

## **TÍTULO: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SIX SIGMA NA OPERAÇÃO DE UMA CONCESSIONÁRIA FERROVIÁRIA**

### **APPLICATION OF THE LEAN SIX SIGMA METHODOLOGY IN THE OPERATION OF A RAILWAY CONCESSIONAIRE**

Gilberto Lúcio da Silva Junior\*  
MSc. Thassia Marchi Vieira\*\*

#### **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma operação alternativa para trens cuja finalidade é o transporte de locomotivas auxiliares durante os dias de manutenção em uma empresa ferroviária. Essas locomotivas são utilizadas para reforço de tração em trens carregados nas áreas de grande declive. A solução foi desenhada seguindo as fases do método DMAIC em um projeto Lean Six Sigma visando redução de custos e melhorias de processos. O tema foi escolhido em função da necessidade de maior eficiência e gestão operacional de material rodante, que contribuem para o crescimento do setor. Também pela manutenção da sustentabilidade através da otimização de recursos. Primeiramente, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre Lean Manufacturing aplicado em setores de serviços e Six Sigma com método DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar). Por fim, o método foi aplicado passo a passo em uma empresa ferroviária localizada no sudeste do Brasil. O resultado mostra uma economia financeira mensurável próxima a dois milhões de reais por ano. Além disso, um ganho ambiental decorrente da redução da emissão de gases de efeito estufa devido à maior eficiência de combustível evitando a queima de 245 mil litros de óleo diesel por ano e também um ganho qualitativo de processo.

**Palavras-chave:** DMAIC. Eficiência. Ferrovia

#### **ABSTRACT**

This paper aims to introduce an alternative operation for trains whose purpose is to transport helper locomotives during maintenance days in a railway company. Those locomotives are used for additional traction force for loaded trains at high slope areas. The solution was designed following the DMAIC method phases in a Lean Six Sigma project aiming cost reduction and process improvements. The theme was chosen due to the need for greater efficiency and operational management of rolling stock, which contribute to the growth of the sector. Also because of the sustainability maintenance through the resources optimization. Firstly, a literature survey regarding Lean Manufacturing applied on service sectors and Six Sigma with DMAIC method (Define, Measure, Analyse, Improve and Control). Finally, the method was applied step by step in a railway company located in southeast of Brazil. The results shows measurable financial savings close to two million reais per year. Also, an environmental gain caused by the greenhouse gases emission reduction due to the greater fuel efficiency avoiding 245 thousand diesel oil liters burn per year and also a qualitative process gain.

**Keywords:** DMAIC. Efficiency. Railway

---

\*Rede de Ensino Doctum – Unid. Zona Norte – [gilibafuga@gmail.com](mailto:gilibafuga@gmail.com) – graduando em Administração

\*\*Rede de Ensino Doctum – Unid. Zona Norte - [thassiajf@doctum.edu.br](mailto:thassiajf@doctum.edu.br) (Orientador do trabalho)

## 1 - Introdução

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT) (2013), o transporte ferroviário apresenta como vantagem a sua capacidade, principalmente quando necessário percorrer longas distâncias. Ainda, se destaca por seus custos ambientais e sociais reduzidos em comparação com o modo rodoviário, além do nível de segurança superior, em função do menor risco de acidentes envolvendo terceiros ou os próprios ativos.

Em um ambiente cada vez mais competitivo, as organizações estão sempre focando em novas idéias, metodologias e ferramentas capazes de oferecerem respostas rápidas e custos otimizados, atendendo às necessidades dos clientes.

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”. Para isto, encontrar soluções que aumentem a produtividade, garantam a qualidade e reduzam os custos nos seus processos produtivos tornou-se fundamental. Como o Seis Sigma pode contribuir para o cumprimento dessas premissas?

Na busca por mais qualidade nas organizações, “o modelo Seis Sigma vem se mostrando 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.” (ROTONDARO, 2008).

Desenvolver novos negócios utilizando recursos existentes; Garantir atendimento eficiente ao *Heavy Haul*; e Manter nível de segurança eficiente das operações, são alguns dos objetivos estratégicos para os próximos anos de uma concessionária de transporte ferroviário sediada na Zona da Mata, Minas Gerais.

Sendo assim, é necessário que haja uma melhoria contínua em seus processos e a metodologia Seis sigma, visa justamente a melhoria de processos existentes e tem como objetivo final proporcionar ganhos financeiros, sejam eles através de custos evitados ou do próprio aumento de eficiência organizacional em toda a sua cadeia produtiva.

Para o modelo econômico brasileiro atual, principalmente de exportação de *commodities*, o modo ferroviário se encaixa perfeitamente, pois as principais cargas movimentadas por trem são os grãos, minério de ferro, contêineres, produtos siderúrgicos, entre outros. “O problema consiste no fato de que a malha ferroviária brasileira não cria novos polos de desenvolvimento socioeconômico, havendo,

portanto, uma concentração das vias férreas na ligação entre os centros econômicos das regiões centro e sul para os portos.” (FALCÃO, 2013).

Todavia, a participação do modo ferroviário na matriz de transporte de carga no Brasil cresceu 43,3% entre 2006 e 2016 (CNT, 2017). Entretanto, uma gestão mais eficiente dos ativos operacionais é fundamental para um maior crescimento do setor.

Ganhos na melhoria de processos que se traduzam em menores custos acabam sendo refletidos na capacidade das empresas de oferecer serviços de qualidade ao mercado, atraindo novas demandas para transporte e gerando assim um diferencial competitivo em um setor tão concorrido.

O objetivo geral desse trabalho é apresentar a metodologia em questão e algumas das suas ferramentas através de um estudo de caso.

O objetivo específico consiste na aplicação aos processos de uma empresa de transporte de cargas ferroviárias, com a finalidade de definir uma alternativa para a circulação dos trens que levam locomotivas para reforço de tração de trens carregados, considerando a redução do consumo de diesel, melhoria da produtividade dos maquinistas, postergação da manutenção de componentes relacionados à quilometragem e diesel, redução do ciclo das locomotivas e melhoria no processo de programação da gestão de auxílio.

Esse trabalho trata-se de uma pesquisa aplicada, devido ao seu interesse prático e por estar orientada à sua aplicação a resolução de um problema específico. Pela natureza dos seus objetivos, pode ser classificado como exploratório-descritivo, pela abordagem quali-quantitativa e método hipotético-dedutivo.

## **2.1 - O *Lean Manufacturing* no setor de serviços**

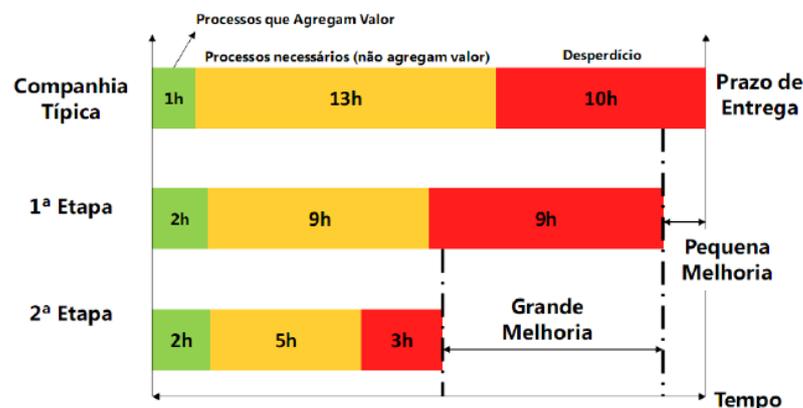
“O conceito de *Lean Manufacturing* baseia-se na eliminação de desperdícios e elementos sem valor agregado com objetivo de reduzir custos.” (OHNO, 1997). “Perdas ou desperdícios são atividades que geram custo e não agregam valor ao produto, portanto devem ser eliminados.” (ANTUNES, 2008). Segundo Werkema (2010), “a essência do *Lean Manufacturing* está na redução dos sete tipos de desperdícios ou perdas: por superprodução, por espera, por transporte, por processo, pela fabricação de produtos defeituosos, por estoque e também por movimento.”

Para que os objetivos dos princípios enxutos sejam alcançados, diversas ferramentas devem ser aplicadas. Womack e Jones (2005) afirmam que os princípios enxutos podem ser aplicados em empresas de serviços e que não devem focar

apenas na qualidade, preço e abrangência de canais, mas sim no entendimento da visão dos consumidores em relação ao processo de consumo e que apesar de necessitar de algumas adaptações para aplicação em serviços por conta da variabilidade dos seus processos, a aplicação de conceitos enxutos neste setor objetiva a configuração dos processos e atividades evitando assim os desperdícios.

