

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DOUGLAS DOS REIS DUARTE

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA – MODELO DMAIC - NA
OPERAÇÃO DE UMA EMPRESA DO SETOR FERROVIÁRIO**

JUIZ DE FORA

2011

DOUGLAS DOS REIS DUARTE

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA – MODELO DMAIC - NA
OPERAÇÃO DE UMA EMPRESA DO SETOR FERROVIÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: DSc., Roberta Resende Zagha

Co-Orientador: Luciana Baptista Ribeiro

JUIZ DE FORA

2011

Duarte, Douglas dos Reis.

Aplicação da metodologia Seis Sigma, modelo Dmaic, na operação de uma empresa do setor ferroviário / Douglas dos Reis Duarte. – 2011.

81 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

1. Controle da qualidade. I. Título.

CDU 658.56

DOUGLAS DOS REIS DUARTE

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA – MODELO DMAIC - NA
OPERAÇÃO DE UMA EMPRESA DO SETOR FERROVIÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 10 de Novembro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

DSc., Roberta Resende Zagha (Orientador)

UFJF

Luciana Baptista Ribeiro (Co-Orientador)

DSc, Roberta Cavalcanti Pereira Nunes

UFJF

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de realizar um diagnóstico e estudo com a finalidade de definir as causas principais do não cumprimento dos tempos de Transit Time Carregado (Tempo de trânsito) pelos trens de uma empresa de transporte de cargas ferroviárias, por meio da aplicação das etapas *Define* (definir), *Measure* (medir) e *Analyze* (analisar) do método DMAIC, pretendendo, dessa forma, conhecer e compreender mais profundamente esse problema. O tema a ser abordado foi escolhido levando-se em consideração o fato dos desvios nos tempos de Transit Time Carregado serem os maiores causadores de perdas de produção por responsabilidade da empresa. Primeiramente, foi realizado um levantamento das publicações existentes referentes ao método DMAIC, assunto a ser abordado. Em seguida, realizou-se o estudo na MRS Logística S.A., iniciando pela coleta dos dados necessários e, posteriormente, partindo para a sua análise por meio da aplicação do método. Nos resultados obtidos encontram-se os pontos centrais do desdobramento a serem atacados para a solução do problema selecionado e as considerações para a aplicabilidade da metodologia no contexto do estudo.

Palavras-chave: DMAIC. Eficiência. Transit Time.

ABSTRACT

The present essay aims to make a diagnosis and study in order to define the main causes of failure to meet the deadlines set for a Transit Time transit time of the trains of a railway undertaking load, through the application of steps Define, Measure and Analyze to the DMAIC method, intending thereby way, to know and understand more deeply this problem. The theme was chosen to be addressed taking into account the fact that the deviations in the Transit Time to be the major causes of production losses for the company's responsibility. Firstly, was made a survey of existing publications relating to the DMAIC method, topic to be addressed. Then the study was performed in MRS Logística S.A., starting with the collection of necessary data and then leaving for its analysis by applying the method. On the results obtained are the central points of the stratify to be attacked for the problem selected solution and the deliberations for applicability from methodology into the argument of the study.

Keywords: DMAIC. Efficiency. Transit Time.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção	14
Figura 2 - Processo Seis Sigma de Longo Prazo	18
Figura 3 - Comparação entre processos de Curto e Longo Prazo	18
Figura 4 - Etapa DEFINE	22
Figura 5 - Etapa MEASURE	24
Figura 6 - Etapa ANALYZE.....	26
Figura 7 - Etapa Improve.....	27
Figura 8 - Etapa CONTROL.....	29
Figura 9 - Histograma.....	32
Figura 10 - Diagrama de Pareto	33
Figura 11- Exemplos de Gráfico de Controle. (a) Processo sob controle. (b) Processo fora do Controle	35
Figura 12 - Malha ferroviária Sudeste.....	42
Figura 13 - Ciclo dos Trens	44
Figura 14- Árvore de perdas para o Minério Exportação.....	50
Figura 15 - Árvore de perdas para o Minério Exportação – Etapas de ciclo.....	51
Figura 16- Árvore de Perdas - Transit Time.....	54
Figura 17 - Pareto para as atividade- Origem-P1.07.....	59
Figura 18 - Histograma dos Dados –Atividade 603.....	62
Figura 19 - Histograma dos Dados –Atividade 211	64
Figura 20 - Histograma dos Dados –Atividade 120.....	66
Figura 21 - Histograma dos Dados –Atividade 211	68
Figura 22 - Histograma dos Dados –Atividade 133.....	71
Figura 23 - Histograma dos Dados –Atividade 603.....	74
Figura 24 - Resumo etapas Define e Measure	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - DPMO de Processos de Curto e Longo Prazo.....	19
Quadro 2 - Comparação entre o padrão 4 Sigma e o 6 Sigma.....	19
Quadro 3- Ferramentas Utilizadas no Seis Sigma.....	31
Quadro 4 - Interpretação do índice Cpk	38
Quadro 5 - Etapas de Ciclo	45
Quadro 6 - Pontos de carga e descarga de minério	49
Quadro 7 - Resumo dos Tempos para as Atividades	76
Quadro 8 - Resumo das Capacidades das atividades	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Volume Transportado pela MRS.....	48
Gráfico 2 - Evolução do Transit Time Carregado.....	52
Gráfico 3 - Evolução do Transit Time – Origem_P1.07	55
Gráfico 4 - Evolução do THP – Origem_P1.07	55
Gráfico 5 - Evolução do THC – Origem_P1.07	56
Gráfico 6 - Evolução do Transit Time – P1.07_Bom Jardim	57
Gráfico 7 - Evolução do THP – P1.07_Bom Jardim.....	57
Gráfico 8 - Evolução do THC – P1.07_Bom Jardim	58
Gráfico 9 - Gráfico de controle para médias –Atividade 603.....	60
Gráfico 10 - Gráfico de controle para amplitudes –Atividade 603.....	61
Gráfico 11 - Gráfico de controle para médias –Atividade 104.....	63
Gráfico 12 - Gráfico de controle para amplitudes –Atividade 104.....	63
Gráfico 13 - Gráfico de controle para médias –Atividade 120.....	65
Gráfico 14 - Gráfico de controle para amplitudes –Atividade 120.....	66
Gráfico 15 - Gráfico de controle para médias –Atividade 211	67
Gráfico 16 - Gráfico de controle para amplitudes – Atividade 211	68
Gráfico 17 - Gráfico de controle para médias –Atividade 133.....	70
Gráfico 18 - Gráfico de controle para amplitudes –Atividade 133.....	71
Gráfico 19 - Gráfico de controle para médias –Atividade PDC	72
Gráfico 20 - Gráfico de controle para amplitudes–Atividade PDC	73
Gráfico 21 - Responsabilidades pelos desvios de THP.....	78

SUMÁRIO

<u>1. INTRODUÇÃO</u>	<u>12</u>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 ESCOPO DO TRABALHO	13
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS	14
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA	14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
<u>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</u>	<u>16</u>
2.1 SEIS SIGMA	16
2.2 O MODELO DMAIC	21
2.2.1 ETAPA DEFINE (D)	21
2.2.2 ETAPA MEASURE (M).....	24
2.2.3 ETAPA ANALYZE (A)	25
2.2.4 ETAPA IMPROVE (I).....	26
2.2.5 ETAPA CONTROL (C)	28
2.3 FERRAMENTAS UTILIZADAS NO SEIS SIGMA	30
2.3.1 ESTRATIFICAÇÃO.....	32
2.3.2 HISTOGRAMA	32
2.3.3 GRÁFICO DE PARETO	32
2.3.4 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	33
2.3.5 GRÁFICOS DE CONTROLE	34
2.3.6 ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO	37
<u>3. DESCRIÇÃO</u>	<u>40</u>
3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA	40
3.2 DESCRIÇÃO DO OBJETO DO ESTUDO	40
<u>4. ESTUDO DE CASO.....</u>	<u>48</u>

4.1	DEFINIÇÃO (DEFINE).....	48
4.2	MEDIÇÃO (MEASURE).....	53
4.3	ANALYZE (ANÁLISE)	58
4.3.1	TRECHO 1 : ORIGEM-P1.07.....	59
4.3.2	TRECHO 2 : P1.07-BOM JARDIM	69
5.	<u>RESULTADOS</u>	<u>75</u>
6.	<u>CONCLUSÕES</u>	<u>79</u>
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>80</u>

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Atualmente, em um ambiente cada vez mais competitivo e no atual cenário do mundo globalizado, as empresas estão procurando sempre uma maneira de diferencia-se frente à concorrência buscando sempre novas idéias, métodos e ferramentas. A capacidade de oferecer respostas rápidas, custos adequados e atendimento às necessidades de clientes são fatores primordiais para que seja determinado o insucesso ou sucesso de uma organização. Para isto, estão buscando soluções que aumentem a produtividade, garantam a qualidade e reduzam os custos nos seus processos produtivos.

O aumento da qualidade nos processos das empresas é primordial para que as mesmas possam se manter competitivas. Para Falconi (1992, p.2) “um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente”.

A qualidade é um fator fundamental para a empresa ser competitiva no mercado. A empresa deve utilizar a gestão da qualidade para melhorar processos e alcançar melhores resultados.

Neste contexto de busca por uma maior da qualidade nas empresas, o modelo Seis Sigma vêm se mostrado uma ferramenta importante na condução de negócios, pois possui uma forma particular, uma metodologia própria de tornar uma empresa extremamente boa naquilo que faz, atingindo ótimos níveis de qualidade. (ROTANDARO, 2006).

A metodologia Seis sigma vai de encontro com as necessidades impostas pelo mercado. É uma metodologia focada na melhoria de processos existentes através de análises estatísticas e seu objetivo final é proporcionar ganhos financeiros para empresas, seja ele através de custos evitados ou do próprio aumento de eficiência produtiva.

As ferramentas adotadas pela metodologia são em sua maioria as mesmas que têm sido utilizadas pelos sistemas de qualidade, com a grande diferença que a estrutura de um projeto Seis Sigma consegue potencializar o resultado, uma vez que os objetivos do projeto de melhoria estão alinhados com as metas financeiras da empresa.

No transporte ferroviário de cargas a previsibilidade é fundamental uma vez que a qualidade do serviço é muito influenciada pela alta variabilidade no processo, como avaria ou restrição de maquinário, falta inesperada de recursos, influências externas indesejadas na

produção, etc. Porém existem os problemas rotineiros que causam desvios de produção, sendo estes possíveis de serem solucionados a partir do momento em que são identificados.

O objetivo da empresa MRS Logística para os próximos anos é alcançar o topo da eficiência Operacional, e com essa premissa é necessário que haja uma melhoria contínua em seus processos para que a empresa possa atingir seu objetivo final de transportar todo o volume de mercadorias acordados previamente com os clientes, garantindo assim sua satisfação. Para que isso seja possível, se faz necessário estudar e atuar sobre a ineficiência operacional existente no ciclo dos trens. O ciclo o trem compreende o tempo total de Carga, Transit Time Carregado, Descarga e Transit Time Vazio, sendo o Transit Time o tempo de circulação do trem de um ponto de carga para um ponto de descarga, vice-versa. A redução no tempo das etapas do ciclo impacta diretamente em ganhos de produção e aumento da lucratividade da empresa, sendo de extrema importância ações para redução desses tempos.

1.2 JUSTIFICATIVA

No transporte ferroviário, o cumprimento do volume de carga programado para cada cliente é o fator fundamental para a satisfação dos mesmos. Cumprir o tempo de circulação planejado entre os pontos de carga e descarga é fundamental para que todo o volume acordado seja transportado. O tema abordado neste trabalho, a utilização da metodologia Seis Sigma (método DMAIC) para análise e solução de problemas, foi escolhido, pois o não cumprimento dos tempos de circulação com o trem carregado (Transit Time Carregado) se mostra como um problema para a empresa, demandando a aplicação de um método de resolução de problemas estruturado, devido a necessidade da identificação das causas principais, devido a problemas nos processos da MRS Logística S.A. Além disso, a motivação inicial para a escolha do tema foi o interesse em aprofundar o conhecimento sobre o assunto.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O estudo foi realizado em uma concessionária de transporte ferroviário, a MRS Logística S.A., localizada na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. Foram analisados os tempos de Transit Time Carregado dos trens destinados aos fluxos de transporte de minério de ferro para exportação.

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O tema deste trabalho é a metodologia Seis Sigma, a qual oferece estrutura para conduzir projetos de melhoria de qualidade, produtividade e redução de custos.

O objetivo geral é apresentar e adaptar a metodologia para a aplicação do Seis Sigma e desenvolver um estudo aplicando a mesma e avaliando resultados que podem ser obtidos a partir do seu uso.

O objetivo específico consiste em aplicar a metodologia Seis Sigma (DMAIC) aos processos de uma empresa de transporte de cargas ferroviárias, com a finalidade de definir as causas principais do não cumprimento dos tempos de Transit Time Carregado, e reduzir os níveis de variabilidades dos processos reduzindo, por consequência, a ineficiência do serviço prestado, e aumentando o nível de satisfação dos clientes.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

Quanto à metodologia de pesquisa, utilizou-se a classificação de Miguel (2010) para sua exposição, como pode ser verificada na Figura 1.

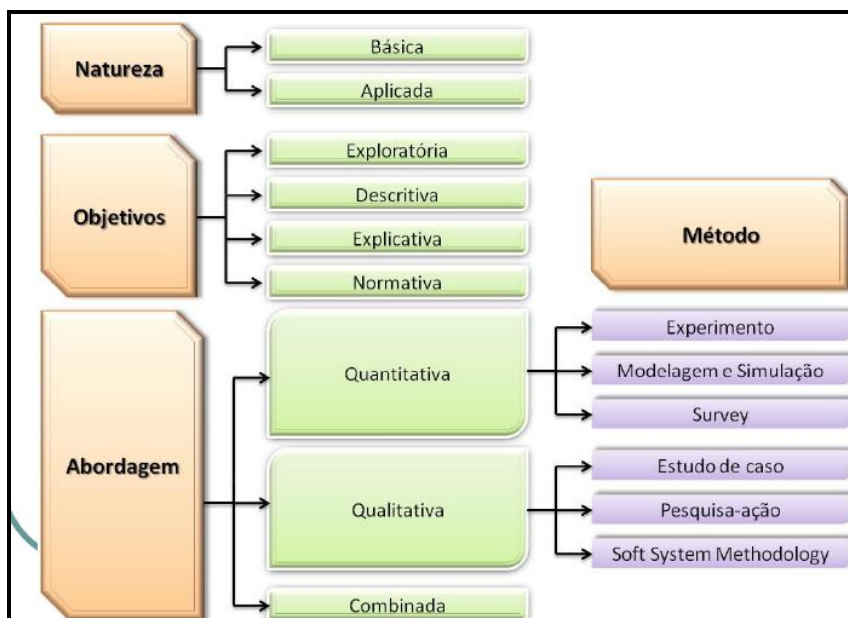


Figura 1 – Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção
Fonte: Miguel, 2010 (Adaptado)

De acordo com a metodologia, conforme a natureza, o presente trabalho é classificado como uma pesquisa aplicada devido ao seu interesse prático e por ser orientada à aplicação dos resultados na solução de um problema específico: Quais as causas principais do

não cumprimento dos tempos planejado do Transit Time Carregado nos trens de minério de ferro para exportação da MRS Logística?

Quanto aos objetivos, pode ser considerado explicativo, por ter em vista a identificação dos fatores que contribuem para ocorrência de um determinado problema. Sua forma de abordagem é qualitativa, seguindo a metodologia de um estudo de caso.

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica do tema a ser abordado e o as outras etapas do projeto foram gerenciadas e direcionadas pelo DMAIC, um método de análise e solução de problemas, que será descrito com mais detalhes posteriormente.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. No capítulo 1, são expostos a justificativa do estudo, o escopo do trabalho, os objetivos e a metodologia utilizada.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica a respeito do programa Seis Sigma, do método DMAIC e de algumas ferramentas utilizadas para a implementação da metodologia.

No capítulo 3, é descrita a empresa onde será realizado o estudo de caso e além de alguns conceitos acerca do transporte ferroviário, necessários para a compreensão do tema.

No capítulo 4 é apresentado um Estudo de Caso sobre a aplicação das etapas Define, Measure e Analyze do DMAIC para estudo dos tempos de Transit Time carregado dos trens de Minério para exportação.

Finalmente, no capítulo 5 é apresentado um resumo dos resultados e no capítulo 6, são apresentadas as conclusões a respeito dos objetivos do trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SEIS SIGMA

O Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar expressivamente a performance e a lucratividade das empresas, por meio da melhoria contínua da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação dos clientes e consumidores, levando em conta todos os aspectos importantes de um negócio. (WERKEMA, 2004)

Com a intenção de ampliar o conceito de Seis Sigma para demonstrar o alcance e a flexibilidade desta ferramenta, Pande et al. (2001) definiu Seis Sigma como um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial (exemplo: redução de custos, melhoria na produtividade, retenção de clientes, mudança cultural etc.).

Um dos elementos mais marcantes deste programa é a adoção estruturada do pensamento estatístico. O uso intensivo de ferramentas estatísticas e a sistemática análise da variabilidade são as marcas registradas deste programa. (CARVALHO;PALADINI, 2005)

A abordagem Seis Sigma foi desenvolvida pela MOTOROLA na década de 80, com o objetivo de reduzir a taxa de falhas em seus produtos. Inicialmente consistia na contagem de defeitos nos produtos e na gestão da variação e a melhoria sistemática de todos os processos. (CORONADO, 2002)

Segundo Barney (2002), o Seis Sigma na sua origem estava relacionado a uma medida de qualidade e uma abordagem para solução de problemas de qualidade. Na seqüência, evoluiu para uma metodologia de melhoria geral do negócio.

A popularização do Seis Sigma ocorreu na década de 90 e teve como líder John F. Welch, então presidente da empresa General Electric. A GE percebeu que no início estava trabalhando na mudança da média, enquanto o que o cliente sente é o efeito da variação. Por muitos anos a GE trabalhou na redução de causas especiais de variação, ou seja, aquelas que acontecem inesperadamente e faz o nível de qualidade do processo se deslocar. No Seis Sigma, a GE atacou aquilo que Deming reconhecia como o trabalho da gerência, a redução das causas comuns da variação, ou seja, aquelas que resultam variabilidade natural do processo (ainda que exista padronização no processo). (WATSON, 2001)

A GE é considerada uma empresa modelo. Como a GE passou a utilizar o Seis Sigma com excelentes resultados, isso chamou a atenção do mercado. A partir daí, o Seis Sigma disseminou-se rapidamente.

Segundo Rotondaro et al. (2008, p.18), “o termo sigma mede a capacidade do processo em trabalhar livre de falhas”.

A terminologia Seis Sigma vem da representação estatística de nível de variabilidade de um processo, ou adequação do processo a uma especificação. O Sigma (σ) é a letra utilizada para representar o desvio padrão de uma distribuição e, quanto menor for o desvio padrão de um processo, mais desvios padrões passam a ser aceitos dentro da especificação. (DONADEL, 2008)

Um processo é definido como tendo desempenho Seis Sigma quando estiver com a média da população centrada no valor nominal da especificação, e os limites de especificação estiverem distantes seis desvios padrões da media da população. (HILSDORF, 2002)

Um defeito é uma característica mensurável de um processo ou de um resultado que não é aceito pelo cliente, ou seja, não atendeu as expectativas e/ou necessidades do cliente – não conformidade com as especificações. Estatisticamente, em um processo classificado como 6σ , estaríamos lidando então com uma parcela de apenas duas partes por bilhão fora da especificação, ou seja, a cada um bilhão de operações executadas, duas dariam errado. (USEVINICIUS, 2004).

Segundo Harry (2000), é difícil manter um processo sempre centralizado, já que no longo prazo vários fatores provocam o seu deslocamento, para cima ou para baixo do valor-alvo da especificação, geralmente, não superior a 1,5 desvio-padrão.

Segundo Scatolin (2005) um Processo Teórico (ou de Curto Prazo) é um processo que tem a média centrada entre os Limites de Especificação. Já um processo de Longo Prazo é aquele onde a média está deslocada até $1,5\sigma$ dos limites de especificação. Os gráficos da **Erro! onte de referência não encontrada**. estão exemplificando estes processos. As barras estão limitando a especificação desejada: LIE = Limite Inferior de Especificação e LSE= Limite Superior de especificação.

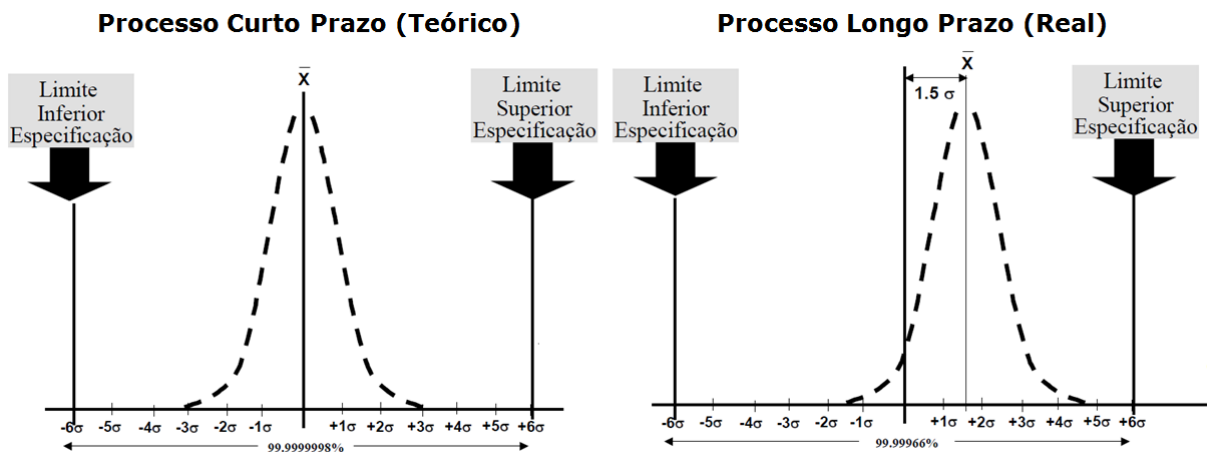


Figura 2 - Comparação entre processos de Curto e Longo Prazo
Fonte: SCATOLIN, 2005 (Adaptado)

Com estes conceitos, e admitindo que os processos reais sejam de Longo Prazo é possível recalcular a proporção de partes que estariam fora da especificação. O gráfico da Figura 3 mostra um processo Seis Sigma de longo prazo.

