troca de salários razoáveis como acontecia no Ocidente. Desse começo experimental estava nascendo o que a Toyota veio a chamar de Toyota Production System – TPS (Sistema Toyota de Produção – STP) e, finalmente, produção enxuta. (WOMACK; JONES, 2004).

Com base em toda dificuldade encontrada por Ohno após a guerra, ficava nítido que era inviável comprar dezenas de equipamentos que a produção em massa exigia, pois não havia o capital necessário para isso. Então, Ohno percebeu que poderia aproveitar melhor os recursos que ele tinha em mãos. Desenvolveu técnicas simples que lhe trouxeram ganhos para sua produtividade, além de diminuir seu custo pelo fato de não estocar mais os materiais. Ele também teve a ideia de usar os trabalhadores em mais de uma atribuição, diminuindo assim o tempo que eles ficavam ociosos. (WOMACK; JONES, 2004).

Para Albertin e Pontes (2016), enquanto Ford tinha a linha de pensamento que era melhor prosseguir a produção com erros e ajustá-los no fim, Ohno tinha uma visão completamente diferente sobre isso. Ele interpretava o

retrabalho como um custo adicional, desnecessário. Ohno também criou uma ferramenta para auxiliar todos os trabalhadores em possível erro na produção. Essa ferramenta parava a produção e todos viriam ajudar na solução do problema. Essa ferramenta hoje é chamada de Andon.

Segundo Werkema (2011), Ohno deu origem a um método de soluções de problemas bastante eficaz, denominado “os cinco porquês”. Os trabalhadores eram treinados a achar a origem de cada erro, perguntando-se o porquê do evento ter acontecido, até chegar ao primeiro nível do problema que é a causa raiz; e, então, achar uma solução para que o erro não mais ocorresse. Com a eficácia do método Ohno atingia seus objetivos e a quantidade de erros na produção eram pequenos, com isso os retrabalhos eram mínimos. Os trabalhadores então estavam aptos a consertar qualquer erro assim que ele ocorria. A qualidade dos carros era cada vez melhor.

Para George (2004), a essência da Manufatura Enxuta é garantir a flexibilidade do processo operacional da fábrica, gerando autonomia e trabalhando de acordo com a necessidade do cliente. Quando este patamar é atingido, as peças se encaminharam rapidamente seguindo uma sequência ordinária de um ponto ao outro da fábrica, obtendo assim a redução do tempo de espera, eliminando estoque de materiais e estoque de produtos finalizados. Na verdade a produção enxuta é composta por times de trabalhadores habilitados a desenvolver suas capacidades em todos os níveis de organização, e se apropria de máquinas altamente flexíveis, cada vez mais automatizadas para produzir grandes volumes de produtos em enorme variedade, com melhor aproveitamento dos recursos existentes e em quantidade suficiente. O produtor enxuto define seu objetivo na perfeição, produzindo sempre maiores benefícios e delegando, a cada trabalhador, uma parte da responsabilidade.

2.2 Desperdícios

Segundo Womack e Jones (2004), o desperdício, também conhecido na língua japonesa por *muda*, normalmente é associado ao que se classifica como lixo, porém sua definição vai além disso. Campos (1996) nos ensina que o desperdício é todo o excesso de qualquer execução realizada, utilizando serviços (mão de obra), em tempo, efetivo, retrabalho e movimentação desnecessária, ou recursos tais como

materiais e solicitações de atividades. Se realmente não for utilizado o que for estritamente necessário, o custo final do trabalho ficará elevadíssimo devido a muitos desperdícios gerados durante a execução.

Reduzir o desperdício – *muda* – na linha de produção significa desfazer-se de tudo que não agrega valor no momento para atividade e que consequentemente gera um alto custo para produção. O trabalho rotineiro, todos os dias realizando a mesma atividade e por consequência natural achar que ela está certa, dificulta cada mais vez mais na identificação dos desperdícios. A maior dificuldade encontrada em uma linha de produção, hoje em dia, é aceitar que o trabalho está sendo feito da maneira errada. O comodismo atrapalha muitas pessoas a aceitarem um novo método de como fazer, limitando-as a não ter novas ideias. (HINES; TAYLOR, 2000).

De acordo com Hines e Taylor (2000), podemos classificar os movimentos do empregado como operações e perda:

Figura 1 – Círculo de movimentos dos operadores



Fonte: Hines e Taylor (2000)

- desperdício: toda atividade que não contribui para as operações. No âmbito deste conceito, pode-se citar espera, estoques intermediários entre operações, reabastecimento, andar para pegar peças, etc.;
- operações que não agregam valor: são as atividades que não

transformam a matéria-prima, por exemplo, movimentação para alcançar as peças, desembalagem de caixas, ligar e desligar o equipamento, etc.;

- c) operações que agregam valor: são atividades que transformam a matéria-prima, modificando a sua forma e qualidade. Muitos processos e atividades não são percebidos pelo cliente, mas são observados pela manutenção da Qualidade e Segurança do produto, como, por exemplo, testes finais de qualidade. Portanto, quanto maior o valor agregado, maior a eficiência da operação. Exemplos de operações que agregam valor: fazendo um furo, instalando uma flange, apertando um parafuso.

Para Womack e Jones (2004), esta maneira estabelece o que realmente agrega valor ao processo, e atividades que não agregam valor algum são eliminadas, para que desta forma as atividades que realmente interessam o sistema possam ser realizadas de maneira eficaz. A ideia de fazer mais produtos com menos recursos possíveis, utilizando somente o necessário e o que é pedido pelo cliente, denominamos de pensamento enxuto. O estado enxuto descrito anteriormente, busca eliminar desperdício, e o classifica como atividade que o homem realiza e absorve recursos, porém não gera valor algum ao processo produtivo.

De acordo com Albertin e Pontes (2016), o executivo Taiichi Ohno identificou os principais tipos de desperdício. São sete tipos primários, que também conduzem a desperdícios secundários. Como exemplo, o caso do inventário extra que provoca a necessidade de material e mão-de-obra extra, com custos indiretos, como energia e outras utilidades.

- 1) Superprodução: está relacionada ao fato de se produzir mais do que o requerido pela demanda dos clientes ou por produzir em um ritmo acima do necessário. Portanto, dentro do STP, a produção deve ser sustentada pela filosofia Just-In-Time (JIT), que significa produzir peças ou produtos exatamente na quantidade requerida, quando requerida, e não antes disso. Pois assim gera-se menos estoque e diminui a perda excessiva de produtos. Para se ter uma produção puxada é necessário analisar a necessidade do mercado em obter o devido produto, através

desta análise é possível identificar a demanda a ser produzida.

- 2) Espera: está relacionada a qualquer tempo que produtos ou pessoas gastam aguardando, material, informações ou pessoas. Aguardar indica que o processo não é ideal e se tem oportunidades de melhorá-lo. Para este desperdício deve-se utilizar o conceito de fluxo contínuo de produção, fazendo sempre o uso do bom senso, avaliando as prioridades do processo e fazendo uma melhor logística para seu andamento.
- 3) Transporte: esse elemento é de grande importância na produção, pois transporte é definido como qualquer movimento de material, papel ou informação. O transporte não é uma atividade que agrega valor porém se faz necessário porém operações de transporte para distâncias maiores do que as necessárias, taxas e mudanças são também caracterizadas como desperdícios. Esta é a razão pela qual o transporte deverá ser evitado, a menos que seja utilizado para o fornecimento da quantidade certa, na hora certa, no lugar certo, de acordo com a solicitação.
- 4) Processamento: fazer a mesma atividade mais de uma vez ou fazer algo que simplesmente não deveria ser feito. O valor deve ser criado pelo produtor, e o cliente deve enxergá-lo e querer pagar por ele. Dessa forma, o “pensamento enxuto” deve começar com uma tentativa consciente de definir precisamente o valor, em termos de produtos específicos, com capacidades específicas, oferecidas a preços específicos, por meio do diálogo com clientes específicos, pois o cliente está pagando apenas pelas atividades que agregam valor ao produto ou ao serviço que ele está comprando.
- 5) Estoque: quando ocorre excesso de fornecimento de peças entre os processos, ou muitas peças (matéria-prima, componentes, etc.) são entregues pelos fornecedores, com o intuito de abastecer a fábrica. Ocorre, então, o que se chama de Inventário (estoque), que exige capital de giro para sua manutenção, gera custo e, como já citado, caracteriza dinheiro parado, ou seja, perdas. Quanto maior o inventário, maior o desperdício. Para isso é utilizada a filosofia Just-In-Time (JIT), onde se produz de acordo com a necessidade do cliente, através da

produção puxada é possível a redução de desperdícios com grandes inventários.

- 6) Defeitos: pode-se dizer que este item está entre os piores fatores de desperdício, pois eles poderão gerar retrabalho, custo de recuperação ou mesmo a perda total do esforço e material. Ou seja: qualquer erro de processo, produto ou serviço que produza um resultado que não satisfaça a expectativa do cliente, entretanto o pior tipo de defeito é aquele que chega até o cliente, pois o risco é muito grande de se perder o cliente.
- 7) Movimentação desnecessária: esse item está relacionado à desorganização do ambiente de trabalho, resultando em baixa performance dos aspectos ergonômicos e perda frequente de itens. As movimentações dentro do setor produtivo devem ser aquelas que são necessárias para o processamento de atividades. Muitas vezes, essas movimentações podem ser reduzidas, agrupadas ou até mesmo eliminadas. O ideal para a produção é que as atividades de movimentação sejam realizadas sem comprometimento do ciclo produtivo e do rendimento do operador. É preciso eliminar esse desperdício, pois quanto mais tempo os recursos se movimentam, menos tempo eles estarão realmente agregando valor.

2.3 Seis Sigma

2.3.1 Origem do Seis Sigma

A metodologia foi criada por Bill Smith, na empresa Motorola, em 1986. Foi utilizada essa ferramenta para mensurar defeitos de seus produtos e sugerir melhorias na qualidade de seu processo, ou seja: uma metodologia para reduzir níveis de defeitos. A Motorola estava perdendo participação no mercado e precisava encontrar uma saída viável para essa desconfortável situação. Mesmo depois de testar várias ferramentas já utilizadas por outras empresas, ainda assim não conseguia ser competitiva. Entretanto, depois de várias medições, conseguiu verificar que o desperdício de estoque, material, tempo e erros estavam gerando custos altíssimos, e foi então que surgiu a metodologia Seis Sigma. Essa iniciativa

deu tão certo que, conforme Cone (2001), Seis Sigma é uma marca registrada de serviço da Motorola, a qual reportou mais de 17 bilhões de dólares em economias com Seis-Sigma até hoje.

Para Silva (2009), o Seis Sigma tecnicamente se apresenta como uma metodologia baseada em mensurações, em que a Estatística é usada como o principal meio de auxílio e de apoio à tomada das decisões. Tem por objetivo aumentar consideravelmente a qualidade dos produtos e dos processos até atingirem o nível de qualidade de seis sigmas. Isto significa incorrer em apenas 3,4 erros em 1 milhão de oportunidades conhecido como defeitos por milhão de oportunidades (DPMO), ou pode ser visto também como partes por milhão (PPM). Portanto, sendo visto pelo lado da estatística o Seis Sigma é a medida de qualidade que busca a perfeição, com um número de erros muito baixo.

De acordo com Gupta e Sri (2012), um projeto Seis Sigma visa reduzir a variabilidade de defeitos e aumentar o potencial dos processos. Sua implementação está diretamente ligada a utilização de métodos estatísticos que buscam facilitar a análise sobre de relações causa e efeito que afetam diretamente os processos críticos para o negócio. A aplicabilidade da metodologia é complexa por sua extensão, porém cada vez mais bons resultados estão sendo atingidos por diversas companhias, não só nos setores produtivos, como também nos administrativos (serviços). E a orientação estratégica e o alinhamento estratégico são fatores que têm papel primordial no direcionamento e na priorização do foco da implementação dos projetos Seis Sigma e do programa Seis Sigma como um todo.

Normalmente, um projeto de Seis Sigma começa em um problema prático que está causando impacto nos negócios e, possivelmente, o problema é solucionado com melhorias práticas, bem estruturadas e de baixo custo. Quando um problema se torna um projeto de Seis Sigma, ele é submetido a uma transformação crítica, o problema prático se transforma em uma solução estatística, para depois chegar a uma solução prática. Quando o problema é expresso estatisticamente, assegura-se que serão utilizados dados confiáveis para resolvê-lo. Isso ajuda a abandonar palpites, intuição e as melhores suposições como forma de conduzir seu problema.

Medir e coletar dados sobre o processo desde que sejam necessários e suficientes para suportar decisões e analisar as fontes de variação que afetam processos, pessoas, materiais, métodos, máquinas e ambiente. Busca-se

simplicidade sem ignorar a existência de variabilidade. (GYGI; CARLO; WILLIAMS, 2008).

Desenvolver e conscientizar as pessoas, buscar a melhoria contínua e a perfeição, aumentar a credibilidade das informações foram princípios introduzidos por Santos (2006), que fortaleceram a estrutura do modelo de referência. A lógica do Seis Sigma está em uma boa compreensão do uso de ferramentas estatísticas. Através de uma boa análise e entendimento dos resultados estatisticamente apontados é possível disseminar a metodologia e implanta-la corretamente, assim reduzindo cada vez mais a zero a possibilidade de defeitos. Com isso, o trabalho pode ser uma referência para difundir a cultura Seis Sigma dentro da companhia. (ANTONY, 2004).

Diversas iniciativas de melhoria foram adotadas para medição de desempenho dentro de um processo produtivo, mais especificamente com respeito aos parâmetros relativos à qualidade, custo e tempo de ciclo. O Seis Sigma ajudou as organizações começarem enxergar e medir seus resultados de desempenho. A metodologia faz uma abordagem direcionada a medição de resultados e tomada de decisões de acordo com os fatos e dados apresentados. Ela cada vez mais vem sendo fundamental no desenvolvimento de companhias. O fato da metodologia contribuir para o aprimoramento da medição de desempenho, ajuda a disseminar a cultura Seis Sigma que, em tese, é a melhoria contínua, tornando a companhia mais competitiva para o mercado de trabalho.

O espírito de saber analisar o sistema para melhor tomada de decisão, reconhecer onde está o erro e dá-lo o devido tratamento, de fato é a essência da melhoria contínua. Com isso fica muito mais fácil enxergar seu indicador, fazer com que ele cresça com a eliminação dos defeitos, aumentando cada vez mais o desempenho organizacional, potencializando a capacidade de produção da companhia. (NEELY, 1999).

Um projeto seis sigma não é caracterizado com soluções que se gasta tempo e dinheiro suficiente com ele. Ele é baseado em uma solução prática que não é complexa, não é difícil para ser implementado e não precisa de recursos extensos para produzir o efeito de melhoria; ele busca reduzir sistematicamente a variabilidade dos processos existentes no meio de produção. (GYGI; CARLO; WILLIAMS, 2008).

A seleção de projetos Seis Sigma, segundo Rodrigues (2012), deve ser fortemente orientada para o cliente, demonstrando a devida preocupação em entender suas necessidades e expectativas, bem como identificando as características críticas para a qualidade.

Segundo Rodrigues (2012), o êxito dos projetos Seis Sigma não pode ser baseado apenas pela utilização excessiva de ferramentas estatísticas, mas, sim, pelo conjunto da metodologia, pois ela é muito bem estruturada e dá uma certa sincronia entre os processos da companhia e tem como foco principal o a satisfação de uma entrega do produto final com qualidade para o cliente. Para isso, é preciso analisar os processos críticos que impactam diretamente os resultados da empresa, identificando o porquê de um desempenho momentâneo não satisfatório, para que, com base nessa análises, sejam tomadas ações de melhoria que direcionem a companhia a indicadores satisfatórios. Em outras palavras: esta metodologia tem proporcionado benefícios tais como estabilidade de mercado, competitividade, qualidade no produto final, a vontade de buscar melhorar mais processo produtivo da companhia e consequentemente mostrar ganhos milionários com excelentes trabalho de Seis Sigma.

A maioria dos projetos bem qualificados busca atender aos interesses das empresas, pretendem as maiores necessidades do processo, isto é, o que está impactando diretamente a produção.

Fundin e Cronemyr (2003) nos ensinam que a diminuição do custo da não qualidade é uma necessidade importante e um forte direcionador quando este valor é significativo à organização. Pode-se ter perdas devido a refugos de produção, atrasos, desvios de qualidade nos clientes internos ou externos, entre outros problemas. Estas são, então, algumas possibilidades de cenários onde a metodologia Seis Sigma pode ser aplicada.

Deste modo devemos tomar cuidado quanto à natureza do problema encontrado dentro do processo. Devem ressignificadas as características abordadas pela metodologia Seis Sigma. Segundo Rotondaro, Miguel e Ferreira (2005), os problemas apresentam dois tipos de classificação: os problemas pontuais que ocorrem esporadicamente, com baixa frequência; e os problemas estruturais, que são problemas comuns de variação de processos, que ocorrem com frequência dentro do processo.

Silva (2015) preleciona que uma boa investigação para descobrir a causa raiz do problema não se caracteriza como justificativa para aplicar a metodologia Seis Sigma. Para se tornar um trabalho de Seis Sigma cumpre muito mais que uma boa investigação: é necessário recorrer a ferramentas analíticas que direcionem para origem do problema, e, com base nisto, tomar ações de correção, contenção e ações de prevenção que muitas vezes se configura como a melhor medida por ter um baixo custo. A metodologia visa solucionar problemas estruturais, que passaram por uma análise profunda para o combate da causa raiz, o problema no qual ocasionava variabilidade ao processo e aumentando o número de não conformidades. O Seis Sigma surgiu com intuito de eliminar defeitos e aumentar a capacidade do processo.