“Dentro da filosofia de *Lean Manufacturing*, existe o conceito de desperdício que pode ser considerado como qualquer atividade que não agrega valor e deve ser, de alguma forma, eliminada.” (Slack et al., 2009). Sendo assim, a Figura 1 mostra como “é importante identificar e diferenciar as atividades que são essenciais e agregam valor para o consumidor final daquelas que são apenas desperdício; isto porque ao eliminar estas atividades é possível aumentar a produtividade e melhorar a prestação de serviço ou qualidade do produto final.” (Paladini, 2005).

Figura 1 – Lean Manufacturing



Fonte: SENAI – MG

Segundo Siqueira (2009), “o *Lean Manufacturing*, ou manufatura enxuta, é um sistema que visa entregar aos clientes produtos e serviços sem defeitos no menor tempo possível, com menos esforço, recursos, espaços e capital. O *Lean* é uma universalização do sistema de produção desenvolvido pela Toyota.”

## 2.2 - O Seis Sigma

A metodologia Seis Sigma é uma ferramenta que vem sendo utilizada por grandes organizações na busca pela melhoria de processos e redução de custos. Nesse capítulo, será apresentada a metodologia, contando um pouco de sua origem, evolução e aplicabilidade nos dias atuais.

### **2.2.1 - A Origem**

De acordo com Rodrigues (2015), os conceitos iniciais, originaram-se no séc XIX, quando o matemático e físico alemão Carl Frederick Gauss, através de estudos de eventos ocorridos na natureza, desenvolveu o conceito de variabilidade, valor que pode ser medido matematicamente pelo desvio padrão e é representado simbolicamente pela letra ( $\sigma$ ).

Esses estudos auxiliaram os EUA durante a Primeira Guerra Mundial, no desenvolvimento e melhoria da qualidade de produtos militares para os europeus, através das pesquisas feitas pelo matemático Walter Shewhart. “Várias foram as aplicações no mundo produtivo dos conceitos apresentados por Walter Shewhart, dentre elas podemos citar: as Cartas de Controle; o CEP – Controle Estatístico do Processo; a Capacidade do Processo entre outros.” (RODRIGUES, 2015)

No final dos anos 80, o engenheiro Bill Smith, propôs a aplicação desses conceitos que, segundo Rodrigues (2015), tinha como objetivo “alcançar, como limite para a tolerância de um processo, seis desvios padrão (seis sigma —  $6\sigma$ ) do ponto central” e com isso “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), surgindo então a nomenclatura da metodologia Seis Sigma.

### **2.2.2 - A evolução**

A popularização aconteceu em meados da década de 90 através de John F. Welch, também conhecido como Jack Welch, então presidente da General Electric (GE), que “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 apud DUARTE, 2011)

“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.” (BARNEY, 2002 apud DUARTE, 2011), evolução essa que pode ser comprovada através dos projetos cada vez mais robustos e aplicados nas grandes organizações do mundo que adotam essa cultura.

O Seis Sigma atua também como uma ferramenta de melhoria contínua de processos, visando a redução da variabilidade, dos custos e dos desperdícios.

“A melhoria contínua tem como suporte o controle e a otimização dos processos e foi a base para a Metodologia da Gestão da Qualidade Total.” (RODRIGUES, 2015)

De acordo com McCarthy apud Ariento et al. (2005), “o *Six Sigma* é a mais poderosa força para corporações que precisam mudar suas operações e seus processos de desenvolvimento de produtos e serviços. A ênfase do *Six Sigma* está nos resultados financeiros e na possibilidade de eliminação de produtos e processos defeituosos.”

o *Six Sigma* é uma estratégia que visa o aumento da satisfação dos clientes e de resultados pela redução da variabilidade, e consequentemente dos defeitos. Tem-se mostrado a ferramenta mais poderosa e eficiente para a redução drástica de falhas, permitindo o aprimoramento de processos de forma estruturada, consistente e duradoura, pois analisa os problemas sob o ponto de vista científico, com uso intensivo de análise de dados. Siqueira (2009)

## 2.3 - O DMAIC

Como descreve Werkema (2012), esse modelo é a base dos projetos *Six Sigma* e exige uma rigorosa disciplina, que garante uma seqüência ordenada, lógica e eficaz no gerenciamento dos projetos através das suas cinco etapas: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control* (Controlar).

### 2.3.1 - DEFINE (Definir)

O início dessa etapa do DMAIC, é marcado pela elaboração do Contrato do Projeto (“Project Charter”) Figura 2, que é a formalização do compromisso entre a gestão da empresa e a equipe Lean Six Sigma. “Através da avaliação do histórico do problema e apresentação de possíveis restrições e suposições, a equipe de trabalho é formada e é definido o cronograma preliminar do projeto.” (WERKEMA, 2012)

Nesta etapa os objetivos são: definir o problema ou tema do projeto; identificar e descrever o processo principal do problema; ouvir os clientes envolvidos no processo; definir o escopo do projeto; estipular uma meta em termos financeiros; estabelecer as responsabilidades; definir cronograma e elaborar o Contrato de Projeto.

Figura 2 – Modelo Project Charter

PROJECT CHARTER			
Projeto:			
Responsável:		Data:	
DESCRIÇÃO			
OBJETIVOS GERAIS		COMPORTEAMENTO HISTÓRICO	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS			
ESCOPO			
Dentro	Fora		
RESTRIÇÃO			
EQUIPE		RESPONSABILIDADES	
CRONOGRAMA		RESUMO	
Definir		Data de início:	
Medir		Data de término:	
Analisar		Impacto do projeto:	
Melhorar			
Controlar		Impacto financeiro potencial:	

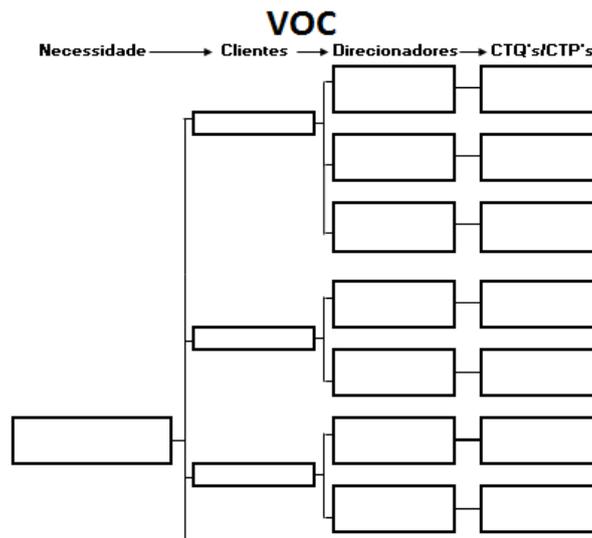
Fonte: SENAI - MG

“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.” (DUARTE, 2011).

Algumas ferramentas utilizadas nessa etapa são:

- VOC (*Voice of the Customers*): A Voz do Cliente, como se observa na Figura 3, é uma ferramenta que possibilita ouvir os clientes envolvidos nos processos, com o objetivo de entender suas percepções, mapear suas necessidades e suas expectativas e de posse dessas informações transformá-las em Críticas para o Processo (*Critical To Process*: CTPs) ou em condições “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).

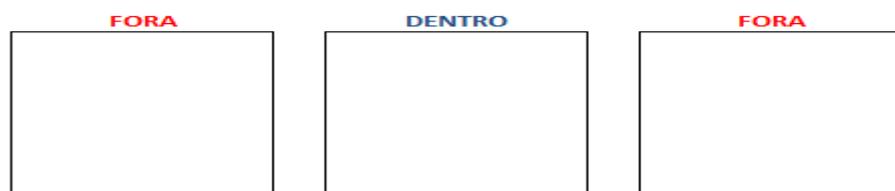
Figura 3 – Modelo VOC



Fonte: SENAI - MG

- Matriz Dentro-Fora: Essa ferramenta nada mais é do que o escopo do projeto, ou seja, o que será considerado e o que não será considerado durante o estudo, demonstrada na Figura 4.

