

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA A REDUÇÃO DE TEMPOS NA PERFURAÇÃO DE POÇOS

Lais Gomes Barbosa da Silva

laisgomesb@gmail.com

Duan Vilela Ferreira

duanvilela@gmail.com

Luiz Henrique Ramos da Silva Filho

lhramosfilho1@gmail.com

Eliabe Vitória Nascimento

eliabenascimento@gmail.com

Tereza Raquel Cezar Viana de Andrade

raquelvianadeandrade@gmail.com



A busca pela melhoria da qualidade visando a sobrevivência no mercado competitivo tornou-se fator crítico para obter a satisfação dos clientes e das partes interessadas. Assim, o investimento em técnicas de gestão que visam a otimização de processos e redução de custos tornou-se uma necessidade. Neste sentido, o método DMAIC, originado da metodologia seis sigma, é considerado uma ferramenta eficaz ao se tratar de encontrar soluções para os problemas identificados em um processo. O presente trabalho apresenta a aplicação da metodologia DMAIC no processo de perfuração de poços visando comprovar a aplicabilidade do método. O estudo de caso aborda a realidade atual do processo de perfuração de poços com foco na redução de tempos perdidos e no aumento do desempenho operacional. Após a aplicação das ferramentas tem-se como resultado o aumento projetado da eficiência em 11,52%, e como consequência a redução de 50% de custos relacionados à paradas da operação.

Palavras-chave: Perfuração, Metodologia DMAIC, Otimização de Processos

1. Introdução

Com a grande competitividade do mercado no cenário atual as empresas buscam cada vez mais a melhoria dos processos visando a redução de custos, conseqüentemente o aumento da lucratividade e a satisfação do cliente. Pode-se considerar que a busca pela perfeição nos processos é fator crítico para o sucesso de uma empresa.

Com o objetivo de alcançar os requisitos exigidos pelos consumidores as empresas buscam estratégias e modelos diferenciados. A metodologia Seis Sigma, de acordo com Werkema (2011) é uma estratégia gerencial que tem como objetivo aumentar expressivamente a eficiência e lucratividade das empresas através da melhoria da qualidade dos produtos ou processos, e conseqüentemente maior satisfação dos consumidores.

No Brasil, o interesse pelo Seis Sigma vem aumentando a cada dia. A pioneira na aplicação foi o grupo Brasmotor, que obteve grande retorno a partir dos primeiros projetos concluídos. Atualmente outras empresas estão utilizando o Seis Sigma no país, como a Votorantim, Vale, Brahma, GE Plastics, Grupo Gerdau, ALL, Fiat Automóveis, entre outras.

De acordo com Werkema (2012) o seis sigma utiliza ferramentas estatísticas clássicas por meio de um método de solução de problemas conhecido como o DMAIC, que segue cinco etapas: Definir (D - Define), Medir (M - Measure), Analisar (A - Analyze), Melhorar (I - Improve) e Controlar (C - Control). As etapas são executadas visando seguir uma direção definida.

O processo de perfuração de poços envolve diversos fatores que contribuem para a ocorrência de altos custos e oscilação no desempenho operacional. Visando reduzir a variação do desempenho do processo e cortar o desperdício, a aplicação do modelo DMAIC na perfuração de poços ajudará a reduzir os enormes custos associados a esta atividade, além de aumentar e manter o desempenho.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo a aplicação da metodologia DMAIC e das suas principais ferramentas em uma mineradora em Sergipe, visando a redução de tempos perdidos e o aumento da eficiência operacional do processo.

2. Base conceitual

2.1. Controle de qualidade

O controle de qualidade moderno iniciou-se em meados de 1930 nos Estados Unidos. No entanto, a aplicação teve maior visibilidade na Segunda Guerra Mundial, sendo possível a produção de suprimentos militares de qualidade, menor preço e grande quantidade, atendendo as necessidades e as condições da guerra. (WERKEMA, 2011)

Definindo o termo "qualidade", Werkema (2011) afirma que é um bem ou serviço que atende de forma confiável, acessível e segura as necessidades do cliente. Em confirmação, Porsale (2014) diz que qualidade é o atendimento a todos os requisitos exigidos que tornam um bem ou serviço totalmente adequado para o fim que foi concebido.