Enfatizado por Pande, Neuman e Cavanagh (2001), enxerga-se a origem do problema, o que é fundamental para o sucesso da aplicação da metodologia. Trabalhos com a causa-raiz bem definida e detalhada ajudam a traçar medidas mensuráveis ao problema, pois às vezes não é feita uma boa análise e se utiliza do achismo ou impulso, e isso compromete o resultado final do trabalho.

Para Snee e Rodebaugh (2002), causas que não precisam de análise e que já estão definidas deverão ser evitadas, pois não se caracterizam um trabalho de Seis Sigma. A metodologia deve ser bem estruturada, utilizar ferramentas analíticas que lhe direcionem a causa, caracterizando a descoberta de uma causa desconhecida.

Na verdade os trabalhos de Seis Sigma servem como medidores de um processo, que possibilita um diálogo operacional e a definição de estratégias para readequar metas que estejam fora do alcance; com isso, trazendo a companhia pra mais próximo da realidade. Uma boa análise do processo influencia diretamente na tomada de decisões, pois, se uma companhia vai mal, é porque algo está impactando diretamente os indicadores.

Através da metodologia será possível eliminar defeitos e diminuir a variabilidade do processo, tornando a companhia capaz de estabelecer metas e obter ganhos cada vez mais tangíveis. Isso implica serem obtidos bons resultados e uma boa organização estrutural. (SANTOS; MARTINS, 2010).

Goh (2002) aponta que a implementação dos projetos Seis Sigma está atrelada a problemas interfuncionais e multidisciplinares, e embutem uma forma fértil de se gerar e enriquecer ideias e técnicas, tendo o pensamento estatístico como um

denominador comum. Usar uma abordagem orientada para dados e projetos é uma característica fundamental que aumenta a habilidade de reconhecer, descrever, gerenciar, controlar e mesmo utilizar a variação existente nos diversos processos.

Santos e Martins (2010) afirmam que o Seis Sigma é fruto da junção da abordagem da estatística com a abordagem estratégica; e, nesta perspectiva, de acordo com Watson (2000), o Seis Sigma procura solucionar os seguintes questionamentos, tais como:

- 1) Como é o processo atual; como é o seu desempenho?
- 2) Há procedimentos? Quando são utilizados?
- 3) Os indicadores existentes são suficientes?

Desta forma, o Seis Sigma é considerado como uma estratégia de qualidade que procura, através de um conjunto de métodos de melhoria, eliminar as causas de eventuais problemas e assim a diminuição da variabilidade dos processos. (SANDERS; HILD, 2000).

2.3.2 Capacitações da Metodologia Seis Sigma

A formação e capacitação de uma equipe de especialistas com identificação própria (*master black belts*, *champion*, *black belts* e *green belts*) para compor um grupo dos profissionais mais aptos para desenvolverem e promoverem o crescimento do desempenho do negócio, aplicando métodos e técnicas estatísticas para implementarem projetos definidos e/ou direcionados estrategicamente, é um ponto forte deste assunto. A existência de parte desses especialistas dedicados integralmente à melhoria da eficiência de alguns processos críticos do negócio acabou mudando o perfil do profissional da área de qualidade e reforçou a comunicação interfuncional. (HOERL, 1998; INGLE; ROE, 2001).

Nesse contexto, conforme discutido por Sanders e Hild (2000), a forma de treinamento da equipe de *belts*, os critérios de escolha e os requisitos impostos para certificação são fatores que dependem da estratégia de desdobramento adotada pela organização. Com o comprometimento dos executivos líderes, tais investimentos para implementação do Seis Sigma são ratificados. Reforça-se, então, o cumprimento de metas e há mais garantia para o desdobramento e disseminação

da cultura nos níveis gerencial e operacional. Pelo estudo de Kumar (2007), o comprometimento dos gestores é o fator crítico de sucesso de maior importância para o sucesso do Seis Sigma em empresas de pequeno e médio porte.

O Seis Sigma exige a mudança de alguns dos principais fluxos de valor empresariais que atravessam as barreiras organizacionais. É o meio pelo qual as metas estratégicas da organização serão alcançadas. Esse esforço não poderá ser liderado por outro que não um líder dentro da empresa, que é responsável pelo desempenho de uma área como um todo. De acordo com Rodrigues (2012), as equipes são classificadas da seguinte maneira:

- a) *Champion*: São gestores cujo papel de responsabilidade na área da metodologia é oferecer condições de viabilidade do trabalho, removendo possíveis barreiras para um melhor desenvolvimento. Acompanham diretamente reuniões periódicas e geralmente são gerentes da alta administração;
- b) *Master Black Belt* (MBB): Respondem diretamente à alta administração, podem exercer cargos de alta patente ligado à companhia. Disponibilizam cerca de 100% do seu tempo à metodologia aplicada e em algumas companhias exercem cargos executivos nas áreas de gestão de qualidade;
- c) *Black Belt* (BB): São profissionais que dedicam preferencialmente cerca de 100% do seu tempo à metodologia Seis Sigma, podendo estar diretamente ligados a um cargo de gestão e dedicar-lhe certa parte do seu tempo. O BB trabalha com qualquer problema de alta complexidade relacionado a qualquer área e tem relações diretas ou indiretas ao MBB;
- d) *Green Belt* (GB): Trabalha em problemas relacionados à área de trabalho ou ao conhecimento técnico. São profissionais que dedicam parte do tempo do seu trabalho (em média 20 a 30%) para realizar atividades de melhoria contínua e execução de projetos Seis Sigma, respondendo hierarquicamente a seu superior imediato. É importante ressaltar que não existe relação hierárquica entre BB e GB, mas apenas relação funcionais no desenvolvimento do projeto;

- e) *Yellow Belt* (YB): São profissionais de nível de operação da companhia e são treinados com fundamentos da metodologia para proporcionar apoio aos BB e GB na implantação do projeto.

2.4 Integração do Lean + Seis Sigma

A produção enxuta (*lean*) tem o objetivo de direcionar a companhia a obter bons resultados através da eliminação de desperdício. O entendimento da palavra desperdício tornou-se de extrema importância para se fazer um produto de qualidade, idealizado pioneiramente por Taiichi Ohno, engenheiro da Toyota Corporation no Japão, no início da década de 1950.

O pensamento Lean focou-se em eliminar ou reduzir o maior número de atividades que não agregavam valor na produção do produto final para companhia. Desde modo, eliminando-se atividades desnecessárias pode-se chegar perto da excelência ou até mesmo atingi-la, melhorando o fluxo contínuo e eliminando atividade que não eram necessárias. Gera-se assim maior capacidade de flexibilidade, otimizando as atividades dos funcionários dando velocidade ao processo. Isto possibilitou um rápido atendimento ao cliente. (WOMACK; JONES, 2004).

O Seis Sigma (Six Sigma) teve origem em meados dos anos 80 e é uma metodologia direcionada a trabalhos que visam a redução de defeitos a zero ou a quase zero. Para isso dispõe da utilização de ferramentas analíticas e estatísticas que auxiliam na caracterização da causa raiz e na medida de combate para solucionar o problema. Através da metodologia será possível reduzir a variabilidade do processo e obter ganhos tangíveis para companhia, oferecendo cada vez mais a disseminação da cultura de melhoria continua, buscar melhorar o sistema a todo momento dando um foco especial na redução de custo e ao tratamento ao cliente. (PAULA et al., 2006).

De acordo com George (2004), o princípio do Lean Seis Sigma está no foco de atividades críticas que possibilitem dar a qualidade ao processo, eliminando atividades que criam os maiores atrasos a linha de produção e afetam diretamente a meta do indicador da companhia. A integração das duas metodologia é sensacional, as duas juntas agregam muito valor pois oferecem oportunidades de melhoria em custo, qualidade e *lead time*! Proporcionam ganhos de produtividade e eficiência ao

processo.

Os dois juntos são capazes de trazer grandes benefícios se forem utilizados em conjunto. De acordo com George (2004), esta fusão se torna fundamental porque, um complementa o outro. Podemos constatar que a manufatura não consegue colocar um processo sob um controle estático, já o Seis Sigma por si só não melhorará a velocidade do processo; deste modo, essas metodologias se complementam e ficam muito mais fortes quando caminham juntas. Assim surgiu o Lean Seis Sigma. Uma metodologia que elimina defeitos, enfatiza a melhoria da velocidade do processo, utiliza de ferramentas tais como, análise de fluxo e de tempos de atrasos dos processos para se ter uma estrutura eficaz na resolução de problemas.

2.5 Implantação do Lean Seis Sigma

De acordo com Werkema (2013), a metodologia Lean Seis Sigma também se utiliza do ciclo PDCA, que é uma excelente ferramenta de gestão para as grandes empresas do mundo todo. O PDCA objetiva a melhoria contínua, tornando os processos das empresas mais ágeis, claros e objetivos. O ciclo PDCA segue alguns estágios. Primeiro, entende-se que devemos planejar, estabelecendo metas, identificando problemas e através disso traçar um plano de ação eficiente. Posteriormente, dever-se-á executar o que foi planejado, realizar todas as tarefas que foram previstas no plano de ação. Logo depois, vem o estágio de checagem. Este tem de expressar uma frequência de verificação das ações implementadas. E, por fim, a ação. Neste estágio, é preciso tomar as devidas providências sobre as avaliações e relatórios sobre os processos, visando sempre a correção máxima de falhas e o aprimoramento dos processos da empresa.

Segundo Werkema (2013), o ciclo PDCA é um uma metodologia de gestão que defini um caminho a ser seguido para que as metas estabelecidas possam ser atingidas. Quando essa metodologia é aplicada, necessita-se utilizar de várias ferramentas analíticas para a coleta de dados e resultados. As etapas se baseiam em:

- a) Planejamento (P) – Consiste em estabelecer metas e estabelecer o método para alcançar a meta proposta. Segundo Gonçalves (2011)

esse módulo é considerado como o mais importante, por ser o início do ciclo, desencadeando todo o processo referente ao ciclo PDCA;

- b) Execução (D) – Executar as tarefas de acordo com que foi planejado e coletar dados que serão utilizados na próxima etapa;
- c) Verificação (C) – De acordo com os dados que foram coletados na execução, comparar os resultados com a meta planejada. Em outras palavras: consiste em verificar se o planejado foi alcançado através da metodologia entre as metas desejadas e os resultados obtidos. Normalmente, são utilizadas para isso ferramentas de controle e acompanhamento. (MARSHALL, 2006);
- d) Ação (A) – Adotar um padrão caso a meta tenha sido alcançada ou corrigir os erros caso a melhoria não tenha sido efetiva. (MARSHALL, 2006).

O DMAIC surgiu como uma evolução do PDCA para processos de serviços, assim como em manufatura. O DMAIC com seu roteiro detalhado e maior número de ferramentas analíticas pode e deve complementar o PDCA, à medida que evoluem o sistema de gestão e o nível de capacitação das pessoas da organização. Antony (2004) detalha o uso do DMAIC especialmente para serviços, sugerindo uma sequência das principais atividades em cada uma de suas etapas, conforme segue:

- 1) D – etapa de Definição: visa definir o problema de forma sucinta e específica na perspectiva do cliente, buscando por fatos e dados. Identificar o gestor do processo principal e a equipe de projeto.
- 2) M – etapa de Medição: visa determinar a localização ou foco do problema.
- 3) A – etapa de Análise: visa entender as variáveis dos processos principais que podem levar aos defeitos, a natureza dos dados e a existência de padrões de variação para convergir para a causa raiz.
- 4) I – etapa de Melhoria (Improve): visa desenvolver soluções potenciais para eliminar ou então controlar a causa raiz do defeito, prevenindo a recorrência. Avaliar o impacto de cada solução potencial pelo custo e benefício.

- 5) C – etapa de Controle: visa confirmar que as ações corretivas e preventivas adotadas garantem a sustentabilidade dos resultados obtidos na fase de melhoria. Objetiva também desenvolver novos padrões para assegurar ganhos de longo prazo e padronizar as ações de melhoria, atualizando a documentação existente e identificando o dono do processo para estabelecer as novas regras de controle.

A utilização da metodologia Seis Sigma da empresa VALE estrutura o PDCA em 7 (sete) fases metodológicas.

Figura 2 - Estrutura DMAIC VALE S.A.



Fonte: VALE (2015).

2.6 Ferramentas do Lean Seis Sigma

Segundo Werkema (2014), a Estatística é a ciência que vive com a coleta, o processamento e a disposição dos dados (informação), atuando como ferramenta fundamental nos processos de soluções de problemas. Dentro de um processo de produção existe variabilidade ou dispersão, que é um conjunto de alterações nas condições estabelecidas como metas. Quando um processo está operando sob atuação de causas especiais de variação dizemos que ele está “fora do controle estatístico”. Para o controle da variação utilizam-se algumas ferramentas. Dentre elas, são destacadas as principais:

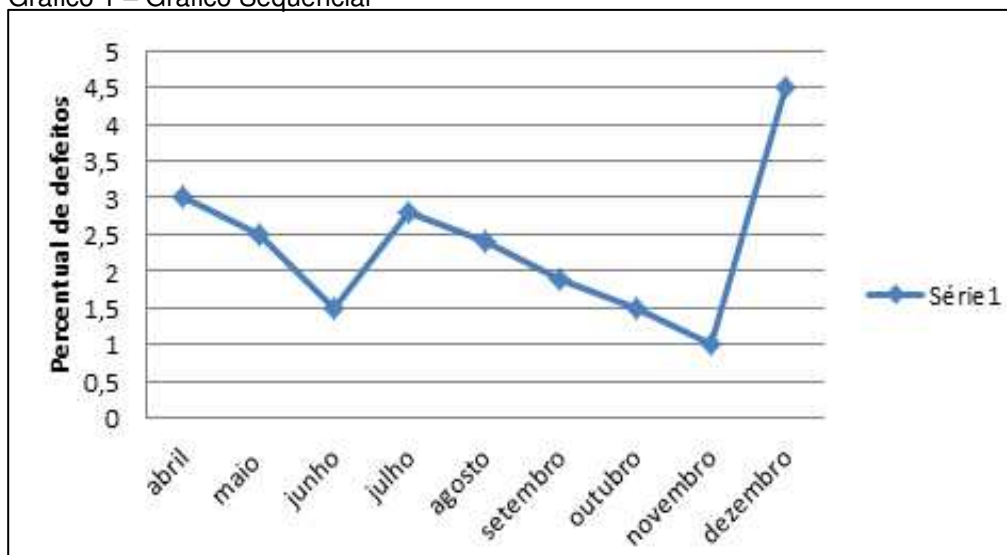
2.6.1 Brainstorming

De acordo com Werkema (1995), o Brainstorming (tempestade de ideias) é uma dinâmica de grupo em que as pessoas, de forma organizada e com oportunidades iguais, fazem um grande esforço mental para opinar sobre determinado assunto. Essa ferramenta não descarta nenhuma ideia, ou julga a ideia como errada ou até mesmo absurda, todas ideias são válidas até chegar em um denominador comum, a fim de gerar ideias inovadoras que levem o projeto a diante.

2.6.2 Gráfico Sequencial

É uma ferramenta bem simples utilizada para avaliar o estado de controle estatístico de um processo. Para elaborar um gráfico sequencial, devemos plotar em um diagrama os dados gerados pelo processo na sequência em que foram produzidos e, a seguir, ligar os pontos obtidos. Na interpretação do gráfico sequencial é observado se existem tendências especiais nos pontos ao longo do tempo ou se há pontos muitos afastados dos demais. Isso configura a atuação de causas especiais de variação dentro do processo. (WERKEMA, 2014).

Gráfico 1 – Gráfico Sequencial



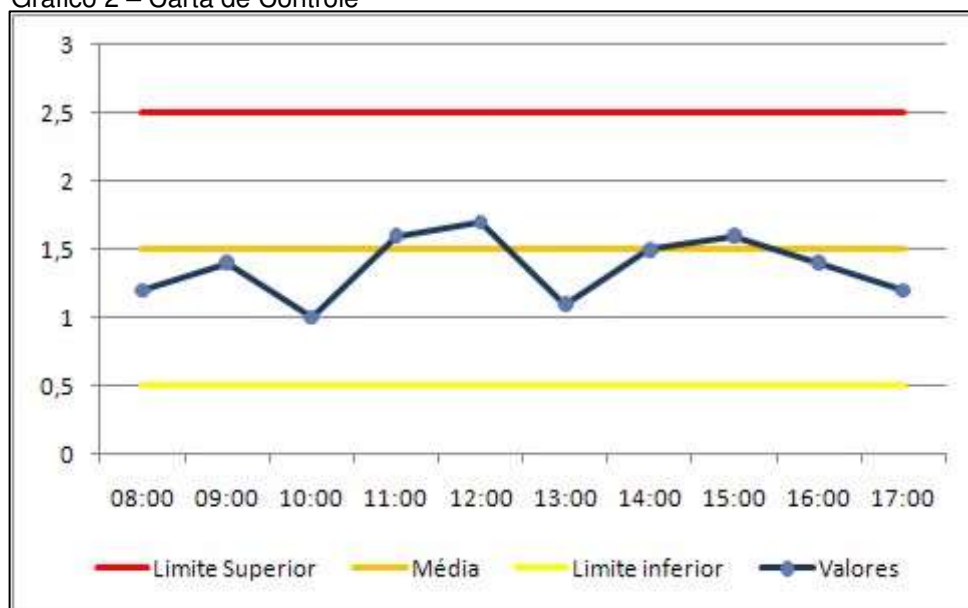
Fonte: Eschiavi (2012)

2.6.3 Carta de Controle

De acordo com Aguiar (2006), carta de controle é outra ferramenta muito

útil para avaliar o estado de controle estatístico de um processo, sendo mais informativo que o gráfico sequencial. É uma ferramenta responsável pelo monitoramento da variabilidade e para a avaliação da estabilidade de um processo, pois ele nos permite fazer a distinção entre dois tipos de causas de variação, ou seja: ele nos informa se o processo está ou não sob o controle estatístico. Basicamente a carta de controle é representação visual de uma característica de qualidade medida ou calculada para uma amostra de itens, grafada em função do número da amostra ou de alguma outra variável indicadora do tempo.