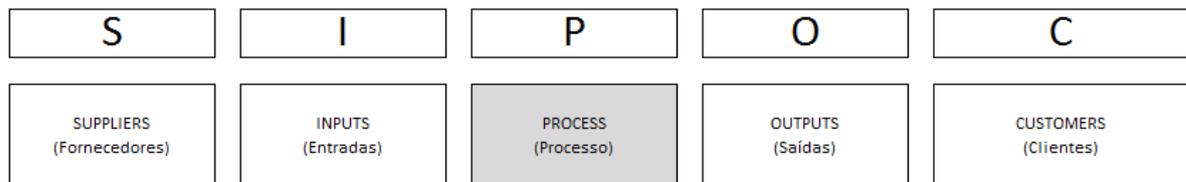
Figura 4 – Modelo Dentro-Fora



Fonte: SENAI - MG

- Diagrama SIPOC: O SIPOC é uma ferramenta que resume as entradas (*Inputs*) e saídas (*Outputs*) de um ou mais processos em forma de tabela. A sigla SIPOC significa *suppliers* (fornecedores), *inputs* (entradas), *process* (processo), *outputs* (saídas) e *customers* (clientes), que formam as colunas da tabela, conforme a Figura 5:

Figura 5 – Modelo SIPOC



Fonte: SENAI – MG

É preciso que seja definido ao menos uma meta para o projeto, pois esse será o principal direcional de onde se espera chegar. Além disso, as metas devem estar sempre alinhadas com os objetivos da organização, para que os ganhos reflitam na geração de valor ao processo e aos clientes.

O objetivo principal do projeto ou meta global, devem ter valores e prazos bem definidos. 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.”

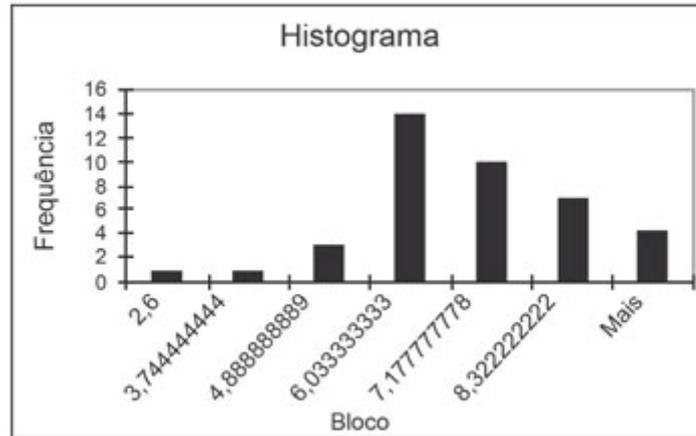
### 2.3.2 - MEASURE (Medir)

O objetivo dessa etapa é analisar quantitativamente os dados, avaliar as causas potenciais no processo mapeado e definir os focos do projeto. 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 equipe de projeto deverá decidir entre coletar novos dados ou usar dados já existentes na empresa. Realiza-se o Plano de Coleta de Dados e com os dados obtidos, a equipe deverá analisar estatisticamente o impacto das várias partes do problema e identificar os problemas prioritários.” (WERKEMA, 2012)

Uma das ferramentas utilizadas nessa etapa é o Histograma, Figura 6, que segundo Rodrigues (2015), “Tem como objetivo facilitar, por meio do agrupamento de dados, a medição e visualização da variabilidade dos dados em um determinado evento.”

Figura 6 – Histograma



(b)

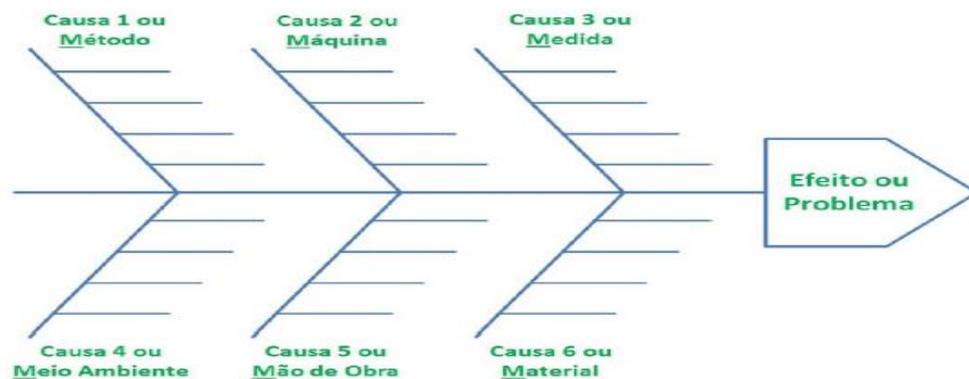
Fonte: Rodrigues (2015)

**2.3.3 - ANALYZE (Analisar)**

Algumas ferramentas que fazem parte dessa fase, como por exemplo o “*brainstorming*” e o diagrama de causa e efeito, juntos geram dados que serão utilizados na criação de outras ferramentas, a saber matriz esforço x impacto, que em seguida apresentarão dados para construção do plano de ação da etapa de melhoria.” (WERKEMA, 2004).

As análises podem ser gráficas ou analíticas e o diagrama de causa e efeito (Espinha de Peixe ou Diagrama de Ishikawa, Figura 7) é uma das ferramentas gráficas cujo o objetivo é organizar o raciocínio, a lógica do problema que está sendo estudado.

Figura 7 – Diagrama de Ishikawa (Espinha de peixe) - Modelo



Fonte: SENAI – MG

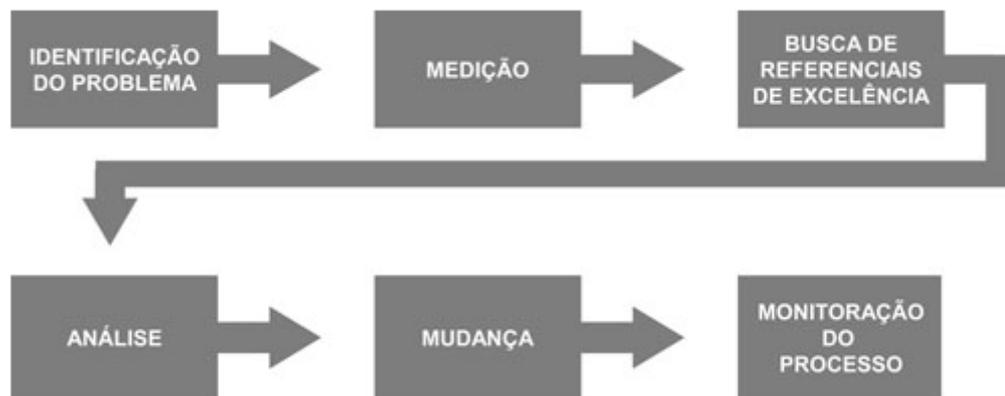
### 2.3.4 - IMPROVE (Melhorar)

O Objetivo dessa etapa é gerar as saídas da fase anterior: propor soluções, avaliar os riscos de implementação e executar o plano de ação. Essa fase é a responsável pela implantação das soluções encontradas através da aplicação das demais etapas.

“Faz-se a análise das ideias e soluções, priorizando as potenciais, avaliando e minimizando seus riscos. A partir de então, as soluções são testadas em pequena escala (teste piloto) e analisadas, caso necessite de ajustes ou melhorias para a implementação das soluções em larga escala.” (WERKEMA, 2012) Algumas ferramentas utilizadas nessa fase são:

- *Benchmarking*: tem como objetivo conhecer ações e recolher informações sobre referenciais de excelência, buscando benefícios como: identificar as melhores práticas no mercado, aumentar o desempenho relativo ao mercado, obter informações para apoiar processos de criação de valor e buscar vantagens competitivas (RODRIGUES, 2015). A Figura 8 ilustra esse processo:

Figura 8 – Processo do Benchmarking



Fonte: Rodrigues (2015)

- 5W2H: Essa ferramenta é um plano de ação simples, porém muito eficaz e é elaborada através das 5 perguntas que formam o acrônimo 5W2H ( What (o que será feito?) / Why (por que será feito?) / Where (onde será feito?) / When (quando será feito?) / Who (por quem será feito?) / How (como será feito?) / How much (quanto vai custar?).