De acordo com Werkema (2014), todos os processos de produção apresentam variabilidade (dispersão ou variação) devido a diversos fatores. Ribeiro e Caten (2012) afirmam que essas variações podem ocorrer por pequenas diferenças peça a peça (habilidade do operador/prestador de serviço, diferenças na matéria-prima, entre outros), alterações no processo (desgaste de máquinas e ferramentas, condições climáticas) e alterações bruscas no processo (mudança no procedimento padrão, queda de corrente, setup etc.).

Visto que as variações em um processo são inevitáveis, Marshall Junior et al. (2012) afirmam que o problema não é a variação em si, e sim mantê-las nos limites aceitáveis. A necessidade do controle de processo foi o ponto de partida para o desenvolvimento de técnicas estatísticas e de controle da qualidade.

Nesse contexto, as empresas procuram aplicar uma gestão de qualidade cada vez mais eficiente e visam a melhoria contínua dos processos. Para isso, são aplicados modelos com intuito de oferecer uma qualidade diferenciada, como o seis sigma e o modelo DMAIC.

2.2. A metodologia seis sigma

Segundo Rodrigues (2013), o objetivo da estratégia seis sigma tem como base agregar valores ao processo ou produto visando a satisfação do cliente, por meio da redução de custos do processo. A aplicação da metodologia é feita a partir da elaboração de projetos que utilizam técnicas estatísticas para a medição e acompanhamento do desempenho da empresa. Reis (2016) afirma que o seis sigma não propõe uma nova metodologia, e sim estabelece projetos para melhoria e soluções de problemas.

Sigma representa desvio padrão, e é uma medida do nível de qualidade de um processo. Quanto menor o desvio padrão, melhor o processo. A escala sigma é um meio de medir o

nível de qualidade, e quanto maior, melhor. Utilizando essa escala, seis sigma significar aceitar como limite máximo 3,4 defeitos por um milhão de oportunidades. (JUNIOR, 2011)

Vale destacar os principais benefícios do Seis Sigma: processo uniforme em relação à saída dos produtos; redução de defeitos e de custos; aumento da produtividade; mudança de cultura de gestão; satisfação do consumidor e consequentemente o aumento do volume de vendas. (RODRIGUES, 2013)

A média de nível de qualidade utilizada nas empresas pelo mundo é entre três e quatro sigma. Segue tabela de comparação entre 3,8 sigma e o 6 sigma. As vantagens do foco no Seis Sigma aparecem na tabela 1 que mostra as diferenças entre processos 3,8 σ (padrão usual das melhores empresas) e 6 σ , de acordo com Wekerma (2012):

Tabela 1- Comparação entre o padrão atual das boas empresas (3,8 σ) com o Seis σ

99% Bom/Conforme (3,8 Sigma)	99,99966% conforme (Seis Sigma)
20.000 artigos perdidos de correio por hora	7 artigos perdidos de correio por hora
2 aterrissagens curtas ou longas nos principais aeroportos todos os dias	1 aterrissagem curta ou longa nos principais aeroportos a cada cinco anos
200.000 prescrições de medicamentos incorretos por ano	68 prescrições de medicamentos incorretos por ano
11,8 milhões de ações indevidamente negociadas na NYSE todo dia	4.021 de ações indevidamente negociadas na NYSE todo dia
7 horas de falta de energia elétrica por mês	1 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 pedidos de garantia para cada automóvel novo	1 pedido de garantia para cada 980 automóveis novos
3.000 cartas extraviadas para cada 300.000 cartas postadas	1 carta extraviada para cada 300.000 cartas postadas
48.000 a 96.000 mortes atribuídas a erros hospitalares todo ano	17 a 34 mortes atribuídas a erros hospitalares todo ano
15 minutos de fornecimento de água não potável por dia	1 minuto de fornecimento de água não potável a cada sete meses

Fonte: adaptado de Wekerma (2012)

Dentre as metodologias aplicadas no processo de implantação do Seis Sigma, a mais utilizada é o DMAIC, que é um dos segredos do sucesso do Seis Sigma. O DMAIC se divide nas etapas Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar.