Gráfico 2 – Carta de Controle



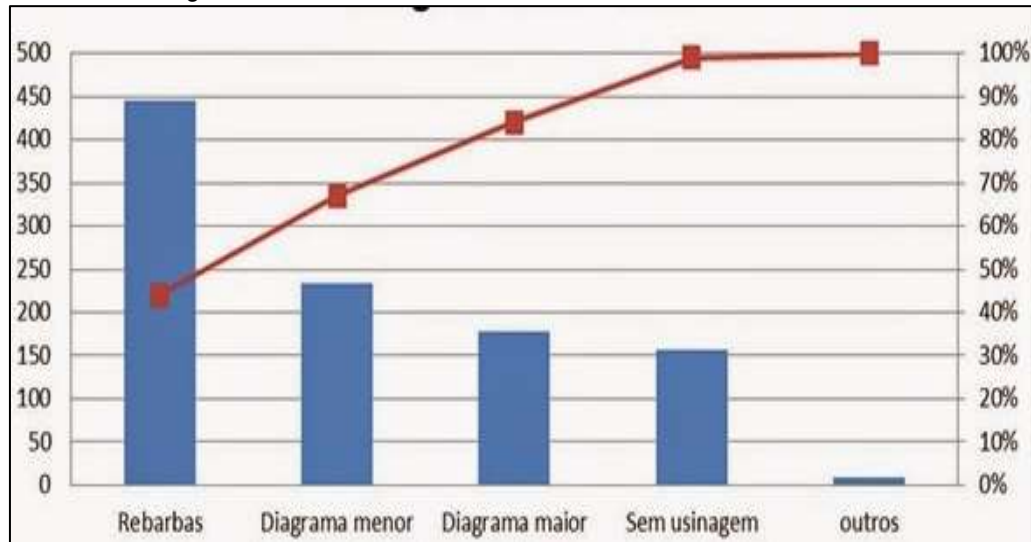
Fonte: Ornos (2011).

2.6.4 Gráfico de Pareto

É um gráfico de barras verticais que dispõe a informação de forma a tornar evidente e visual a priorização de problemas e projetos. Com base na informação disposta será possível estabelecer metas numéricas viáveis de serem alcançadas. O princípio de Pareto estabelece os problemas relacionados à qualidade (números de itens defeituosos, insatisfação do cliente, modos de falhas de equipamentos, perdas de produção e etc.). As perdas podem ser classificadas em duas categorias: “poucos vitais”, que representa pouco número de problemas, porém assumem grandes perdas para empresa. E os “muitos triviais”, que são uma extensa lista de problemas, mas, apesar de seus grandes números, contam-se em perdas pouco significativas. Em outras palavras: o princípio de Pareto nos mostra que, se

forem identificados muitos problemas, e se através da priorização selecionarmos cinco ou seis problemas pra solucionar, isso já representará cerca de 80% a 90% de redução das perdas que a empresa vem sofrendo devido à ocorrência de todos os problemas existentes. (ROTONDARO; MIGUEL; FERREIRA, 2005).

Gráfico 3 – Diagrama de Pareto



Fonte: Portal da Administração (2016)

2.6.5 Coleta de dados

Segundo Werkema (2014), os dados representam a base para a tomada de decisões confiáveis durante a análise de qualquer problema. É importante ter definido os objetivos da coleta de dados, já que esses objetivos indicarão as características que os dados deverão apresentar. Sabemos que uma empresa gera uma grande quantidade de dados, na qual uma parcela é realmente útil; por isso, cumpre haver importância de uma coleta de dados bem definida, pois ela pode ter custo para empresa, ser desnecessária e causar frustração no final. Os principais objetivos da coleta de dados são desenvolvimento de novos produtos, inspeção, controle e acompanhamento e melhoria de processos produtivos.

2.6.6 Diagrama de Matriz

Consiste em um arranjo dos elementos que constituem um evento ou um problema de interesse nas linhas e colunas de uma matriz, de forma que a existência ou a força das relações entre os elementos são mostradas através por

meio de símbolos, nas interseções de das linhas e colunas. É utilizado na visualização de um problema como um todo, deixando claras as áreas nas quais os problemas estão concentrados. Essa ferramenta permite a exploração de mais de um ponto de vista e a construção de uma base multidimensional para sua solução, distribuição de tarefa entre as diversas equipes de trabalho disponíveis e a identificação de gargalos e pontos críticos. (AGUIAR, 2006).

Figura 3 – Diagrama Matriz

Critério para priorização							
	Baixo Custo	Facilidade	Rapidez	Elevado impacto sobre as causas fundamentais	Baixo potencial para criar novos problemas	Contribuição para a satisfação do consumidor	
Peso (5 a 10)	9	8	8	10	10	7	
Solução							Total
I	3	3	1	5	5	1	166
II	5	5	5	3	5	0	205
III	3	5	5	5	3	3	208
IV	1	5	3	3	5	1	160
V	5	3	1	3	5	3	178
Legenda: 5 - Correlação forte 3 - Correlação moderada 1 - Correlação fraca 0 - Correlação ausente							

Fonte: Werkema (2014)

2.6.7 Desdobramento de Função da Qualidade (QFD)

Quality Function Deployment (QFD) é um método utilizado para desenvolvimento do planejamento estratégico. Traz uma melhoria da qualidade, onde são satisfeitos os desejos e as necessidades dos clientes.

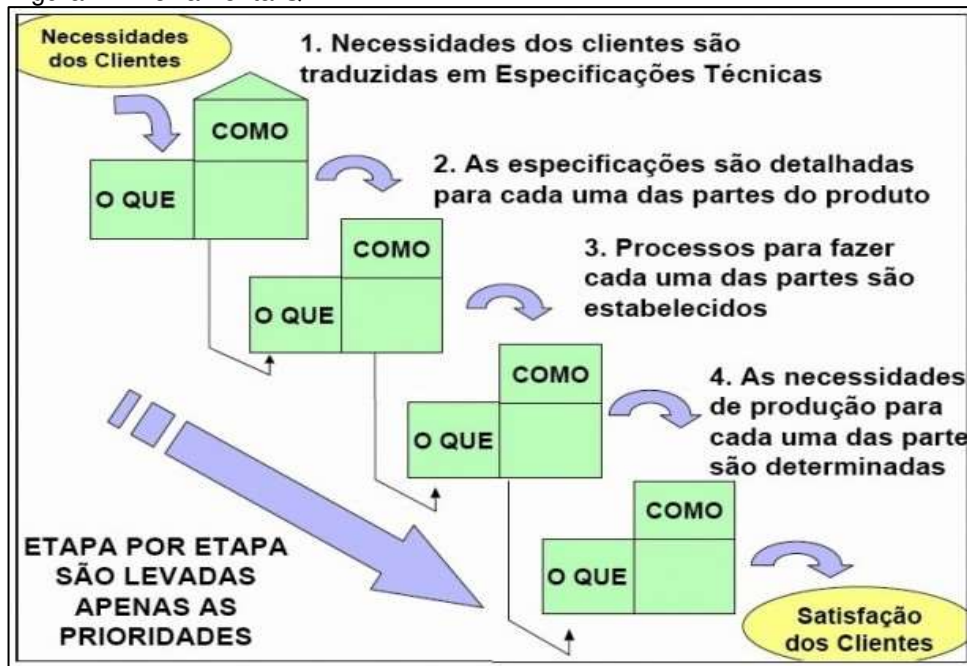
Esta técnica proporciona a identificação e a quantificação através dos porquês, que ajudam a chegar ao primeiro nível do problema, a causa raiz. Assim, dando mais credibilidade ao produto e atendendo à necessidade do cliente, obtendo ganhos na redução de custos e no tempo gasto pelo funcionário no desenvolvimento do produto. (CABRERA JUNIOR, 2012).

Segundo Abreu (1997), o QFD pode ser considerado como o primeiro método estruturado e sistematizado para orientar o processo e a execução das tarefas que o envolvem garantindo assim a transformação das necessidades e desejos dos clientes em produtos que efetivamente os satisfaçam.

O processo QFD é realizado através de matrizes que desdobram as necessidades dos clientes e os requisitos técnicos que o relacionam. Visam-se benefícios como o maior comprometimento das equipes que desenvolvem as atividades e dar foco a situações específicas

A Figura 4 demonstra um exemplo da ferramenta QFD.

Figura 4 – Ferramenta QFD



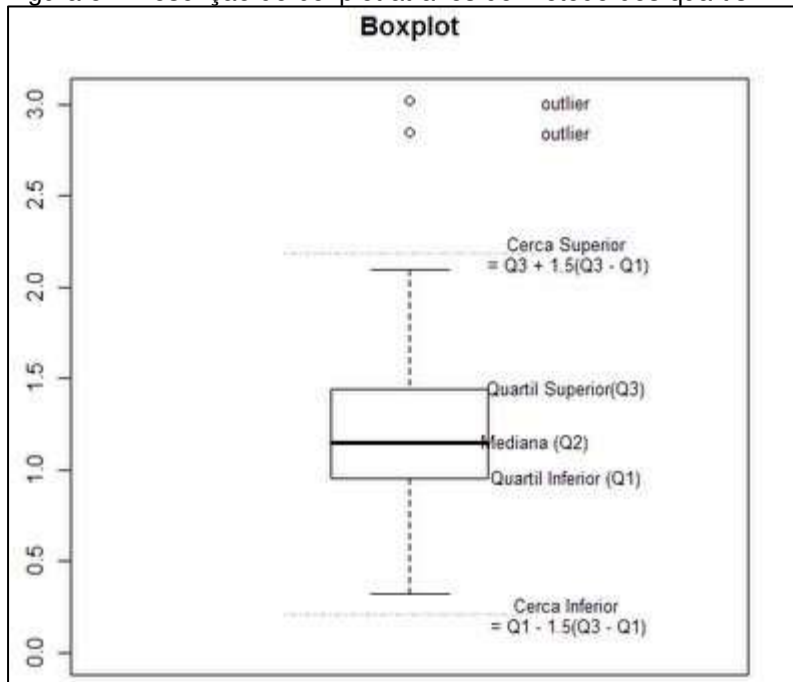
Fonte: Rodrigues (2004).

2.6.8 Box-Plot

Segundo Rotondaro, Miguel e Ferreira (2005), o *Box-Plot* conhecido também como gráfico de caixa, é um gráfico estatístico que apresenta simultaneamente várias características de um conjunto de dados: locação, dispersão, simetria ou assimetria e presença de observações discrepantes (*“outliers”*). Os *box plots* são muito úteis para comparação de dois ou mais conjuntos de dados. Existem algumas variações quanto à quantidade de estatísticas representadas nesse tipo de gráfico, mas de uma forma geral todos incluem a mediana, o 1º e o 3º quartil, os valores mínimos e máximos e eventuais *outliers* e extremos. A existência de *outliers*, valores extremamente altos ou extremamente baixos, poderão indicar tanto dados incorretos como dados válidos que carecem de uma atenção especial. Dependendo do objetivo pode ser que justamente os *outliers*

sejam os pontos de interesse da análise.

Figura 5 – Descrição do boxplot através do método dos quartis



Fonte: Adaptado de Bothe (2002).

2.7 Transportadores de Correia

Os transportadores de correia ou esteiras transportadoras são máquinas de transporte contínuas mais utilizadas que possuem a característica de receber cargas e transportá-las de maneira praticamente contínua ao longo de um caminho precisamente definido. São consideravelmente fáceis de serem automatizadas, possuem grande confiabilidade e se destacam por sua elevada produtividade e baixo custo operacional. Portanto, são equipamentos presentes em praticamente todas as indústrias que necessitam do deslocamento de matérias-primas, produtos manufaturados ou mesmo de resíduos da produção. (NOGUEIRA, 2004).

Além disso, uma linha de produção industrial atual está fadada ao insucesso se não assegurarmos um funcionamento impecável dos processos de transporte de matérias-primas, produtos semiacabados e da produção terminada, em todas as fases da fabricação e do armazenamento. Portanto, devido às características mencionadas, a esteira transportadora é um equipamento fundamental dentro de uma indústria. Logo, seu estudo e a implementação de técnicas de identificação de sistemas a estes dispositivos são necessários para a

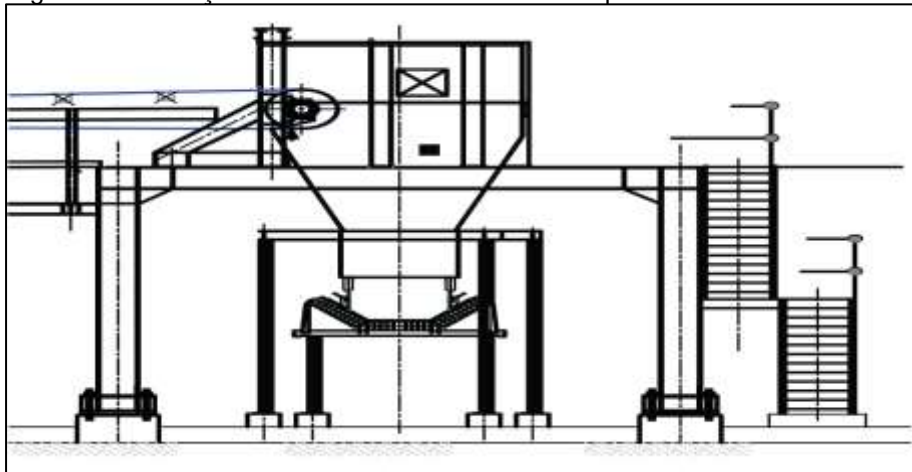
criação de algoritmos de controle que visem à eficiência energética e o aumento de sua vida útil. (NOGUEIRA, 2004).

Um transportador de correia envolve uma série de elementos que devem ser bem analisados, pois todos tem fundamental importância para o correto funcionamento do equipamento. Os principais componentes são: correia, tambores, acessórios, guias laterais, roletes, freios, chute, estrutura, drive – (acionamento motor e redutor). (MANUAL FAÇO, 1991).

O desalinhamento em correias transportadoras poderá acontecer basicamente por falhas na estrutura, que ocorrem devido a empenos e desgaste da estrutura. Falhas na correia, devido a emendas desalinhadas, diferentes tipos de espessura ou largura em um mesmo transportador e perda de cabos na borda. Ou por falhas na alimentação, onde os chutes de transferência lançam a carga descentralizada e segrega ela em um dos dois lados, desequilibrando o processo de transporte do material. (MANUAL FAÇO, 1991).

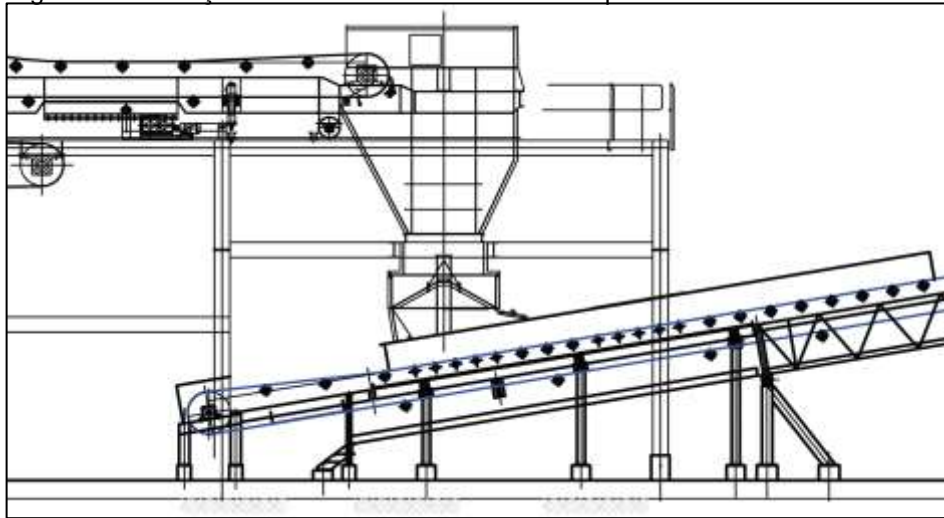
Um estudo preliminar de um sistema de manuseio de material, envolvendo transportadores de correia, enfatiza o número de pontos de transferências entre os transportadores. Deve ser minimizado, para reduzir a degradação de pó e o custo do processo. A plataforma de operação deve manter sempre uma folga vertical mínima de um (01) metro abaixo da parte inferior do tambor de descarga, para dar espaço à instalação e manutenção do sistema de limpeza da correia. Como podemos observa-se as figuras 6 e 7 ilustram a estrutura simples de um chute de transferência, segundo Gavi (2011).

Figura 6 – Elevação lateral de uma transferência típica a 90º



Fonte: Gavi (2001).

Figura 7 – Elevação lateral de uma transferência típica alinhada



Fonte: Gavi (2001).

Segundo o Manual da Norte e Sul- Consultoria (NS ENGENHARIA, 2016), o êxito de um sistema de transporte por correia dependerá fundamentalmente do ponto de carregamento do material. Se o material for carregado no centro da correia, na mesma velocidade e sentido desta e sem impacto, então, surgirão aproximadamente 90% de todos os problemas dos transportadores, tais como desalinhamentos, desgastes das correias e/ou dos rolos, vazamento de material, dentre outros seriam evitados.