Figura 9 – Modelo 5W2H

O que?	Quem?	Onde?	Por quê?	Quando?	Como?	Quanto?
--------	-------	-------	----------	---------	-------	---------

Fonte: SENAI - MG

### 2.3.5 - CONTROL (Controlar)

Essa fase tem como objetivo medir os resultados alcançados e definir mecanismos que garantam a sustentabilidade das melhorias implementadas. “Em caso satisfatório, a próxima ação é padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas e transmitir os novos padrões a todos os envolvidos no processo. Na sequência, define e implementa um plano para monitoramento da performance do processo e do alcance da meta.” (WERKEMA, 2012)

“Nesta etapa, é confirmada a implantação da melhoria, a resolução do problema, a validação dos benefícios alcançados, as alterações necessárias aos procedimentos e instruções de trabalho, a implementação de ferramentas de controle e, por fim, a auditoria do processo e o monitoramento do desempenho” (MATOS, 2003). Uma das ferramentas utilizadas nessa fase é o Diário de bordo:

- Diário de bordo: essa ferramenta, demonstrada na Figura 10, serve para mapear possíveis problemas do processo, onde serão preenchidas data/hora do problema ocorrido, bem como as ações corretivas realizadas e o responsável. É uma ferramenta essencial nessa fase.

Figura 10 – Diário de bordo

Data	Hora	Descrição do Problema	Ação Corretiva	Responsável

Fonte: SENAI – MG

### 3 – Metodologia

Este trabalho é classificado como uma pesquisa aplicada, “A pesquisa prática também chamada de pesquisa aplicada visa encontrar soluções as necessidades apresentadas na realidade, ou seja, estabelecer ordem e controle na natureza” (LEÃO, 2017). Segundo Prodanov (2013) o objetivo dessa pesquisa é gerar conhecimentos para a aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos, que nesse estudo assim se apresenta: Existe uma alternativa para circulação das locomotivas de auxílio em dias de blackout, que seja capaz de melhorar a eficiência energética, diminuir o ciclo e aumentar a produtividade dos maquinistas?

“Uma alternativa gerencial para o cenário atual é a adoção de princípios e técnicas capazes de diminuir perdas e aumentar ganhos” (PEREIRA, 2009). Adotando-se a mentalidade da produção enxuta, a percepção de valor da empresa e clientes aumentam, os custos são reduzidos e os recursos otimizados. “A meta (o telhado) do sistema é o foco no cliente: entregar a mais alta qualidade para o cliente ao mais baixo custo, no lead time mais curto” (DENNIS, 2007, p.37).

Quanto aos objetivos, “As pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Seu planejamento tende a ser bastante flexível” (GIL, 2018, P.26), pois nesse tipo de pesquisa é preciso considerar os mais diversos aspectos relativos ao fato ou fenômeno objeto do estudo.

Em função de todas essas variações e flexibilidade desse tipo de pesquisa, torna-se difícil classificar estudos exploratórios, no entanto é possível identificar pesquisas bibliográficas, estudos de caso e outros procedimentos com essa mesma natureza.

“As pesquisas descritivas têm como objetivo a descrição das características de determinada população ou fenômeno. Podem ser elaboradas também com a finalidade de identificar possíveis relações entre variáveis.” (GIL, 2018, P.26). Nesse grupo das pesquisas descritivas, os objetivos são conhecer as opiniões, crenças e atitudes de determinada população e descobrir os fatores que contribuem para a relação das variáveis.

Sendo assim, torna-se adequado classificar sua natureza como exploratória e ao mesmo tempo descritiva. A parte exploratória, sendo a revisão prévia da literatura disponível sobre a metodologia utilizada, além de uma profunda pesquisa de campo para entendimento do problema e a parte descritiva, utilizada para conhecer as

características do problema, do modelo e também das interfaces envolvidas no processo, permitindo a identificação das variáveis.

Embasado nos conceitos contidos neste trabalho, foi possível identificar durante o delineamento do estudo dois tipos de abordagens: qualitativas e quantitativas. Com isso, a classificação da natureza de sua abordagem se enquadra no conceito quali-quantitativo, pois “combinam elementos de abordagens de pesquisa qualitativa e quantitativa com o propósito de ampliar e aprofundar o entendimento e a corroboração dos resultados.” (JOHNSON; ONWUEGBUZIE; TURNER, 2007 apud GIL, 2018, P.39).

O fomento pelo estudo em questão, originou-se da possibilidade de um novo modelo operacional, que fosse capaz de atender a todas as restrições inerentes ao processo de retorno das locomotivas de auxílio, gerando redução nos custos e melhoria nos processos. Identificados o problema e a solução hipotética, iniciou-se o estudo através da metodologia DMAIC, afim de comprovar sua verossimilhança. Sendo assim, o método utilizado nesse trabalho deve ser considerado hipotético-dedutivo.

O procedimento de pesquisa realizado, foi o estudo de caso, aplicado em uma concessionária ferroviária, que aborda a circulação das locomotivas de auxílio, compreendida em um trecho da malha no sul de Minas Gerais. Gil (2018, p. 33) fala que, “o estudo de caso é uma modalidade de pesquisa amplamente utilizada nas ciências sociais e que consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos casos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento”, o que, em outras modalidades, seria tarefa praticamente impossível.

Gil (2018, p.106) também afirma que diferentemente do que ocorre com outros delineamentos, como o experimento e o levantamento, as etapas do estudo de caso não se dão numa sequência rígida. Seu planejamento tende a ser mais flexível e com frequência o que foi desenvolvido numa etapa determina alterações na seguinte.

Encontram-se muitas objeções em relação à aplicação desse procedimento. Uma delas refere-se à dificuldade em manter-se um rigor metodológico, diferentemente do que ocorre com outros procedimentos. Para os estudos de caso não são definidos procedimentos metodológicos tão rígidos e por esse motivo, muitos não atingem qualidade em seus resultados. Sendo assim, existe

a necessidade de cuidados redobrados em suas etapas por aqueles dispostos a desenvolverem um estudo de caso.

Outra objeção está diretamente ligada à generalização do estudo. “A análise de um único ou de poucos casos de fato fornece uma base muito frágil para a generalização.” (GIL, 2018, p. 34).

Apesar das objeções citadas, um estudo de caso apresenta-se eficaz, e para isso “deve mostrar de maneira convincente que foram coletadas e avaliadas as evidências relevantes e que os encadeamentos de evidências são criativos e lógicos.” (MARTINS, 2008, p. 4).

A qualidade das análises, da coerência das conclusões e a defesa das proposições trabalhadas, devem suportar toda a construção da teoria que se deseja explicar, dentro do universo explorado no estudo de caso.

Em resumo, Martins (2008, p.4) completa que: “será necessário que o pesquisador demonstre que, dentro do recorte realizado, o tema-problema foi tratado com rigor científico, dando plena conta dos propósitos da pesquisa.”

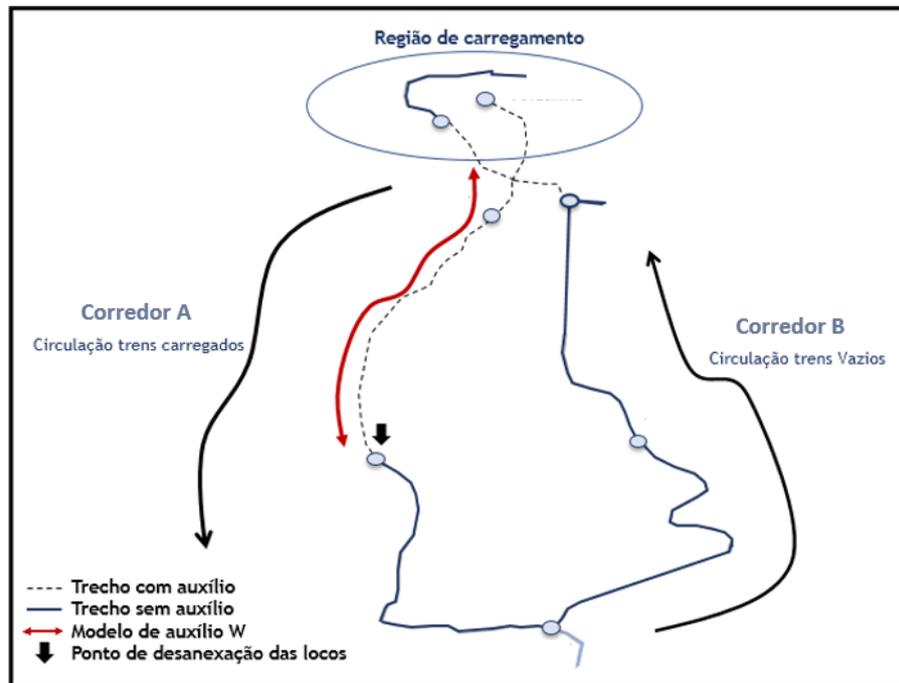
Sendo assim, este trabalho teve como objetivo estudar uma alternativa para trens cuja finalidade é o transporte de locomotivas auxiliares durante os dias de manutenção, sem afetar o ciclo dessas locomotivas alocadas para auxílio nem a circulação dos trens carregados. Este estudo foi realizado em parceria com as áreas clientes, que auxiliaram na definição das regras e diretrizes operacionais. Em seguida, foi criado um novo modelo de operação para o retorno das locomotivas de auxílio, utilizando algumas ferramentas *Lean Six Sigma* e tendo como objetivos a redução do consumo de diesel, melhoria da produtividade dos maquinistas, postergação da manutenção de componentes relacionados à quilometragem e diesel, redução do ciclo das locomotivas e melhoria no processo de programação da gestão de auxílio.