2.2.1. O modelo DMAIC

O seis sigma é uma metodologia que funciona acompanhada de alto comprometimento e disciplina. Para alcançar os resultados desejados utilizam-se ferramentas estatísticas clássicas seguindo o passo a passo do DMAIC, que é um método de solução de problemas de sequência lógica e eficaz.

A seguir tem-se a descrição das etapas, de acordo com Reis (2005):

- D - Define (Definir): Definir com precisão o escopo do projeto e o que deve ser considerado como defeito, formar a equipe para atuar no projeto além de estimar o impacto econômico;
- M - Measure (Medir): Determinar a localização e o foco do problema por meio da análise dos dados da atual operação e os indicadores de desempenho; definir as variáveis de entrada e de saída, além de mapear e analisar o processo;
- A - Analyze (Analisar): Determinar as causas do problema prioritário, procurando as fontes de variabilidade que interferem no desempenho de forma crítica;
- I - Improve (Melhorar): Propor, avaliar e implementar soluções para o problema prioritário, buscando eliminar os efeitos das principais fontes de variabilidade;
- C - Control (Controlar): Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo, por meio do desenvolvimento de mecanismos para manter o nível máximo de desempenho, além de monitorar as novas condições do processo.

Em resumo, o DMAIC tem maior foco na etapa de investigação das causas raízes das variações do processo por permitir a utilização de ferramentas estatísticas. Além disso, proporciona as empresas o desenvolvimento de projetos para aumentar a satisfação do cliente, aumentar a receita, reduzir custos fixos e variáveis.

2.3. Processo de perfuração de poços

Para que seja possível fazer a exploração de uma reserva que geralmente é encontrada em bolsões profundos (terrestre ou marítimo) é necessário de três macro passos: Prospecção, perfuração e exploração. Inicialmente é feita a prospecção geológica a análise detalhada do solo e subsolo para a localização da jazida. Com as jazidas encontradas segue-se para a etapa de perfuração, e por fim há a exploração para o devido processamento e consumo.

De acordo com Thomas (2011), a perfuração de um poço é realizada através de uma sonda. Na perfuração rotativa as rochas são perfuradas através da rotação de uma broca localizada na

extremidade de uma coluna de perfuração. A rotação é transmitida da superfície pelo *top drive* ou mesa rotativa para a coluna, que gira a broca para a execução da perfuração. Além de girar a broca, a coluna também tem função de aplicar peso sobre a mesma e conduzir o fluido de perfuração no processo.

Ao atingir uma certa profundidade (chamada de primeira fase), a coluna de perfuração é retirada do poço e em seguida é inserida uma coluna de revestimento, que tem diâmetro menor que o da broca. O espaço entre o tubo de revestimento e as paredes do poço é cimentado para que se obtenha a fixação e vedação eficientes. Após a cimentação a coluna de perfuração desce novamente, tendo uma broca de diâmetro menor para a perfuração da segunda fase, e assim por diante. (THOMAS, 2011)

2.3.1. Tempos perdidos na perfuração de poços

São classificados como tempos perdidos ou *downtime* todo o tempo de sonda sem avanço de perfuração do poço, devido a quebra de equipamentos, paradas por condições adversas, paradas para reparo, acidentes de trabalho, falha humana, entre outros. O tempo paralisado acarreta em altos custos, desperdício de tempo, baixa confiabilidade, ineficiência, entre outros fatores indesejáveis. (JÚNIOR, 2008)

Durante o processo de perfuração são coletados dados da operação diariamente por meio de boletins ou sistemas eletrônicos. A partir das informações é possível verificar as principais ocorrências de parada e quantificar o tempo perdido.