É para o projeto do ponto de transferência que se deve dar especial atenção, isto é, aos chutes de carregamento e guias de material. Estes devem ser adequados de forma a permitir que o material seja entregue no centro da correia receptora sem causar desalinhamento, queda pelas bordas dos chutes ou vazamentos pelas guias de material e que, além disso, possibilite espaço suficiente para montagem dos raspadores e melhor eficiência de limpeza. (NS ENGENHARIA, 2016).

3 MÉTODO

Segundo Vilaça (2010), a análise de metodologias permite a identificação da abordagem da pesquisa, a escolha dos instrumentos de coleta de dados e o planejamento dos procedimentos de tratamento e análise. Sendo assim, é necessária a classificação da pesquisa para seu melhor desenvolvimento. Podemos considerar que a pesquisa pode ser classificada quanto à natureza, abordagem e procedimentos técnicos. Este trabalho possui a seguinte classificação.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa tem caráter de estudo de caso, pois foi realizado um estudo prático na empresa Vale, em uma das falhas operacionais, que é o desalinhamento de correia, uma falha que ocorre corriqueiramente no processo. Os principais estudos de caso são os que dão foco a um problema ou a mais de um. Neste caso, conforme foi referido, foi escolhido um modo de falha que acontece frequentemente em meio a diversos problemas existentes, que é o desalinhamento de correia transportadora, que proporciona impacto direto aos indicadores da companhia.

Quanto à abordagem, esta pesquisa tem caráter quali-quantitativo. Segundo os ensinamentos de Richardson (1989), quando falamos de quantitativo ocorre uma ideia de quantidade, seja de coletada de informações, seja de dado, seja de resultados. Podemos caracterizá-la pelo fato de ser utilizada como auxílio no desenvolvimento da metodologia aplicada, ferramentas estatísticas, sejam elas simples ou complexas. Como foi dito, o maior objetivo da abordagem quantitativa é garantir a precisão do trabalho realizado, dando poucas chances ao erro. Para analisar o problema de desalinhamento de correia foi utilizada a metodologia Lean Seis Sigma. Recorreremos ao ciclo PDCA que é uma ferramenta poderosa que trabalha diretamente com técnicas estatísticas.

Os estudos de campo qualitativos não apresentam um conceito específico para sua utilização. Algumas pessoas entendem que todos os estudos realizados fazem uma abordagem qualitativa, além de se identificar com observação participante pois a uma interação do pesquisador e o processo no recolhimento de dados. A pesquisa deste trabalho é também qualitativa, pois, houve a necessidade da integração da observação participante ao trabalho de campo na sua conjuntura, desde a chegada do investigador ao campo de pesquisa para colher dados necessários para o desenvolvimento da pesquisa, quando inicia negociações com os

técnicos e funcionários de outras áreas para conseguir acesso a informações. Visitas foram de extrema necessidade para o andamento do trabalho, esse dinamismo agregou valor e deu qualidade ao resultado final. Isto ensejou a pesquisa de campo.

Quanto à natureza, a pesquisa pode ser aplicada ou básica. Neste trabalho a pesquisa é aplicada, pois teve como objetivo formar conhecimentos para as devidas aplicações práticas e a solução da falha operacional do desalinhamento de correia. O estudo de caso foi realizado na empresa Vale, na área de manutenção embarque, localizada no porto Ponta da Madeira, na cidade de São Luís do Maranhão.

Quanto às técnicas de coleta de dados, foram utilizadas várias entrevistas no desenvolvimento do trabalho com técnicos especializados da área do embarque, de modo que fossem feitas análises documentais e observação participante. Entrevista, “Encontro entre duas pessoas, a fim de que uma delas obtenha informações a respeito de um determinado assunto”. (MARCONI; LAKATOS, 1999, p. 94). Neste trabalho foi realizada uma entrevista não estruturada. Por ela o entrevistador tem a liberdade de desenvolver cada situação em qualquer direção. Permite explorar mais amplamente uma questão.

A análise documental busca informações em documentos em uma base de dados para o desenvolvimento de estudos e pesquisas, garantindo através de uma boa análise traçar medidas para combater desvios e alçar projeções futuras. (PIMENTEL, 2001; RAIMUNDO, 2006, apud SOUZA; KANTORSKI; LUIS, 2011). As informações colhidas serão de relatórios diários do setor de confiabilidade, e, através destes dados, tomar-se como base uma solução mais precisa para a falha operacional, desalinhamento de correia na empresa Vale.

Na observação participante podemos partir da ideia de que se “[...] utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Consiste de ver, ouvir e examinar fatos ou fenômenos”. (MARCONI; LAKATOS, 1999, p. 90). Na observação participante são apontadas duas formas a natural e a artificial, para este trabalho será utilizada a natural pois, o observador pertence ao mesmo grupo no qual ele investiga.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Apresentação da área de aplicação da metodologia Lean Seis Sigma

Muitos problemas foram identificados dentro da empresa Vale. Com isso, foram criadas equipes para formação de *green belt* para desenvolver trabalhos de Lean Seis Sigma, na qual eu fiz parte auxiliando os engenheiros no decorrer de todo o trabalho. A nossa equipe foi formada pelo gerente da área do embarque (Champion) que já realizou trabalho de Lean Seis Sigma, e seu objetivo dentro do trabalho foi estabelecer condições e recursos para equipe, também fizeram parte da equipe engenheiros que são classificados como líderes (futuros Green Belt), que são os principais responsáveis para o êxito do trabalho, pois através dele é alcançado o título de Green Belt. A equipe também contou a ajuda de técnicos que foram fundamentais na realização das atividades e melhorias implantadas (Yellow Belt).

Através de um estudo feito em cima dos problemas mais recorrentes, ficou constatado que o desalinhamento de correias transportadoras impactava bastante nos indicadores da empresa; com isso, foi desenvolvido um trabalho para redução do tempo de desalinhamento de correia por volume embarcado.

Neste trabalho o foco foi para a redução do tempo dos ativos que mais apresentavam desalinhamento dentro do processo de embarque do minério que são os seguintes, transportador de correia 315k-01 (TR 1501), transportador de correia 325k-16 (TR 2516), carregador de navio 321k-01 (CN1), carregador de navio 325k-02 (CN4) e o carregador de navio 326k-01 (CN6).

A equipe que desenvolveu o projeto é um grupo multidisciplinar, composto por funcionários da empresa Vale, da área de planejamento e processo, execução mecânica e operação.

Tabela 1 – Equipe do Lean Seis Sigma

	Nome	Função	Gerência
Champion	Sergio Ricardo Pinheiro de Leão	Gerente	Manutenção Embarque
Líder	Fellipe Adriano	Engenheiro	Manutenção Embarque
Líder	Tiago Bispo	Engenheiro	Planejamento e Processo
Equipe	Leonardo Rocha	Técnico	Planejamento e Processo
Equipe	Adson Queiroz	Técnico	Planejamento e Processo
Equipe	Claudio Barros	Técnico	Planejamento e Processo
Equipe	Hugo Nunes	Estagiário Ensino Superior	Manutenção Embarque
Equipe	Darlan Oliveira	Técnico	Operação do Embarque

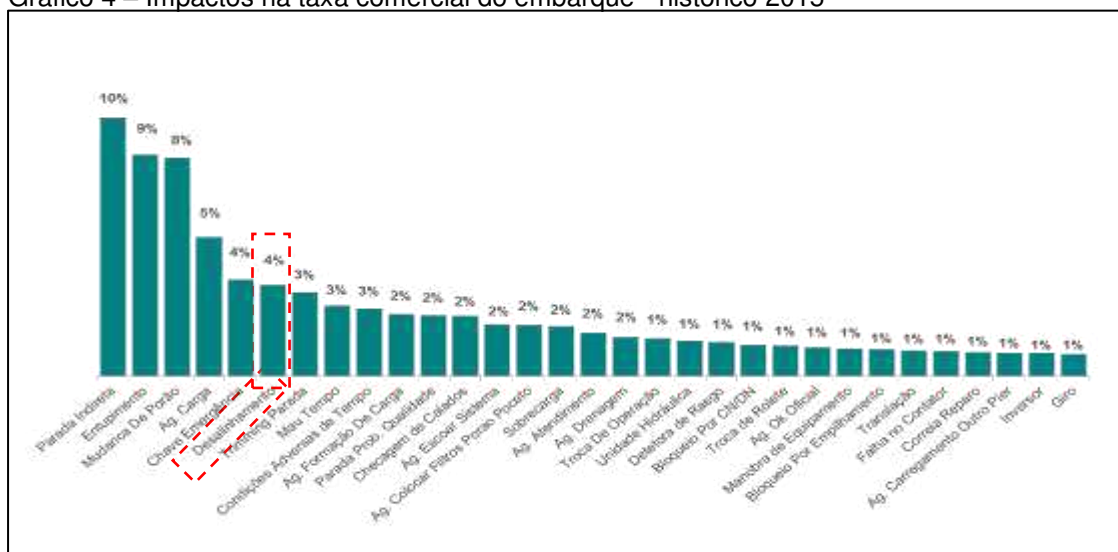
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para aplicação da metodologia Lean Seis Sigma foi utilizado o ciclo PDCA, que, além de ser uma excelente ferramenta de gestão, é muito bem estruturada em estágios a serem seguidos e foi fundamental no auxílio da resolução do trabalho.

4.2 Planejar (Plan): identificação do problema

No processo produtivo da Vale existem muitos modos de falhas que interferem na entrega do produto ao cliente. Foi percebido que os desalinhamentos de correias transportadoras impactam diretamente os indicadores responsáveis do embarque do minério ao navio (DI e HMC) além de ocasionar perdas de ativos e ocorrências portuárias.

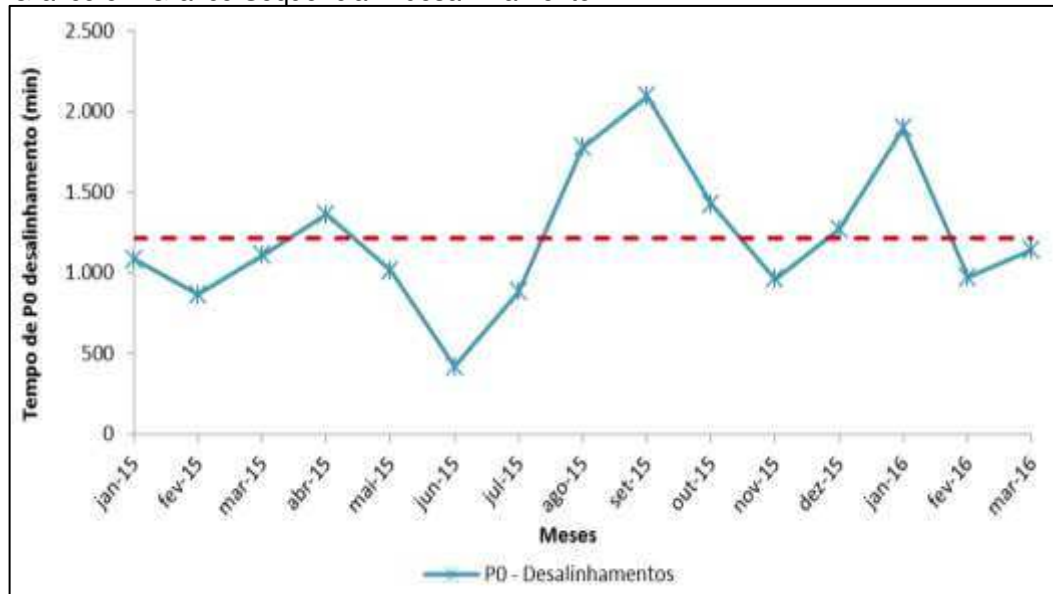
Gráfico 4 – Impactos na taxa comercial do embarque - histórico 2015



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Problemas relacionados a desalinhamento nos equipamentos representam 4% dos eventos que afetam a taxa comercial do Embarque, mostrando-se muito relevantes ao processo de manutenção.

Gráfico 5 – Gráfico Sequencial – desalinhamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Tendo como baseline jan/15 a mar/16, observou-se que o tempo médio de P0 por desalinhamento por evento de aproximadamente 1220 minutos/mês.

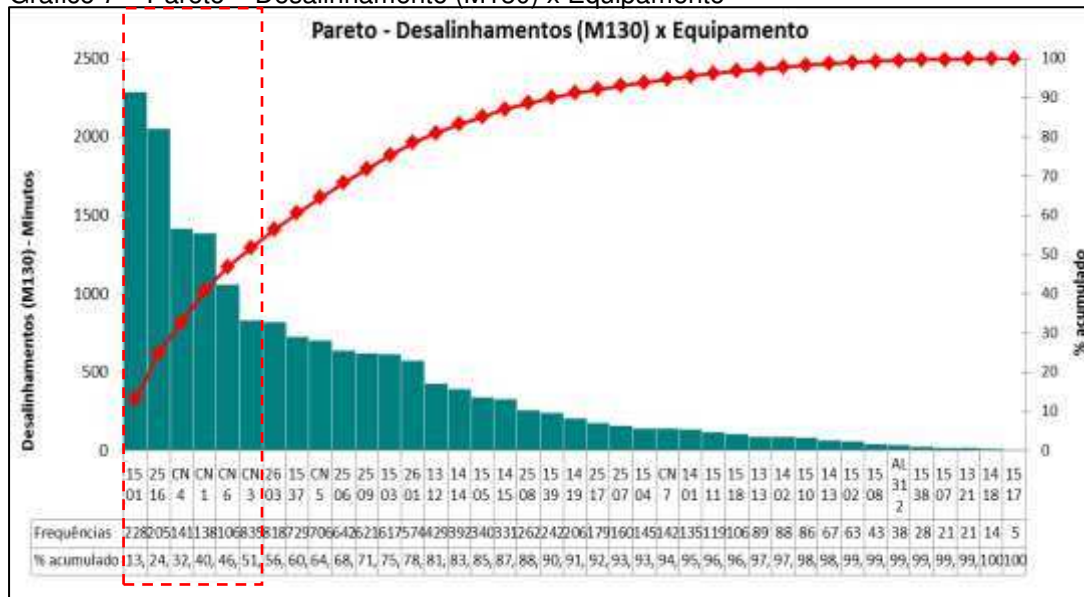
Gráfico 6 – Pareto – desalinhamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Observou-se que quase 96% de todos os eventos de desalinhamento têm como causa a natureza mecânica. Como sabemos os principais componentes são correia, tambores, acessórios, guias laterais, roletes, freios, chute, estrutura, drive – (acionamento motor e redutor), e um desalinhamento por natureza mecânica se deve a falhas estruturais, empeno ou desgaste da estrutura, emenda desalinhada e também por acúmulo de material no chute de transferência, fazendo alimentação de minério na correia ficar descentralizada.

Gráfico 7 – Pareto – Desalinhamento (M130) x Equipamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Desses 96%, constatou-se que 39 dos 78 ativos, que compõem o sistema do embarque, impactaram no seu desempenho por motivo de desalinhamento (M130), que são de natureza mecânica. Desses 39 ativos, apenas 6 ativos correspondem a 51% do total de paralisações para devidas manutenções. Com isso, esses ativos o serão o foco do projeto.

Observação: CN 3 não é foco do trabalho devido à melhoria desenvolvida em CCQ, onde foram eliminadas as ocorrências desse modo de falha no ativo. Portanto, todas os cálculos apresentados desconsiderarão esse ativo.

Para ter um controle sobre os ativos em foco foi estabelecido um indicador de performance onde ele nos mostra qual foi o tempo de impacto de desalinhamento durante o mês por volume de toneladas de minério embarcado. Este indicador tem relação com volume movimentado, pois o processo produtivo da empresa Vale, no Porto Ponta da Madeira, é o embarque do minério, e através do

tempo de paradas dos ativos durante o mês relacionado ao volume movimentado. Assim sendo, teremos o desempenho dos ativos.

I: Indicador de performance; (min/ Mton)

T: Tempo de parada dos ativos; (Minutos)

V: Volume Movimentado. (Toneladas)

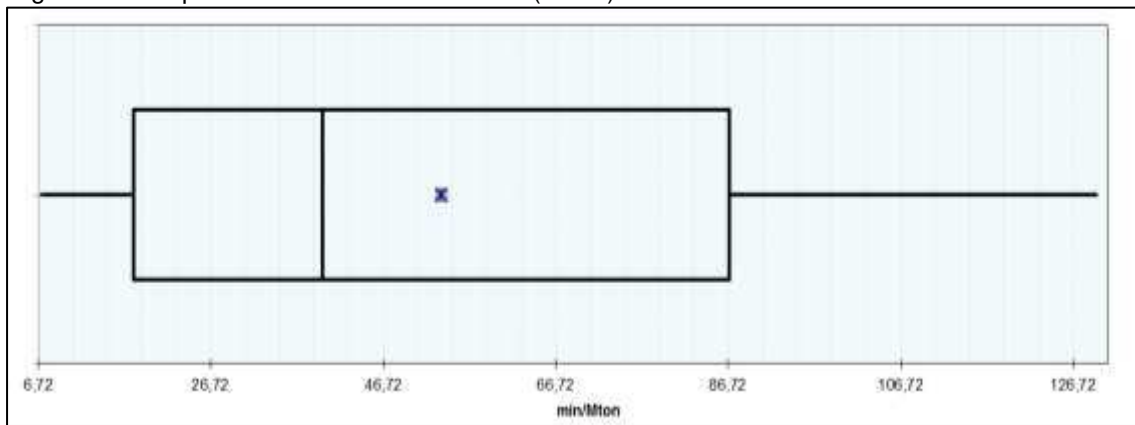
$$I = \frac{T}{V}$$

Os dados coletados para o estudo desenvolvido no trabalho foram retirados da base de dados altamente confiável da empresa Vale, chamada GPV. Nesta base de dados é possível coletar todos os eventos ocorridos durante o processo de atracação até o momento de desatracação do navio; com isso, podemos identificar o desalinhamento, o tempo de duração do evento.