#### **4 – Resultados**

A concessionária do setor ferroviário, objeto desse estudo, tem o minério de ferro e o carvão mineral como principais produtos transportados. O fluxo de circulação dos trens é realizado em dois corredores, sendo o corredor A utilizado para os carregados e o corredor B para os vazios. O modelo de circulação dos trens carregados, dado o peso por eixo e o perfil da malha, necessita de reforço de tração em alguns pontos específicos, sendo este feito a partir da anexação de uma locomotiva adicional que permanece na composição até o pátio onde não se faz mais

necessária. Neste local as locomotivas de auxílio são acumuladas para a formação dos trens do tipo “W”, composição formada somente por locomotivas para o retorno, pelo contrafluxo do corredor dos trens carregados, aos pátios de anexação conforme Figura 11.

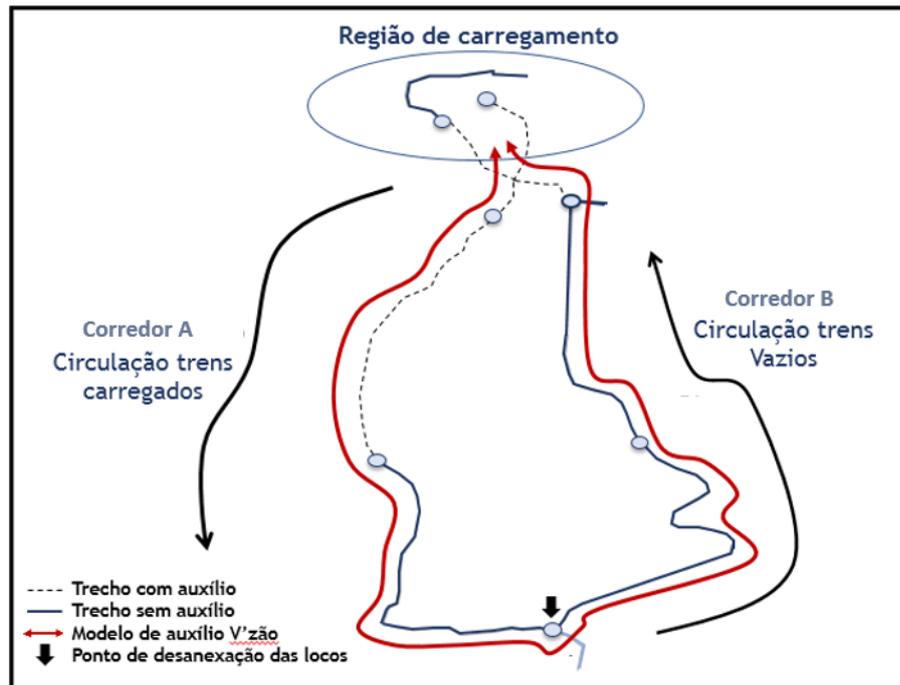
Figura 11 – Modelo “W”



Fonte: Elaborado pelo Autor

Em função do modelo de manutenção preventiva da via permanente, existe a necessidade de interrupção temporária da circulação dos trens em pontos predeterminados a partir dos níveis de ocupação da malha previstos nos planos de transporte. Esta interrupção é conhecida como *blackout* e quando ocorre no corredor A, as locomotivas que deveriam ser acumuladas no pátio de desanexação são obrigadas a circular nas composições carregadas até outro pátio, realizar baldeio de trens e então circular pelo corredor B rebocadas nos trens vazios, conforme Figura 12. Essa operação, denominada “V’zão”, aumenta a distância percorrida em 344km por locomotiva, além de gerar um peso morto nas composições vazias, aumentando o esforço de tração durante a circulação.

Figura 12 – Modelo “V’ção”



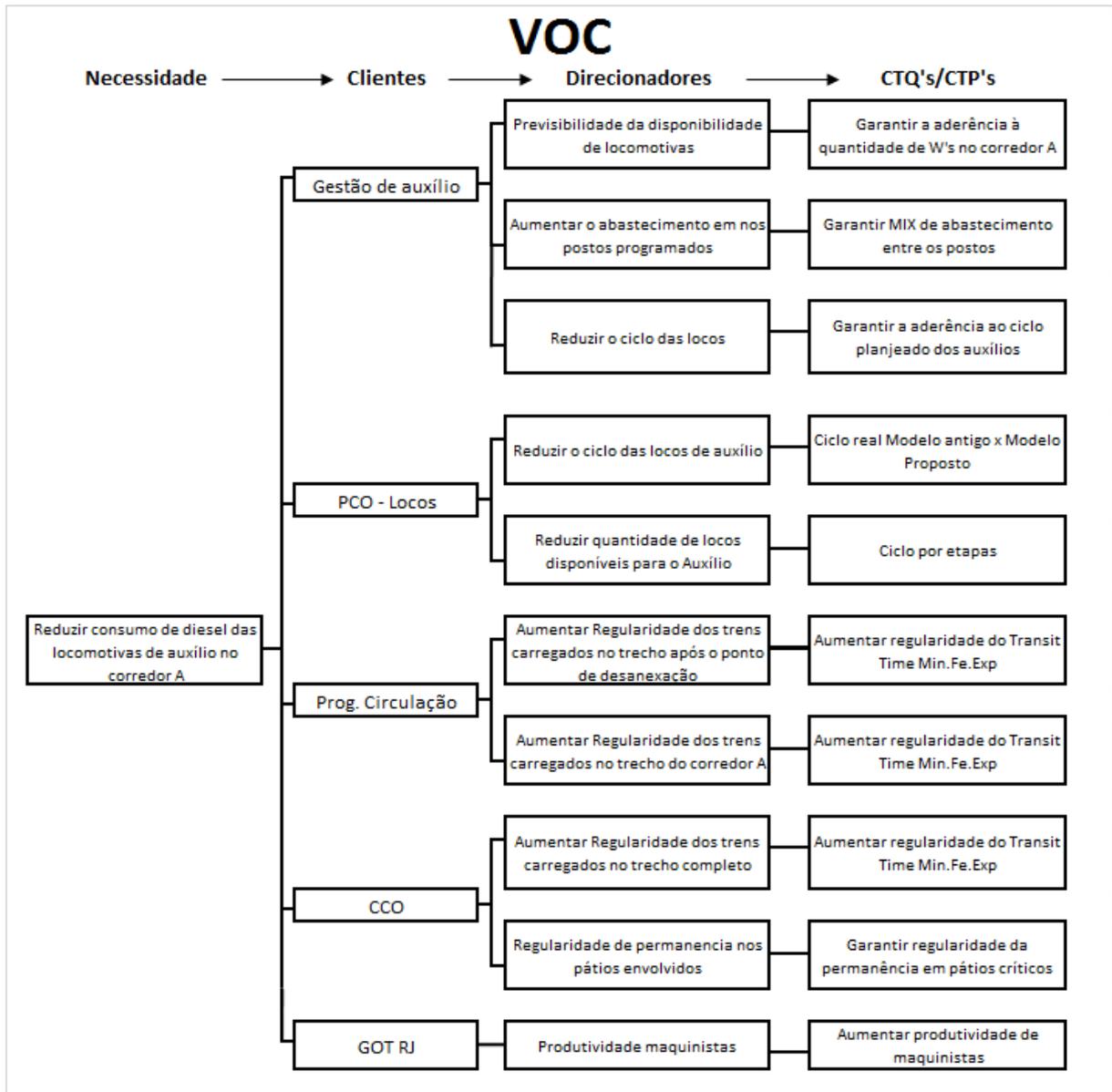
Fonte: Elaborado pelo Autor

Sendo assim, foi proposto um novo modelo de operação para o retorno das locomotivas de auxílio, uma solução hipotética-dedutiva, onde as locomotivas poderiam aguardar em pontos pré estabelecidos, em que existam linhas paralelas e que seriam possíveis suportar a manutenção e o aguardo para a retomada da circulação. Utilizando o modelo DMAIC, que será apresentado na sequência, tendo como objetivos a redução do consumo de diesel, melhoria da produtividade dos maquinistas, postergação da manutenção de componentes relacionados à quilometragem e diesel, redução do ciclo das locomotivas e melhoria no processo de programação da gestão de auxílio.