O principal impacto se deve nos custos elevados, já que operação parada significa aluguel de sonda e de equipamentos, além dos altos custos de reparo, substituições de peças e equipamentos, e outras manutenções. De acordo com Thomas (2011) os principais tipos de tempos perdidos são:

- Espera por material: Causados por falha de logística, falha de planejamento de materiais necessários, falta de comunicação e falta de controle de materiais e estoque mínimo para peças críticas.
- Quebra de equipamentos: Por estarem sujeitos a condições adversas e por serem de uso constante durante a operação os equipamentos estão sujeitos a ocorrência de falhas. Caso as falhas sejam em equipamentos críticos para a perfuração, é necessário que a operação seja paralisada para o reparo.

- Coluna presa: A prisão da coluna pode ocorrer devido ao diferencial de pressão entre o poço e a formação (geológica) através do mecanismo de sucção. Este problema é mais propício a ocorrer em poços direcionais devido ao contato da coluna com a parede do poço.
- Operações não planejadas: Ocorrem devido a problemas totalmente imprevisíveis como condições do poço (características geológicas) ou perda de fluido para o meio, entre outros.

3. Metodologia

De acordo com Gerhardt e Silvera (2009), uma pesquisa exploratória pode ser classificada como estudo de caso. Severino (2013) diz que esta se refere a um estudo que parte de um problema sem solução definida e exige que se analise os dados e evidências, além de desenvolver argumentos e propor soluções para tal. Dessa forma este trabalho apresenta tais características.

As técnicas utilizadas para a seleção da amostra e coleta de dados devem ser corretas e embasadas para que o estudo tenha confiabilidade. O sujeito estudado consiste no processo de perfuração de poços de uma empresa mineradora em Sergipe e como amostra foram utilizados 18 poços perfurados entre 2015 e 2016.

Os dados foram coletados por meio de Boletins Diários de Perfuração (BDP) fornecidos pela equipe de perfuração, e através de observações do processo. As análises das informações recebidas foram feitas baseadas no referencial teórico deste trabalho. Além disso, também foram colhidas informações da equipe envolvida no processo para melhor entendimento e interação da teoria e prática.

Características de métodos e técnicas foram utilizadas para a realização do estudo, fundamentando-se em fontes escritas ou não, fontes primárias (documentos) ou secundárias (livros, revistas, web) para pesquisas bibliográficas e análise prática que seguiram o seguinte planejamento: Pesquisa bibliográfica; Coleta de dados da operação; Compreensão do processo atual; Definição do problema e dos objetivos do projeto; Tratamento dos dados coletados com a aplicação da metodologia DMAIC visando buscar conclusões sobre o problema em estudo.

4. Resultados e discussões

Este trabalho é baseado em dados reais do processo de perfuração de poços para em uma Mineradora em Sergipe, com retorno futuro projetado. As operações ocorrem 24 horas por dia, 7 dias por semana, e as informações são registradas diariamente pela equipe de perfuração através do boletim diário de perfuração (BDP) e recebidas pela gerência de Planejamento e Controle. Através desses boletins é possível encontrar todas as informações das atividades referentes as atividades de operação do poço, além de dados técnicos como tipo de fluido, brocas utilizadas, entre outras informações.

Desta forma, à medida que os poços vão sendo perfurados, o acompanhamento é feito por meio do recebimento dos BDPs que são colocados em um banco de dados. Assim, é possível comparar o progresso da operação com o planejado no cronograma pré-estabelecido, onde contém as durações das atividades previstas para a perfuração de cada poço.

Por meio da análise do andamento do projeto notou-se uma grande quantidade de Horas Trabalhadas Não Planejadas (HTNP), que ocorrem devido a diversos fatores, implicando em custos imprevisíveis e atraso na operação.