Para se estipular metas foi preciso fazer uma análise de como o indicador comportou durante 15 meses. Tendo por base os resultados foi possível observar que, durante o período avaliado (jan/15 a mar/16), a média do indicador das máquinas priorizadas no detalhamento do problema foi de 53,47 min/Mton. Onde o melhor resultado obtido foi 7,07 min/ Mton, enquanto que o pior resultado foi 129,43 min/Mton.

Analisando o *box-plot* percebe-se uma grande variabilidade nos resultados encontrados nas quinze amostras.

Figura 8 – Boxplot – HMC desalinhamentos (M130)/Mton



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

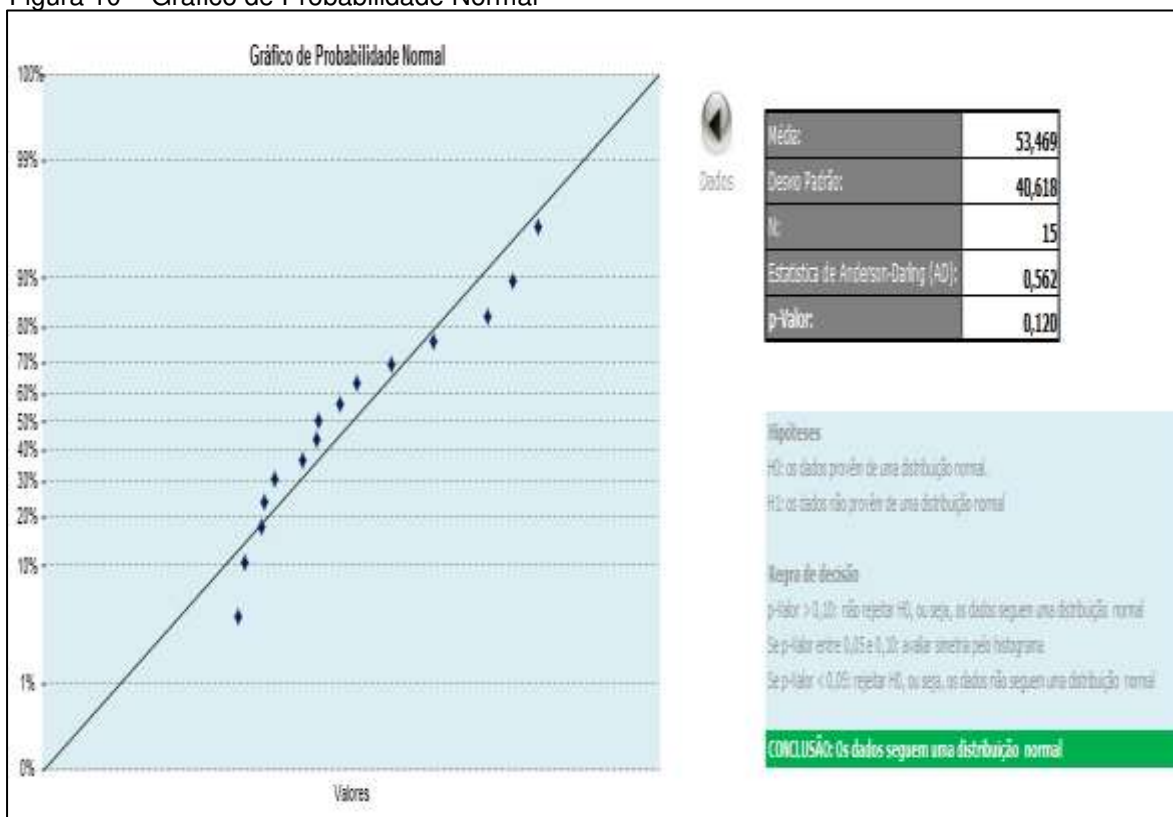
Figura 9 – Estatísticas descritivas

Variável	Número de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1o. Quartil	Mediana	3o. Quartil	Máximo
Min/Mton	15	53,47	40,62	7,07	17,74	39,70	86,84	129,43

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Através do gráfico de probabilidade normal foi possível comprovar que os dados segue distribuição normal, desta forma podemos usar a média para definição de meta.

Figura 10 – Gráfico de Probabilidade Normal



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Considerando-se o método da lacuna, a meta seria 30,27 HMC por desalinhamentos/ Mton embarcadas, representando uma redução de 43,39% no indicador.

Método das Lacunas

Média =	53,47
Referência =	7,07
Lacuna =	46,4
Metade da lacuna =	23,20
Meta =	30,27

Gráfico 8 – Sequencial – HMC desalinhamentos (M130)/Mton

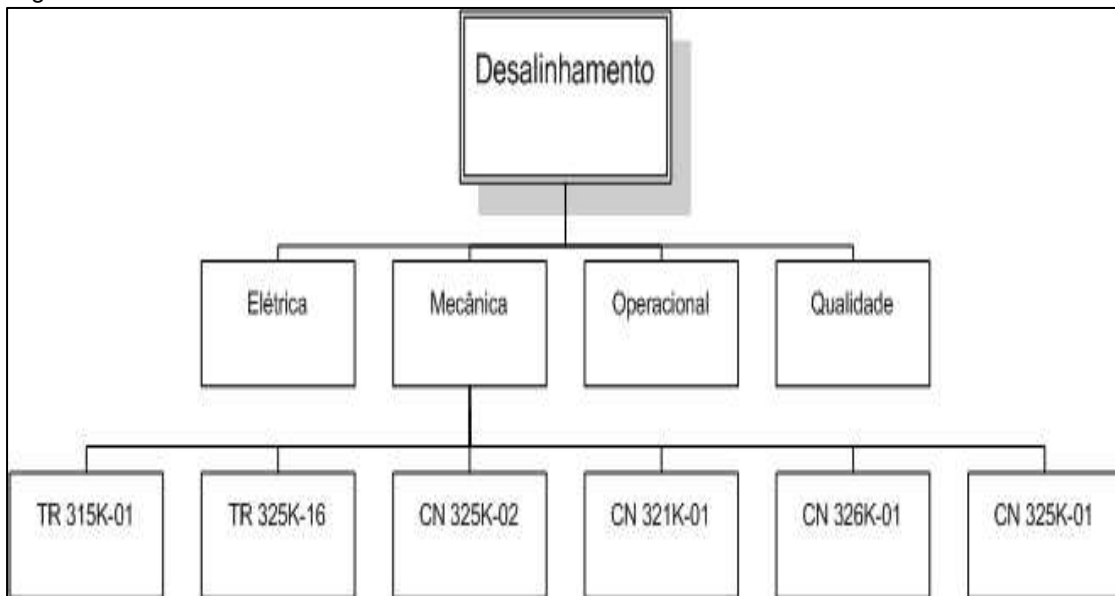


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

4.3 Análise do fenômeno

O problema foi estratificado de acordo com a natureza do evento. Como podemos observar, é mecânico, e pelos ativos, que anteriormente foram identificados, como os que mais impactam com desalinhamentos recorrentes. As informações serão coletadas na base de dados confiável da empresa Vale, GPV.

Figura 11 – Desdobramento da Falha

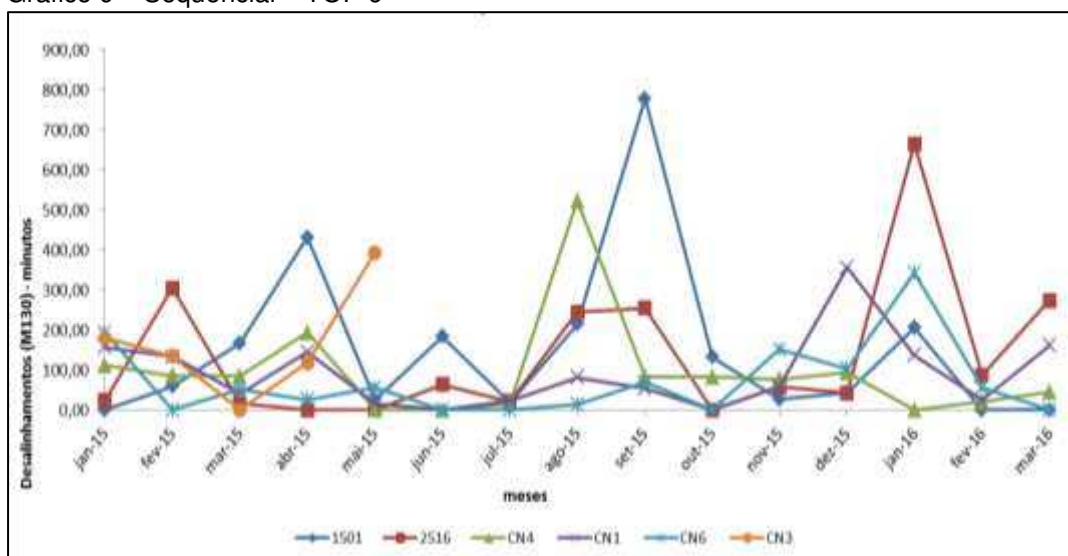


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

4.3.1 Estratificação por ativos

Analisando-se os ativos, que são focos através da estratificação dos dados, ficou definido que o foco do estudo são os desalinhamentos ocasionados por falhas mecânicas. Estes representam 95,7% das horas de desalinhamentos registrados durante o período analisado. Com relação aos equipamentos, o foco está nos 6 ativos responsáveis por 51% do total de paralizações de produção por desalinhamento.