#### 4.1 – DEFINE (Definir)

A primeira etapa do projeto buscou avaliar o comportamento histórico e suas restrições, definindo o problema e o tema, além de ouvir os clientes envolvidos no processo (VOC - Figura 13), definir o escopo (Matriz dentro-fora – Figura 14), identificar e descrever o processo principal do problema (SIPOC – Figura 15), estipular a meta em termos financeiros, estabelecer as responsabilidades, definir o cronograma e com base em todas essas informações elaborar o *Project Charter*, representado na Figura 16.

Figura 13 – VOC do projeto



Fonte: Elaborado pelo Autor

O VOC foi construído através de brainstorming realizado com as áreas, transformando os direcionadores em indicadores qualitativos e quantitativos afim de buscar soluções para atender à necessidade inicialmente proposta, que era a redução no consumo de diesel das locomotivas auxiliares.

Figura 14 – Matriz dentro-fora do projeto

FORA	DENTRO	FORA
-Impactos à via permanente nas programações de intervalo.	-Reduzir consumo de Diesel das Locomotivas -Reduzir a necessidade de equipagens - Reduzir o ciclo das locomotivas	-Impactos à GOT no cumprimento do modelo proposto

Fonte: Elaborado pelo Autor

A matriz dentro-fora, buscou direcionar o projeto, delimitando o esforço aplicado às condições inerentes ao processo. Essa ferramenta se mostrou muito importante no que diz respeito à abrangência do estudo.

Figura 15 – SIPOC do projeto

S	I	P	O	C
Gestão HH1	Necessidade de carga dos clientes	Planejar a Carga	Grade de produção	Formação de trens Programação de Equipagens
Prog Circulação de Trens	Grade de Produção	Planejar Circulação dos trens vazios	Programação de circulação	Gestão HH1 Formação de trens Programação de Equipagens
Formação de trens	Programação de circulação	Programar Máquinas de auxílio	Programação de W's de auxílio	Prog Circulação de Trens Programação de Equipagens Estações
Estações	Programação de W's de auxílio	Formar os W's de auxílio	W's de auxílio	Programação de Equipagens Prog Circulação de Trens
Programação de Equipagens	W's de auxílio	Alocar equipe para circular com os W's	W's de auxílio Equipados	Prog Circulação de Trens Formação de Trens CCO
CCO	W's de auxílio Equipados	Realizar a circulação das Máquinas de auxílio	Trens carregados com necessidade de auxílio	Gestão HH1 Formação de trens Programação de Equipagens
Maquinistas	Trens carregados com necessidade de auxílio	Anexar os auxílios aos trens programados	Trens carregados com auxílios anexados	CCO Formação de Trens Prog Circulação de Trens Programação de Equipagens
Prog Circulação de Trens	Necessidade de descarga dos clientes	Planejar Circulação dos trens carregados	Programação de circulação	CCO Formação de Trens Prog Circulação de Trens Programação de Equipagens
Formação de trens	Programação de circulação	Programação de retorno das locos de auxílio	W's de auxílio e Vzões	CCO Prog Circulação de Trens Programação de Equipagens

Fonte: Elaborado pelo Autor

O SIPOC, visou entender e mapear todas as etapas, as entradas e saídas, os fornecedores e clientes do modelo de programação das locomotivas auxiliares, auxiliando nas percepções de valor que um novo modelo poderia trazer ao processo.

Figura 16 – Project Charter do projeto

PROJECT CHARTER			
<b>Projeto:</b>	V'zão Zero		
<b>Responsável:</b>	Gilberto Lucio da Silva Junior	<b>Data:</b>	13/05
<b>DESCRIÇÃO</b>			
Eliminar a circulação das locomotivas de auxílio no corredor A em dias de blackout.			
<b>OBJETIVOS GERAIS</b>	<b>ESCOPO</b>		
Redução de Custos	Dentro	Fora	
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	-Reduzir consumo de Diesel das Locomotivas -Reduzir a necessidade de equipagens -Ciclo das locomotivas no modelo proposto	-Regularidade de trens -Impactos à via permanente nas programações de intervalo.	
-Redução no consumo de Diesel nas locomotivas de auxílio -Redução no custo com equipagens -Redução no custo de manutenção -Operação mais limpa frente ao que é praticado -Retirada de restrição de destino das tabelas para carga.	<b>RESTRIÇÃO</b>		
	Estudo realizado com limite de produção de 31 trens/dia no corredor A		
<b>COMPORTAMENTO HISTÓRICO</b>			
Devido a necessidade de circulação de locomotivas para auxílio e uma baixa performance na circulação de trens pelo corredor A, foi implantado um modelo de V'zão. Esse modelo perpetua até os dias atuais, no entanto tivemos uma evolução significativa nos processos de circulação de trens, o que gerou a pergunta: Porque continuamos a realizar da mesma forma?			
<b>CRONOGRAMA</b>			
<b>Definir</b>	18/06		
<b>Medir</b>	01/07 a 01/08		
<b>Analisar</b>	01/08 a 15/08		
<b>Melhorar</b>	15/08 a 01/09		
<b>Controlar</b>	01/09 a 18/09		
<b>RESUMO</b>			
<b>Impacto do projeto</b>			
Redução no consumo de Diesel em locos de Auxílio			
<b>Impacto financeiro potencial</b> R\$ 2.038.338,56			

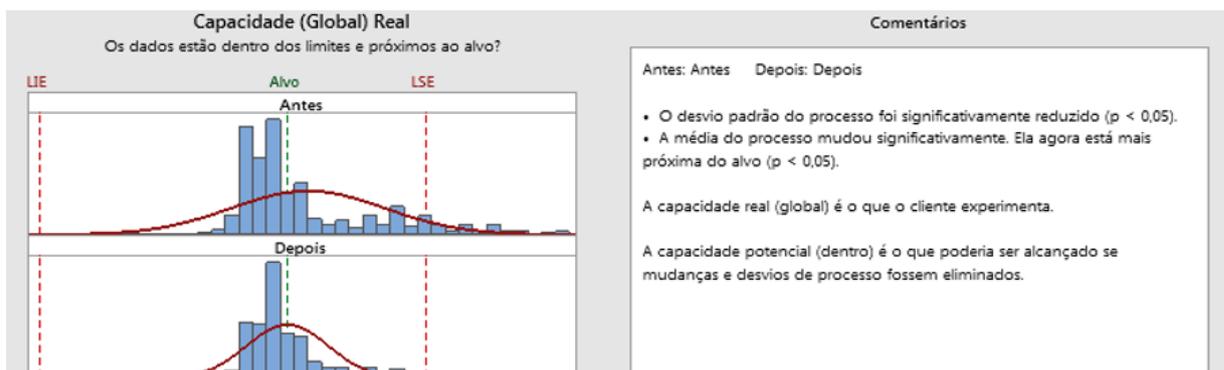
Fonte: Elaborado pelo Autor

Após a confecção do Project Charter, foi possível, dessa forma, direcionar as demais etapas visto que os objetivos propostos já estavam bem definidos.

#### 4.2 – MEASURE (Medir)

Nessa etapa, foram utilizados dados disponíveis na concessionária em questão para medir a aderência ao tempo planejado de paradas dos trens no pátio programado para o baldeio de trens (Figura 17) e o ciclo das locomotivas (Figura 18), comparando com o modelo proposto, com intuito de entender os possíveis impactos com a aplicação do novo modelo.