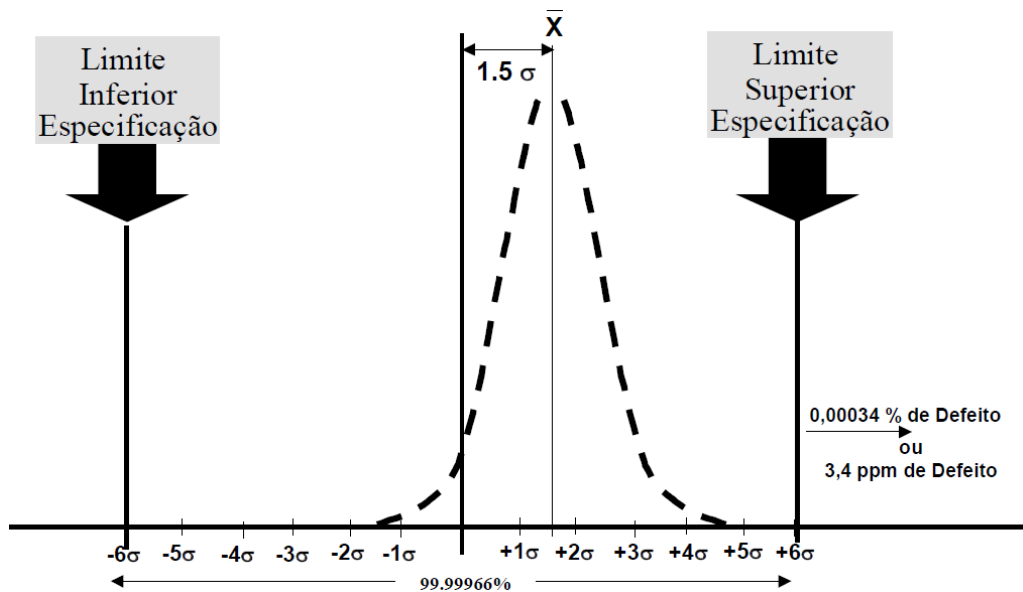


Figura 3 - Processo Seis Sigma de Longo Prazo
Fonte: SCATOLIN, 2005 (Adaptado)

Assim a expressão Seis Sigma representa, na verdade, uma eficácia de 99,99966% em qualquer processo, ou 3,4 Defeitos por milhão de Oportunidades (DPMO). O **Erro! onte de referência não encontrada.** mostra a comparação do nível de defeitos de um processo teórico de curto prazo ou centrado (sem deslocamento de 1,5 sigma ao longo do tempo) com um processo real, de longo prazo ou deslocado 1,5 sigma do valor central.

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

Quadro 1 - DPMO de Processos de Curto e Longo Prazo
Fonte: Goh, 2003

O significado na prática da meta do Seis Sigma, de acordo com Werkema (2004), pode ser facilitado se fizermos uma comparação entre o padrão atual no qual grande parte da empresa vem operando (Quatro Sigma ou 99,38% conforme) e a performance Seis sigma (99,99966% conforme), conforme mostrado no **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Comparação entre o padrão atual (Quatro Sigma) e a performance SEIS SIGMA	
QUATRO SIGMA (99,38% CONFORME)	SEIS SIGMA (99,99966% CONFORME)
Sete horas de falta de energia elétrica por mês	Uma hora de falta de energia elétrica a cada 34 anos
5.000 operações cirúrgicas incorretas por semana	1,7 operação cirúrgica incorreta por semana
3.000 cartas extraviadas para cada 300.000 cartas postadas	Uma carta extraviada para cada 300.000 cartas postadas
Quinze minutos de fornecimento de água não potável por dia	Um minuto de fornecimento de água não potável a cada sete meses

Quadro 2 - Comparação entre o padrão 4 Sigma e o 6 Sigma
Fonte: WERKEMA, 2004 (Adaptado)

Para Perez Wilson (1999) o Seis Sigma pode atuar de várias formas nas empresas. Pode ser usado como Benchmark, como um parâmetro de comparação do nível de qualidade dos processos, operações e produtos da empresa, entre outros. É também visto como uma Meta de qualidade, sendo alcançada ao atingir um patamar de 3,4 DPMO.

Além disso, é utilizado como Medida para determinado nível de qualidade, pois quando o número de sigmas é baixo, tais como em processo 2 sigmas, os níveis de qualidade não são tão altos, além de servir como uma estatística para avaliar a performance de uma característica crítica da qualidade em relação à especificação ou a tolerância.

O Seis Sigma pode também ser uma filosofia de melhoria constante do processo e na busca pela redução da variabilidade, além de servir como Estratégia e como Visão de levar a organização a ser a melhor do seu ramos de atuação.

Para a realização Harry e Schroeder (2000) citam como principais figuras do Seis Sigma, os Champions, os Black Belts, os Green Belts e ainda os Master Black Belts .

- Champions: Líderes de nível executivo, selecionados para garantir que o Seis Sigma esteja integrado à organização. Trata-se de um elemento dedicado à gestão do Seis Sigma no dia-a-dia, também chamado de Líder do Seis Sigma (Six Sigma Leader).

- Black Belts: Colaboradores que trabalham aplicando os conceitos e as ferramentas do Seis Sigma em projetos. Sua formação depende de um treinamento intensivo em estatística e em técnicas para solução de problemas. Eles normalmente atuam identificando em diferentes processos, oportunidades a serem exploradas por meio de projetos.

- Green Belts: Colaboradores em diferentes partes da organização que aplicam o Seis Sigma no seu dia-a-dia. Sua formação envolve um treinamento menos intensivo que o dos Black Belts. Os Green Belts são líderes de projetos.

- Master Black Belts: Indivíduos selecionados pela empresa para atuarem como experts nos conceitos e ferramentas do Seis Sigma. Coordenam seleção de projetos e treinamento. Desempenham o papel de coach ou de consultor interno.

Para Linderman (2003), um processo deve objetivar o nível sigma 6, apenas se isto for importante para o cliente e desde que o investimento para o salto em nível sigma não seja tão alto a ponto de inviabilizar economicamente este processo. Não necessariamente é preciso chegar a um nível de não conformidade seis sigma, sua aplicação contínua é que torna o seis sigma uma consequência. (Pande et al, 2001)

Segundo Carvalho (2005), com uma metodologia disciplinada, o Seis Sigma utiliza ferramentas estatísticas clássicas, organizadas em um método de solução de problemas, denominado DMAIC e que passa por cinco fases: Definir (Define - D), Medir (Measure – M), Análise (Analyze –A), Melhoria (Improve – I) e Controle (Control - C).

A definição de Rasis (2002) resume de forma clara a definição da metodologia Seis Sigma: *“Seis Sigma é a inflexível e rigorosa busca da redução da variação em todos os processos críticos para alcançar melhorias contínuas e quânticas que impactam os índices de uma organização e aumentam a satisfação e lealdade dos clientes. É uma iniciativa organizacional projetada para criar processos de manufatura, serviço ou administrativo que*

gerem no máximo 3,4 defeitos por milhão de oportunidade (DPMO). A ferramenta de melhoria empregada na implantação dos projetos Seis Sigma é o DMAIC: acróstico que representa: Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar”.

2.2 O MODELO DMAIC

Com uma metodologia disciplinada, o Seis Sigma utiliza ferramentas estatísticas clássicas organizadas em um método de solução de problemas e seguindo um rigoroso modelo, o DMAIC, que garante uma sequência ordenada, lógica e eficaz no gerenciamento dos projetos.

O DMAIC é um modelo formado de cinco fases que guiam as atividades necessárias e empregadas na abordagem Seis Sigma para a melhoria dos processos e que tem por objetivo estruturado, a definição dos problemas e situações que serão melhoradas, a medição para obtenção das informações e dados, a análise da informação coletada, a obtenção de melhorias nos processos e o controle dos mesmos.

Cada letra desta sigla tem um significado bem definido, os quais são respectivamente, Define (Definição - D), Measure (Medição - M), Analyze (Análise - A), Improve (Melhoria - I) e Controle (Controle - C). (SANTOS; MARTINS, 2003) O modelo serve como um apoio para se manter o foco nas atividades seguindo uma direção estruturada.

2.2.1 Etapa Define (D)

A primeira etapa do DMAIC (D: define) consiste na definição do problema, devendo esta ser a mais específica possível. Werkema (2004) define os passos dessa etapa, de acordo com o fluxograma da Figura 4:

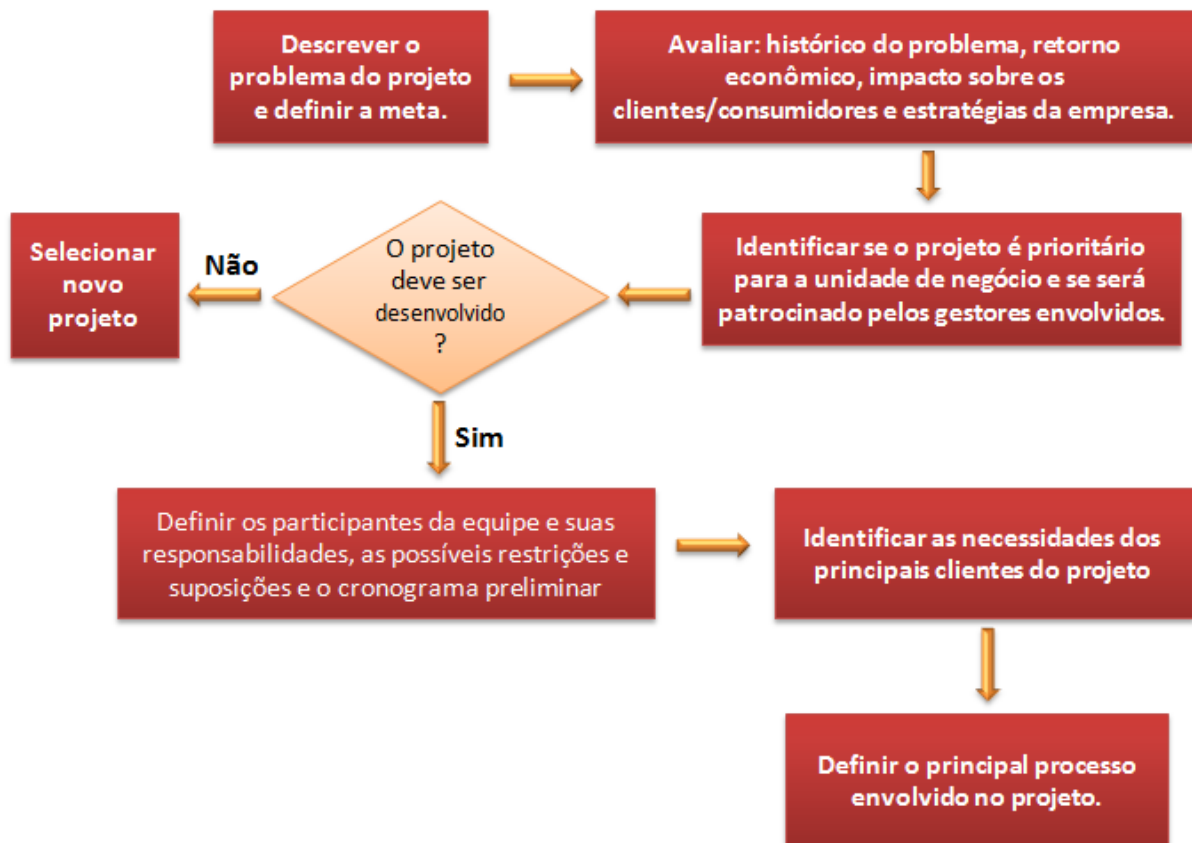


Figura 4 - Etapa DEFINE
 Fonte: WERKEMA, 2004 (Adaptado)

Nesta etapa são identificados os projetos Seis Sigma que serão desenvolvidos na empresa, com o objetivo primeiro de satisfazer as expectativas dos clientes em termo de qualidade, preço e prazo de entrega.

Os clientes da organização são todos aqueles que são afetados pela baixa qualidade de um produto ou serviço entregue, entre os clientes estão departamentos internos, os funcionários e principalmente os clientes finais. A habilidade da organização em atender a essa expectativa está intimamente ligada à variação de seus processos. A identificação de projetos Seis Sigma permite à organização reconhecer como os seus processos afetam sua lucratividade e permite definir quais desses processos são críticos para o negócio da empresa.

Na etapa Define os problemas prioritários devem ser selecionados para se trabalhar, de acordo com a formulação estratégica da empresa (onde se considera ambiente interno e externo da organização, ameaças e oportunidades) e os problemas crônicos provenientes da rotina da empresa, segundo Moreira et al. (2004). Deve-se fazer uma avaliação histórica do problema, como meio de justificar se o processo deve ou não ser realizado e se o quanto ele deve ser melhorado.

Deve ser estabelecida uma meta para o projeto. As metas serão os objetivos estratégicos da organização, tais como maior participação no mercado, retornos sobre investimentos mais elevados, redução do nível de defeitos, aumento de produção, melhoria da qualidade, aumento do giro de estoque, melhor previsão de demanda, dentre outros.

A meta geral é definida através do objetivo gerencial, da definição de valor e de prazo. Assim, para que a meta geral esteja correta, ela deve possuir objetivo, valor e prazo. Moreira et al. (2004) afirma que o valor pode ser definido através da comparação do comportamento histórico e de valores encontrados em outras empresas ou setores afins, e o prazo deve ser definido a partir da estratégia da alta direção corporativa e da complexidade do problema envolvido.

Outro fator muito importante neste momento é a correta formação da equipe de trabalho, bem como a clareza das informações sobre as metas individuais e do projeto final para esta equipe.

No início desta etapa é elaborada o Contrato do Projeto (“Project Charter”) que é o contrato entre a equipe de liderança da empresa e a equipe Seis Sigma. Contém a proposta do projeto, com as principais informações preliminares deste projeto a ser desenvolvido. Abaixo são descritas as principais informações que deve conter num contrato de projeto:

1. Nome do projeto;
2. Responsável ou líder do projeto (“Green Belt” ou “Black Belt”);
3. Equipe do projeto;
4. Impacto dos benefícios;
5. Métricas primária, secundárias e contra-medidas;
6. Cronograma: datas previstas de início e fim de cada passo;
7. Identificação do processo a ser melhorado;
8. Descrição do problema / projeto;
9. Escopo ou Limites do projeto;
10. Suporte requerido – recursos necessários, entre outros. Scatini

O ponto de vista do cliente e suas expectativas são premissas básicas para a análise e direcionamento de todas as atividades que a equipe de trabalho executará na fase de definição. A Voz do Cliente (Voice of the Customers - VOC) é o conjunto de dados que representa os requisitos do cliente, ou seja, suas necessidades e expectativas quanto ao projeto, bem como suas percepções em relação aos produtos da empresa. Essas informações são fundamentais, uma vez que são traduzidas nas Características Críticas para a Qualidade (Critical to Quality:

CTQs), as quais devem estar em concordância com o problema do projeto e auxiliam na definição do principal processo envolvido no projeto. (WERKEMA, 2004)

2.2.2 Etapa Measure (M)

Nessa etapa (M: measure) é determinado o foco do problema. Moreira et al. (2004) afirma que o objetivo dessa fase é desdobrar o problema em problemas menores, caso ainda não esteja, de forma a se identificar, o foco dos problemas críticos a serem atacados. A Figura 5 mostra os passos para esta etapa, de acordo com Werkema (2004).



Figura 5 - Etapa MEASURE
Fonte: WERKEMA, 2004 (Adaptado)

Inicialmente, deve-se decidir pela utilização dos dados já fornecido pela empresa ou pela realização de uma nova coleta de dados, uma vez que não for constatada a confiabilidade dos dados já existentes. Uma técnica para Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE) deve ser utilizada para verificar quão confiáveis são os dados a serem utilizados na obtenção de conhecimento do problema em questão (AGUIAR, 2006).

Posteriormente, para essa fase, há necessidade de estratificar o problema geral, em critérios como tempo, local, tipo e outros de acordo com o objeto em questão. Após essa estratificação, os problemas devem ser priorizados e devem ser identificados os problemas

críticos que serão trabalhados nas futuras análises. Quanto mais estratificado estiver o problema, maior a facilidade em solucioná-lo.

No caso de não serem utilizados os dados já existentes na empresa, um Plano de Coleta de dados deve ser realizado utilizado para a obtenção dos dados que serão utilizados na análise. Werkema (2004) afirma que, anteriormente à coleta de dados, os sistemas de medição e inspeção devem ser preparados e testados, utilizando as ferramentas para Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE).

Após os dados coletados e validados, o problema deve ser desdobrado em problemas menores, de menor complexidade. Os focos do problema devem ser definidos de maneira que seja mais fácil a obtenção das soluções e em seguida faz-se uma priorização dos problemas que serão solucionados.

Identificados os problemas prioritários, suas variações devem ser estudadas. Utiliza-se a análise de dados exploratória e descritiva para ajudar a avaliar e a entender os dados. A avaliação tem a função de acompanhar e medir o andamento dos processos, permitindo que melhorias possam ser implementadas em conformidade com os resultados obtidos.

A partir desta análise, deve-se desdobrar a meta estabelecida para o problema inicial em metas específicas para os focos definidos. Essas metas específicas podem ou não ser delegáveis, sendo delegável no caso de o tratamento não pertencer à área a qual o projeto está atrelado, devendo, portanto, ser tomada como meta inicial de um novo projeto, atribuído a área responsável (WERKEMA, 2004).

2.2.3 Etapa Analyze (A)

Esta etapa (A: Analyze) é direcionada ao entendimento da ocorrência do problema prioritário, ou seja, à descoberta de suas causas fundamentais e sua quantificação (WERKEMA, 2004). A análise dos dados coletados anteriormente é feita nesta etapa utilizando-se de ferramentas da qualidade e ferramentas estatísticas. As causas óbvias e não óbvias que influem no resultado do processo devem ser determinadas, e devem ser descobertas as fontes de variações nos processos (ROTONDARO, 2008). A Figura 6 descreve as atividades a serem realizadas.

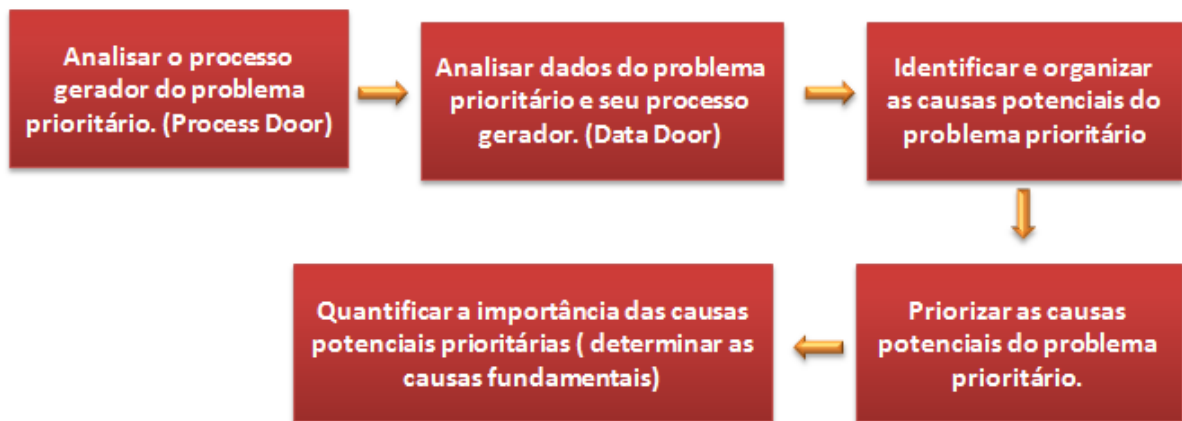


Figura 6 - Etapa ANALYZE
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

Primeiramente deve-se realizar a observação do processo ao qual o problema prioritário está relacionado, para um melhor atendimento o fluxo e identificar as oportunidades de melhoria existentes. Deve-se então, através do uso intenso de ferramentas estatístico, analisar os dados do problema prioritário e de seu processo gerador, com o intuito de identificar os fatores que produzem variações nos resultados relacionados ao problema e como se dá a manifestação dessas variações. (WERKEMA, 2004, p.102).

Van der Pol (2011) afirma que realizadas essas atividades, parte-se para a identificação das prováveis causas do problema. O levantamento dessas causas pode ser realizado através de um Brainstorming e os resultados podem ser organizados em um Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Afinidades ou Diagrama de Relações, com a finalidade de permitir melhor visualização e entendimento.

Para Aguiar (2006) as causas potenciais do problema prioritário identificadas devem ser priorizadas e, posteriormente, realizada a coleta de dados para a verificação das causas que contribuem significativamente para o problema, pois o tratamento de um número menor de causas é mais simples e pode levar ao alcance de todas as metas específicas. Por fim, a relação entre as causas identificadas e as características de interesse no problema é mensurada, de forma a priorizar as causas com maior grau de influência sobre a ocorrência do problema

2.2.4 Etapa Improve (I)

O objetivo desta fase é gerar idéias, desenhar programas de melhorias, realizar projetos pilotos de ajustes em processos e implementá-los. É através da análise dos resultados

obtidos nas fases de Definição, Medição e Análise que a fase de Melhoria possui subsídios para propor mudanças e estar constantemente pensando em melhorias. A coleta de informações da satisfação dos clientes em conjunto com dados de desempenho de processos, auxilia a equipe de trabalho a propor mudanças, em alguns casos ajustes. (STAMATIS, 2004) Na Figura 7 estão relacionadas as atividades que compõem esta fase.

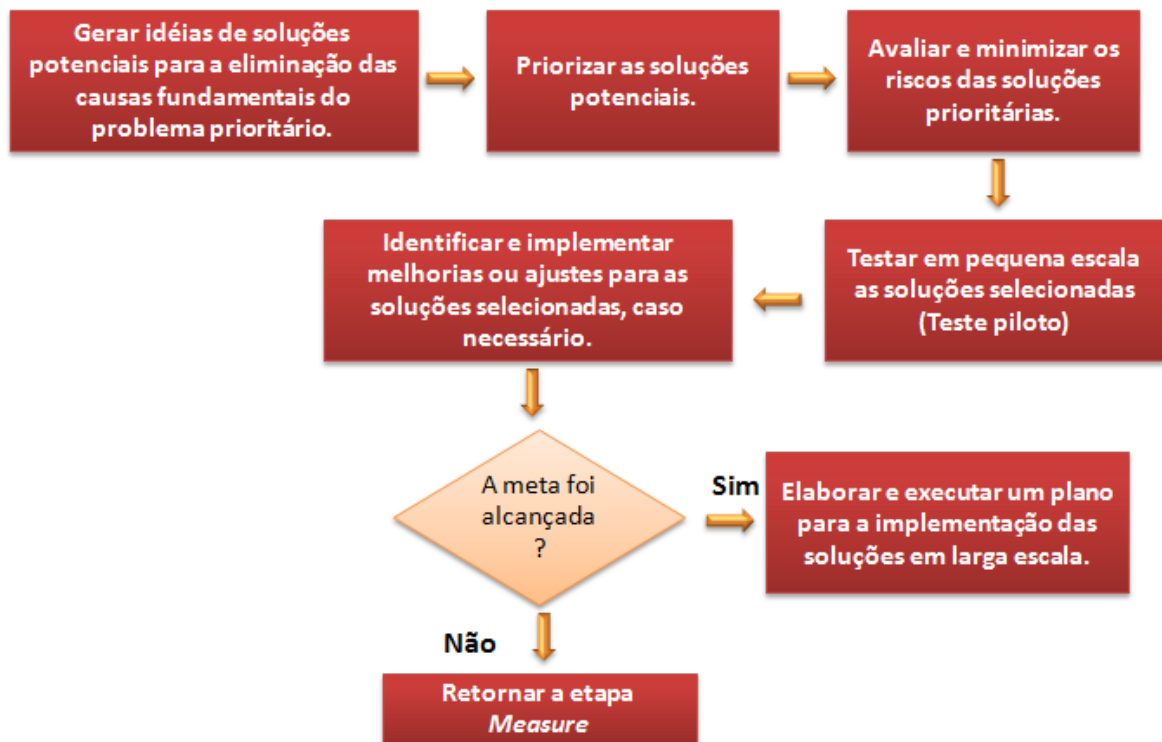


Figura 7 - Etapa Improve
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

Segundo Werkema (2004, p.108), inicialmente deve-se realizar um Brainstorming para a geração de idéias de soluções potenciais com a finalidade de eliminar as causas fundamentais dos problemas identificados anteriormente, e eliminar as causas de variação destes problemas. As idéias listadas devem ser refinadas e combinadas para darem origem às soluções potenciais para o alcance da meta prioritária.

Em seguida, de acordo com Aguiar (2006), as medidas propostas para as metas específicas devem ser priorizadas de forma que a meta inicial possa ser alcançada com parte das ações, dado que uma medida definida pode estar relacionada a mais de uma meta específica.

Rotondaro et al. (2008) complementa que nesta fase, pretende-se confirmar quais são as poucas entradas do processo que impactam em sua saída, ou seja, quais são as poucas

entradas vitais. Priorizadas as soluções, faz-se necessária, de acordo com Werkema (2004), uma análise dos riscos associados a essas soluções, buscando minimizá-los.