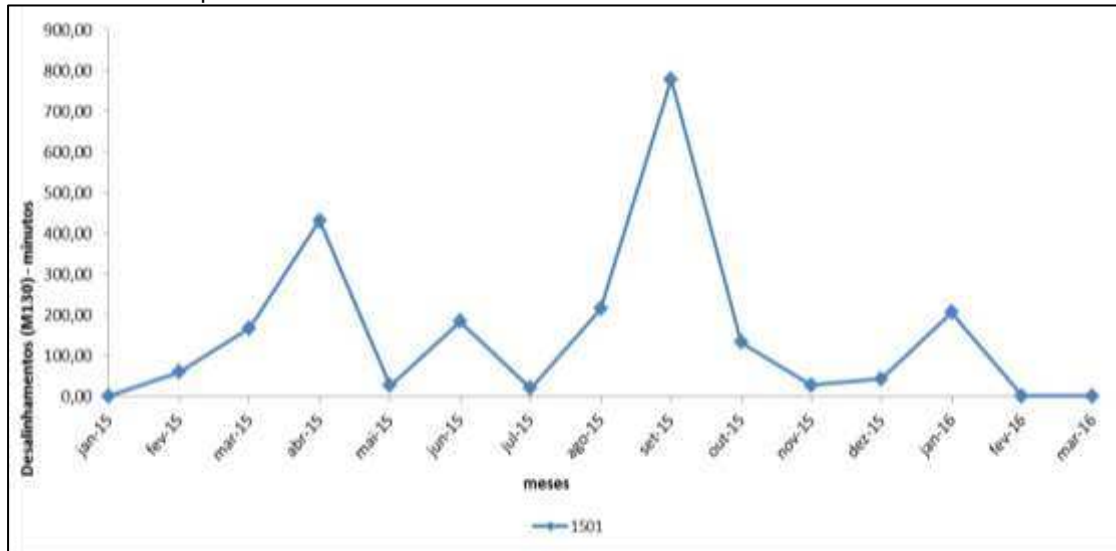
Gráfico 9 – Sequencial – TOP 6



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

a) TR-1501

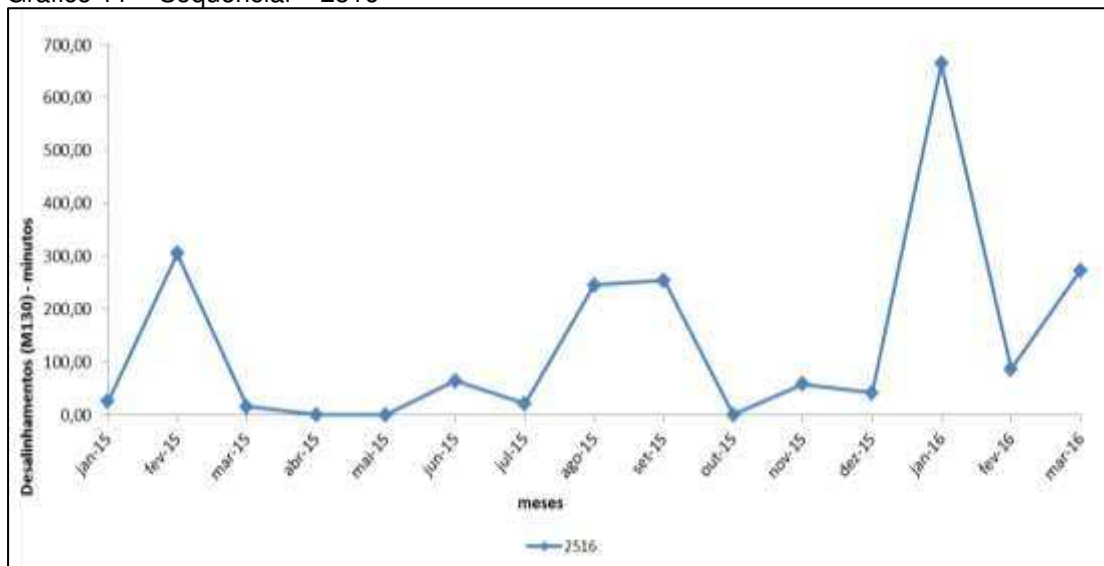
Gráfico 10 – Sequencial – 1501



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

b) TR-2516

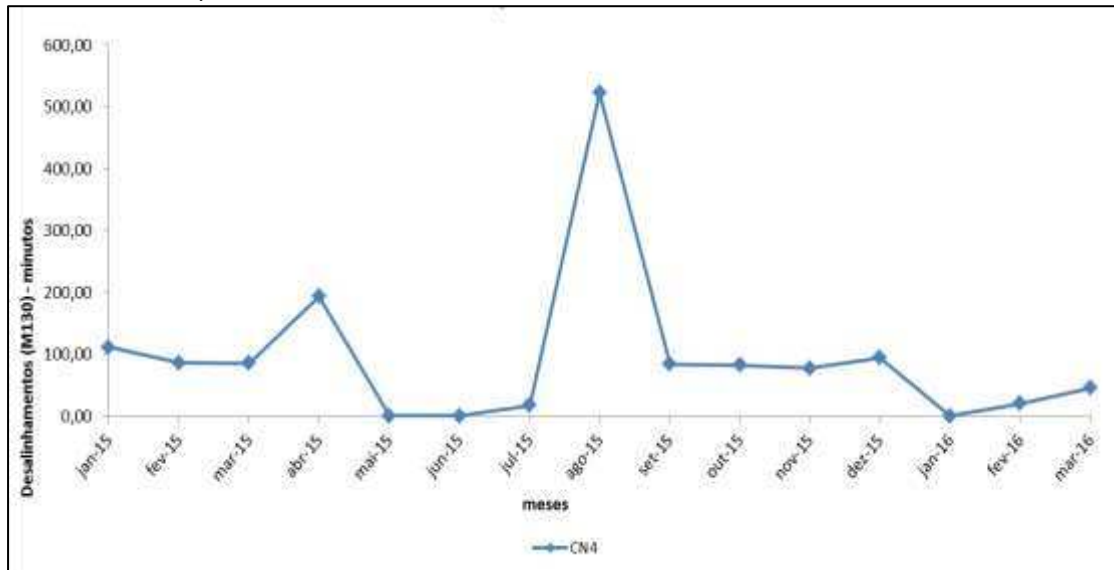
Gráfico 11 – Sequencial – 2516



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

c) CN4

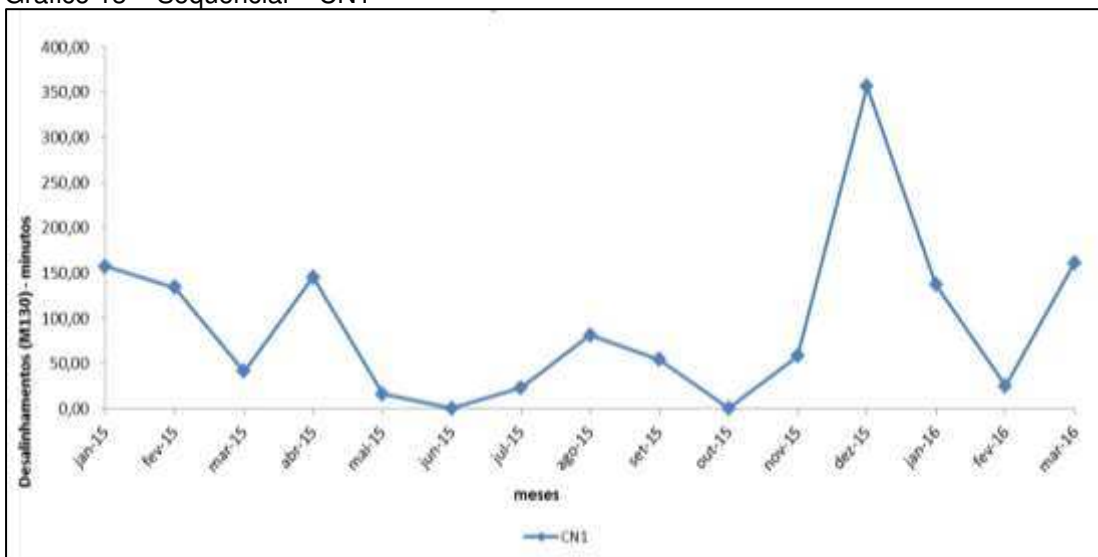
Gráfico 12 – Sequencial – CN4



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

d) CN1

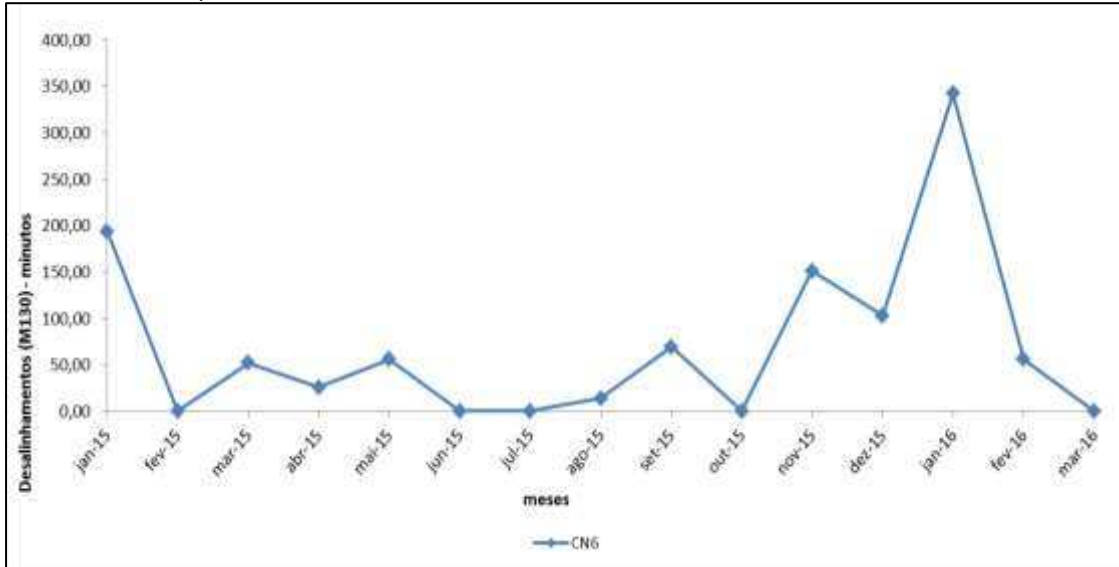
Gráfico 13 – Sequencial – CN1



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

e) CN6

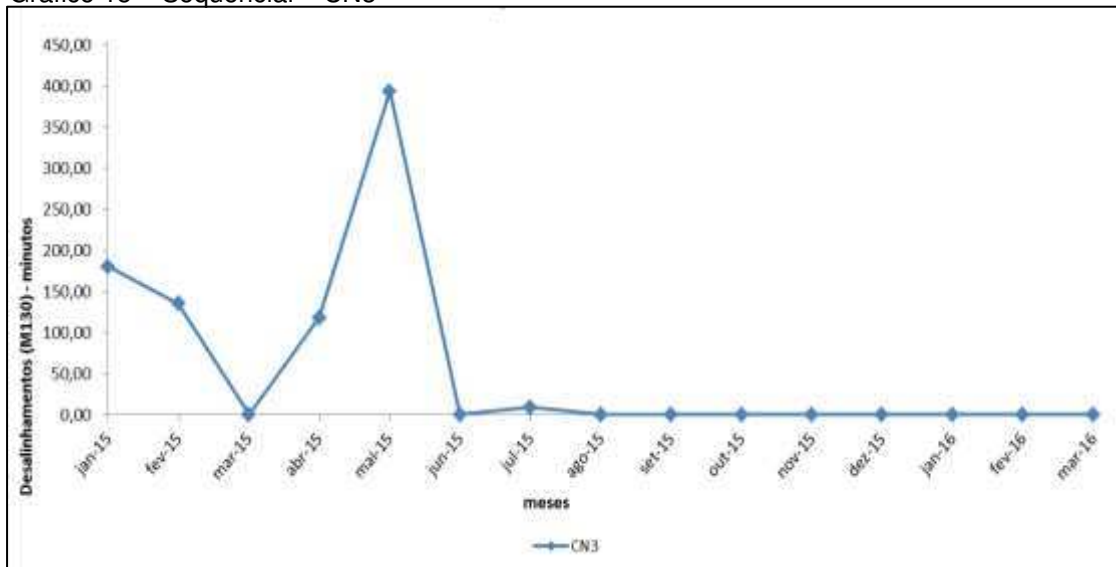
Gráfico 14 – Sequencial – CN6



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

f) CN3

Gráfico 15 – Sequencial – CN3



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Observa-se que existem ocorrências de desalinhamentos para esses ativos em quase todos os meses, com exceção do CN3 que, desde maio/15, não apresentou eventos de desalinhamento. Isso se deve ao fato de uma melhoria implantada por um grupo de CCQ nesse equipamento, eliminando os modos de falha por desalinhamento em seu TR intermediário.

4.3.2 Comportamento dos ativos foco ao longo do tempo

Anteriormente foi observado, através do *box plot*, que existe uma alta variabilidade entre os resultados apresentados por todos os equipamentos em estudo. Também podemos concluir que não houve registro de desalinhamento M130, em pelo menos um dos meses observados, para os equipamentos em estudo (valor mínimo = 0).

Com fundamento no exposto podemos estabelecer metas específicas para cada ativo.

Tabela 2 – Estabelecimento da meta específica

MÉDIA BASELINE	190,42	171,17	118,00	106,77	106,20		
REDUÇÃO	45%	35%	45%	45%	45%	META	30,27
TOP 5							min/ Mton
1501	2516	CN4	CN1	CN6	Min	Mton	
0	16,25	61,05	86,35	106,15	269,8	8,80	30,66
32,45	198,25	47,3	73,7	0	351,7	8,39	41,93
91,85	10,4	46,75	22,55	28,6	200,15	9,09	22,01
237,05	0	106,15	79,75	14,3	437,25	9,16	47,76
14,3	0	0	8,8	30,8	53,9	10,12	5,32
101,2	41,6	0	0	0	142,8	11,35	12,58
10,45	13,65	9,35	12,65	0	46,1	11,32	4,07
117,7	159,25	287,1	44,55	7,7	616,3	9,02	68,33
427,35	165,1	46,2	29,7	37,95	706,3	11,39	62,03
72,6	0	45,1	0	0	117,7	12,06	9,76
14,85	37,7	42,35	31,9	83,05	209,85	11,17	18,80
23,65	27,3	51,7	195,8	56,65	355,1	13,19	26,93
113,3	431,6	0	75,35	188,1	808,35	10,42	77,56
0	56,55	11	13,75	30,8	112,1	11,50	9,75
0	177,45	24,75	88,55	0	290,75	12,32	23,60
104,73	111,26	64,90	58,72	58,41		159	29,99

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

a) TR- 1501

Gráfico 16 – Sequencial TR 315K-01-HMC desalinhamento (M130)/Mton



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para o atingimento da meta ao tempo de paralisações por desalinhamento no TR 315K-01, dever-se-á 45% (de uma média de 190,42 para 104,73 minutos mensais).

b) TR- 2516

Gráfico 17 – Sequencial TR 325K-16-HMC desalinhamento (M130)/Mton

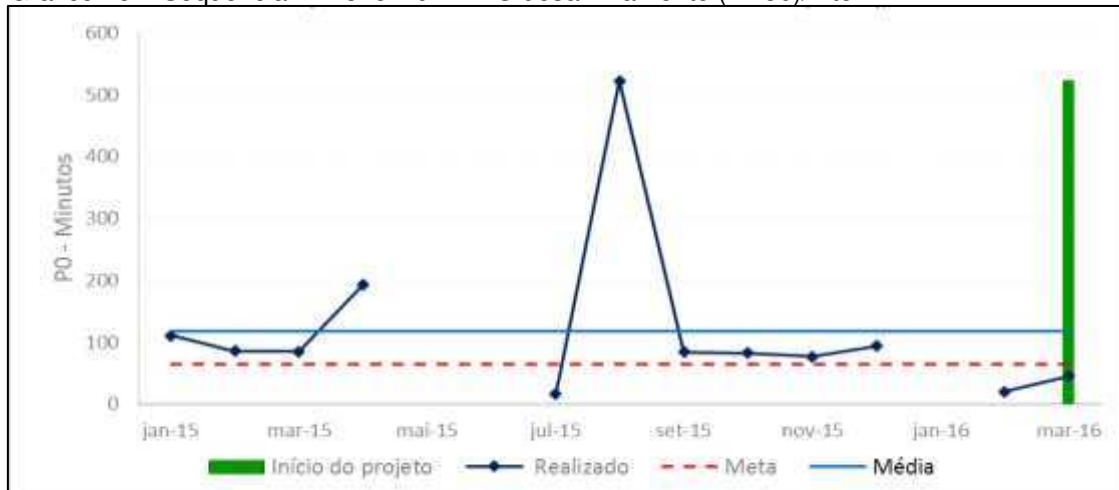


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para o atingimento da meta ao tempo de paralisações por desalinhamento no TR 325K-16, cumpre reduzir-se 35% (de uma média de 171,17 para 111,26 minutos mensais).

c) TR-2502

Gráfico 18 – Sequencial TR 325K-02-HMC desalinhamento (M130)/Mton

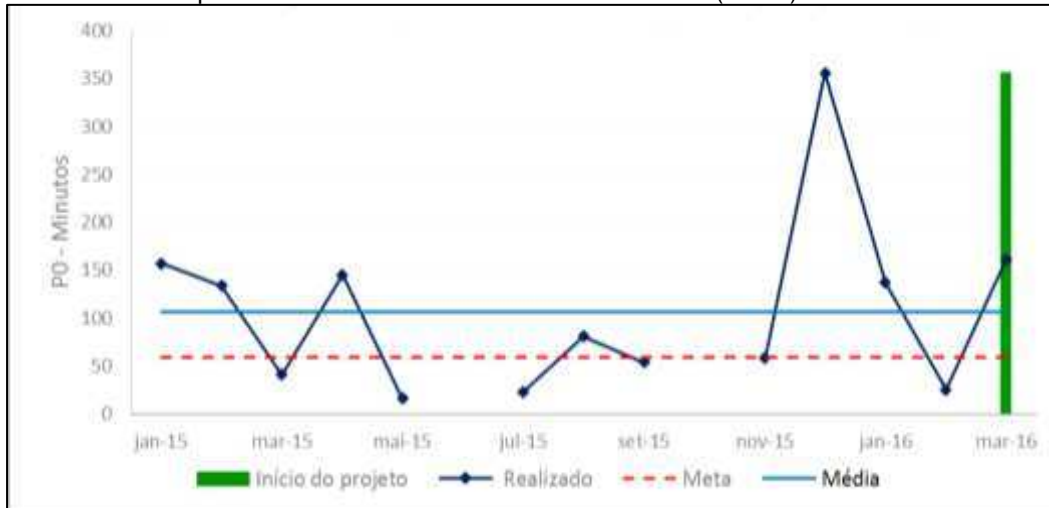


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para o atingimento da meta ao tempo de paralisações por desalinhamento no CN 325K-02, reduzir 45% (de uma média de 118,00 para 64,90 minutos mensais).

d) CN1

Gráfico 19 – Sequencial CN 321K-01-HMC desalinhamento (M130)/Mton



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para o atingimento da meta ao tempo de paralisações por desalinhamento no CN 321K-01, dever-se-á reduzir 45% (de uma média de 106,77 para 58,72 minutos mensais).

e) CN6

Gráfico 20 – Sequencial CN 321K-01-HMC desalinhamento (M130)/Mton



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para o atingimento da meta ao tempo de paralisações por desalinhamento no CN 326K-01 a redução é de 45% (de uma média de 106,20 para 58,41 minutos mensais).

Desta maneira, atingindo todas as metas específicas e reduzindo-se a meta específica proposta definida pelo estudo, será possível atingir um valor aproximado de 30 min/Mton, alcançando a meta geral.

4.4 Análise do processo

Para descobrir o processo gerador do problema foi feito um FTA semelhante a um FMEA para o modo de falha de desalinhamento, analisando as causas potenciais que mais influenciam no problema e identificando as causas raízes, de acordo com as especificidades de cada um. Através da ferramenta *brainstorm* e relatórios gerados pela manutenção corretiva foram levantadas as causas potenciais para o problema.

Através da matriz de priorização GUTAC foram levantadas possíveis causas que estariam ocasionando o desalinhamento. De acordo com as causas também foram estabelecidas possíveis soluções que foram priorizadas conforme a pontuação superior a 90 pontos. Essas soluções serão implantadas como melhorias nos ativos com o intuito da redução do tempo de desalinhamento.

Quadro 1 – Matriz de priorização

TR 315K-01	CN 321K-01	CN 326K-01	CN 325K-02	TR 325K-16	Causas a Serem Tratadas	Possíveis Soluções	Impacto sobre a	Complexidade	Custo	Prazo	Total
X	X	X		X	Acúmulo de material no chute (morto)	Readequar chutes de acordo com simulação de engenharia	5	3	3	1	104
X	X	X		X	Acúmulo de material no chute (morto)	Reposicionar SDN's de acordo com Manual Proteções Vale*	3	5	5	5	140
X	X	X		X	Queda irregular de material devido à chapa de desgaste (fim de útil)	Instalação de chapas de Shock bar em substituição às chapas convencionais	5	3	3	3	116
X	X	X		X	Queda irregular de material devido à chapa de desgaste (fim de útil)	Implantar controle de Inspeções de Chutes	3	5	5	3	128
X	X			x	Queda irregular de material devido à geometria inadequada do chute	Readequar chutes de acordo com simulação de engenharia	5	3	3	2	110
X	X			x	Queda irregular de material devido à geometria inadequada do chute	Criar tela em PIMS para registrar pré-desalinhamentos*	1	3	5	3	92
X	X			x	Queda irregular de material devido à geometria inadequada do chute	Desenvolver check list de desalinhamentos – ROC	1	3	5	3	92
			X		Desgaste das barras deslizantes (redley)	Avaliar alternativa para as barras deslizantes	5	1	5	1	104
			X		Desgaste das barras deslizantes (redley)	Substituir tirantes mecânicos para tensionamento	3	5	3	0	94
				X	Travamento da rodas do carro tensor	Avaliar rodeiros do carro tensor	3	3	5	5	124
				X	Travamento da rodas do carro tensor	Implantar rotina de limpeza	3	5	3	3	112
				X	Falta de alinhamento/nivelamento do carro tensor	Avaliar equalização dos tirantes dos cabos	3	5	5	5	140
				X	Mau posicionamento da cabeça móvel devido à freio/agarra trilho desregulado	Trocar agarra trilho	3	3	5	1	100
				X	Mau posicionamento da cabeça móvel devido à freio/agarra trilho desregulado	Reposicionar atuadores	3	3	5	3	112
				X	Mau posicionamento da cabeça móvel devido à freio/agarra trilho desregulado	Avaliar alteração dos ajustes de inversor da cabeça móvel	3	1	5	3	96

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

4.5 Melhorar (Do)

Através o estabelecimento do plano de ação, é importante o acompanhamento para garantir que as ações propostas sejam implantadas com sucesso.

Geralmente, grande parte do tempo da etapa de implantação das ações tem o direcionamento para aspectos mais técnicos. Entretanto, atenção especial foi dada aos aspectos comportamentais dos envolvidos nas mudanças. Sabemos que a disciplina e o compromisso para o desenvolvimento do projeto são de suma importância. Deste modo, foram feitas inspeções constantes para obtenção de sucesso da melhoria implantada e também para dar um apoio mais específico em determinadas situações.

O sucesso da implantação das ações também está altamente ligado ao acompanhamento efetivo da implantação das medidas que compõem o plano de ação, bem como contramedidas adotadas rapidamente no sentido de corrigir os desvios identificados.

Como proposto no plano de ação, ensejando as alterações para as especificações técnicas. Isto foi executado nos ativos em foco.