Figura 17 – Histograma Aderência ao tempo planejado de parada



Fonte: Elaborado pelo Autor

Nota-se pelo histograma, que existiam muitas amostras fora dos padrões estabelecidos, reflexo da demora na manobra das locomotivas no pátio programado para baldeio. Após a retirada da necessidade dessas manobras, em função do novo modelo de auxílio, a aderência ao tempo planejado melhorou consideravelmente.

Figura 18 – Ciclo das locomotivas por modelo

Modelo Antigo								W	
ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5	ETAPA 6	ETAPA 7	ETAPA 8		
02:17	00:41	06:33	06:00	06:53	05:02	02:15	08:03	1,57	
ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5	ETAPA 6	ETAPA 7	ETAPA 8	V	Ponderado
02:17	00:41	11:43	04:55	10:10	02:07	02:41	08:44	1,81	1,62
Modelo Proposto								W	Ponderado
ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5	ETAPA 6	ETAPA 7	ETAPA 8		
02:04	00:37	06:17	06:16	07:28	05:44	02:06	08:03	1,63	1,61

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor

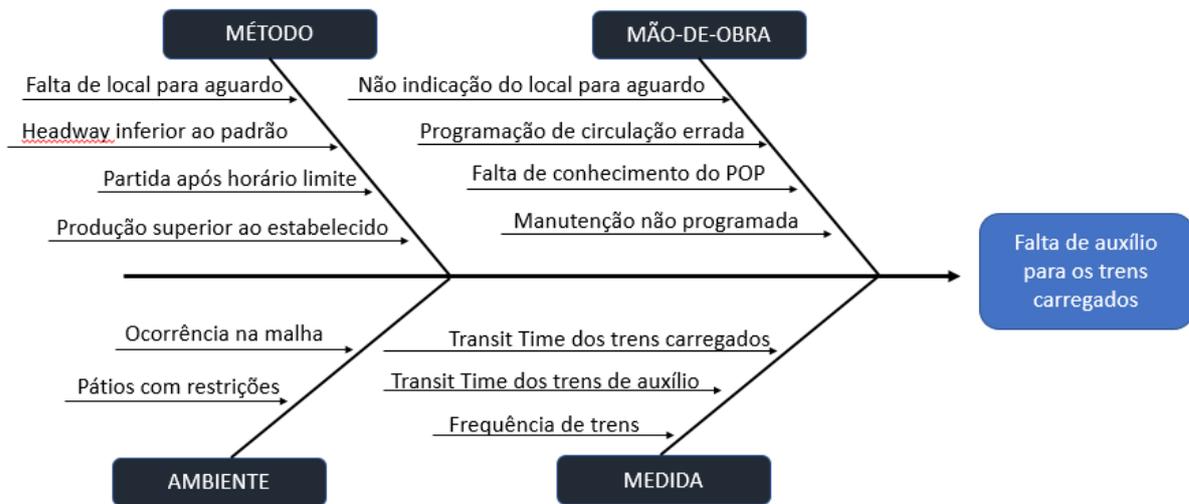
Como pode-se observar em ambas as figuras, o comportamento melhorou frente ao que era realizado, reduzindo inclusive o ciclo planejado das locos, o que faz com que a necessidade de locomotivas nesse fluxo também reduza, confirmando então a hipótese apresentada como solução.

### 4.3 – ANALYZE (Analisar)

Uma das ferramentas utilizadas nessa etapa, foi o Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Espinha de Peixe, cujo o objetivo foi organizar o raciocínio, a lógica do problema e de forma preventiva, mapear as possíveis causas que possam gerar falta de auxílio para os trens carregados.

A construção dessa ferramenta, foi elaborada com as áreas envolvidas no processo, através das observações na execução do novo modelo, buscando um mapeamento preventivo de possíveis falhas e suas causas.

Figura 19 – Diagrama de Ishikawa (Espinha de peixe) - Preventivo



Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.4 – IMPROVE (Melhorar)

Com o objetivo de gerar as saídas da fase anterior, propondo soluções e avaliando os riscos de implementação, essa fase é a responsável por colocar em prática as soluções encontradas durante as demais etapas e realizar os ajustes e melhorias quando necessários.

No decorrer dos testes, pôde-se observar que em algumas vezes o local de aguardo prejudicou a manutenção, visto que havia uma manutenção programada para o local, mas a ocupação o trecho pelo trem de auxílio, inviabilizava os trabalhos.

Com base nesse problema identificado, foi realizado um *benchmarking* (Figura 20) com área da manutenção, no qual foi possível desenhar um modelo em que mitigasse a falha nesse processo de planejamento do ponto de aguardo.

Figura 20 – Benchmarking programação manutenção

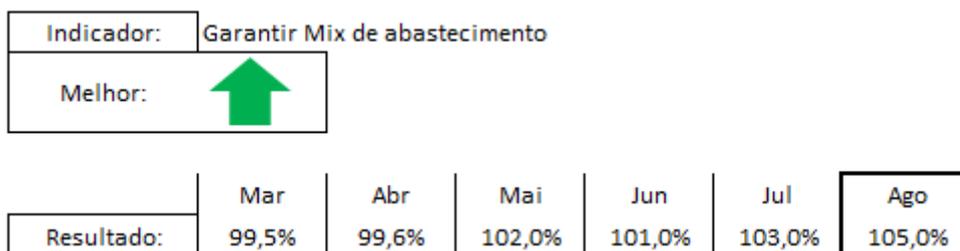


Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.5 – CONTROL (Controlar)

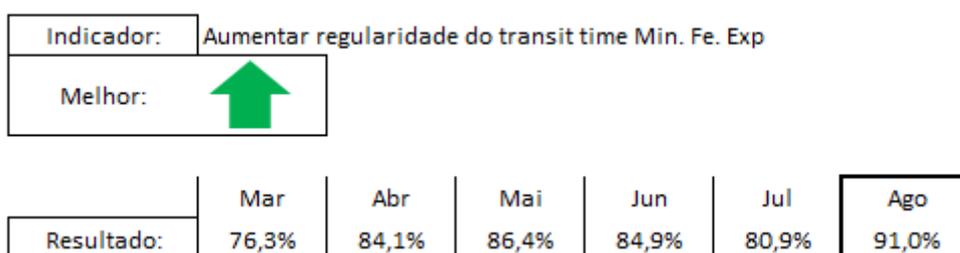
Durante essa fase, o objetivo foi medir os resultados alcançados e definir mecanismos que garantissem a sustentabilidade das melhorias implementadas. A implementação de ferramentas de controle (indicadores), auditorias do processo, e o monitoramento do desempenho, se mostraram fundamentais para efetivação da mudança, visto que o comportamento melhorou em todos os aspectos mensurados, conforme sequência de figuras abaixo.

Figura 21 – Indicador de abastecimento



Fonte: Concessionária (Adaptado pelo autor)

Figura 22 – Indicador de transit time



Fonte: Concessionária (Adaptado pelo autor)

Figura 23 – Indicador de permanência

Indicador:	Garantir regularidade da permanência em pátios críticos					
Melhor:						
Corredor A	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Resultado:	97,3%	97,2%	96,7%	96,9%	96,9%	99,5%
Corredor B	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Resultado:	60,9%	67,0%	69,0%	69,3%	68,4%	75,4%

Fonte: Concessionária (Adaptado pelo autor)

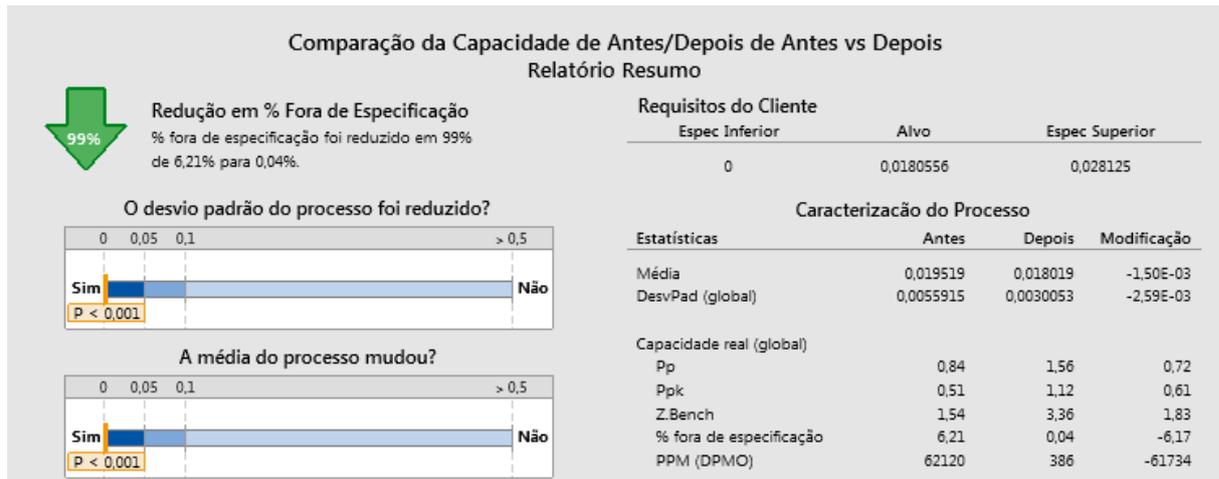
Um diário de bordo também foi disponibilizado, com a finalidade de mapear possíveis problemas do processo, onde serão preenchidas data/hora do problema ocorrido, bem como as ações corretivas realizadas e o responsável.