Toda proposta de melhoria deve estar apoiada através da implementação de um piloto inicial, que é um projeto em menor escala que visa validar com um grupo menor se os benefícios propostos realmente foram atingidos. A comprovação dos benefícios em projetos pilotos são um forte indicativo de que o resultado pode ser propagado e implementado na área ou em um processo como um todo. (STAMATIS, 2004)

Finalmente, deve ser elaborado e executado um plano para execução das soluções em larga escala, sendo necessário também avaliar se o alcance da meta é possível a partir das soluções selecionadas.

2.2.5 Etapa Control (C)

O objetivo desta fase é controlar os processos existentes, aplicar medições com o intuito de monitorar o andamento dos processos e antecipar ações corretivas e de prevenção de desvios. Devem-se institucionalizar melhorias através de modificações em sistemas, estruturas e processos, tudo isto acompanhado por um plano de controle onde ficam registrados os responsáveis, o que está sendo mensurado, parâmetros de desempenho e medidas corretivas aplicadas. (STAMATIS, 2004) Os passos desta etapa estão descritos na Figura 8:

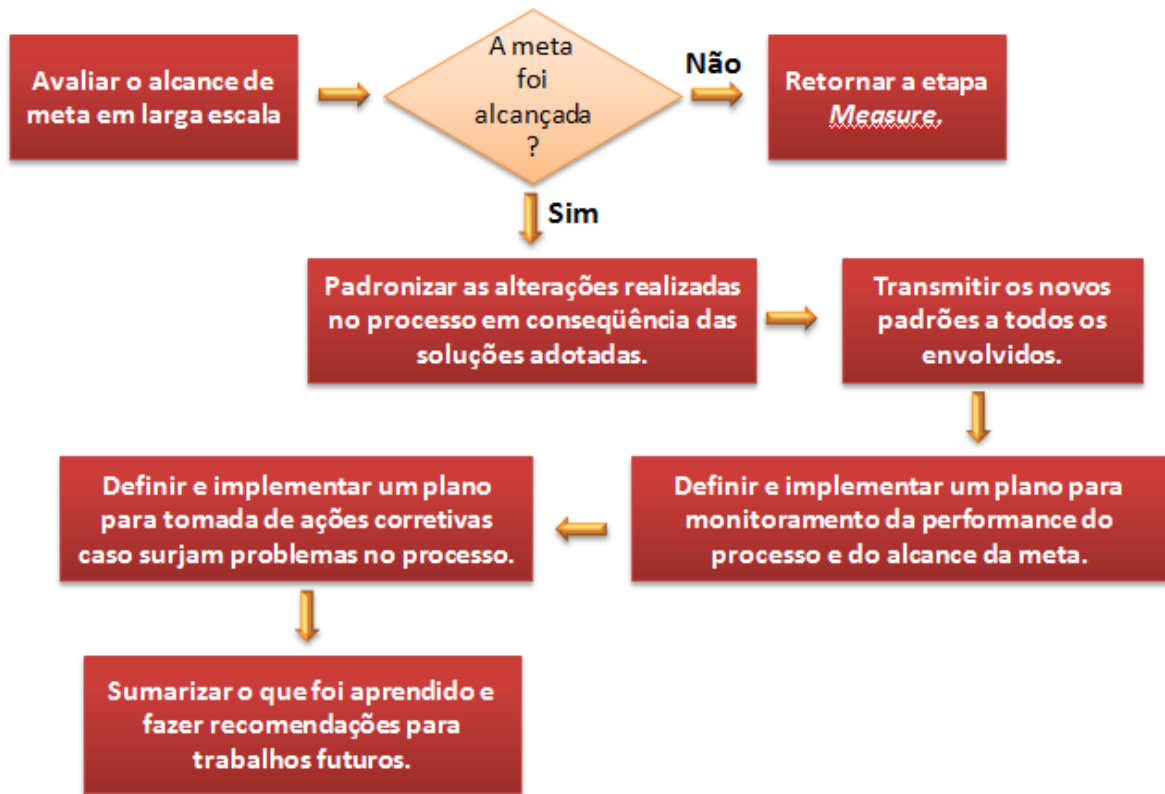


Figura 8 - Etapa CONTROL
 Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

Para Werkema (2004), o início da etapa se dá pela avaliação dos resultados obtidos com a implementação das soluções, por meio da comparação com os resultados apresentados anteriormente e certificando-se do alcance da meta em larga escala. Posteriormente, o estabelecimento de novos Procedimentos Operacionais Padrão (POP) ou revisão dos já existentes, devem ser realizadas, com a finalidade de padronizar as modificações implementadas no processo.

As pessoas envolvidas no processo devem estar cientes dos novos procedimentos, o que pode ser feito por meio de manuais de treinamento, reuniões, palestras e treinamentos no trabalho (OJT).

Para que os problemas não voltem a ocorrer, deve-se estabelecer um plano de monitoramento de desempenho do processo e do alcance da meta, além de ser necessária a utilização de diversas ferramentas de controle.

Deve-se também definir e implementar um plano para tomada de ações corretivas caso surjam problemas no processo, pois a agilidade na detecção de mudanças no comportamento do processo é importante para que ações corretivas apropriadas sejam tomadas e o processo seja corrigido sem causar grandes transtornos. (WERKEMA, 2004)

Por fim, Werkema (2004) afirma que deve ser sumarizado tudo que foi aprendido e que se devem recapitular todas as atividades desenvolvidas com o intuito de avaliar o modo como foram conduzidas. É de extrema importância que algumas questões que não foram tratadas no trabalho sejam recomendadas para projetos posteriores.

2.3 FERRAMENTAS UTILIZADAS NO SEIS SIGMA

Durantes as fases do DMAIC, a utilização de algumas ferramentas são de extrema importância para análise de possíveis ações de melhorias e para auxiliar na formulação de métodos e processos para implementação da metodologia e planos de ação. Ferramentas para o gerenciamento da qualidade são fundamentais para o planejamento e controle das variáveis internas e externas ligadas a uma empresa. O Quadro 3 abaixo mostra algumas ferramentas, e as etapas do DMAIC que elas se aplicam, sendo algumas dela detalhadas posteriormente, devido a aplicação no estudo de caso a ser apresentado.

Ferramentas	D	M	A	I	C
	(Define)	(Measure)	(Analyze)	(Improve)	(Control)
5W2H				x	
Amostragem		x			x
Análise de Regressão			x		
Análise de Séries temporais	x	x			
Análise de Sistema de Medição/Inspeção		x	x		x
Análise de Tempos de Falhas			x		
Análise de Variância			x		
Análise do Tempo de Ciclo			x		
Análise Econômica	x				
Análise Multivariada		x			
Auditoria do Uso dos padrões					x
Box Plot		x	x		
Brainstorming			x	x	
Carta de Controle	x	x	x		x
Cartas "Mult- Vari"			x		
Diagrama de Afinidades			x	x	
Diagrama de Causa e Efeito			x	x	
Diagrama de Dispersão			x		
Diagrama de Gantt				x	
Diagrama de Matriz			x	x	
Diagrama de Pareto		x			x
Diagrama de Processo Decisório (PDPC)				x	
Diagrama de Relações			x	x	
Estratificação		x	x		
Fluxograma			x		
FMEA			x	x	
Folha de Verificação		x			x
FTA			x		
Gráfico sequencial	x	x			
Gráfico sequencial					
Histograma		x	x		x
Índices de capacidade		x			x
Manuais					x
Mapa de Produto			x		
Mapa de Raciocínio	x				
Mapa do Processo			x		
Matriz de Priorização			x	x	
Métricas do seis Sigma	x	x			x
OCAP (OutofControlActionPlan)					x
OJT (On the Job Training)					x
Operação evolutiva (EVOP)				x	
Palestras					x
PERT/CPM				x	
Planejamento de Experimentos			x		
Plano de Coleta de Dados		x			
Plano p/ Coleta de Dados					x
Poka - Yoke (mistake-Proofing)					x
Procedimentos Padrão					x
PROJECT Charter	x				
Relatório de anomalias					x
Reuniões					x
Simulação				x	
SIPOC	x				
Stakeholder Analysis				x	
Testes de Hipóteses					
Testes de Hipóteses			x	x	
Testes de Mercado				x	
Testes de Vida Acelerados			x		
Testes na Operação				x	
Voz do Cliente (VOC)	x				
Diagrama de árvore				x	

Quadro 3- Ferramentas Utilizadas no Seis Sigma

Fonte: WERKEMA, 2004 (Adaptado)

2.3.1 Estratificação

A estratificação é uma ferramenta utilizada para o desdobramento dos dados. Seu principal objetivo é auxiliar na análise e na pesquisa para o desenvolvimento de oportunidades de melhoria, pois, possibilita a visualização da real composição dos dados estratificados.

2.3.2 Histograma

O histograma é um gráfico de barras onde os dados são distribuídos por classes (ou categorias). A grande vantagem do histograma é que, o mesmo, mostra uma fotografia da variável em um determinado instante (JUNIOR et al., 2006). As barras de cada classe são caracterizadas pela frequência distribuída em cada uma.

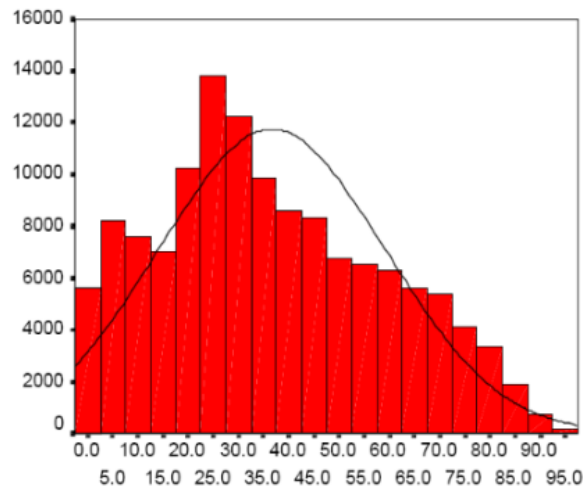


Figura 9 - Histograma
Fonte: Adaptado pelo autor

2.3.3 Gráfico de Pareto

O Gráfico de Pareto é um gráfico de barras construído a partir de uma coleta de dados e, é utilizado na priorização de problemas ou causas de determinado tópico. O princípio do Gráfico de Pareto se originou a partir dos estudos de Vilfredo Pareto (um economista italiano do século XIX), que estudou os princípios de distribuição de renda no país. Ele verificou que 20% da população detinham 80% da riqueza, e que os outros 80% da população detinham 20% da riqueza.

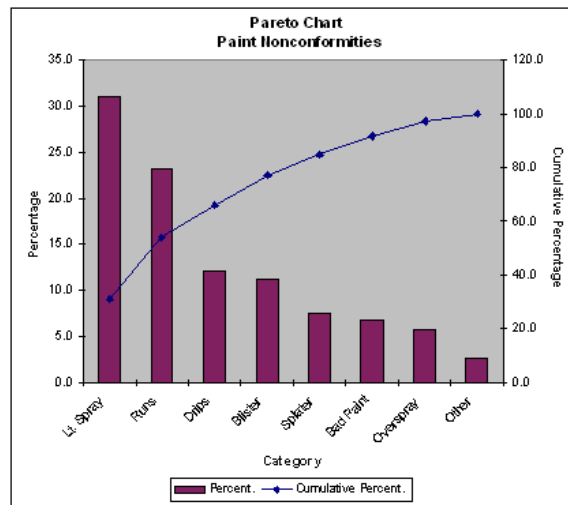


Figura 10 - Diagrama de Pareto
Fonte: Adaptado pelo autor

2.3.4 Coeficiente de Correlação

A verificação da existência e do grau de relação entre variáveis quantitativas é objeto do estudo da correlação. A investigação da relação de duas variáveis, tais como estas, usualmente começa com uma tentativa para descobrir a forma aproximada dessa relação, representando-se graficamente os dados como pontos no plano x, y. Tal representação denominamos gráfico de dispersão. Por meio dele pode-se prontamente verificar se existe alguma relação pronunciada e, em caso positivo, se a relação pode ser tratada como aproximadamente linear.

Segundo Triola (1999), podemos definir correlação como sendo alguma forma de relacionamento entre duas ou mais variáveis. Pode-se medir o grau em que as variáveis estão relacionadas e a esta medida chamaremos de coeficiente de correlação, r , que é definido pela seguinte fórmula:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}}$$

O coeficiente de correlação, r , mede a força da associação linear entre as duas variáveis avaliadas. No entanto, vale a pena ressaltar que esta somente é uma medida válida se as duas variáveis estão relacionadas linearmente, ou seja, se a relação visualizada no gráfico de dispersão deve lembrar o desenho de uma reta.

Como propriedade, o r deve satisfazer à seguinte condição: $-1 \leq r \leq 1$, onde os valores de r só serão iguais a ± 1 se os pontos estiverem totalmente sobre uma linha reta.

Sua interpretação dependerá do valor numérico e do sinal, podendo ser classificada como: correlação linear positiva ($0 < r < 1$), correlação linear perfeita positiva ($r = 1$), correlação negativa ($-1 < r < 0$), correlação perfeita negativa ($r = -1$), correlação nula ($r = 0$). Quando duas variáveis forem independentes, o coeficiente de correlação será nulo.

2.3.5 Gráficos de Controle

Com a finalidade de visualizar a variabilidade a que um processo pode estar sujeito e o comportamento que ele apresenta, os gráficos de controle são largamente utilizados. São também conhecidos como gráficos de controle de Shewhart, já que foram inicialmente propostos pelo Dr. Walter S. Shewhart. De acordo com Montgomery (2004), trata-se de uma representação gráfica da qualidade que foi mensurada a partir de uma amostra, relacionada com o tempo ou com o número da amostra. Segundo o autor, um gráfico de controle consiste em:

- Uma linha média (LM);
- Limite inferior de controle (LIC – abaixo da LM) e Limite superior de controle (LSC – acima da LM);
- Valores da variável a ser analisada plotados no gráfico.

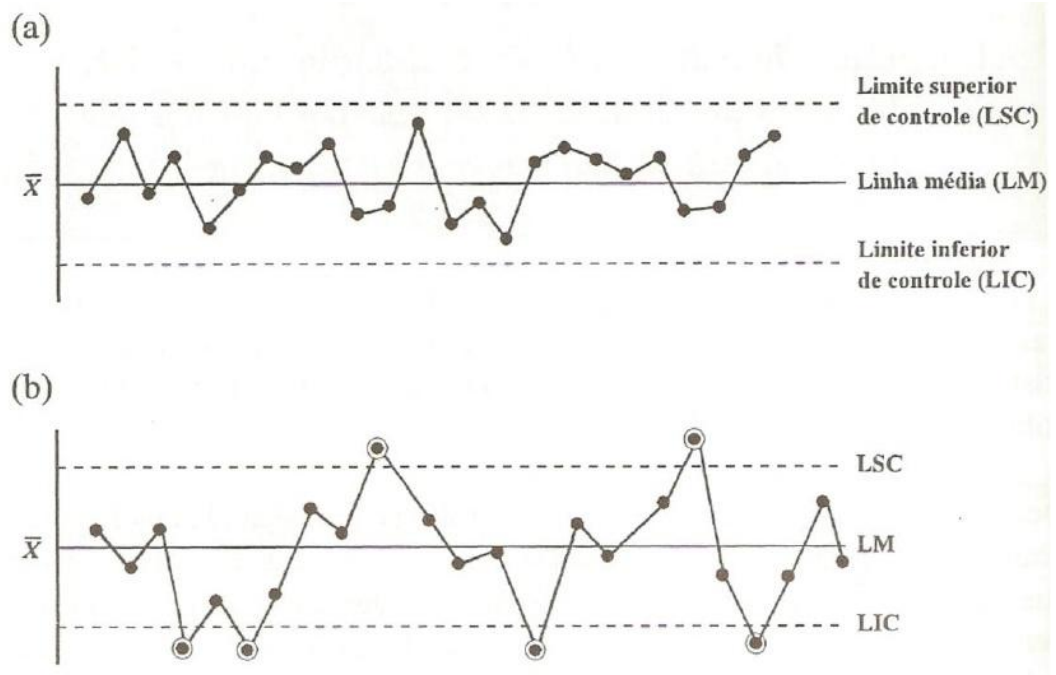


Figura 11- Exemplos de Gráfico de Controle. (a) Processo sob controle. (b) Processo fora do Controle
Fonte: Werkema (1995)

A Figura 11 mostra um exemplo de gráfico de controle. As linhas referentes aos limites superior e inferior de controle irão delimitar uma área que compreende valores de um processo ainda sob controle. Qualquer ponto fora desta região indica que o processo está fora de controle, ou seja, demanda de estudos para verificar as causas presentes e ações corretivas a serem tomadas.

Segundo Montgomery (2004), ainda que todos os pontos fiquem na região de controle, ou seja, entre o limite superior e o limite inferior de controle, caso se observe uma situação sistemática, onde os pontos apresentem alguma configuração especial que exclua a aleatoriedade dos dados, o processo pode estar fora de controle, uma vez que processos sob controle são caracterizados pela aleatoriedade. Segundo o autor alguns testes são úteis para verificar se o processo está estatisticamente controlado:

- Teste 1: verifica se o ponto está localizado acima do LSC ou abaixo do LIC
- Teste 2: analisa a presença de nove pontos consecutivos localizados acima ou abaixo da LC;
- Teste 3: testa se existem seis ou mais pontos consecutivos crescentes ou decrescentes;
- Teste 4: verifica a existência de quatorze pontos alternados em uma linha;
- Teste 5: Dois de três pontos localizados no mesmo lado a dois desvios-padrão acima ou abaixo da linha central;

- Teste 6: testa se existem quatro de cinco pontos localizados no mesmo lado a um desvio-padrão acima ou abaixo da linha central;
- Teste 7: quinze pontos consecutivos localizados, em qualquer lateral, a menos de um desvio-padrão da linha central;
- Teste 8: verifica se existem oito pontos consecutivos acima ou abaixo, em qualquer lateral, a mais de um desvio-padrão da linha central.

Segundo Moreira et al. (2004), para amostras de tamanho um ($n=1$), são construídos gráficos X-AM, gráficos para medidas individuais, que devem ser analisados juntos, e os dados devem possuir uma distribuição normal. Caso não sigam essa distribuição, deve-se determinar os limites de controle dos gráficos X e AM com base na verdadeira distribuição dos dados ou transformar a variável original em uma nova variável que seja aproximadamente normal e então reconstruir os gráficos com base nos novos valores. Os gráficos X-AM são construídos quando toda unidade produzida é avaliada ou quando a taxa de produção é baixa, não permitindo $n>1$ para que sejam realizadas as análises. Para a construção desses gráficos utiliza-se:

$$\begin{aligned}\text{Gráfico } \bar{X}: \quad LSC &= \bar{x} + 3AM/d_2 \\ LM &= \bar{x} \\ LIC &= \bar{x} - 3AM/d_2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gráfico } AM: \quad LSC &= D_4 AM \\ LM &= AM \\ LIC &= D_3 AM\end{aligned}$$

onde D_3 , D_4 e d_2 são constantes tabeladas em função do tamanho n das amostras, \bar{x} é a média da amostra, e AM é a amplitude móvel média.

No Gráfico da Média (X) são plotadas as médias das amostras, no intuito de controlar os valores médios das características estudadas, monitorando, portanto, o nível médio do processo a partir da variabilidade das amostras.

O Gráfico da Amplitude (AM) revela justamente a variabilidade dentro de uma mesma amostra, de modo que as amostras devem ser selecionadas permitindo que a variabilidade dentro da amostra meça apenas causas aleatórias ou casuais. Segundo Werkema (1995), os gráficos X e R devem ser utilizados em conjunto, a fim de garantir acompanhamento mais eficiente do processo.

2.3.6 Índices de Capacidade do Processo

Segundo Slack (2002), “a capacidade do processo é a medida da aceitabilidade da variação do processo”. Werkema (1995) considera os índices de capacidade informam se o processo é ou não capaz de fabricar produtos que atendam às especificações dos clientes, tanto internos, quanto externos.

Torminato (2004) afirma que a análise de capacidade é parte importante do Controle Estatístico do Processo, pois permite determinar a habilidade do processo em satisfazer as especificações e os limites de tolerância do processo, além de diagnosticar o estado de controle dos processos de produção, verificando se são ou não capazes de satisfazer as solicitações dos clientes.

Os índices de capacidade são valores adimensionais, que possibilitam qualificar o desempenho do processo. A utilização dos mesmos está vinculada à existência do controle estatísticos do processo e à normalidade da distribuição da variável analisada. Os índices de capacidade do processo comumente utilizados são (MONTGOMERY, 2004; TORMINATO, 2004):

- **Índice de capacidade (C_p):** Mede a capacidade potencial do processo, ou seja, sua capacidade de atender as especificações se o mesmo estiver ajustado. É definido como o intervalo de tolerância dividido pela amplitude do processo, ou seja, 6 vezes o desvio padrão estimado, considerando a ausência de causas especiais:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

onde LSE e LIE representam respectivamente o limite superior e inferior de especificação e σ é o desvio padrão do processo.

O índice C_p não avalia a centralização do processo, isto é, a relação entre a média estimada do processo (X) com os limites de especificação (MONTGOMERY, 2004). Assim o C_p não representa a porcentagem fora de especificação, mas simplesmente um índice de capacidade nominal do processo. Numericamente, se C_p for igual ou superior a 2,0, o processo é considerado capaz, indicando que a faixa de especificação é duas vezes mais ampla que sua dispersão intrínseca. Se C_p for igual a 1,0, o processo é considerado marginalmente capaz, dado que a faixa de especificação é a mesma que sua faixa de dispersão. Por outro lado, se C_p < 1,0, o processo não pode ser considerado capaz, dado que a faixa de especificação é menor que sua faixa de dispersão natural. Segundo Montgomery (2004), valores entre 1 e 2

são considerados aceitáveis. Num processo já existente, o valor mínimo recomendado é de 1,33 e, para processos novos, o valor sugerido é de 1,5.

- **Índice de capacidade (Cpk):** mede a capacidade efetiva do processo. Considera simultaneamente se o processo possui uma dada dispersão e se a média atende as especificações levando em conta a centralização do processo e é definido como o mínimo entre o limite superior e o inferior de capacidade. O índice é definido por:

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{LIE - \mu}{3\sigma}\right)$$

onde μ representa a média do processo e os demais elementos são apresentados como na Equação 1.

O índice Cpk mede quantos desvios padrões estão situados no intervalo entre a média do processo e o limite especificado mais próximo. Quanto maior o Cpk, menor a dispersão do processo ou menor o afastamento da média do processo em relação ao alvo.

Como base para interpretação dos resultados toma-se como base o Quadro 4, que mostra a classificação do processo quanto à capacidade que ele possui.