Aplicando a metodologia, seguem as etapas de construção do trabalho.

4.1. Etapa definir

Baseado no histórico da perfuração de 18 poços entre 2015 e 2016, foi observado que a média de tempos perdidos por poço é de 74,6 horas, o que equivale a 17% do tempo gasto para a perfuração completa do poço.

Notou-se a oportunidade de aplicar o modelo DMAIC visando a redução de falhas operacionais e consequentemente a redução de tempos perdidos e custos. Assim, foi definida como meta a redução dos tempos perdidos em 50% no prazo de 1 ano, passando a ser no máximo 37,3 horas por poço, tornando a sonda mais eficiente.

O custo por má qualidade foi definido através do custo fixo do poço, incluindo despesas gerais (aluguel de veículos, ambulância, itens que são cobrados por dia, entre outros), apoio, custo de pessoal, manutenções, etc. O custo por hora parada em média equivale a ~R\$ 5.980,00, e por poço ~R\$ 456.872,00.

4.2. Etapa medir

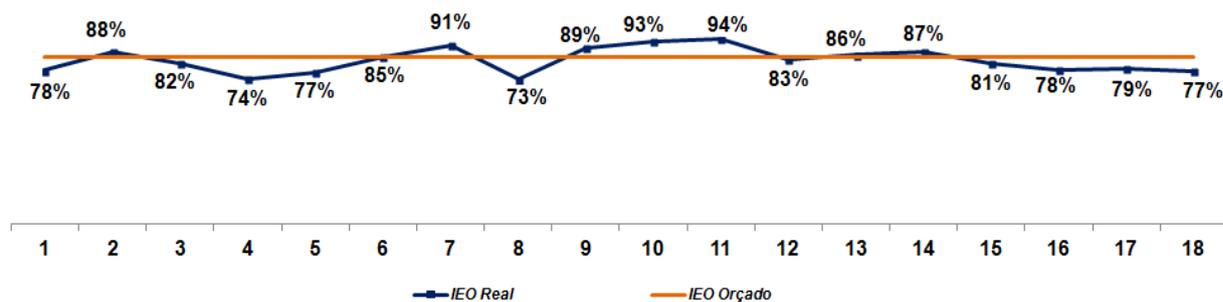
Para acompanhar o desempenho da operação é quantificando as horas trabalhadas (HT) e as horas trabalhadas não planejadas (HTNP), e assim calcula-se o Índice de Eficiência Operacional (IEO). Esse indicador permite medir o índice de eficiência da construção de um poço. Os dados são obtidos através do acompanhamento do cronograma de perfuração e pelas informações recebidas do boletim diário de perfuração.

Faz-se a razão entre a diferença das “Horas trabalhadas” e “Horas trabalhadas não planejadas” em relação as “Horas Trabalhadas”, conforme a fórmula. A frequência de coleta de dados é no fim da perfuração de cada poço, e considera-se a meta 85% (quanto maior melhor). A meta definida foi baseada em outros projetos que utilizaram o mesmo tipo de sonda que opera no processo atual.

$$IEO = \frac{HT - HTNP}{HT}$$

Nota-se a variação e inconsistência histórica do Índice de Eficiência Operacional dos 18 poços perfurados entre os anos 2015 e 2016, sendo bastante relevante intervir para que o desempenho acompanhe a meta estabelecida pela equipe.