Quadro 2 – Plano de ação

ATIVO	Soluções a serem Implementadas	What? (O que?)	Who? (Quem?)	When? (Quando?)	Status
TR 315K-01	Instalação de chapas de Chock bar em substituição às chapas convencionais	Substituir chapas de carbeto/colmeia por chock bar	Marco Diniz	15/10/2016	Executado
CN 321K-01	Instalação de chapas de Chock bar em substituição às chapas convencionais	Substituir chapas de carbeto/colmeia por chock bar	Marco Diniz	15/10/2016	Executado
CN 326K-01	Instalação de chapas de Chock bar em substituição às chapas convencionais	Substituir chapas de carbeto/colmeia por chock bar	Rogério Venturim	15/10/2016	Executado
TR 325K-16	Instalação de chapas de Chock bar em substituição às chapas convencionais	Substituir chapas de carbeto/colmeia por chock bar	Marco Diniz	15/10/2016	Executado
Geral	Criar tela em PIMS para registrar pré-desalinhamentos	Desenvolver lógica para captar e registrar atuações menores que 15s e apresentar via PIMS	Fellipe Adriano	28/10/2016	Em Andamento
CN-325k-02	Repor barras deslizantes	Substituir barras deslizantes de PU do redley, conforme projeto original do transportador	Marco Diniz	15/02/2017	Em Andamento
CN-325k-02	Avaliar alinhamento estrutural	Realizar topografia do intermediário do CN 4	Marco Diniz	20/11/2016	Executado
CN-325k-02	Substituir sistema de esticamento do redley cn4	Avaliar integridade dos tirantes do redley do intermediário do CN 4	Marco Diniz	10/10/2016	Executado
TR 325K-16	Avaliar rodeiros do carro tensor	Realizar medição dos esticadores a fim de identificar divergências de medidas	Marco Diniz	20/10/2016	Executado
TR 325K-16	Destruar roldanas do contra peso	Trocar roldanas do contra peso	Marco Diniz	20/10/2016	Executado
TR 325K-16	Avaliar equalização dos tirantes dos cabos	Fazer medição do fusos dos esticadores e batentes do carro tensor	Marco Diniz	20/10/2016	Em Andamento
TR 325K-16	Substituir buchas por rolamentos nas roldanas do contra peso	Realizar estudo para substituição de buchas por rolamentos nas roldanas do contra peso	Marco Diniz	15/11/2016	Executado

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

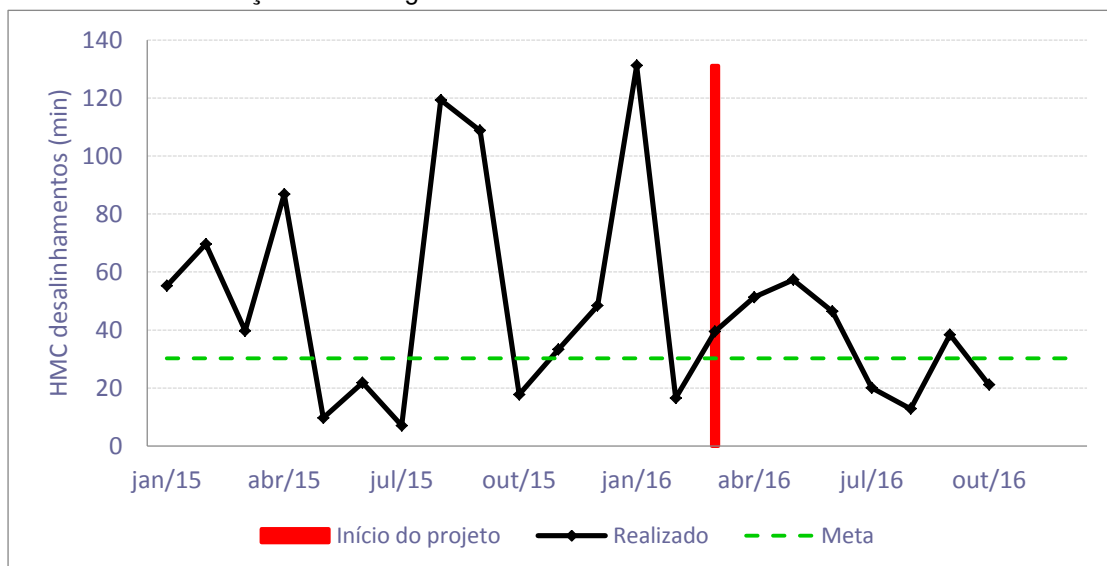
4.6 Checar (*Check*)

Após a verificação do alcance da meta, é importante levantar os ganhos obtidos com o desenvolvimento do projeto.

Considera-se que os ganhos podem ser quantitativos (mensuráveis) ou qualitativos (quanto à melhora de segurança ou aprendizado).

No período de verificação do projeto, considerando-se o início do estudo feito nos ativos em foco desde janeiro 2015 a março de 2016, e após a execução das ações de controle, e o acompanhamento de *check* julho 2016 a outubro 2016, revelou-se notável a diminuição da variabilidade do indicador, onde atualmente o mesmo se encontra abaixo da meta definida.

Gráfico 21 – Verificação da meta global



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Podemos observar que no mês de setembro o indicador fugiu um pouco da meta. Isso se justifica porque o processo de embarque de minério da empresa Vale está em fase de expansão. Com isso, a Engenharia está implantando alguns equipamentos novos ao processo, o que gerou uma instabilidade ao ativo TR-1501, porém o desvio, logo que observado, foi tratado, e no mês seguinte, a meta global voltou a ser batida novamente.

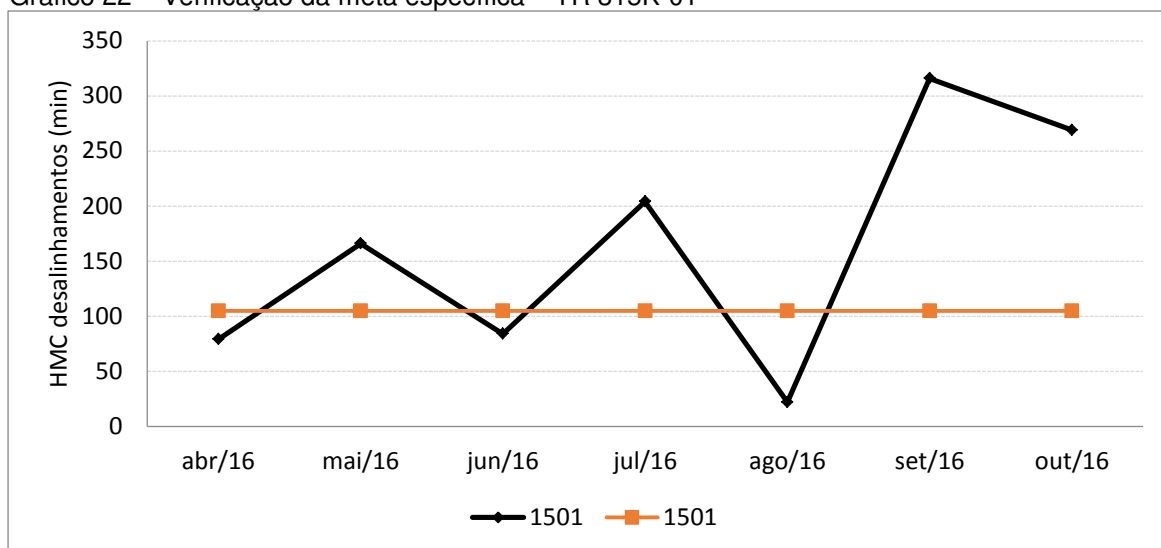
Quadro 3 – Verificação da meta específica

	1501		2516		CN1		CN4		CN6	
	Resultado	Meta	Resultado	Meta	Resultado	Meta	Resultado	Meta	Resultado	Meta
abr/16	79	104,73	108	111,26	165	58,72	21	64,9	250	58,41
mai/16	166	104,73	152	111,26	0	58,72	32	64,9	351	58,41
jun/16	84	104,73	96	111,26	0	58,72	109	64,9	203	58,41
jul/16	204	104,73	30	111,26	22	58,72	0	64,9	0	58,41
ago/16	22	104,73	71	111,26	0	58,72	0	64,9	78	58,41
set/16	316	104,73	34	111,26	43	58,72	0	64,9	115	58,41
out/16	269	104,73	0	111,26	0	58,72	0	64,9	0	58,41

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

a) TR-1501

Gráfico 22 – Verificação da meta específica – TR 315K-01

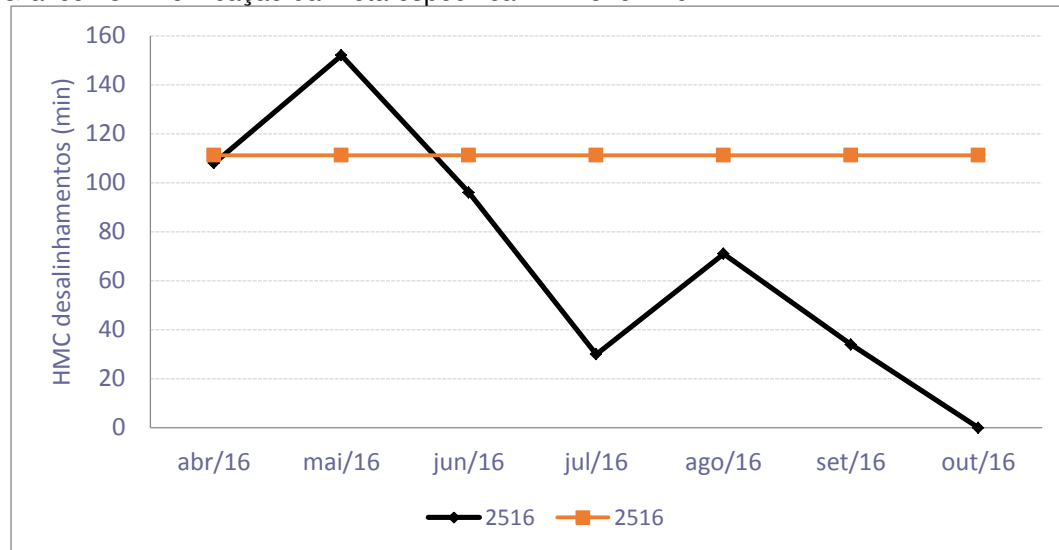


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Podemos observar que o ativo TR-1501 continua sendo impactado. Há engenharia com a instalação de ativos novos, porem medidas de tratamento de desvios estão sendo executadas pela Engenharia e o indicador volta a dar sinais de redução de tempo do ativo parado.

b) TR-2516

Gráfico 23 – Verificação da meta específica – TR 325K-16

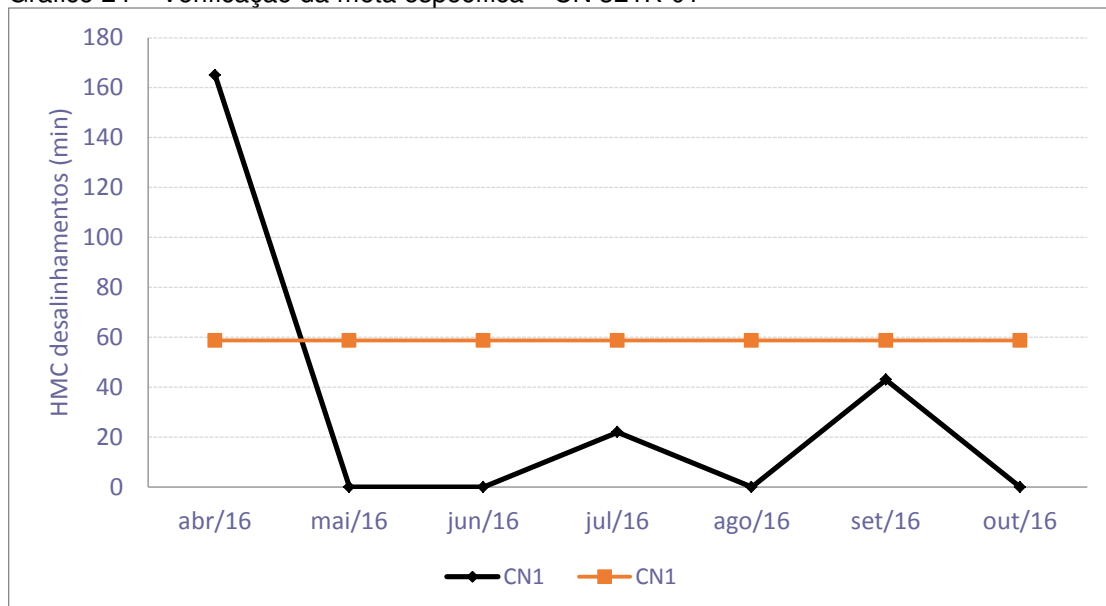


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Como observado, o ativo TR-2516 foi estabilizado com as melhorias implantadas ao processo.

c) CN1

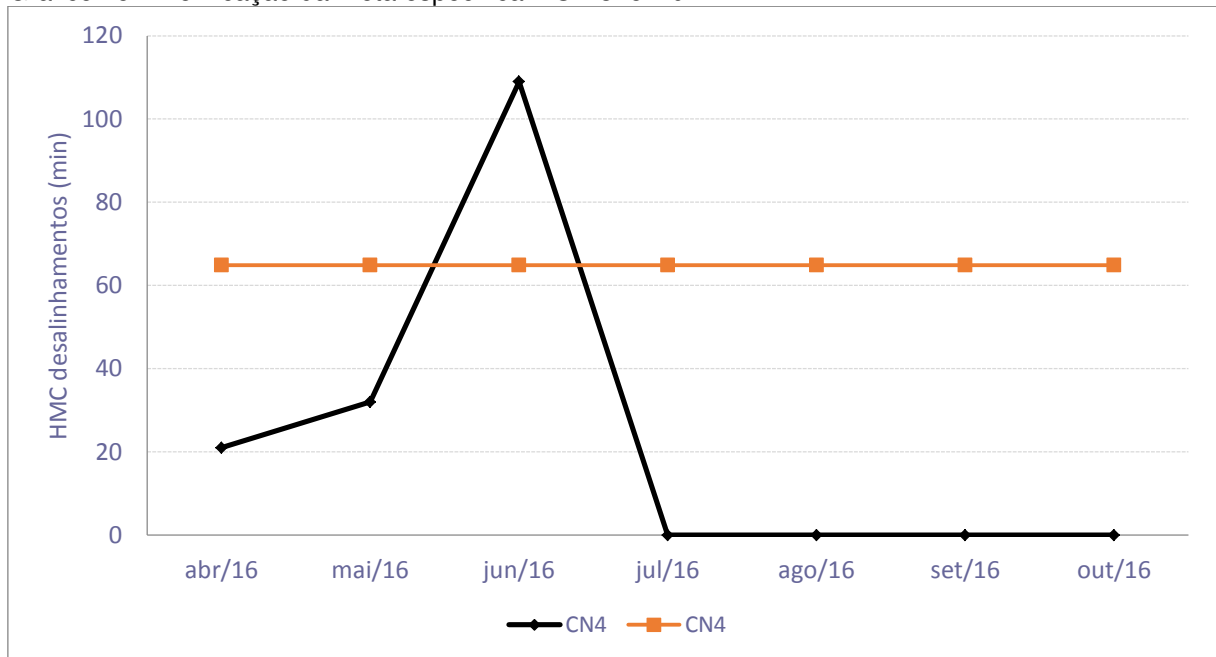
Gráfico 24 – Verificação da meta específica – CN 321K-01



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

d) CN4

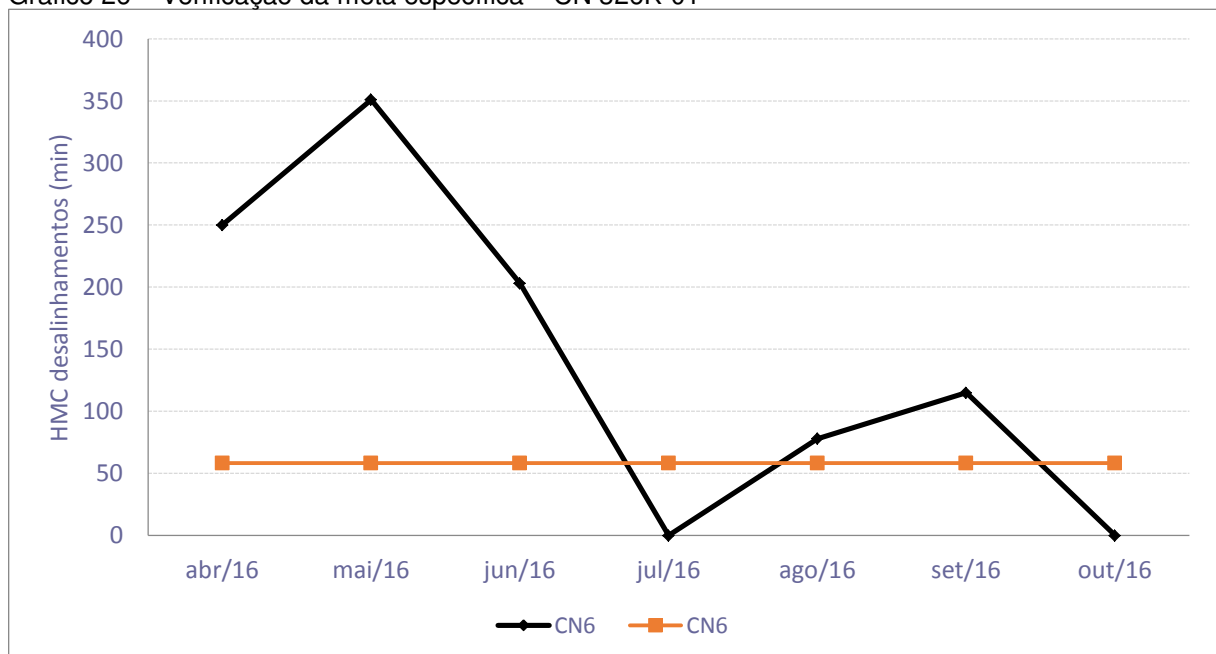
Gráfico 25 – Verificação da meta específica – CN 325K-02



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

e) CN6

Gráfico 26 – Verificação da meta específica – CN 326K-01



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

4.7 Agir (*Action*)

Após a verificação do alcance da meta geral e das metas específicas, é necessário garantir que as mudanças realizadas no processo sejam mantidas em longo prazo. A saber:

- a) Padronizando as alterações realizadas no processo;
- b) Monitorando os principais indicadores do processo;
- c) Utilizando um plano de ações corretivas, caso surjam problemas no processo;
- d) Inspeccionando o ativo TR-1501 constantemente, pois, como discorrido, ele foi bastante impactado com a instalação de novos equipamentos feita pela engenharia, porém atualmente não interfere na meta global.

Grande parte da variação do processo ocorre porque as atividades críticas não são realizadas de forma padronizada. Durante o desenvolvimento do trabalho foi percebido que muitos erros ocorrem por cada executante realizar a mesma atividade de várias maneiras. Isso ocasionou diversos retrabalhos, perda tempo e desperdício de peças.