Além das ferramentas de controle acima citadas, foi realizado a construção de um POP (procedimento operacional padrão), objetivando a gestão do conhecimento para todas as áreas envolvidas no processo contendo as informações sobre: I-Objetivo; II-Aplicação; III-Insumos; IV-Siglas; V-Definições; VI-Procedimentos; VII-Registros; VIII-Histórico de revisões; IX-Referências e X-Anexos.

A capacidade do processo que visa a aderência ao tempo planejado de permanência dos trens em um dos pátios críticos para operação da concessionária objeto desse estudo melhorou significativamente, conforme pode-se observar na Figura 24, com base nos dados fornecidos pela operadora anteriores ao novo modelo vs dados posteriores à implantação.

A redução do em % fora de especificação chegou aos 99% de 6,21% para 0,04%, o que gerou uma maior confiabilidade na aderência ao transit time planejado.

Figura 24 – Comparação da capacidade



Fonte: Elaborado pelo Autor

## 5 – Conclusões

O presente trabalho possibilitou o estudo, a construção e a aplicação de um projeto Lean Six Sigma, por meio da realização de um estudo de caso, com o objetivo de definir um novo modelo operacional, em dias de manutenção, ao retorno das locomotivas de auxílio aos trens carregados em uma concessionária ferroviária, tendo os objetivos inicialmente estabelecidos alcançados.

Por meio do desenvolvimento deste estudo, foi possível a implantação de um novo modelo que gerou a redução nos custos operacionais envolvidos de aproximadamente R\$ 2,05 Mi por ano.

Também observou-se aumento na produtividade dos maquinistas, sendo os recursos anteriormente utilizados para manobras, reaproveitados em novos negócios, captando mais volume sem a necessidade de crescimento no headcount operacional.

O novo modelo, proporcionou ainda ganhos qualitativos referentes às manutenções realizadas no pátio programado para baldeio, eliminando as manutenções noturnas em dias de manutenção no trecho da malha utilizado para os trens carregados.

Outro ganho extremamente relevante, foi na diminuição dos impactos ambientais devido à redução na emissão de gases de efeito estufa referentes à maior eficiência no consumo de diesel, evitando a queima em aproximadamente 245mil / L / ano.

Também foi possível identificar que, o modelo até então utilizado havia sido implantado há alguns anos, não sendo revisitado após melhorias de processos de

circulação, reforçando a teoria desse trabalho sobre conhecer e controlar todos os processos, sendo isso possível através da metodologia apresentada.

Além disso, através dos estudos já realizados nas duas últimas fases, notou-se uma potencial melhoria em relação aos ganhos já captados, visto que algumas premissas para esse modelo de operação também devem ser revistas e melhoradas.

Diante dos resultados apresentados e oportunidades inicialmente identificadas, algumas recomendações para a continuação do trabalho podem ser relacionadas:

- Manter as aplicações das duas últimas etapas do método DMAIC (Improve e Control), dando continuidade ao modelo já implantado e captando novos ganhos;
- Identificação de modelos semelhantes realizados na concessionária para replicação do projeto;
- Implementação de indicadores para acompanhar os efeitos que as variações de produção podem causar ao modelo implantado, visto que o modelo foi todo embasado nas premissas atuais, gerando um teto de capacidade que, em algum momento, poderá ser revisitado.

Por fim, nota-se a que a metodologia Lean Six Sigma, cumpre os objetivos a que se propõe, sendo capaz de gerar melhorias de processos e redução de custos nas organizações.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, J. Sistemas de Produção: Conceitos e Práticas para Projeto e Gestão da Produção Enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.

ARIENTE, M., CASADEI, MARCO A., SPERS, EDUARDO E., GIULIANI, ANTÔNIO C., PIZZINATTO, NADIA K. Processo de mudança organizacional: estudo de caso do Seis Sigma. Rev. FAE, Curitiba, v.8, n.1, p.91-92, jan./jun. 2005.

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC: Controle da Qualidade Total: No Estilo Japonês. Nova Lima – MG: INDG TECNOLOGIA E SERVIÇOS LTDA, 1992.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. O sistema ferroviário brasileiro, Brasília, Brasil, 2013.

Confederação Nacional Do Transporte (CNT). (2017). Anuário CNT do Transporte – Estatísticas Consolidadas. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 234p.

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.

DENNIS, Shook, -.A.D. J. Produção Lean Simplificada - Um Guia para Entender o Sistema de Produção mais Poderoso do Mundo,. Porto Alegre: Artmed, 2007. 9788577802913. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577802913/>. Acesso em: 01 May 2020.

DUARTE, Douglas dos Reis. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA – MODELO DMAIC - NA OPERAÇÃO DE UMA EMPRESA DO SETOR FERROVIÁRIO. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2011.

Falcão, V. A. A importância do transporte ferroviário de cargas para a economia brasileira e suas reais perspectivas de crescimento, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Brasil, 2013.

GIL, Carlos, A. Como Elaborar Projetos de Pesquisa, 6ª edição. São Paulo: Atlas, 2018. 9788597012934. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597012934/>. Acesso em: 05 May 2020

LEÃO, Lourdes Meireles. Metodologia do Estudo e Pesquisa: facilitando a vida dos estudantes, professores e pesquisadores. Petrópolis, RJ: Vozes, 2017.

MATOS, J.L. Implementação de um projeto de melhorias em um processo de reação química em batelada utilizando o método DMAIC. Dissertação (Mestrado). UFRGS, 2003.

MARTINS, Andrade, G. D. Estudo de Caso : Uma Estratégia de Pesquisa, 2ª edição. São Paulo: Atlas, 2008. 9788522466061. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522466061/>. Acesso em: 10 May 2020

MOREIRA, A.C.V.B., DARÉ, C.T., RODRIGUES, M.D.F. et al. Green Belts Industrial. v. 6. Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2004

OHNO, T. O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997

PALADINI, E. P. Perspectiva estratégica da qualidade. In: Carvalho, M. M.; Paladini, E. P. (Coords.). Gestão da Qualidade: Teoria e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, p.23-84, 2005.

PEREIRA, G. Medeiros; Presença dos princípios da mentalidade enxuta e como introduzi-los nas práticas de gestão das empresas de transporte coletivo de Porto Alegre; UNISINOS, 2009

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de, Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico , 2ª Ed., Novo Hamburgo - RS, Associação Pró-Ensino Superior em Novo Hamburgo - ASPEUR Universidade Feevale, 2013.

Rodrigues, M. V. *Entendendo, Aprendendo e Desenvolvendo Sistemas de Qualidade Seis Sigma*. Rio de Janeiro Grupo GEN, 09/2015. 9788595155824. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155824/>. Acesso em: 18 Mai 2020

ROTONDARO, R. G. Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 2008.

SIQUEIRA, M.A. Campos Causa & Efeito: Retorno em dose dupla. Boletim Siqueira Campos ano XII - nº 24, Pág 1-2. Porto Alegre, 2009.

Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2009). Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 3ª Ed.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. Criando a cultura Seis Sigma. Nova Lima: Werkema, 2004.

WERKEMA, C. Lean Seis Sigma: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2010.

WERKEMA, Cristina. Criando a cultura lean seis sigma. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

Werkema, C. *Ferramentas Estatísticas Básicas do Lean Seis Sigma Integradas*. Belo Horizonte; Grupo GEN, 08/2014. 9788595152311. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595152311/>. Acesso em: 22 Maio 2020

Womack, P., & Jones, T. (2005). Lean Consumption. Harvard Business Review, 83: 58-68.