Cpk	Interpretação	Ações Pertinentes	Relação do valor nominal e a linha central do processo
$Cpk \geq 2,0$	PROCESSO EXCELENTE Altamente confiável	Os operadores têm perfeito controle do processo	Se $C_p = C_{pk} \rightarrow$ Processo centrado
$1,33 \leq Cpk \leq 2,0$	PROCESSO CAPAZ Relativamente confiável	Os operadores têm que monitorar para evitar deterioração	Se $C_{pk} \neq C_p \rightarrow$ Processo está fora de alvo
$1,00 \leq Cpk \leq 1,3$	PROCESSO RELATIVAMENTE INCAPAZ Pouco confiável	Exige dos operadores controle contínuo	$C_{pk} < C_p$ Processo está fora do alvo, mas está dentro dos limites de especificação
$0 < Cpk < 1$	PROCESSO INCAPAZ Podemos ter produção defeituosa	Exige dos operadores controle 100% da produção	$C_{pk} < C_p$ A linha central do processo está dentro ou coincidindo com um dos limites de especificação (podemos ter 50% de produção acima ou abaixo dos limites de especificação)
$Cpk < 0$	PROCESSO TOTALMENTE INCAPAZ Não tem condições de manter as especificações		$C_{pk} < C_p$ A linha central do processo está fora dos Limites da Especificação Se $C_{pk} < -1 \rightarrow$ toda a produção está fora dos Limites de Especificação

Quadro 4 - Interpretação do índice Cpk

Fonte: Adaptado de Vieira (1999)

- **Índices do desempenho potencial de um processo (P_p e P_{pk}):** Quando o processo não está sob controle, recomenda-se o uso dos índices do desempenho de um processo P_p e P_{pk} . Esses índices analisam se a amostra gerada do processo tem condição de atender as especificações estabelecidas. As expressões para esses índices são:

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6S}$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{LSE - \bar{X}}{3S}, \frac{LIE - \bar{X}}{3S}\right)$$

onde \bar{X} é uma estimativa de m ; S é o desvio padrão amostral.

A diferença entre os índices citados anteriormente é que C_p e C_{pk} consideram que existem somente causas comuns de variação, enquanto P_p e P_{pk} consideram a presença, também, de causas especiais. C_p e P_p consideram que a média está centrada, enquanto C_{pk} e P_{pk} não parte do pressuposto da centralização da média. Assim, o índice P_{pk} não faz qualquer suposição a respeito da média e das fontes de variação, sendo então, o melhor índice para avaliar o desempenho atual do processo.

3. DESCRIÇÃO

3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste tópico é apresentada a metodologia de pesquisa, objetivando descrever o procedimento adotado para a condução desta pesquisa.

O trabalho iniciou-se com a definição do tema, tendo como base a relevância do mesmo para a organização a ser estudada, a empresa MRS Logística S.A. Em seguida, foi realizada uma revisão bibliográfica, com o levantamento das publicações existentes relacionados ao assunto abordado, o método DMAIC.

Concluído o levantamento, realizou-se a coleta de dados na empresa, utilizando os sistemas de informação disponíveis para a sua obtenção. Além disso, foram necessárias entrevistas com alguns colaboradores da empresa a fim de entender os fatores envolvidos e obter informações adicionais.

Finalmente, os dados coletados foram tratados, por meio da aplicação do método, visando à obtenção de conclusões a respeito do problema em estudo.

3.2 DESCRIÇÃO DO OBJETO DO ESTUDO

O estudo de caso foi realizado na MRS Logística S.A concessionária que controla, opera e monitora a Malha Sudeste da antiga Rede Ferroviária Federal. A empresa atua no mercado de transporte ferroviário desde 1996, quando foi constituída, interligando os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. São 1.674 km de malha – trilhos que facilitam o processo de transporte e distribuição de cargas numa região que concentra aproximadamente 54% do produto interno bruto do Brasil e estão instalados os maiores complexos industriais do país.

O foco das atividades da MRS está no transporte ferroviário de cargas como minério, produtos siderúrgicos acabados, cimento, bauxita, produtos agrícolas, coque e contêineres; e na logística integrada, que implica planejamento e multimodalidade.

A MRS Logística opera dois grupos principais de modelos de transporte, cujas especificidades estão destacadas a seguir:

- HEAVY HAUL: O transporte ferroviário de Heavy Haul (‘Carga pesada’) é realizado por meio dos chamados “Trens unitários”, formados apenas por vagões de um único

cliente, transportando sempre um único tipo de carga em toda a composição. Estes trens circulam sempre carregados para os terminais de descarga e retornam vazios para os terminais de carga. Suas principais características são o transporte de grandes volumes em escala e a existência de uma relação de dependência entre mineradoras e ferrovia para que possa ser feito o escoamento da produção. São produtos deste segmento: Minério de Ferro, Carvão e Coque.

- **CARGA GERAL:** Ao contrário do que acontece no Heavy Haul, o transporte de Carga Geral é realizado por meio de “Trens mistos”, compostos por vagões de diferentes clientes, com diferentes tipos de cargas sendo que uma formação possui vagões com várias origens e destinos. Os trens de Carga Geral têm rotas, dias e horários pré-definidos para circularem da origem ao destino, desenvolvendo também atividades programadas de inclusão e retirada de vagões ao longo do percurso (Pátios intermediários). São produtos deste segmento: Cimento ensacado, Cimento á granel, Produto siderúrgico, etc

A MRS Logística S.A. vem aumentando a cada ano a sua produção. Em 2010 transportou aproximadamente 145 milhões de toneladas, e espera ter um crescimento aproximado de 18% ao ano. Atualmente o Minério de ferro é responsável por cerca de 65% do faturamento da empresa.

As quatro linhas principais da empresa são: a Linha do Centro, a Ferrovia do Aço, a Linha de São Paulo, Linha Santos-Jundiaí e o ramal do Paraopeba. A malha ferroviária da MRS é interligada com a Ferrovia Centro-Atlântica (FCA), a Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM) e a América Latina Logística (ALL), oferecendo, com isso, alternativas de transporte para outras regiões do país. Na Figura 12, pode-se ver o mapa da Região Sudeste, com a malha ferroviária da MRS:



Figura 12 - Malha ferroviária Sudeste
Fonte: MRS Logística, 2011

A Linha do Centro liga Barra do Piraí no Rio de Janeiro à Carandaí passando por Juiz de Fora, no Estado de Minas Gerais (566 km). Trata-se de uma das mais antigas linhas férreas em operação no Brasil, tendo sido reformada na década de 80. Esta linha é utilizada por trens vazios via de retorno a Minas Gerais, após realizarem o transporte de minério de ferro para usinas siderúrgicas e portos localizados no Estado de São Paulo e Rio de Janeiro.

A Ferrovia do Aço liga o principal ponto de carregamento minério da empresa, o “Andaime”, município de Itabirito, em Minas Gerais, para a localidade de Saudade, município de Barra Mansa, no Estado do Rio de Janeiro (370 km). Trata-se de uma linha férrea recente, tendo começado a operar em 1989. É a mais movimentada linha da Malha Sudeste, sendo utilizado principalmente para o transporte do minério de ferro produzido na região próxima a Belo Horizonte até os portos de Guaíba e Sepetiba, no Rio de Janeiro, e as unidades siderúrgicas da CSN e da Usiminas.

O ramal do Paraopeba está situado no quadrilátero ferrífero de Minas Gerais, e é onde estão localizados os principais pontos de carga de Minério de Ferro, tanto para abastecimento do mercado externo quanto para exportação.

A Linha de São Paulo está situada entre Barra do Piraí, no Estado do Rio de Janeiro, e a cidade de São Paulo (400 km). Nesta linha está incluído o trecho entre Saudade e Barra do Piraí (45 km), que faz conexão com a Ferrovia do Aço e a Linha do Centro e termina por ser um dos trechos mais movimentados da Malha Sudeste. A Linha de São Paulo é utilizada para

o transporte de produtos siderúrgicos, cimento, contêineres e minério de ferro (principalmente para a usina da Usiminas em Cubatão).

A Linha Santos-Jundiaí corre pelo Estado de São Paulo, de Jundiaí, até o porto de Santos, passando pela cidade de São Paulo (139 km). Esta linha é muito utilizada para o transporte de cargas em geral (tais como grãos e soja) da região agrícola de São Paulo para o porto de Santos, e de contêineres entre o terminal de Jundiaí e os terminais portuários em Santos. A capacidade desta estrada de ferro é em parte limitada devido à necessidade de utilização do sistema de cremalheira, instalado na descida da Serra do Mar, pelo qual, através do uso de locomotivas elétricas e de um mecanismo de tração situado entre os trilhos, é possível fazer com que vagões sejam transportados por um trecho bastante íngreme entre a base e o alto da serra.

O Porto de Santos está localizado no litoral do Estado de São Paulo, estendendo-se ao longo de um estuário limitado pelas ilhas de São Vicente e de Santo Amaro, distando 2 km do Oceano Atlântico. Atingindo tanto a margem direita quanto a margem esquerda do Porto de Santos, a malha ferroviária da MRS é utilizada principalmente no transporte de produtos agrícolas e industriais, com uma forte participação também no transporte de contêineres.

O Porto do Rio de Janeiro está localizado na costa oeste da Baía de Guanabara. As principais cargas movimentadas no cais são produtos siderúrgicos e contêineres. A MRS faz uso do seu terminal de cargas (Arará) situado às portas do Porto do Rio de Janeiro para operar, em sua maioria, cargas destinadas à exportação.

O Porto de Sepetiba está localizado na costa norte da Baía de Sepetiba, no Município de Itaguaí, Estado do Rio de Janeiro, ao sul e a leste da Ilha da Madeira.

O Porto de Guaíba está localizado na Ilha de Guaíba, na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro, sendo operado pela VALE. O único acesso por terra é através da Malha Sudeste da MRS. A principal carga transportada neste porto é o minério de ferro extraído das minas da VALE, localizadas no Estado de Minas Gerais. Em Guaíba, os processos de descarga, feita por viradores de vagões (“car dumpers”), e de carregamento de navios, feitos por “ship loaders” alimentados por correias transportadoras, são altamente mecanizados. (www.revistaferroviaria.com.br)

O objetivo da companhia para os próximos anos é alcançar o topo da eficiência operacional. Está no transporte de minério de ferro a maior oportunidade de ganho para a MRS Logística, já que este representa não só o maior volume, como também um dos negócios mais lucrativos para a companhia.

O minério de ferro transportado pela MRS é carregado em oito terminais localizados na região do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais, sendo estes os terminais de Andaime e Pires localizados na Frente Norte da Ferrovia do Aço e os terminais de Olhos D'Água, Sarzedo, Sarzedo Novo, Souza Noschese, Córrego do Feijão e Casa de Pedra no ramal do Paraopeba.

Os principais destinos de minério de ferro são a CSN (Volta Redonda), Usiminas (Cubatão), Porto de Sepetiba, Porto da Ilha de Guaíba e outros com menor volume de transporte mensal como a Arcelor (Juiz de Fora), Açominas e Patrag (Ouro Branco).

Os trens de Minério de exportação são aqueles que se destinam aos portos. Tais trens, em sua maioria, são compostos por 134 vagões e são tracionados por duas ou três locomotivas (dependendo do modelo o esforço de tração pode ser maior ou menor). Em alguns trechos da malha pode haver a necessidade de recebimento de mais locomotivas para auxiliar. Isto acontece devido ao relevo ser muito acentuado.

A MRS Logística vem se preocupando cada vez mais com a eficiência dos seus ciclos de seus trens, haja visto que este se caracteriza por ser o maior responsável pelo incremento de produção necessário para que a empresa acompanhe a crescente evolução da demanda por transporte de carga via ferrovia.

Na operação ferroviária, o ciclo do trem corresponde ao processo que tem início quando, no pátio de carregamento, o trem vazio está disponível para o terminal, e término quando o trem atinge novamente este ponto inicial. O esquema de ciclo pode ser observado na Figura 13.

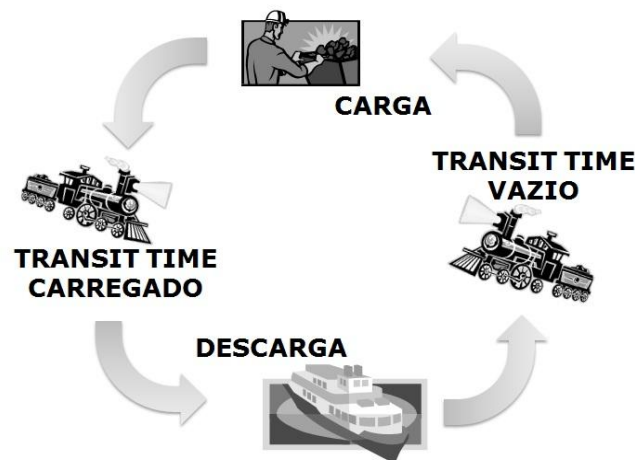


Figura 13 - Ciclo dos Trens
Fonte: MRS Logística, 2011

A priori, as macro-etapas do ciclo do trem são: CARGA, TRANSIT TIME CARREGADO, DESCARGA E TRANSIT TIME VAZIO. Contudo, estas sofrem uma série de subdivisões, mostradas no Quadro 5:

CARGA	Antes da Carga MRS (ACM)	Tempo entre a chegada dos vagões ao terminal de carga e a disponibilização dos mesmos aos clientes.
	Antes da Carga Cliente (ACC)	Tempo entre a disponibilização dos vagões ao cliente e início da carga efetiva.
	Carga (CAR)	Tempo de carga efetiva. Tempo entre a entrada do vagão no terminal e disponibilização dos mesmos carregados, sendo o cliente responsável pelo processo de carga na maioria das vezes.
	Depois da Carga MRS (DCM)	Tempo entre o recebimento dos vagões carregados pela MRS até a partida do trem.
TRANSIT TIME CARREGADO	<i>Transit Time Carregado (TTC)</i>	Tempo desde a partida do vagão carregado do pátio de origem até a chegada do vagão no pátio de destino.
	Viagem Carregado Cliente (VCC)	Tempo durante o Transit Time em que o trem carregado ficou parado a pedido do cliente.
DESCARGA	Antes da Descarga MRS (ADM)	Tempo entre a chegada dos vagões ao terminal de descarga e a disponibilização dos mesmos aos clientes.
	Antes da Descarga Cliente (ADC)	Tempo entre a disponibilização dos vagões ao cliente e início da descarga efetiva.
	Descarga (DES)	Tempo de descarga efetiva. Tempo entre a entrada do vagão no terminal e disponibilização dos mesmos vazios, sendo o cliente responsável pelo processo de descarga na maioria das vezes.
	Depois da Descarga MRS (DDM)	Tempo entre o recebimento dos vagões vazios pela MRS até a partida do trem.
TRANSIT TIME VAZIO	<i>Transit Time Vazio (TTV)</i>	Tempo desde a partida do vagão vazio do pátio de origem até a chegada do vagão no pátio de destino.
	Viagem Vazio Cliente (VVC)	Tempo durante o Transit Time em que o trem Vazio ficou parado a pedido do cliente.

Quadro 5 - Etapas de Ciclo
Fonte: MRS Logística, 2011

O ciclo do trem interfere diretamente no volume transportado pela empresa e por consequência nos custos do transporte. Algumas variáveis são utilizadas para o cálculo da demanda a ser atendida através de um determinado ciclo e estas serão descritas a seguir. Para efeito de simplificação, será usada como premissa uma situação de que a companhia utilize apenas um trem de minério de ferro para exportação.

Dados disponíveis:

Número de dias de transporte (ND): 30 dias

Capacidade útil de carga do vagão (CV): 98 toneladas

Número de vagões no trem (NV): 134

Número de trens circulando na malha (NT): 1

Ciclo (C): 2,9 dias

Qual a demanda do cliente (D) capaz de ser atendida com este ciclo?

Fórmula de cálculo:

$D = \frac{ND * CV * NV * NT}{C}$

Resultado:

Demanda atendida (D) = 135.848 toneladas

Dessa forma, fica claro que, com os recursos disponíveis, a capacidade de atendimento à demanda do cliente aumenta de forma inversamente proporcional ao ciclo realizado pelos trens.

Como explanado anteriormente, o transporte ferroviário de minério de ferro é realizado por meio dos chamados “trens unitários”. Estes trens são formados apenas por vagões de um único cliente, transportando sempre um único tipo de carga em toda a composição, circulando sempre carregado para os terminais de descarga e retornando vazios para os terminais de carga. Esta circulação, chamada de “carrossel” forma o conceito do indicador de ciclo (dado em número de dias).

O ciclo dos trens de Heavy Haul, ainda que mais regular do que o dos trens de Carga Geral, apresenta variabilidade de desempenho bastante acentuada. O sistema de produção, na forma de “carrossel”, muitas vezes é sobrecarregado e os pontos de carga e descarga não são capazes de suportar a demanda. Ora as metas são tranquilamente superadas, ora ficam longe de serem atingidas, o que caracteriza o descontrole do processo. Sendo assim, são de grande interesse para a Companhia o atendimento e satisfação total de seus clientes, provendo a melhoria da eficiência do ciclo dos trens que atendem aos fluxos de transporte de Heavy Haul, uma vez que estes representam cerca e 70% do mix de transporte da empresa e quaisquer impactos proporcionados aos ciclos dos trens de minério são diretamente convertidas em aumento de produção e conseqüentemente em aumento no retorno financeiro. Essa conversão

se dá de forma direta devido ao fato de a eficiência e capacidade de produção serem considerados os únicos fatores restritivos ao aumento do lucro operacional, já que a demanda, a priori, não apresenta limitações.

4. ESTUDO DE CASO

O objetivo deste capítulo é apresentar um exemplo da metodologia DMAIC, definida anteriormente, aplicada a um caso na MRS Logística. Serão apresentadas as etapas D(Define), M(Measure) e A (Analyze), com objetivo principal de encontrar as causas principais do problema a ser estudado.

4.1 DEFINIÇÃO (DEFINE)

O minério de ferro para exportação é o principal produto transportado pelo MRS Logística. O Gráfico 1 mostra a participação do minério para exportação no volume produzido pela MRS de 2006 à 2011, que significou aproximadamente 65% do volume transportado.

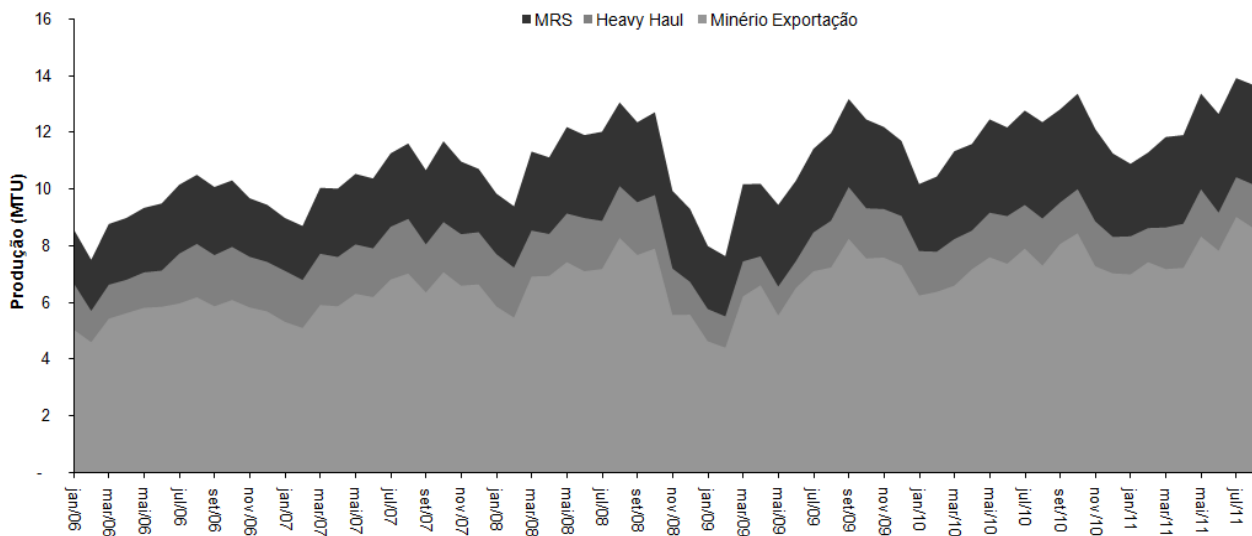


Gráfico 1- Volume Transportado pela MRS
Fonte: MRS Logística, 2011

Qualquer ação que seja realizada para melhoria do transporte do Minério para exportação é de grande valia para a MRS trazendo retorno significativo, devido ao grande volume transportado. O minério de ferro para exportação transportado pela MRS é carregado em oito terminais localizados na região do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais e a descarga é realizada nos portos de Guaíba e Sepetiba. O Quadro 6 ilustra os terminais de Carga e descarga do minério:

Pontos de Carga	
Cód	Nome
FOO	Andaime
FCR	Casa de Pedra
FPY	Pires
FLH	Olhos D'Água
FSN	Souza Noschese
FZN	Sarzedo Novo
FSO	Sarzedo
FCF	Córrego do Feijão
Pontos de Descarga	
Cód	Nome
FGI	Guaíba (VALE)
FXS	Sepetiba (VALE)
FTX	Tecar (CSN)

Quadro 6 - Pontos de carga e descarga de minério
Fonte: MRS Logística, 2011

Uma Rota é definida como uma combinação entre um ponto de carga e um ponto de descarga, como por exemplo, FOO-FGI, FCR-FTX, etc. A meta principal da MRS é cumprir os planos de volume acordados com os clientes para cada rota específica.

Como visto anteriormente são vários os fatores que interferem no cumprimento do volume acordado. Entre eles estão:

- **Qtd. de tabelas:** Define-se como tabela um grupo de vagões que são alocados para atender a produção de um cliente, ou seja, o número de trens disponíveis para um atender determinado cliente. Caso sejam alocadas mais tabelas que o planejado para o cliente, isso pode acarretar em ganhos de produção.

- **TU/Vagão:** A etapa de carga dos trens é de responsabilidade do cliente, sendo assim a quantidade de minério realmente alocada no vagão interfere diretamente no volume produzido, pois no processo de carga ser que o vagão seja carregado com um volume maior ou menor do que a capacidade nominal do vagão.

- **Ciclo:** O ciclo interfere diretamente no volume transportado, pois quanto menor o ciclo maior será o volume transportado. Caso o ciclo esteja maior que o dimensionado para atender determinado cliente pode acontecer perdas, e conseqüentemente o não-atendimento do programa de volume.

- **Faturamento:** Em um determinado período de tempo o cliente pode ter pagado por uma carga que ainda não foi transportada. Este volume fica como crédito para o cliente, gerando ganhos de produção quando comparamos o volume planejado e o realizado para o período de tempo considerado.

- **Mix de produção:** Para rotas diferentes existem diferentes tempos de ciclo premissados, devido a uma maior ou menor distancias entre os pontos de carga e descarga. Em um determinado período de tempo existe um plano de carregamento para cada rota específica, sendo este acordado com o cliente. Caso haja mudanças de diretrizes do cliente, como por exemplo, carregar mais em uma rota onde a distância percorrida é maior ou menor isso pode acarretar em ganho ou perdas de volume (aumento ou redução da eficiência de transporte).

Uma ferramenta utilizada pela MRS Logística para analisar como cada fator, explanados anteriormente, interfere no cumprimento do volume programado é a árvore de perdas de volume. A Figura 14 mostra a árvore de perdas de volume para o minério de exportação, no período de Janeiro a Agosto de 2011.