Foi necessário tomar medidas de inspeções e treinamentos para o êxito do trabalho. Os executantes foram treinados quanto a procedimentos para realização das atividades e a inspeções de rotina nos ativos, com o intuito de identificar possíveis falhas e intervir de imediato garantindo o seu bom funcionamento.

A partir deste trabalho será possível traçar caminhos para padronização de outros ativos que tem o mesmo problema de desalinhamento na área da Vale, visto que se obteve êxito na realização do mesmo. É preciso também ter atenção em alguns ativos, neste caso temos o exemplo o TR-1501 que foi diretamente impactado por desalinhamento durante a fase de check pois o TPPM está em expansão, e frequentemente estão sendo feitas instalações de novos ativos e componentes que interferem diretamente na mecânica dos antigos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal a aplicação da metodologia Lean Seis Sigma, utilizando-se o método PDCA (*Plan, Do, Check e Action*), para reduzir a variabilidade do tempo de parada por volume movimentado nos ativos que representavam cerca de 51% do tempo total de todos os ativos do embarque. Inicialmente, foi apresentado o programa Lean; após, o Seis Sigma e as principais técnicas e ferramentas estatísticas sugeridas e a integração do Lean + Seis Sigma pelos autores consultados, em cada etapa do método PDCA. Na sequência foi desenvolvido um trabalho de melhoria no processo de embarque de minério no Terminal Portuário Ponta da Madeira na empresa VALE S.A, com a finalidade de controlar e diminuir o valor do indicador de performance, que é o tempo médio de parada, dividido pelo volume movimentado durante o mês. Indicador, no qual impacta diretamente os indicadores do embarque que são (DI e HMC), e mostrar a eficácia da aplicação da metodologia.

Durante a aplicação da metodologia, revela-se notável a importância do conhecimento técnico para a condução do estudo e interpretação dos resultados provenientes dos tratamentos estatísticos gerados. Com relação à etapa de análise, após a execução dos planos de ação, constatou-se que algumas ações de melhorias referentes a essa etapa, poderiam ser implementadas durante o andamento do trabalho em função do baixo investimento e facilidade na implementação. Observou-se também que o ativo TR-1501 foi diretamente impactado pela instalação de ativos novos realizada pela Engenharia. Deste modo cumpriu serem feitas intervenções para o tratamento do desvio e o controle do indicador da meta específica no intuito de reduzir a variabilidade do indicador da meta global. Com relação aos resultados do projeto, verificou-se que a meta do indicador de performance, estabelecido de 30,27min/Mton, deverá ser obtida seguindo as premissas das modificações e replicação das ações executadas nos ativos em foco, para evitar falhas de desalinhamento de correias e impactos gerados pelas paradas por parada.

Desta forma, o desafio de ganhos de redução de HMC devido a desalinhamentos de correias transportadoras dos ativos em foco por volume embarcado foi de 53,47 Min/ Mton (jan/15 a mar/16) para 30,27min/Mton até outubro/16 (Redução de 43,39%). Mostrou que as soluções foram viáveis uma vez que se provou, através do controle do indicador de performance da meta global, que

foi mantido em período de verificação abaixo da média de 30,27min/Mton. Houve utilização correta das ferramentas de qualidade e comprometimento da equipe de forma geral.

Os planos de ação provenientes do estudo devem ser replicados a outros ativos, para verificação da efetividade das ações aplicadas nos ativos em foco dos eventos de falhas do projeto, devendo serem controlados os indicadores de falhas de outras áreas da Vale.

As análises mostraram falhas e adaptações durante a manutenção dos pontos de transferência (chutes) dos transportadores de correia, como a troca da chapa de desgaste e o acúmulo de material morto. As consequências geradas por adaptação de chapas de desgaste e modificações diversas na parte interna do chute retiraram as especificações de funcionamento ideal do fabricante, fazendo desta forma aumentar a resistência do ponto de transferência ao desgaste interno (devido à propriedade abrasiva do minério) porém, diminuindo o espaço de fluxo livre de material. Enseja desta forma tornar o sistema mais suscetível aos eventos de falhas de manuseio (entupimentos), mostrando haver a necessidade de manter o sistema de medidas internas dos chutes de acordo com as especificações do fabricante e aplicar as chapas de maneira adequada para garantir a operabilidade do sistema.

Por fim, o estudo de caso realizado reforça o aumento dos índices de confiabilidade do sistema, uma vez que foi mostrado que o projeto possuía a característica de desvio de meta a ser executado, de acordo com a necessidade de ajustar os parâmetros que influenciam diretamente o processo, para normalizar o indicado de performance de meta global de falhas de desalinhamento de correias transportadoras.

Após as ações realizadas, a meta foi alcançada com a redução de falhas nos ativos em foco, TR-1501, TR-2516, CN1, CN4 e CN6. Apresentou-se uma redução do tempo falhas de pzero por volume movimentado de 43,39%, saindo de 53,47 Min/ Mton para valores inferiores a 30,27min/Mton durante o período de verificação, compreendido entre janeiro/2015, que foi o início do estudo dos ativos em foco a outubro/2016. Aqui finalizou-se o período de checagem. De fato, há necessidade de se manter as medidas de controle para mostrar que, após o período de verificação, o indicador de falhas continue dentro dos parâmetros do período de verificação.

Deste modo podemos concluir que a utilização correta da metodologia Lean Seis Sigma é clara, ao notar-se que deve haver alterações e adequações no âmbito geral do processo envolvido. Este deve ser submetido a mudança cultural para que assim o programa ganhe aceitação e crie raízes no sistema. Mostra-se também que não há a necessidade de alcançar o nível máximo para começar a obter os benefícios, pois estes são percebidos à elevação de cada nível, advindo daí o sucesso requerido.

Como sugestões para os futuros trabalhos é necessário foco na padronização das atividades e rotina de inspeções nos ativos, criar um fluxo organizacional a ser seguido de modo que reduza retrabalhos nas recentes atividades realizadas, elimine desperdícios e tempo de espera. É válido ressaltar que durante o desenvolvimento do trabalho tiveram algumas dificuldades encontradas tais como coleta de informações, pelo fato do TPPM ser muito grande e muita demanda por funcionário, isso trazia lentidão no repasse dos dados.

Foi observado que implementar a metodologia não trazia tantas dificuldades, o grande problema foi com a cultura de algumas pessoas que por realizar a mesma atividade a muitos anos, acharem que estão fazendo do jeito certo e que não tem nada a ser melhorado. Temos que ter em mente que nenhum sistema é tão bom que não possa ser melhorado, a melhoria é uma oportunidade oferecer melhores condições seja de trabalho ou de eficiência ao processo produtivo.

REFERÊNCIAS

ABREU, F.S. QFD - desdobramento da função qualidade - estruturando a função qualidade. **Revista de Administração de Empresas**, v. 37, n. 2, p. 47-55, 1997.

AGUIAR, Silvio. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa Seis Sigma**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2006.

ALBERTIN, Marcos Ronaldo; PONTES, Heráclito Lopes Jaguaribe. **Gestão de processos e técnicas de produção enxuta**. Curitiba: Intersaberes, 2016. (Série Administração da Produção).

ANTONY, J. Some pros and cons of six sigma: an academic perspective. **The TQM Magazine**, York, England, v.16, n.4, p.303-306, 2004.

BOTHE, D. R. Statistical Reason for 1,5 shift. **Quality Engineering**, v. 14, n. 3, p.479-478, mar. 2002.

CABRERA JUNIOR, A. **Dificuldades de implementação de programas seis sigma**: estudos de casos em empresas com diferentes níveis de maturidade. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. Belo Horizonte: Ed. Fundação Christiano Ottoni, 1996.

CONE, G. 6- Sigma, um programa em ascensão. **HSM Management**, São Paulo, HSM do Brasil, n. 4, p. 28-33, jan./fev. 2001.

FUNDIN, A. P.; CRONEMYR, P. Use customer feedback to choose Six Sigma projects. **Six Sigma Forum Magazine**, v. 3, n. 1, 2003.

ESCHIAVI, Leandro. Gerenciamento da Qualidade. **PMP**, abr. 2012. Disponível em: < http://leandro-eschiavi.blogspot.com.br/2012_04_01_archive.html>. Acesso em: 20 out. 2016.

GAVI, Jones de Paula **Manual de inspeção e manutenção de correias transportadoras- GEOPS**. 4. ed. Vitória: [s.n.], 2001.

_____. **Solução em transporte e transferência de materiais**. Vitória: [s.n.], 2011.

GEORGE, M. **Lean Seis Sigma para Serviços**: como utilizar velocidade de lean e qualidade de seis sigma para melhorar serviços e transações. São Paulo: Desenvolvimento, 2004.

GOH, T. N. The role of statistical design of experiments in six sigma: perspectives of a practitioner. **Quality Engineering**, v. 14, n. 4, p. 659-671, 2002.

GONÇALVES, Adriano Fagner. **A utilização da metodologia do ciclo PDCA no gerenciamento da melhoria contínua**. São João Del Rei – MG: [s.n.], 2011.

GUPTA, P.; SRI, A. **Seis Sigma**. [S.l.]: Vida Economica Editorial, 2012.

GYGI, Craig; CARLO, Neil de; WILLIAMS, Bruce. **Six sigma for dummies**. Canadá: Wiley Publishing, Inc., 2008. Disponível em: <<http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/1386221/18957695/1340726537630/Craig+Gygi+Neil+DeCarlo+and+Bruce+Williams+-+Six+Sigma+for+Dummies.pdf?token=EBkbL0jyOljmVR3pMuoBHkyWExc%3D>>. Acesso em: 20 out. 2016.

HINES, Peter; TAYLOR, David. **Guia para Implementação da Manufatura Enxuta – Lean Manufacturing**. São Paulo: Imam, 2000.

HOERL, R. W. Six sigma and the future of the quality profession. **Quality Progress**, New York, v. 31, n. 6, p. 35-42, 1998.

INGLE, S.; ROE, W. Six Sigma. **Black Belt Implementation**, v. 13, n. 4, p. 273-280, 2001.

KUMAR, M. Critical success factors and hurdles to six sigma implementation: the case of a UK manufacturing SME. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 3, n. 4, p. 333-351, 2007.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Seis Sigma**. 2009. Disponível em: <www.lean.org.br>. Acesso em: 22 jun. 2016.

MANUAL FAÇO. **Manual de Transportadores Contínuos**. 4. ed. São Paulo: FAÇO: Fabrica de Aço Paulista Ltda, 1991. 430 p.

MARCONI, Marina A; LAKATOS, Eva M. **Técnicas de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

MARSHALL, I. Jr. **Gestão da qualidade**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 2006.

NEELY, A. D. The performance measurement revolution: why now and what next? **International Journal of Operations & Production Management**, Bradford, v.19, n.2, p.205-228, 1999.

NOGUEIRA, F. J. Horta. **Correia Transportadora – Guia Avançado**: programa de eficiência energética industrial. [S.l.]: Eletrobrás/Procel, 2004.

NS ENGENHARIA, **Manual Norte E Sul Engenharia**. 2016

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Desenvolvimento, 2007.

ORNOS, Tácio. Controle – carta de controle. **Obras Brasil**, jun. 2011. Disponível em: <<http://obrasbrasil.blogspot.com.br/2011/06/controle-carta-de-controle.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma**: como a ge, motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PAULA, I. C. et al. Análise da metodologia Seis Sigma e Gestão de Projetos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 26. 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: [s.n.], 2006.

PORTAL DA ADMINISTRATIVA. **Diagrama de Pareto**: guia geral (passo a passo). 2014. Disponível em: <<http://www.portal-administracao.com/2014/04/diagrama-de-pareto-passo-a-passo.html>>. Acesso em: 25 out. 2016.

RASIS, D. **Paper organizers internacional**: a fictitious six sigma green belt case study. [S.l.]: Desenvolvimento, 2003.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social**: métodos e técnicas. São Paulo: Atlas, 1989.

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Ações para a qualidade**: GEIQ, gestão integrada para a qualidade: padrão seis sigma, classe mundial. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004. Disponível em: <www.blogdaqualidade.com.br>. Acesso em: 20 out. 2016.

_____. **Ações para qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ROTONDARO, R. G., MIGUEL, P. A. C., FERREIRA, J. J. A. **Gestão da qualidade**. Riode Janeiro: Campus, 2005.

SANDERS, D.; HILD, C. R. A discussion of strategies for six sigma implementation. **Quality Engineering**, New York, v. 12, n. 3, p. 303-309, 2000.

SANTOS, A. B. **Modelo de Referência para estruturar o programa de qualidade seis sigma**: proposta e avaliação. São Carlos, 2006. v.1. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2006.

_____; MARTINS, M. F. Contribuições do Seis Sigma: estudos de caso em multinacionais. **Produção**, v. 20, 2010.

SILVA, Leandro Costa da. **Gestão e melhoria de processos**: conceitos, práticas e ferramentas. Rio de Janeiro: Brasport, 2015.

SILVA, Rodrigo Carvalho e. **Metodologia six sigma e suas aplicações**. São Paulo: [s.n.], 2009.

SNEE, R. D.; RODEBAUGH, W. F. Jr. Frontiers of quality: the project selection process. **Quality Progress**, p. 78-80, set. 2002.

SOUZA, Jacqueline; KANTORSKI, Luciane Prado; LUIS, Margarita Antonia Villar. Análise documental e observação participante na pesquisa em saúde mental. **Revista Baiana de Enfermagem**, Salvador, v. 25, n. 2, p. 221-228, maio/ago. 2011. Disponível em: <<http://www.portalseer.ufba.br/>> Acesso em: 03 de jul. 2016.

VILAÇA, Márcio Luiz Corrêa. Pesquisa e Ensino: considerações e reflexões. **Revista do Curso de Letras da UNIABEU**, Nilópolis, v. 1, n. 2, p. 59-74, maio/ago. 2010.

WATSON, G. H. **Seis sigma na gestão dos negócios**. São Paulo: Banas Qualidade, 2000.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. 6. ed. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1995.

_____. **Lean seis sigma**: introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. Belo Horizonte: Desenvolvimento, 2006.

_____. **Lean seis sigma**: introdução às ferramentas do lean manufacturing. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

_____. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Rio de Janeiro : Elsevier, 2013.

_____. **Ferramentas estatísticas básicas do Lean Seis Sigma integradas ao PDCA e DMAIC**. Rio de Janeiro : Elsevier, 2014.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A máquina que mudou o mundo**. São Paulo: Campus, 2004.

VALE. **Apostila Seis Sigma Green Belt VALE**. São Luís, 2015.

APÊNDICE A – Base de Dado (GPV)

Data Hora Início	Data Hora Fim	Cód.	Descrição Evento	Disciplina	Modo de falha	Equip.	Tempo evento (n)
01/01/2015 18:14	01/01/2015 18:36	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	2509	22
01/01/2015 20:44	01/01/2015 21:20	E130	Elétrica - Desalinhamento	Elétrica	Desalinhamento	CN3	36
03/01/2015 10:11	03/01/2015 10:27	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	1505	16
04/01/2015 00:27	04/01/2015 00:48	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN3	21
04/01/2015 03:59	04/01/2015 04:13	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN4	14
04/01/2015 04:21	04/01/2015 04:52	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN4	31
04/01/2015 08:57	04/01/2015 09:56	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN3	59
07/01/2015 18:21	07/01/2015 18:43	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	1508	22
07/01/2015 22:06	07/01/2015 22:12	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	2509	6
13/01/2015 12:46	13/01/2015 13:35	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN6	49
13/01/2015 12:47	13/01/2015 13:36	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN6	49
13/01/2015 14:20	13/01/2015 15:11	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN6	51
13/01/2015 15:43	13/01/2015 16:27	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN6	44
14/01/2015 00:08	14/01/2015 00:33	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	1415	25
15/01/2015 17:52	15/01/2015 18:07	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN3	15
15/01/2015 18:01	15/01/2015 18:24	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	2509	23
15/01/2015 18:37	15/01/2015 18:56	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN3	19
15/01/2015 19:58	15/01/2015 20:18	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	2509	20
15/01/2015 20:22	15/01/2015 20:42	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN3	20
16/01/2015 04:04	16/01/2015 04:28	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN5	24
18/01/2015 03:49	18/01/2015 04:06	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	1504	17
18/01/2015 07:17	18/01/2015 07:53	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	1504	36
18/01/2015 18:04	18/01/2015 18:22	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	1504	18
18/01/2015 18:49	18/01/2015 19:08	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	1504	19
20/01/2015 17:42	20/01/2015 17:57	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	1415	15
21/01/2015 04:25	21/01/2015 04:44	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	2509	19
24/01/2015 23:37	25/01/2015 00:00	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN1	23
24/01/2015 23:38	25/01/2015 00:00	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN3	22
25/01/2015 00:00	25/01/2015 00:09	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN3	9
25/01/2015 00:00	25/01/2015 00:06	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN1	6
25/01/2015 16:04	25/01/2015 16:22	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN1	18
26/01/2015 07:28	26/01/2015 07:54	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN1	26
27/01/2015 10:45	27/01/2015 11:06	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN5	21
27/01/2015 12:16	27/01/2015 12:31	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN3	15
27/01/2015 19:26	27/01/2015 19:50	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN5	24
28/01/2015 02:03	28/01/2015 02:28	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	2516	25
29/01/2015 19:56	29/01/2015 20:08	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN4	12
29/01/2015 22:27	29/01/2015 23:01	M130	Mecânica - Desalinhamento	Mecânica	Desalinhamento	CN5	34

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).