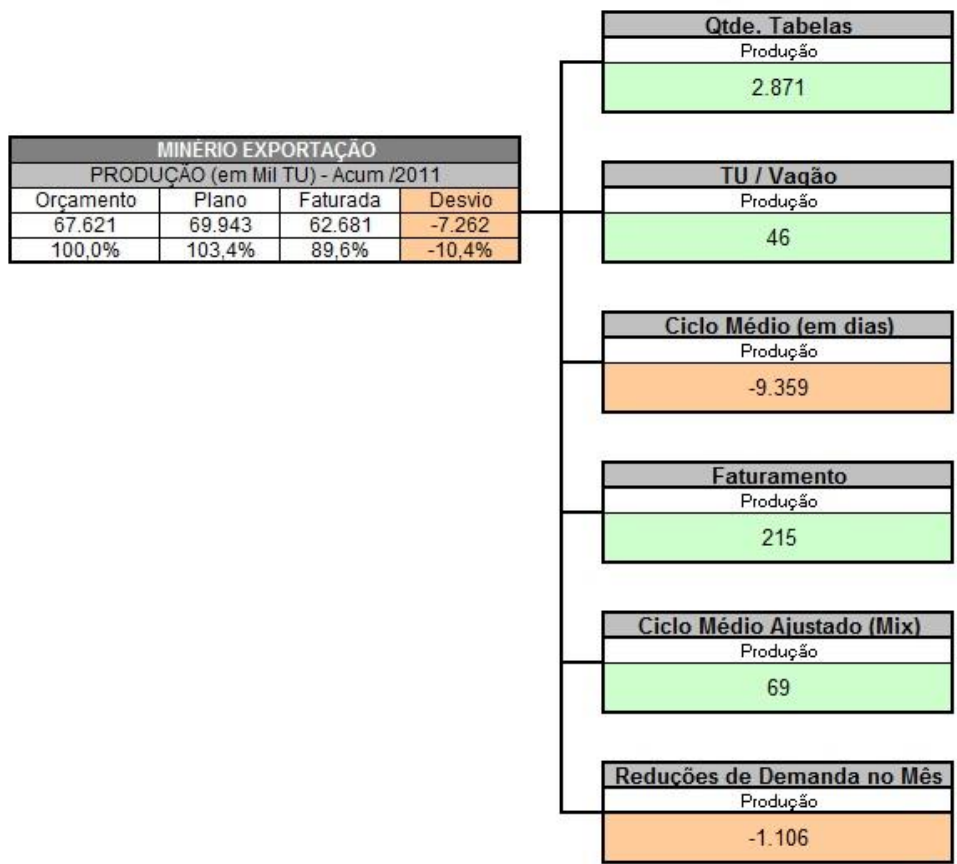


Figura 14- Árvore de perdas para o Minério Exportação
 Fonte: MRS Logística, 2011

A árvore apresentada mostra que para um volume planejado de 69 milhões de Toneladas Úteis (TU) foi realizado um volume de 6 milhões, ou seja, houve uma perda de 7 milhões toneladas. Nos ramos da árvore podemos notar que alguns dos fatores explicados anteriormente acarretam ganhos de produção enquanto outros são responsáveis pelas perdas. Podemos notar que o maior responsável pelas perdas de volume é o tempo de ciclo, acarretando uma perda acumulada de aproximadamente 9 milhões de TU. A Figura 15 detalha o ramo da perda referente ao Ciclo, desdobrando a perda nas etapas que são de responsabilidade do cliente e da empresa.

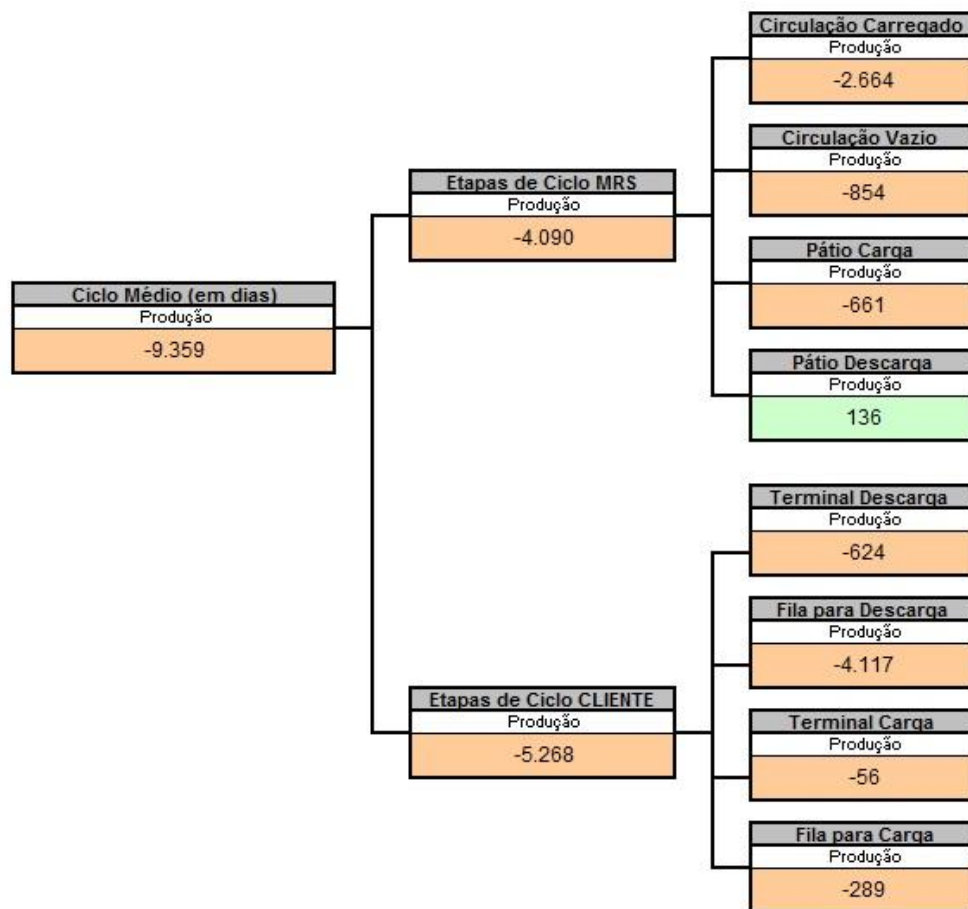


Figura 15 - Árvore de perdas para o Minério Exportação – Etapas de ciclo
Fonte: MRS Logística, 2011

Podemos notar que 56,3% das perdas de produção está nas etapas que são de responsabilidade do cliente, ou seja, no terminal de descarga (DES), na fila para descarga (VCC+ADC), no terminal de carga (CAR) e na fila para carga (VVC+ACC). Porém, existe uma grande parcela dessa perda (4 Milhões de TU) que é de responsabilidade da MRS, totalizando 43,7% do total. Essas perdas dividem-se em Circulação Carregado (TTC), Circulação Vazio (TTV), Pátio Carga (ACM+DCM) e no Pátio de Descarga (ADM+DDM).

Nota-se que a maior concentração das perdas causadas pela MRS está no Transit Time Carregado (Circulação Carregado) representando aproximadamente 65% das perdas da MRS e 30% das perdas totais causadas pelo ciclo.

Através dos dados apresentados mostra-se que ganhos no Transit Time Carregado são de extrema importância. A redução do tempo de Transit Time Carregado tem por objetivo a redução dos custos de produção, mas principalmente a redução do número de não-conformidades e o consequente aumento da satisfação do cliente uma vez que o volume acordado seja transportado. A Voz do Cliente (VOC) está traduzida no cumprimento do Volume programado.

A performance do Transit Time é considerada ineficiente quando seu valor está acima do padrão pré-estabelecido pela MRS. Sendo assim, visando uma melhoria no transporte e o aumento do volume transportado, definimos o seguinte problema: “Melhorar o tempo de Transit Time Carregado para os trens de minério para exportação”.

Nos últimos meses houve uma variabilidade dos tempos médio do transit time, cujos valores estiveram acima do tempo padrão, como ilustrado no Gráfico 2.

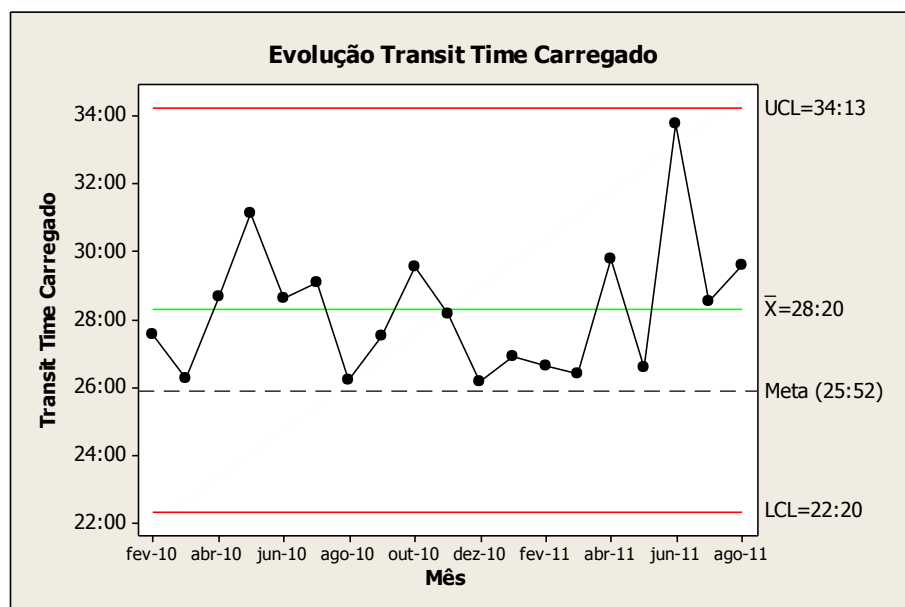


Gráfico 2 - Evolução do Transit Time Carregado
Fonte: Adaptado pelo autor

A média do Transit Time Carregado no período foi de 28:20h enquanto o tempo previsto para o mesmo foi de 25:52h. Um ganho de 02:00h no Transit Time seria de fundamental importância para o cumprimento do volume programado e para melhorar a eficiência do ciclo da MRS, acarretando em ganhos para a empresa. Logo, a partir podemos

definir como meta para o projeto: **“Reduzir em 02:00h o tempo de Transit Time Carregado para os trens de minério para exportação”**.

4.2 MEDIÇÃO (MEASURE)

O primeiro passo para realização da etapa Measure consiste na observação da confiabilidade dos dados coletados, a fim de que os mesmos permitam a priorização do problema. No caso em estudo a ser apresentado, os dados são confiáveis, pois foram obtidos por meio de sistemas de informações utilizados pela empresa. Os dados obtidos são divulgados oficialmente para a companhia, influenciando na definição de metas e alcance de resultados, o que atesta sua confiabilidade.

Com a finalidade de permitir que o problema fosse focado os dados foram estratificados. Devido à grande extensão da malha ferroviária realizou-se uma estratificação dos tempos de Transit Time em trechos específicos. Para a divisão dos trechos foram utilizados pontos estratégicos da malha da MRS, e estes são descritos a seguir:

- TRECHO 1: dos **Terminais de Origem** (terminais de carga de Minério localizados na região do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais) até o **Pátio do P1-07 (FJC)**, localizado no Município de São Brás do Suaçuí.
- TRECHO 2: do **Pátio do P1-07 (FJC)** até o **Pátio de Bom Jardim (FOJ)**, no município de Bom Jardim em Minas Gerais.
- TRECHO 3: do **Pátio de Bom Jardim** até o **Pátio de Barra do Piraí (FBP)** localizado no estado do Rio de Janeiro.
- TRECHO 4: do **Pátio de Barra do Piraí** até os **Terminais de Destino** dos trens de Minério nos Portos de Guaíba e Sepetiba.

O digrama de árvore (Figura 16) mostra os tempos de Transit Time Planejado e Realizado para cada um dos trechos e sua participação no desvio do tempo de Transit Time Total com relação ao plano, no período de Janeiro à Agosto de 2011, período no qual será realizada toda a análise.

Transit Time Carregado			
Plano	Real	Desvio	% desvio
25:52	28:20	02:28	9,6%

Origem - P1.07			
Plano	Real	Desvio	% desvio
06:28	07:40	01:12	48,8%

P1-07 - Bom Jardim			
Plano	Real	Desvio	% desvio
08:44	10:06	01:21	54,8%

Saudade - Barra			
Plano	Real	Desvio	% desvio
06:12	06:22	00:10	7,1%

Barra - Destino			
Plano	Real	Desvio	% desvio
04:27	04:11	-00:15	-10,5%

Figura 16- Árvore de Perdas - Transit Time
Fonte: Adaptado pelo autor

Podemos verificar que o tempo realizado de Transit Time está 02:28h acima do tempo planejado para o mesmo. Os trechos responsáveis pelos maiores tempos de Transit Time são os trechos de P1-07-Bom Jardim e Origem-P1-07, representando respectivamente, 54,8% e 48,8% do desvios em relação ao plano total. O trecho de Saudade-Barra também apresenta um potencial de ganho porém um pouco menor que os trechos já citados. Nota-se também que o tempo no trecho Barra-Destino está abaixo do planejado, gerando ganhos para o tempo de Transit Time.

Definida previamente a meta de melhorar em 02:00h o tempo de Transit Time, os trechos a serem estudados para redução do tempo de Transit Time serão os Trechos 1 (Origem-P1-07) e 2 (P1-07-Bom Jardim), que juntos apresentam um potencial de ganho de 101,7%.

Os tempos de Transit Time nesses trechos podem ser divididos em 2 parcelas: THP (Trem Hora Parado) e THC (Trem Hora Circulando).

O THP representa o tempo em que o trem ficou parado, na maioria das vezes para realizar diversas atividades como Aguardar algum pátio congestionado, realizar o cruzamento com outros trens, aguardar a falta de maquinista, dentre outras.

O THC é o tempo efetivo de circulação do trem, o tempo em que ele realmente se deslocou entre um ponto e outro da malha.

Os gráficos 3 , 4 e 5 mostram os tempos de Transit Time, THP e THC, respectivamente, para o trecho Origem-P1-07.

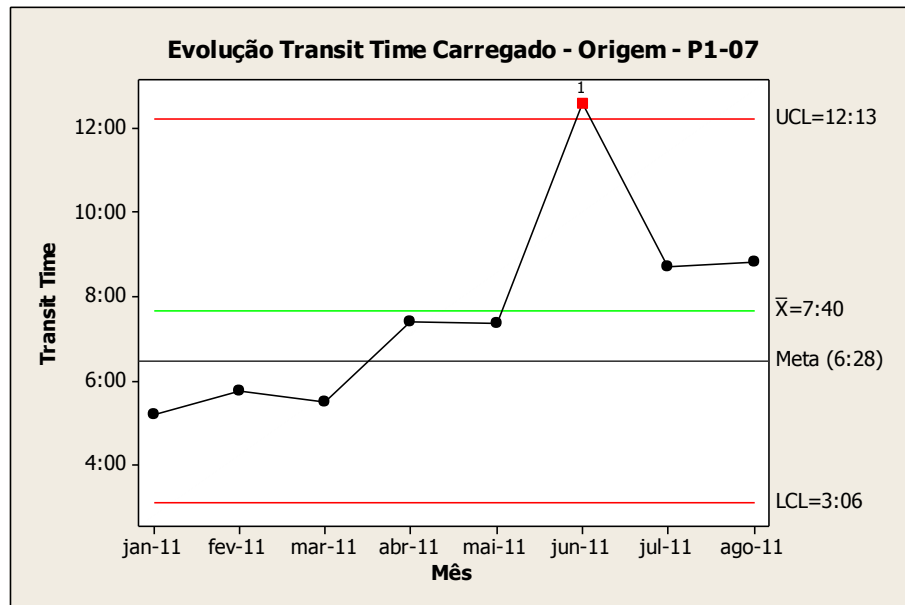


Gráfico 3 - Evolução do Transit Time – Origem_P1.07
 Fonte: Adaptado pelo autor

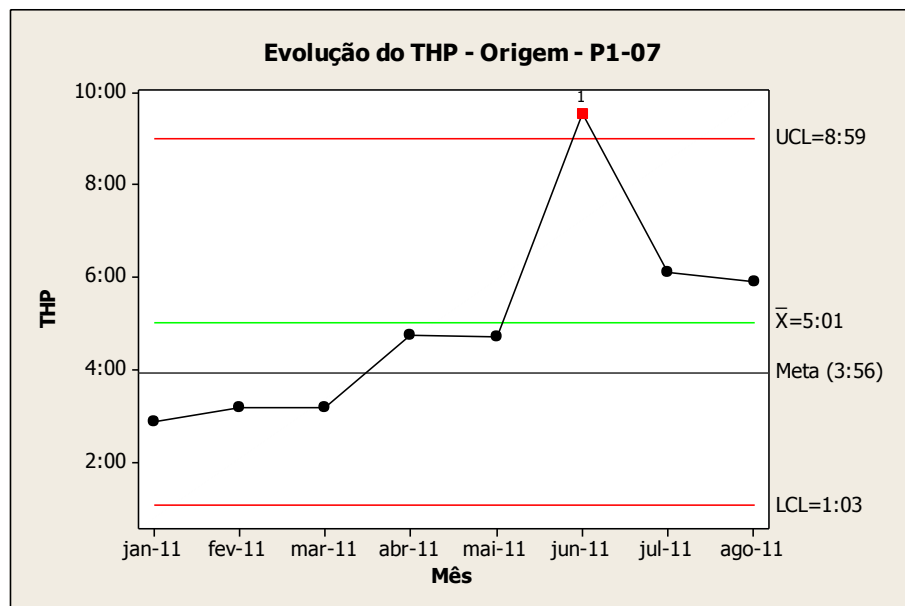


Gráfico 4 - Evolução do THP – Origem_P1.07
 Fonte: Adaptado pelo autor

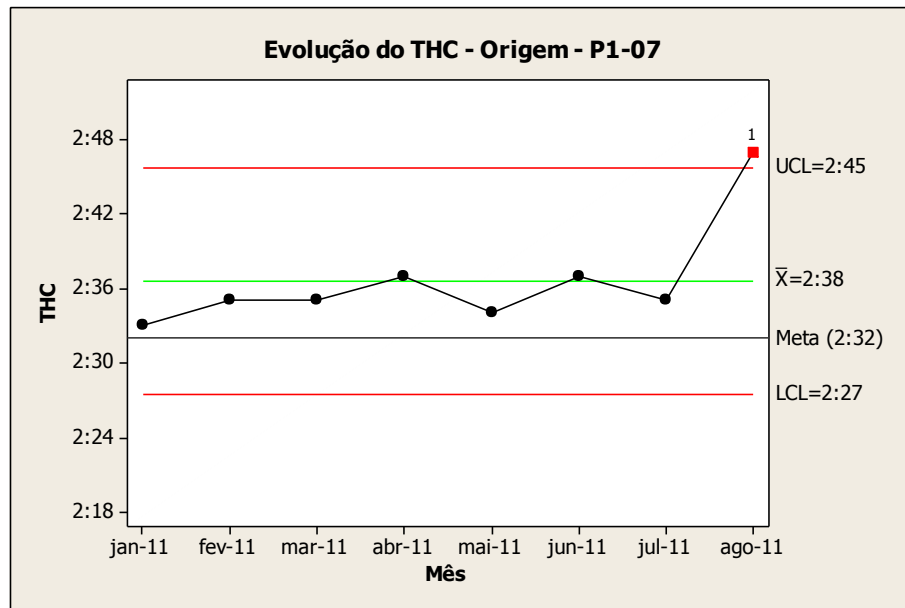


Gráfico 5 - Evolução do THC – Origem_P1.07
Fonte: Adaptado pelo autor

Analisando os gráficos apresentados para o Trecho Origem-P1.07, podemos perceber que o tempo planejado para o THP é de 03:56, enquanto o tempo realizado é de 05:01, o que indica um potencial de 01:05h nesse tempo. O THC, possui um potencial de ganho de 00:06h nesse trecho.

Fazendo uma análise comparativa entre o THP e o TTC, podemos notar graficamente que as duas variáveis possuem uma mesma tendência. Além disso, o coeficiente de correlação entre as duas variáveis é de 0,999 com p-valor igual a 0, o que mostra uma correlação muito forte entre as duas variáveis. Sendo assim, ações de melhorias nos tempos de THP, interferem diretamente nos tempos de Transit Time.

Os gráficos 6, 7 e 8 mostram os tempos de Transit Time, THP e THC, respectivamente, para o trecho P1-07 a Bom Jardim.

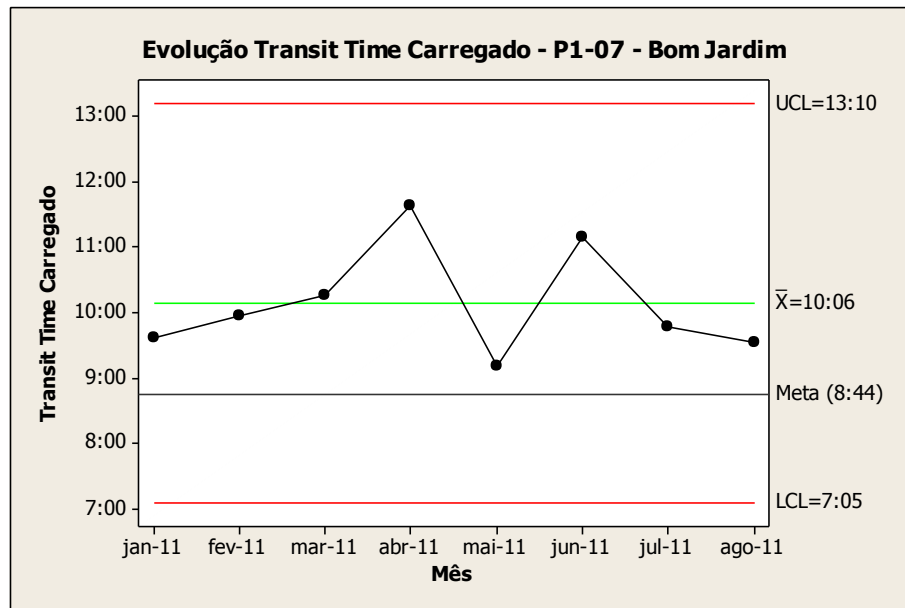


Gráfico 6 - Evolução do Transit Time – P1.07_Bom Jardim
 Fonte: Adaptado pelo autor

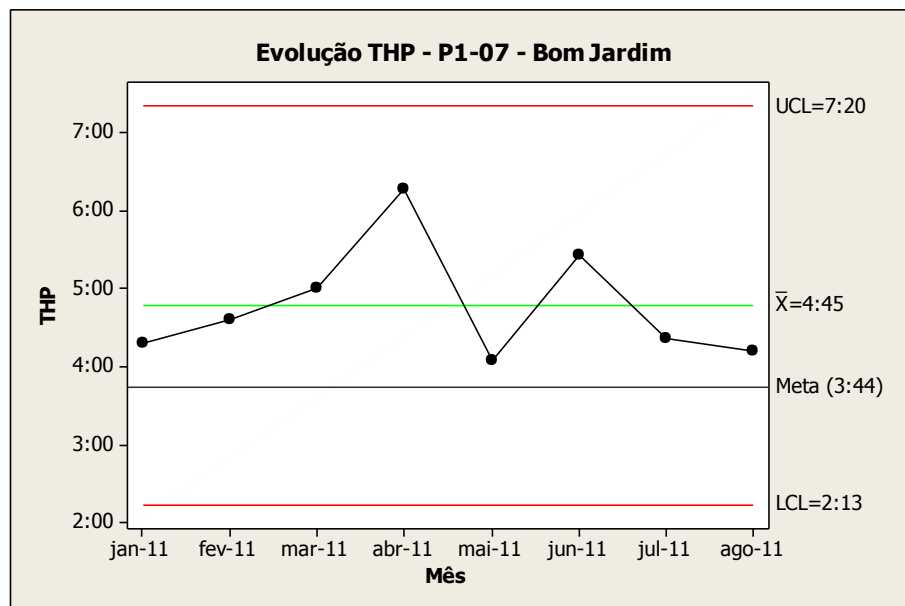


Gráfico 7 - Evolução do THP – P1.07_Bom Jardim
 Fonte: Adaptado pelo autor

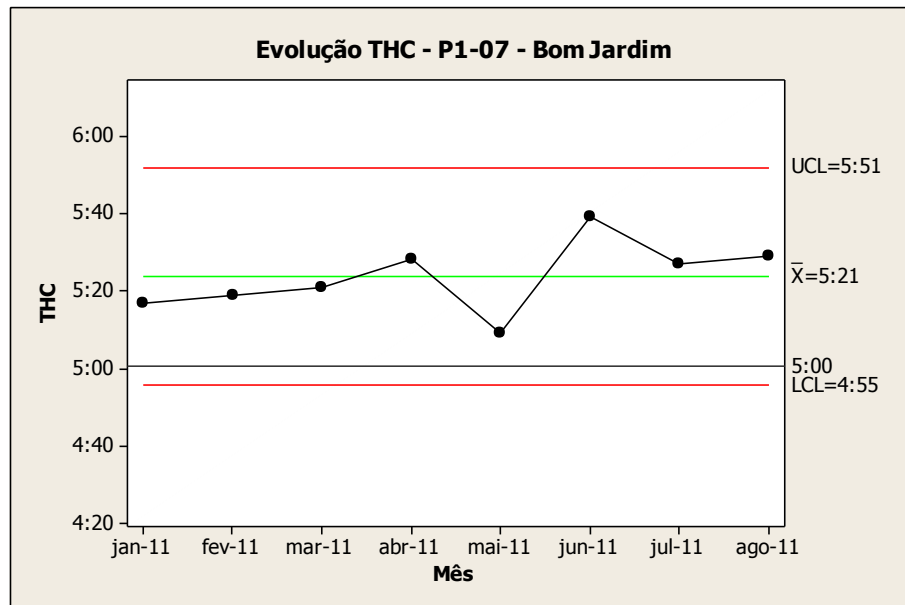


Gráfico 8 - Evolução do THC – P1.07_Bom Jardim
Fonte: Adaptado pelo autor

Fazendo uma análise dos gráficos apresentados para o Trecho Origem-P1.07, nota-se que o tempo planejado para o THP é de 03:44, enquanto o tempo realizado é de 04:45h, o que indica um potencial de 01:01h nesse tempo. O THC possui um potencial de ganho de 00:21h nesse trecho.

Fazendo uma análise comparativa entre o THP e o TTC, podemos notar graficamente que as duas variáveis possuem uma mesma tendência. Calculando o coeficiente de correlação entre as duas variáveis, obtemos um valor de 0,983 com p-valor igual a 0, o que mostra uma correlação muito forte entre as duas variáveis. Sendo assim, ações de melhorias nos tempos de THP no trecho P1-07-Bom Jardim trazem melhorias também no tempo de Transit Time.

Dessa forma, após as informações apresentadas, podemos desdobrar a Meta inicial em duas metas específicas:

- Meta A: Reduzir em 01:00h o tempo de THP no trecho Origem-P1.07;
- Meta B: Reduzir em 01:00h o tempo de THP no trecho P1.07-Bom Jardim.

4.3 ANALYZE (ANÁLISE)

O tempo de THP pode ser desdobrado em diversas atividades que são realizadas nos pátios que compõe os trechos a serem estudados. São 114 atividades que representam o motivo real da parada do trem, sendo que algumas dessas atividades são previstas e outras não.

Serão apresentados os desdobramentos dos tempos de THP em atividades para os trechos Origem-P1.07 e P1.07-Bom Jardim.

4.3.1 Trecho 1 : Origem-P1.07

O diagrama de Pareto da Figura 16 mostra os desvios com relação ao plano para cada um dos principais motivos de parada no Trecho Origem_P1.07. Para construção do gráfico, foram consideradas apenas as atividades que tiveram os tempos reais maiores que os tempos premissados para o período considerado. Algumas atividades no trecho apresentaram ganhos, motivo pelo qual a soma dos desvios apresentados no Pareto não coincide com o ganho potencial do THP apresentado na Etapa Measure.

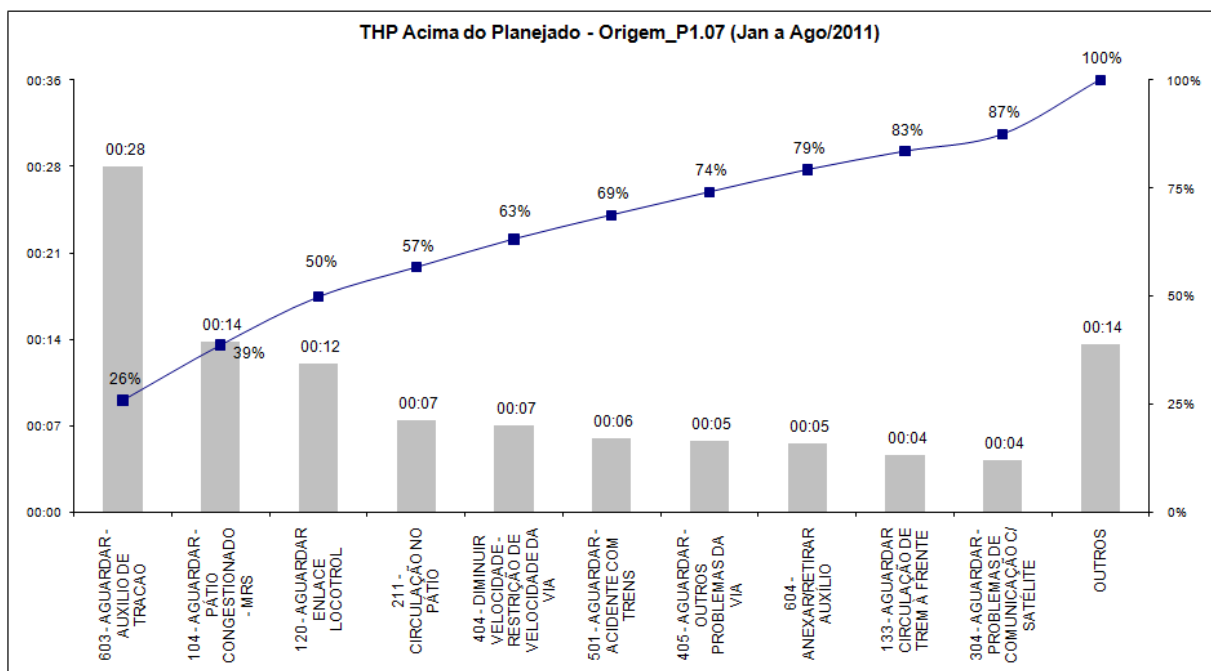


Figura 17 - Pareto para as atividade- Origem-P1.07
Fonte: Adaptado pelo autor

Através do Gráfico de Pareto (Figura 17) podemos notar que as atividades 603-Aguardar Auxílio de Tração, 104- Aguardar – Pátio Congestionado, 120- Aguardar Enlace de Locotrol e 211-Circulação no pátio de via representam aproximadamente 57% dos desvios apresentados, apresentando um ganho potencial de 01:01h, o que sustenta a Meta inicial de melhorar 01:00h no tempo de Transit Time do trecho. O desempenho de cada atividade será analisado separadamente para efeito de mensuração dos ganhos esperados.

Atividade 603 – Aguardar Auxílio de Tração

Auxílio de tração consiste em um ou mais locomotivas, inseridas geralmente na cauda de trens pesados, em rampas íngremes, com a finalidade de empurrá-los a sua frente. A atividade 603- Aguardar auxílio de Tração consiste no tempos de retenção dos trens por falta de auxílio.

O gráficos 9 e 10 mostram o gráfico de controle para a média e a amplitude desta atividade, respectivamente, no período de janeiro a agosto de 2011. Através da realização do teste de Kolmogorov-Smirnov, não foi constatada a normalidade dos dados. Para construção dos gráficos de controle, foi necessário normalizar as informações para que se pudessem estabelecer os limites de controle do gráfico com confiança. Para a normalização utilizou-se a função $\ln(x)$, obtendo-se um p-valor=0,115.

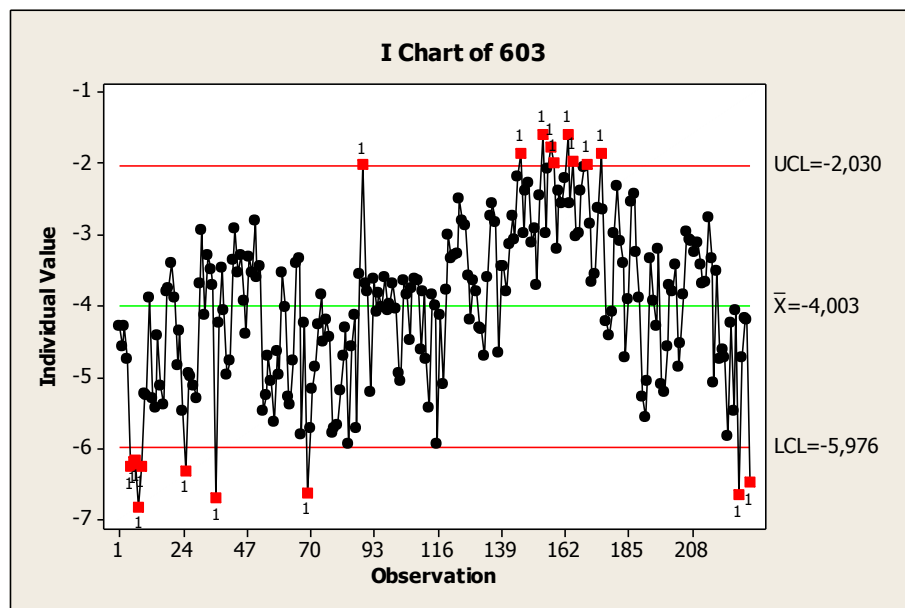


Gráfico 9 - Gráfico de controle para médias –Atividade 603
Fonte: Adaptado pelo autor

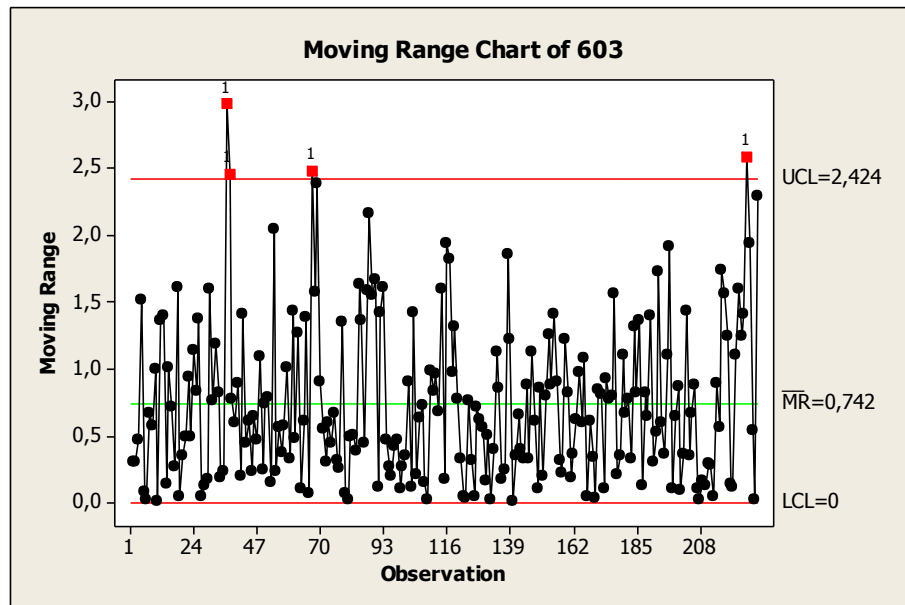


Gráfico 10 - Gráfico de controle para amplitudes –Atividade 603
Fonte: Adaptado pelo autor

Através do gráfico de controle para médias, podemos notar que o processo apresenta pontos fora dos limites de controle. Além disso, existem varios pontos consecutivos em apenas um dos lados da média, o que sugere que o processo está fora de controle e esta sendo influenciado por causas especiais de variação. Os pontos acima do limites de controle no gráfico estão concentrados principalmente no mês de junho de 2011, o que indica a existências de causas especiais principalmente neste período.

O gráfico das amplitudes mostra que o processo apresenta uma grande variabilidade, e além disso, por possuir pontos que extrapolam os limites de amplitude, confirma que o processo está fora de controle.

A atividade 603- Aguardar auxílio de Tração não é uma atividade obrigatória para todos os trens, pois se já houver alguma locomotiva disponível este não precisara aguardar. Sendo assim, o tempo premissado para esta atividade foi levantado com base no histórico de ocorrências das atividade, chegando-se ao valor de 16 minutos pro trem. Sendo assim, para análise da capacidade do processo foram utilizado os limites de especificação LIE=00:00h e LSE=00:16h, uma vez que todos os dados nesse intervalo atendem aos tempos planejados para a atividade. O histograma dos dados é apresentado na Figura 18.

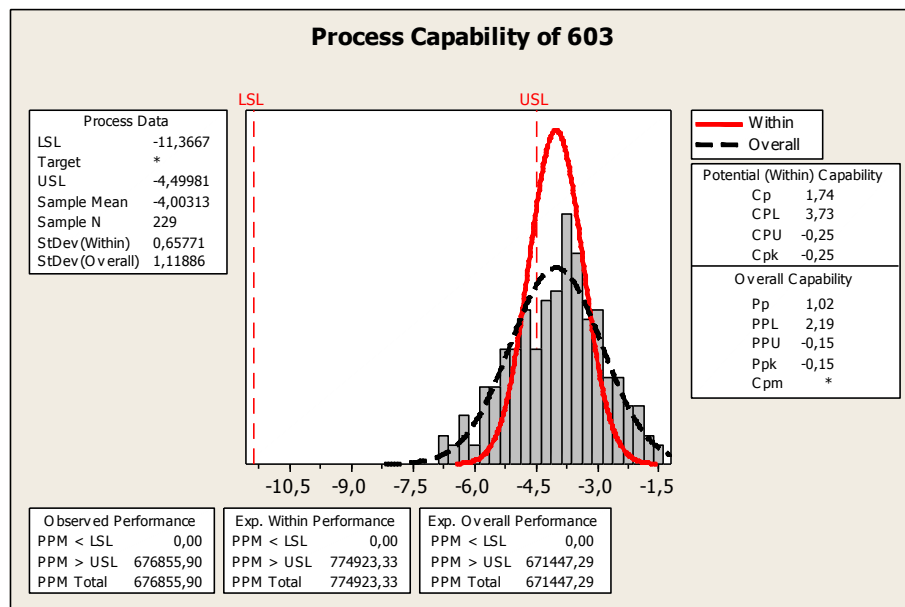


Figura 18 - Histograma dos Dados –Atividade 603

Fonte: Adaptado pelo autor

Os índices Cp e Cpk representam o desempenho dos tempos da atividade Aguardar Auxílio de Tração. Estes índices só consideram causas comuns de variação enquanto os índices Pp e Ppk, consideram, também, a presença de causas especiais. Uma vez encontradas possíveis influências de causas especiais de variação, o índice utilizado para medir o processo será o Ppk.

Pelo índice Ppk, nota-se que os tempos de atividade não estão atendendo às especificações, pois o índice é menor que 1 ($Ppk = -0,15 < 1$). Podemos notar que a média do processo não está centrada nos limites de especificação, fato que é comprovado pela diferença entre os valores de Pp e Ppk, oportunidade encontrada na variação foi de centralizar a média. O valor de $Pp > 1$ apenas sugere que o processo possui uma pequena variabilidade quando comprado com os limites de especificação, porém como a média não está centrada este índice não traz uma informação confiável sobre o desempenho do processo, sendo desconsiderado da análise.

Atividade 104- Aguardar – Pátio Congestionado

A atividade 104 é utilizada para justificar a parada de um trem que tem sua circulação interrompida em função do congestionamento de um pátio. O congestionamento de um pátio pode ser ocasionado por vários motivos, como: posicionamento de vagões para cliente, formação de um trem, trens em atividades de pátio.

Através do teste de normalidade, realizado em software estatístico, foi constatado que os dados disponíveis não seguiam uma distribuição normal, e para isso, foi necessária uma transformação dos mesmos de forma a serem feitas as análises posteriores. Para normalização foi utilizada a função $\ln(x)$. Os gráficos 11 e 12 mostram os gráficos de controle para a média e amplitude desta atividade.

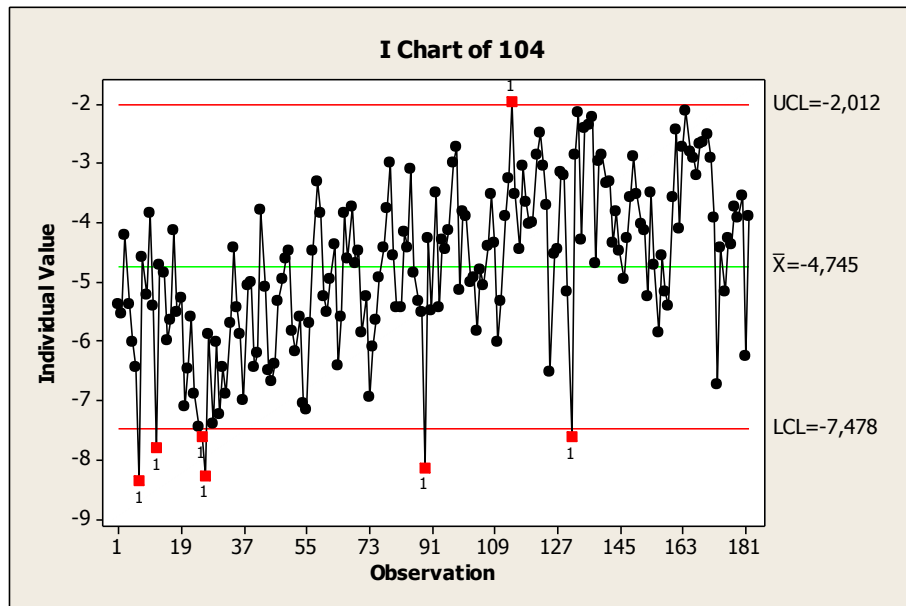


Gráfico 11 - Gráfico de controle para médias –Atividade 104
 Fonte: Adaptado pelo autor

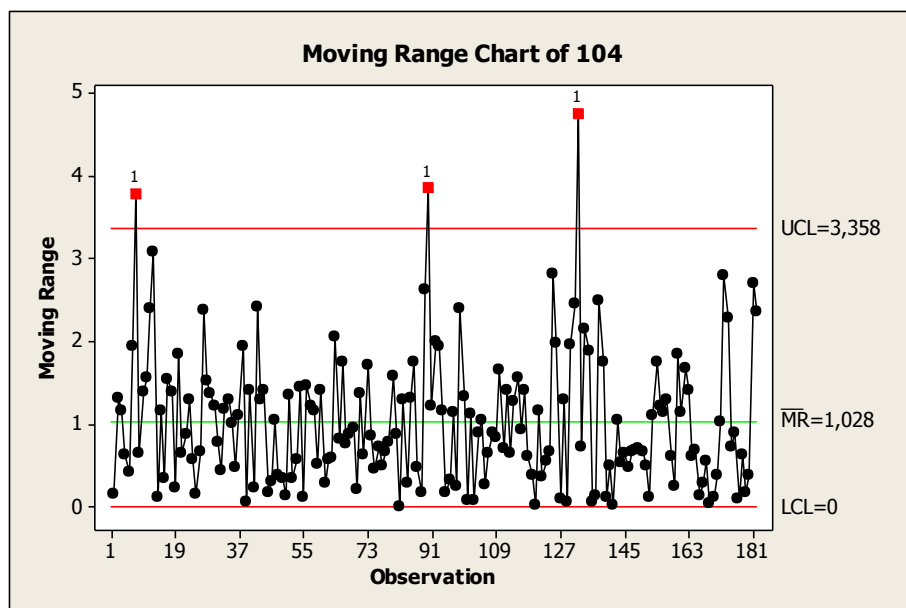


Gráfico 12 - Gráfico de controle para amplitudes –Atividade 104
 Fonte: Adaptado pelo autor

Através do gráfico de controle podemos notar que o processo apresenta pontos fora dos limites de controle. Além disso, pela forma do gráfico existe uma tendência crescente dos dados. O gráfico de amplitudes também possui pontos fora dos limites de controle. Essas características sugerem que o processo está fora de controle e esta sendo influenciado por causas especiais de variação.

Do mesmo modo que a atividade 603 a atividade 104 não é obrigatória. O tempo premissado para esta atividade é de 8 minutos. O histograma dos dados é apresentado na Figura 19.

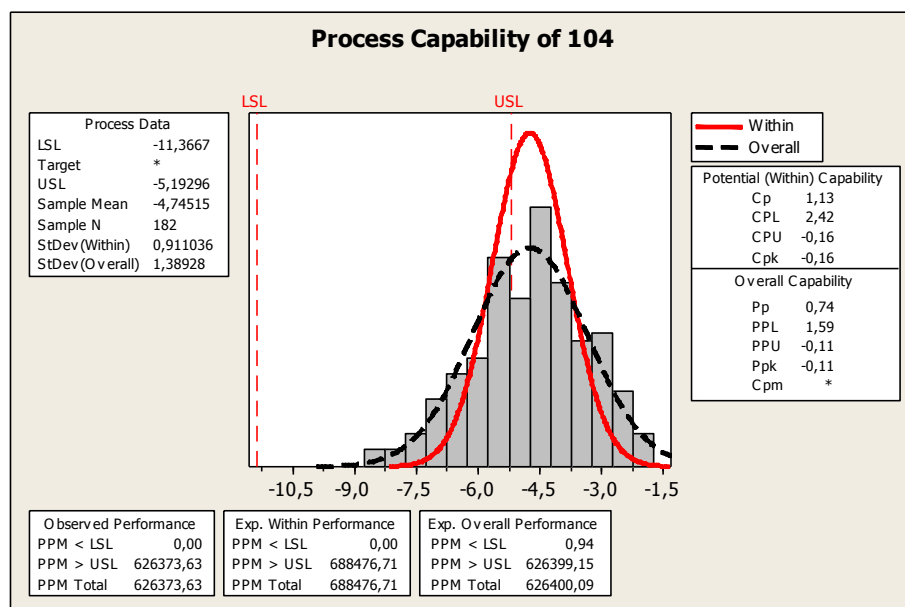


Figura 19 - Histograma dos Dados –Atividade 211
Fonte: Adaptado pelo autor

Os cálculos foram feitos considerando 00:00h e 00:08h como limites inferior e superior de especificação respectivamente.

O índice Ppk do processo é menor do que 1, o que mostra que as especificações do processo não estão sendo atendidas. Além disso, o $Pp < 1$ sugere uma grande variabilidade no processo indicando que mesmo se o processo estivesse centrado nos limites de especificação este não seria capaz de atender todas as especificações, fato reforçado pela análise dos gráficos de amplitude. Através do PPM podemos perceber que aproximadamente 63% dos dados estão fora das especificações o que reforça a ineficiência do processo. Sendo assim, deve-se tratar as causas especiais para reduzir a variabilidade do processo, além de ser necessárias ações para o deslocamento da média, o que pode gerar grandes benefícios.

Atividade 120- Aguardar Enlace de Locotrol

Quando um trem necessita de auxílio, para não ser necessário outro maquinista para conduzir a locomotiva a ser utilizada utiliza-se o sistema LOCOTROL.

O sistema LOCOTROL proporciona controle remoto automático e independente de um conjunto de locomotivas localizados em um trem, a partir de uma locomotiva controladora na posição de líder.

A atividade 120 é usada para registrar o tempo necessário para a realização das atividades de enlace de locotrol (sincronização entre a locomotiva líder e a locomotiva de auxílio). Para a conclusão dessa atividade, o locotrol deve estar ativado e com funcionamento testado. Os gráficos de controle para esta atividade são mostrados nos gráficos 13 e 14.

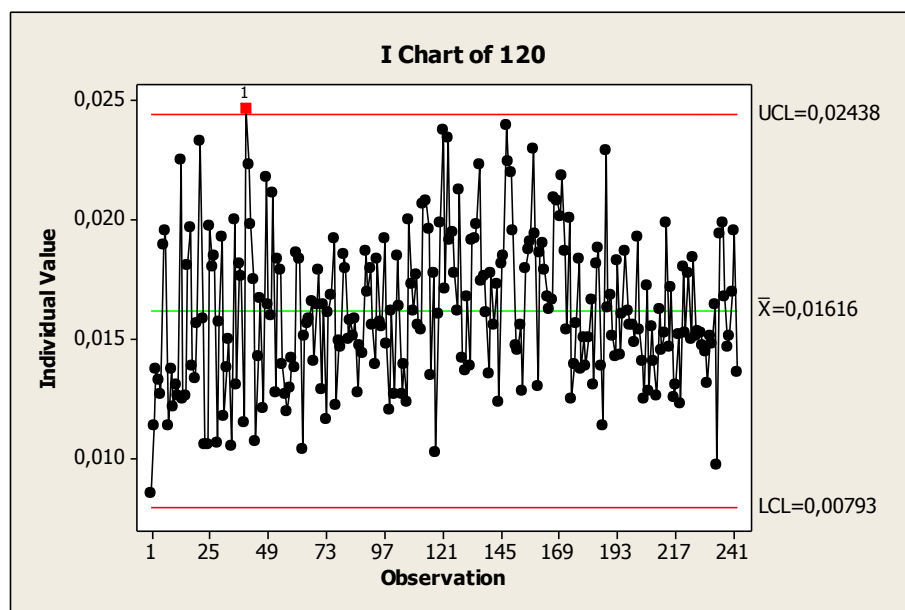


Gráfico 13 - Gráfico de controle para médias –Atividade 120
Fonte: Adaptado pelo autor

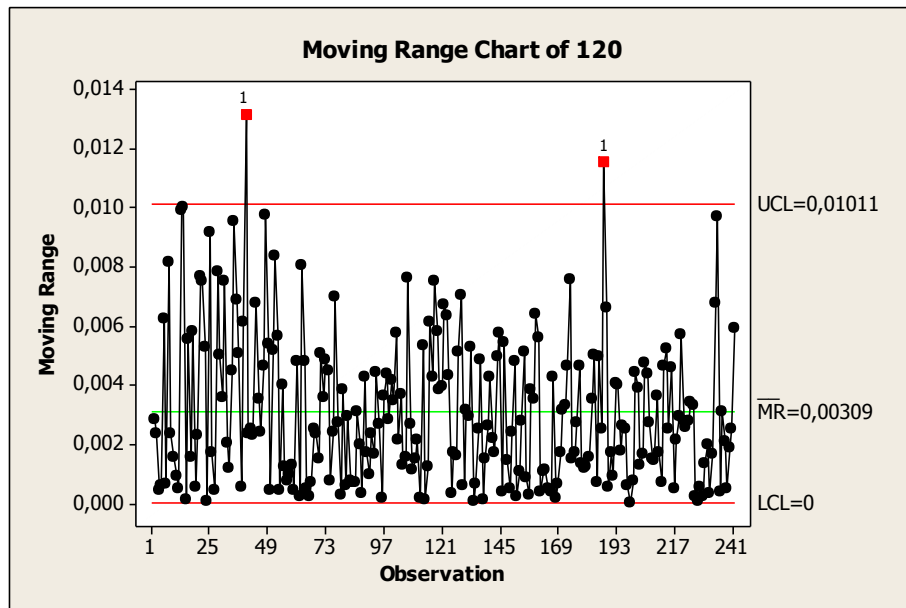


Gráfico 14 - Gráfico de controle para amplitudes –Atividade 120
 Fonte: Adaptado pelo autor

Através do gráfico de controle podemos notar que o processo apresenta pontos fora dos limites de controle, o que sugere instabilidade e presença de causas especiais de no processo. Além disso, o gráfico de amplitudes mostra uma grande variabilidade nos dados, inclusive com dados fora dos limites de controle, o que é suficiente para garantir que o processo está fora de controle.

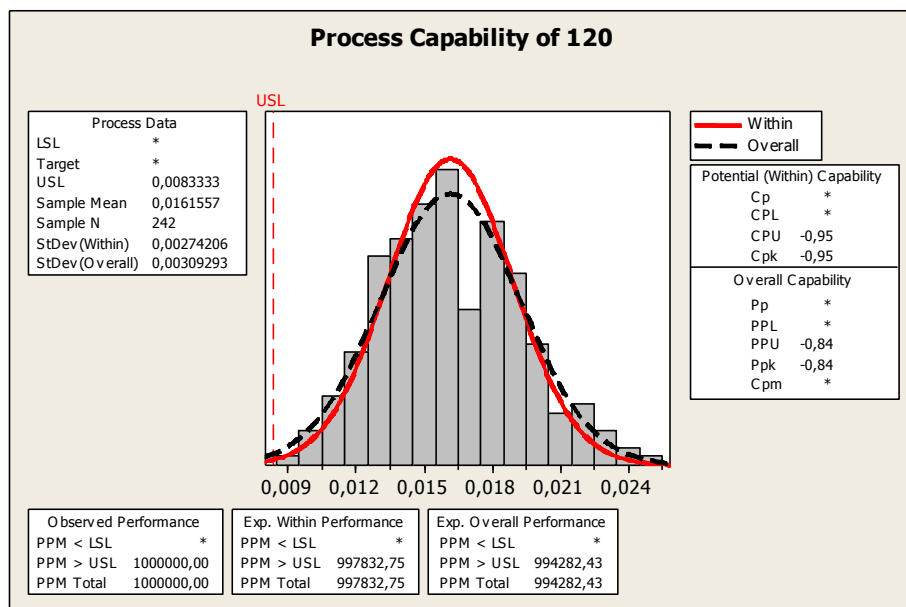


Figura 20 - Histograma dos Dados –Atividade 120
 Fonte: Adaptado pelo autor

A Figura 20 apresenta o histograma do processo. A atividade 120 possui um tempo padrão de 12 minutos por trem para realização da atividade. Através do gráfico podemos notar que o aproximadamente 99% dos tempos da atividade não atendem a especificação, o que sugere que o processo precisa deslocar sua média, ou até mesmo haver uma revisão nas especificações para o mesmo. O índice $Ppk=-0,84$ reforça a ineficiência do processo.

Atividade 211- Circulação no Pátio

Esta atividade deve é utilizada para justificar o tempo gasto em circulação dentro do pátio. Esta atividade ocorre principalmente no pátio do P1-07 e tem como premissa o tempo de 8 minutos por trem. Os gráficos 15 e 16 mostram os gráficos de controle para a atividade.

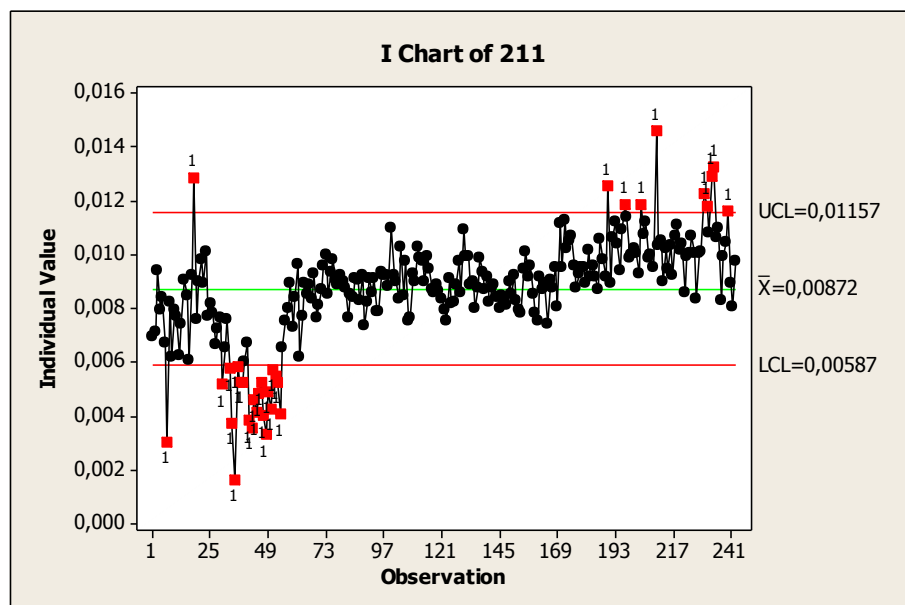


Gráfico 15 - Gráfico de controle para médias –Atividade 211

Fonte: Adaptado pelo autor

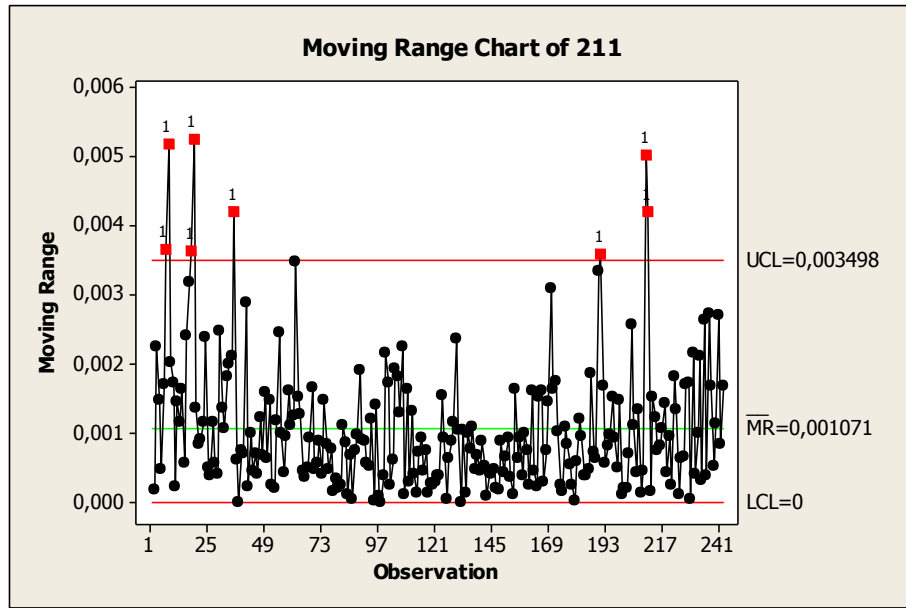


Gráfico 16 - Gráfico de controle para amplitudes – Atividade 211
 Fonte: Adaptado pelo autor

Através da análise dos dados podemos perceber diversos pontos fora dos limites de controle para o processo. No mês de fevereiro nota-se uma queda acentuada no tempos, o que mostra a presença de causas especiais, como descontrole temporário no processo ou até mesmo ocorrências de erros nas medições. Ainda analisando o gráfico 15, podemos perceber que nos últimos períodos há uma tendência de aumento nos tempos médios para a atividade.

Analisando o gráfico das amplitudes, notam-se diversos pontos fora dos limites de controle. A partir destas informações, conclui-se que o processo está fora de controle.

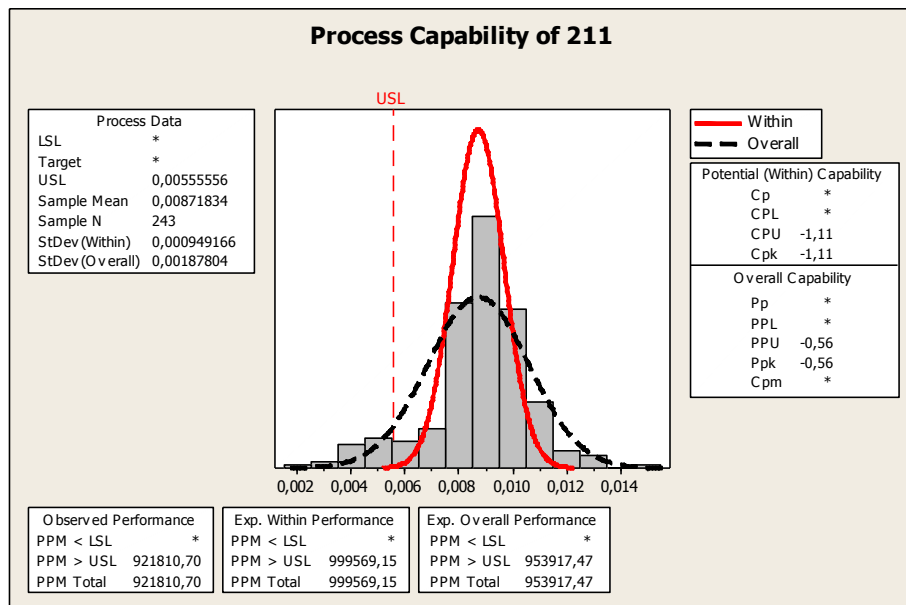


Figura 21 - Histograma dos Dados –Atividade 211

Fonte: Adaptado pelo autor

A Figura 21 apresenta o histograma do processo. O limite superior de especificação utilizado foi de 8 minutos. Através do gráfico podemos notar que o aproximadamente 92% dos tempos da atividade não atendem a especificação, fato confirmado pelo índice $Ppk = -0,56$. Para melhoria do processo deve-se investir em ações para redução dos tempos médios, além do combate de causas especiais e da variabilidade apresentadas, para uma melhor previsibilidade.

4.3.2 Trecho 2 : P1.07-Bom Jardim

O diagrama de Pareto da Figura 16 mostra os desvios com relação ao plano para cada os principais motivos de parada no Trecho P1.07-Bom Jardim. Para construção do gráfico, foram utilizadas as mesmas premissas do trecho anterior.

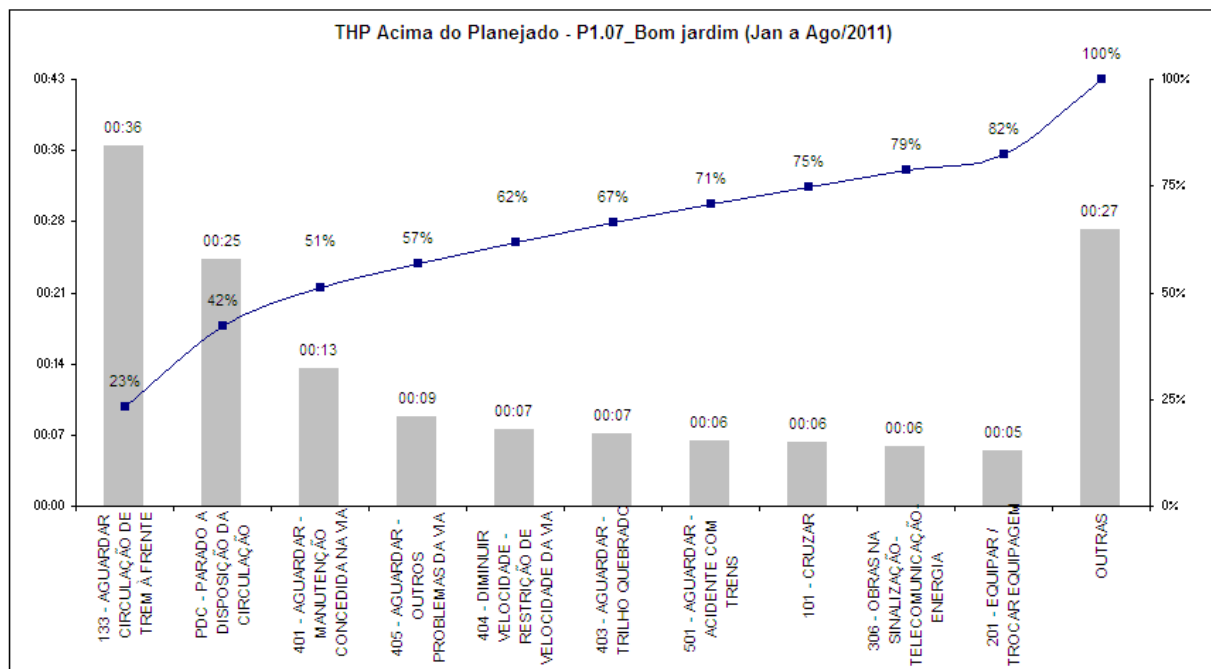


Figura 16 – Pareto para as atividades- P1.07-Bom Jardim

Fonte: Adaptado pelo autor

Através do gráfico de Pareto podemos notar que as atividades 133- Aguardar Circulação de Trem a Frente e PDC-Parado a Disposição da Circulação representam aproximadamente 42% dos desvios apresentados, apresentando um ganho potencial de 01:02h.

Atividade 133- Aguardar Circulação de Trem a Frente

Esta atividade é utilizada para representar o tempo em que o trem ficou parado aguardando algum trem que está na sua frente desocupar o circuito da via seguinte, ou seja, é utilizada quando um trem tem seu movimento impedido pelos trens posicionados a frente. Os gráficos 17 e 18 apresentam os gráficos de controle para a média e amplitude dos tempos. Como os dados não apresentaram uma distribuição normal, foi necessária uma normalização dos dados a partir da função $\ln(x)$.

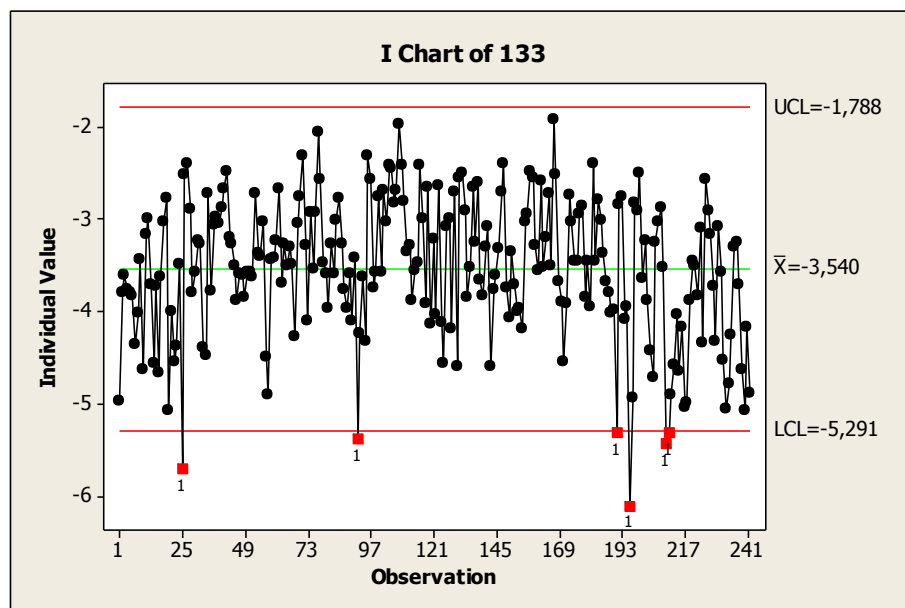


Gráfico 17 - Gráfico de controle para médias –Atividade 133
Fonte: Adaptado pelo autor

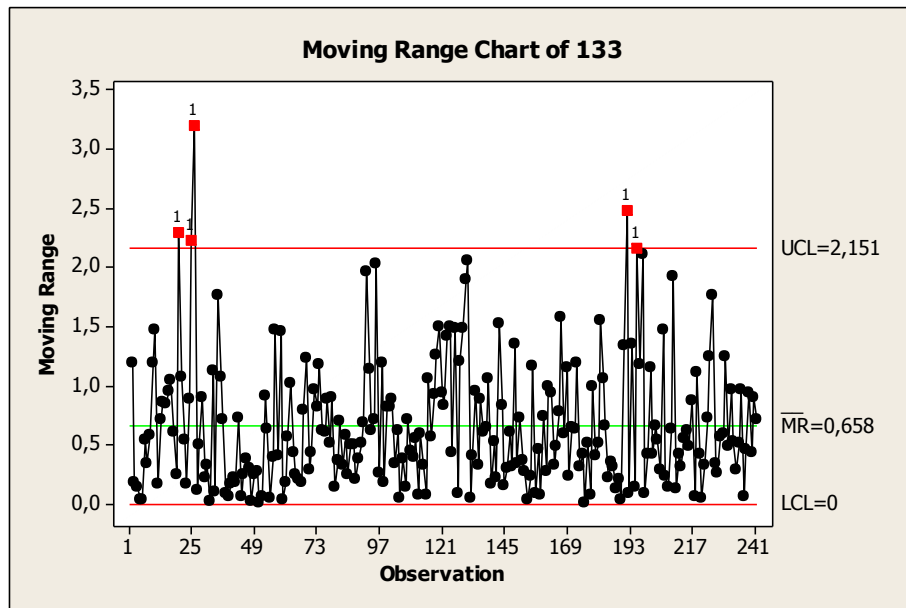


Gráfico 18 - Gráfico de controle para amplitudes –Atividade 133
 Fonte: Adaptado pelo autor

Os dois gráficos apresentados possuem pontos fora dos limites de controle dos gráficos, o que caracteriza que o processo está fora de controle. Além disso o gráfico de amplitude mostra uma grande variabilidade de dados, o que apresenta fortes tendências de haver causas especiais atuando no processo. O histograma dos dados e os índices de capacidade são apresentados na Figura 22.

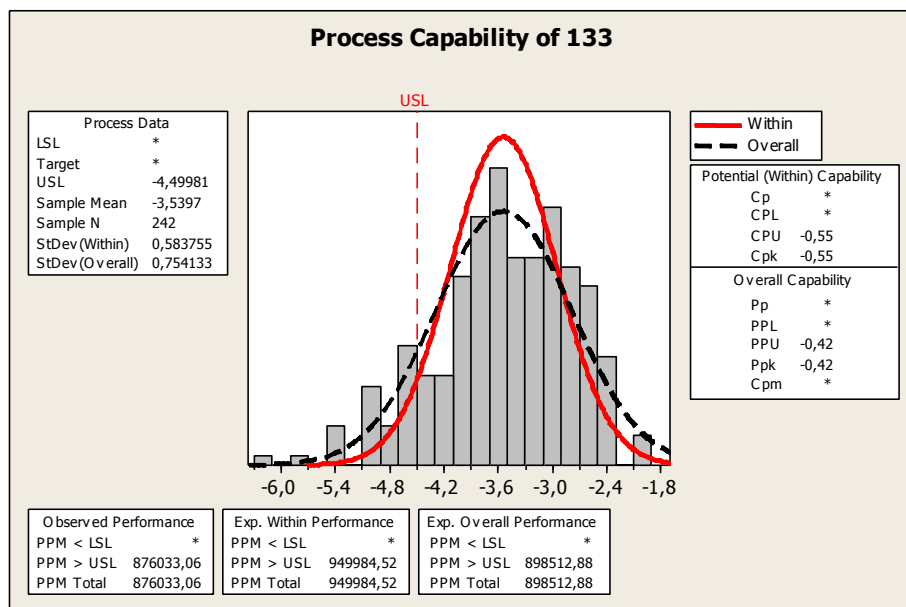


Figura 22 - Histograma dos Dados –Atividade 133
 Fonte: Adaptado pelo autor

Através do histograma podemos perceber que a média do processo está deslocada para a direita e apenas 87% dos dados estão de acordo com as especificações. Pelo índice $Ppk=-0,42$ confirmamos que o processo não está sendo capaz de atender as especificações.

PDC-Parado a Disposição da Circulação

O PDC (Parado a disposição da Circulação) é o tempo em que o trem fica parado aguardando a autorização do Centro de Controle Operacional para poder circular. Todos os trens terão tempo de PDC. Através de histórico, para o Trecho em estudo foi premissado um tempo de 20 minutos para esta atividade.

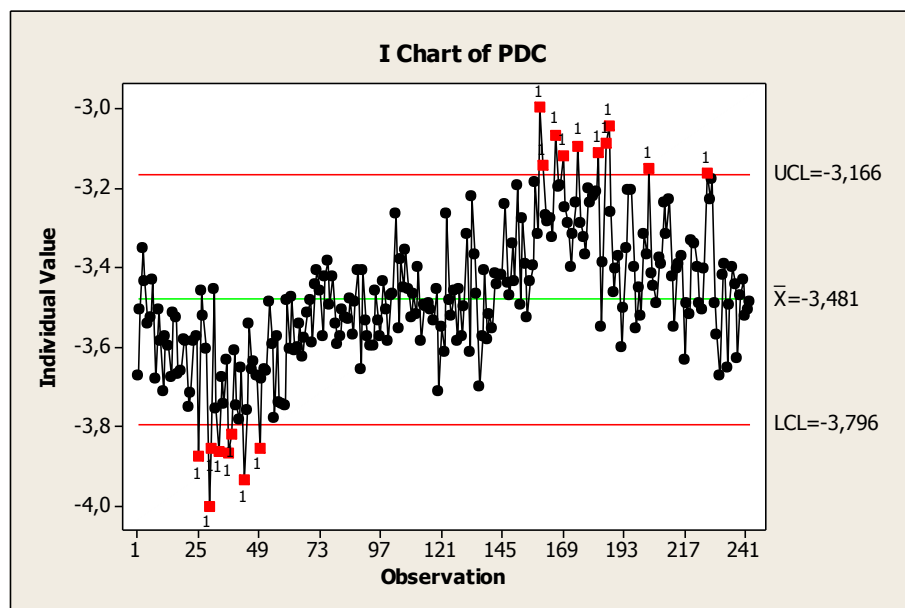


Gráfico 19 - Gráfico de controle para médias –Atividade PDC
Fonte: Adaptado pelo autor

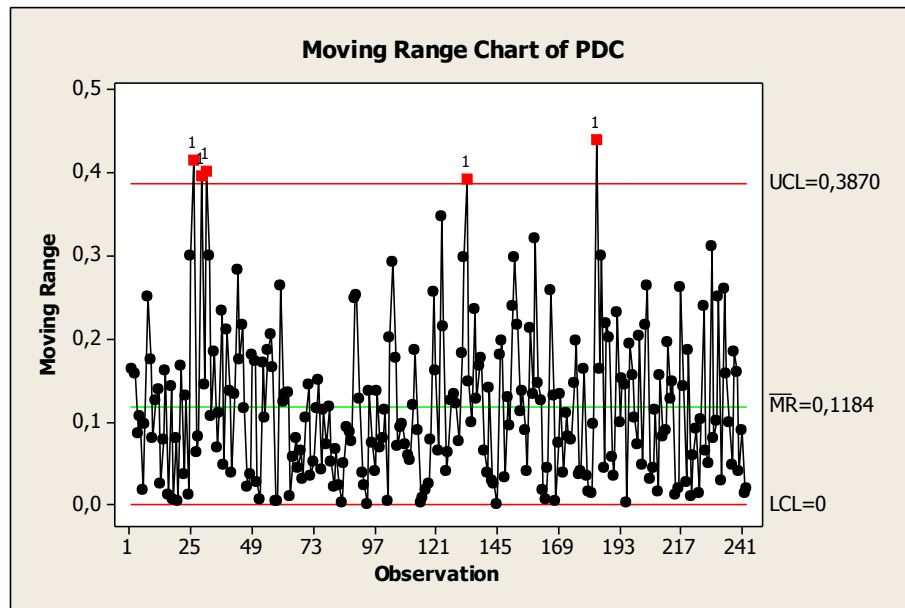


Gráfico 20 - Gráfico de controle para amplitudes–Atividade PDC
Fonte: Adaptado pelo autor

Através do gráfico de controle para as médias (Gráfico 19) podemos notar que o processo apresenta vários pontos fora dos limites de controle. Além disso, existem vários pontos consecutivos em apenas um dos lados da média, o que sugere que o processo está fora de controle e esta sendo influenciado por causas especiais de variação.

Pelo formato dos dados do gráfico, pode existir uma tendência cíclica para os tempos dessa atividade, fato que deve ser investigado com mais detalhes, mas que foge do escopo deste trabalho.

O gráfico de amplitude sugere uma grande variabilidade nos dados, além da existência de pontos extrapolando os limites, o que caracteriza um processo fora de controle.

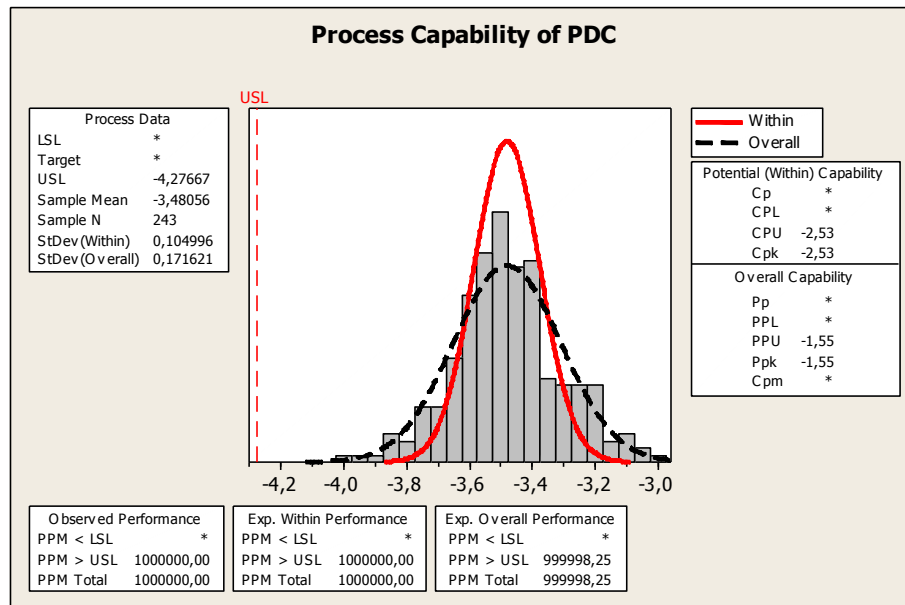


Figura 23 - Histograma dos Dados –Atividade 603
Fonte: Adaptado pelo autor

Pelo índice Ppk, nota-se que os tempos de atividade não estão atendendo às especificações, pois o índice é muito menor que 1 ($Ppk = -1,55 < 1$). Podemos notar que a média do processo está muito deslocada para a direita. As principais oportunidades encontradas para melhoria é a busca da centralização da média, além da eliminação das causas especiais de variação. Além disso devido a 100% dos tempos não estarem sendo atendidas, revisões no limite de especificação podem ser realizadas, para uma melhor medição do tempo atual do processo.

5. RESULTADOS

A realização do estudo possibilitou um maior conhecimento a respeito dos fatores que influenciam diretamente os tempos de Transit Time Carregado dos trens de Minério para exportação. A fim de facilitar a análise dos resultados obtidos o a Figura 24 fornece um resumo das etapas Define e Measure.

Inicialmente estabeleceu-se a Meta principal do projeto, de melhorar em 2 horas o Tempo de Transit Time Carregado para os trens. Logo em seguida esses tempos de Transit Time foram estratificados por trecho, indicando a existência de dois trechos críticos para melhoria: o Trecho Origem-P1.07 e P1.07-Bom Jardim.

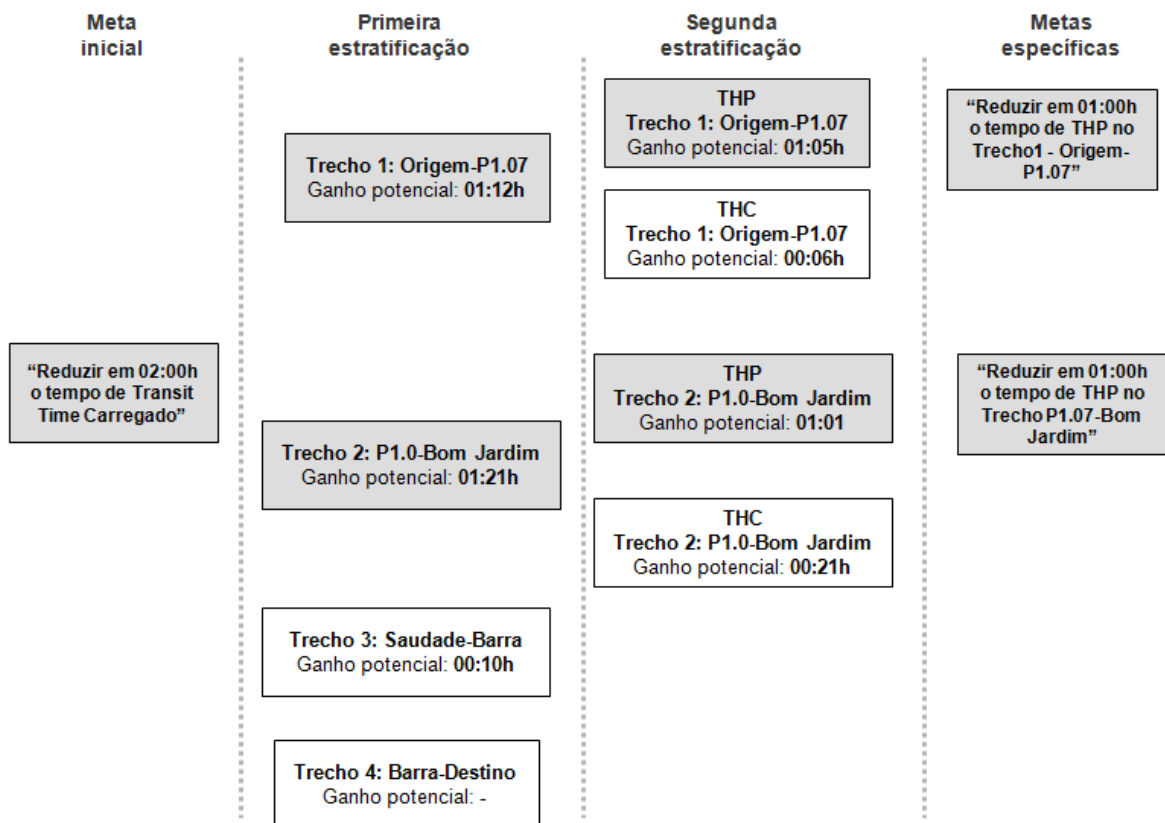


Figura 24 - Resumo etapas Define e Measure
Fonte: Adaptado pelo autor

Depois de identificados estes trechos, os tempos de Transit Time foram estratificados em THP (Trem-Hora Parado) e THC (Trem- Hora Circulando). A análise desses tempos levou à conclusão de que os tempos de THP exerciam uma influência muito maior nos tempos de transit time, além de possuir um grande desvio com relação aos tempos planejados.

A partir dessas informações foram estabelecidas 2 metas para sustentar a meta principal do projeto: “Reduzir em 01:00h os tempos de THP do trecho Origem-P1.07” e “Reduzir em 01:00h os tempos de THP do trecho P1.07 Bom Jardim”.

Na etapa Análise chegou-se às causas raízes do problema. O tempo de THP foi desmembrado em Atividades (causas) específicas e estas foram analisadas, conforme resumo no Quadro 7.

Trecho: Origem-P1.07

Meta	Atividade	Plano	Real	Desvio padrão	Desvio em relação ao plano	Potencial de ganho
<i>Reduzir o THP em 01:00h</i>	603	00:16	00:44	00:52	00:28	01:01
	104	00:08	00:22	00:30	00:14	
	120	00:12	00:24	00:04	00:12	
	211	00:08	00:15	00:02	00:07	

Trecho: P1.07-Bom Jardim

Meta	Atividade	Plano	Real	Desvio padrão	Desvio em relação ao plano	Potencial de ganho
<i>Reduzir o THP em 01:00h</i>	133	00:16	00:52	00:36	00:36	01:02
	PDC	00:20	00:45	00:07	00:25	

Quadro 7 - Resumo dos Tempos para as Atividades
Fonte: Adaptado pelo autor

No Trecho Origem-P1.07, 4 atividades foram identificadas como causas raízes do não cumprimento do tempo de transit time sendo elas: 603-Aguardar Auxílio de Tração, 104-Aguardar – Pátio Congestionado, 120- Aguardar Enlace de Locotrol e 211-Circulação no pátio. Somando os desvios com relação ao tempos planejados para estas atividades temos um potencial de ganho de 01:01, o que sustenta a meta inicial para o trecho.

No Trecho P1.07-Bom Jardim, 2 atividades foram identificadas como causas raízes do não cumprimento do tempo de transit time sendo elas: 133- Aguardar Circulação de Trem a Frente e PDC-Parado a Disposição da Circulação. Os seus desvios somam 01:02h, o que sustenta a meta inicial para o trecho. O Quadro 8 mostra um resumo das análises de capacidade destas atividades em atender às especificações e do controle estatístico das mesmas.

Trecho: Origem-P1.07

Atividade	Sob Controle	Dentro da especificação	Ppk	Oportunidades
603	Não	Não	-0,15 (TOTALMENTE INCAPAZ)	Centralização da média e redução da variabilidade
104	Não	Não	-0,11 (TOTALMENTE INCAPAZ)	Centralização da média e redução da variabilidade
120	Não	Não	-0,84 (TOTALMENTE INCAPAZ)	Centralização da média e revisão das especificações
211	Não	Não	-0,56 (TOTALMENTE INCAPAZ)	Centralização da média

Trecho: P1.07-Bom Jardim

Atividade	Sob Controle	Dentro da especificação	Ppk	Oportunidades
133	Não	Não	-0,42 (TOTALMENTE INCAPAZ)	Centralização da média e redução da variabilidade
PDC	Não	Não	-1,55 (TOTALMENTE INCAPAZ)	Centralização da média

Quadro 8 - Resumo das Capacidades das atividades
Fonte: Adaptado pelo autor

Analisando as atividades no trecho Origem-P1.07, notamos que todas as atividades estão fora de controle e possuem o índice $Ppk < 0$, o que caracteriza que os processos estão Totalmente Incapazes de satisfazer as especificações. Ações para que as médias dos tempos das atividades sejam centralizadas devem ser realizadas. A atividade 120, por ser uma atividade obrigatória para todos os trens deve ter seu processo operacional revisto a fim da redução do tempo médio, além de ser necessária uma revisão do tempo planejado para esta atividade que pode estar sub-dimensionado.

As atividades 603 e 104 não são obrigatórias para todos os trens. Os desvios-padrão apresentados para estas atividades estão muito altos, o que indica forte presença de variabilidade no processo. Para estas atividades além de buscar a centralização da média deve-se entender porque alguns trens ficam muito tempo parados nessa atividade, a fim de eliminar as causas especiais e criar ações padrão quando estas atividades ocorrerem.

Fazendo uma análise para os tempos das atividades do trecho P1.07-Bom jardim notamos que a atividade 133, por não ser uma atividade obrigatória para todos os trens possui uma grande variabilidade, fato este confirmado pelo seu desvio padrão. Deve-se focar principalmente na redução de causas especiais para essa atividade.

Para a atividade PDC é necessária uma centralização da média para o limite de especificação uma vez que esta apresentou o menor índice Ppk para todas as atividades, indicando que 100% dos tempos realizados não atenderam as especificações. Deve-se também

analisar a tendência existente nos tempos no decorrer do ano, afim de analisar possíveis sazonalidades ou até mesmo revisões nos limites de especificação.

Outro resultado importante obtido na Etapa Analyze foi que através da elaboração dos paretos para os 2 trechos a serem estudados, identificou-se quais as áreas da empresa que contribuíam negativamente para o desvio do transit Time. A figura x mostra a divisão destas responsabilidades.

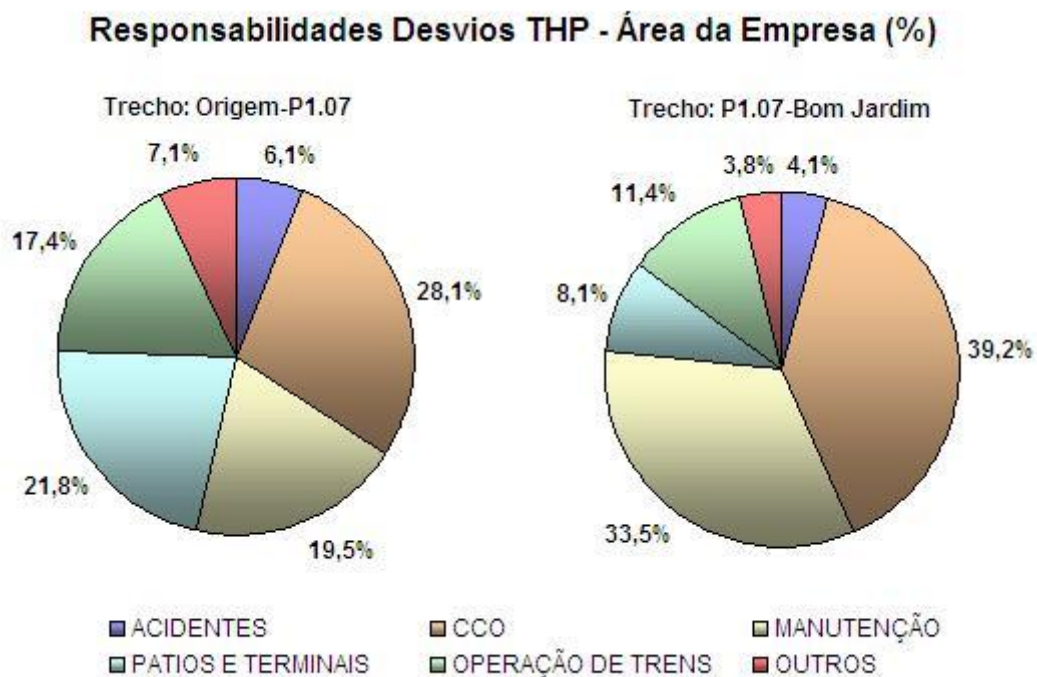


Gráfico 21 - Responsabilidades pelos desvios de THP
Fonte: Adaptado pelo autor

O gráfico indica que no Trecho Origem-P1.07 os maiores desvios nos tempos de THP são causados pelo Centro de Controle Operacional (CCO)(28,1%) e pela gerência de Pátio e Terminais(21,8%). Já no Trecho P1.07-Bom Jardim o CCO também é o maior responsável pelos desvios (39,2%) e a Manutenção também contribui significativamente para os desvios nos tempos de THP no trecho (33,5%). A partir destes resultados, podemos perceber que além das eliminações nos desvios das causas principais encontradas, algumas áreas podem trazer maiores ganhos em potencial para os tempos de THP e conseqüentemente um ganho maior de produção para a MRS.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho possibilitou a aplicação das etapas Define (definir), Measure (medir) e Analyze (analisar) do método DMAIC, por meio da realização de um estudo de caso, para conhecimento e entendimento das principais causas do não cumprimento dos tempos de Transit Time Carregado para os trens de Minério para exportação da MRS Logística, tendo o objetivo inicialmente estabelecido sido alcançado.

Por meio do desenvolvimento deste estudo, o problema relacionado ao não cumprimento do plano de Transit Time foi priorizado, tendo sido apontado dois problemas específicos: um alto tempo de THP no Trecho Origem-P1.07 e no Trecho P1-07-Bom Jardim.

Analisando o THP do Trecho Origem-P1.07, as principais causas de Não cumprimento no THP foram detectadas, sendo elas as atividades 603-Aguardar Auxílio de Tração, 104- Aguardar – Pátio Congestionado, 120- Aguardar Enlace de Locotrol e 211- Circulação no Pátio. Todas apresentaram um processo ineficiente e um grande potencial de melhoria.

Quanto aos tempos de THP do trecho P1.07-Bom Jardim as duas causas principais encontradas foram os tempos elevados das atividades 133- Aguardar Circulação de Trem a Frente e PDC-Parado a Disposição da Circulação.

Além disso, através dos estudos dos desvios com relação ao tempo planejado, notou-se um potencial de melhoria maior em algumas áreas da empresa, sendo que estas serão comunicadas dos resultados do trabalho para que possam estudar formas de melhorar os tempos de THP.

Diante dos resultados, algumas recomendações para trabalhos futuros podem ser apresentadas:

- Aplicação das duas etapas seguintes do método DMAIC, Improve e Control, dando continuidade ao trabalho desenvolvido;
- Estudo técnico a respeito das variações e implementações de ações para reduzir a média ou a variabilidade das atividades, conforme potenciais apresentados.
- Estudo nos tempos de Transit Time do Trecho Saudade-Barra do Pirai.
- Implementação de Controle Estatístico (Através de cartas de Controle e Índices de Processo) para cada atividade realizada, tendo uma previsibilidade maior e um acompanhamento melhor das mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, Silvio. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma**. Nova Lima: INDG, 2006.
- BARNEY, M. **Motorola's second generation**. *Six Sigma Forum Magazine*. Milwaukee, v. 1, n. 3, p.13-16, May 2002.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle da Qualidade Total: No Estilo Japonês**. Nova Lima – MG: INDG TECNOLOGIA E SERVIÇOS LTDA, 1992.
- CARVALHO, Marly M.; PALADINI, Edson P.. **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- CORONADO, R.B., Antony, J. **Critical success factors for the successful implementation of Six Sigma projects in Organizations**. *The TQM Magazine*, v.14, pp. 92-99, no.2, 2002.
- DONADEL, Daniel C. **Aplicação da metodologia DMAIC para redução de refugo em uma indústria de embalagens**. São Paulo, 2008. 122 p.
- GOH, T.N., Xie, M. **Statistical Control of a Six Sigma Process**. *Quality Engineering*, 15, pp. 587-592, abr.2003.
- HARRY D., SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the World's Top Corporation**. New York: Doubleday, 2000.
- HILSDORF, W.C. **A Estratégia Seis Sigma para Melhoria da qualidade: uma análise crítica das métricas utilizadas**. *Revista Pesquisa e Tecnologia FEI*. São Paulo, n.23, p. 25-39, outubro,2002.
- ISHIKAWA, K. **What is total quality control? The Japanese way**. Trad. De David Lu. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1985.
- JUNIOR, I. M. et al. **Gestão da Qualidade**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006. 196 p.
- LINDERMAN, K., Schroeder, R.G., Zaheer, S., Choo, A. **Six Sigma: a goal-theoretic perspective**. *Journal Operations Management*, 21, pp. 193-203, 2003
- MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513 p.
- MOREIRA, A.C.V.B., DARÉ, C.T., RODRIGUES, M.D.F. et al. **Green Belts Industrial**. v. 6. Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2004
- PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVANAGH, Roland R.. **The six sigma way: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance**. New York: McGraw- Hill, 2000.

- RASIS, D., GITLOW, H.S., POPOVICH, E. **Paper Organizers International: A Fictitious Six Sigma Green Belt Case Study I**. Quality Engineering, 15 (1), pp.127-145, 2002.
- ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2008.
- SANTOS, B. ADRIANA; MARTINS F. MANOEL, “**A implementação dos projetos seis sigma contribuindo para o direcionamento estratégico e para o aprimoramento do sistema de medição de desempenho**”, Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção, n.1, p. 1-14, dez.2003
- SCATOLIN, André C. **Aplicação da metodologia seis sigma na redução das perdas de um processo de manufatura**. São Paulo, 2005.
- STAMATIS, H. DEAN, “**Six Sigma Fundamentals: A complete guide to the system, methods and tools**”, New York, Productivity Press, 2004
- TORMINATO, S. M. **Análise da utilização da ferramenta CEP: um estudo de caso na manufatura de autopeças**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)– Universidade Estadual de Campinas, 2004, 106 p.
- USEVINICIUS, A. L, “**Implantação da metodologia Seis Sigma e aplicação da técnica estatística de projeto de experimentos na resolução de problemas e otimização dos processos de fabricação**”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS, p.36, 2004.
- VACCARO, G. L. R. **Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas**. 1997. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
- VAN DER POL, R. B. **Aplicação do método DMAIC para redução da ocorrência de acidentes ferroviários**, Juiz de Fora – 2011.
- VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**. Editora Campus, 1999.
- WATSIN, G. H. **Cycles of learning: observations of Jack Welch**. Six Sigma Forum Magazine. Milwaukee, v. 1, n. 1, p.13-18, nov. 2001.
- WILSON, P. M. **Six Sigma: understanding the concept, implications and challenges**, Advanced Systems Consultants, 1999.
- WERKEMA, M. C. C. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. 4 ed. Belo Horizonte: QFCO. 1995
- WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Criando a cultura Seis Sigma**. Nova Lima: Werkema, 2004.