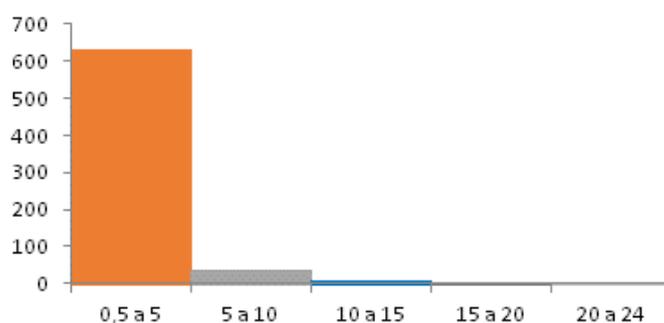
Gráfico 1 - Comparação IEO real x IEO orçado



Fonte: Autoria própria (2018)

Além disso, foi possível verificar por meio do histograma que a os problemas que demandam grande tempo para reparo (15 a 24 horas) ocorrem com pouca frequência. Em geral as falhas são reparadas de forma rápida, porém a ocorrência é muito alta.

Gráfico 2 - Histograma de frequência x duração dos reparos



Fonte: Autoria própria (2018)

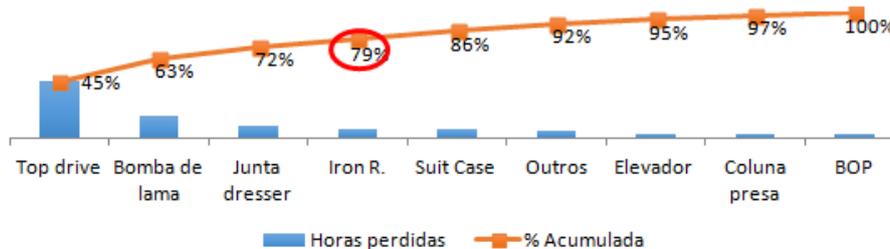
Visando diminuir a quantidade de paradas da operação, estratificou-se os dados para chegar ao foco das ocorrências, e através do gráfico abaixo foi possível visualizar quais os equipamentos que falham com mais frequência.

Tabela 2 - Estratificação dos dados

Item	%	% Acumulada
Top drive	45%	45%
Bomba de lama	18%	63%
Junta dresser	9%	72%
Iron Roughneck	7%	79%
Suit Case	7%	86%
Outros	6%	92%
Elevador	3%	95%
Coluna presa	3%	97%
BOP	3%	100%

Fonte: Autoria própria (2018)

Gráfico 3 - Diagrama de Pareto para equipamentos que mais falham



Fonte: Autoria própria (2018)

Pode-se observar que os equipamentos que devem ter maior atenção para que a redução de falhas seja significativa são *Top drive*, Bomba de lama, Junta tipo *dresser* e *Iron Roughneck*. Agindo nesses 4 equipamentos é possível reduzir aproximadamente 80% dos tempos perdidos por falhas operacionais e de manutenção.

4.3. Etapa Analisar

Nesta etapa foi feita a análise dos principais equipamentos identificados na etapa "medir" que contribuem para a ocorrência de horas paradas para apontar as possíveis causas, para que seja proposto um plano de ação no sentido de aumentar a eficiência operacional.

Para a identificação das principais causas de falhas foi utilizada a ferramenta de diagrama de causa e efeito para cada equipamento para que sejam identificadas as principais causas raízes. Os diagramas seguem nos anexos 1, 2, 3 e 4.

4.4. Etapa Melhorar

Para agir nas causas raízes e obter resultados, serão apresentados planos de ação para a busca da melhoria do processo, para cada equipamento, as quais serão priorizadas por ordem de baixo esforço e alto impacto.

Quadro 1 - Plano de ação para a Bomba de Lama

Bomba de Lama					
O QUE?	POR QUE?	COMO?	ONDE?	QUEM?	QUANDO?
Procedimento operacional	Para padronizar e conseqüentemente minimizar a ocorrência de desvios na execução das tarefas e assim haver o funcionamento correto do processo.	Elaborar um procedimento operacional das bombas de lama, elaborando um mapa de processo do sistema da qual as bombas são componentes (sistema de circulação) e cumprir cada etapa do processo.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
	Tornar a equipe familiarizada com processo e entender a importância de manter o processo funcionando corretamente.	Apresentar o fluxo do processo para toda a equipe de operação para a execução das etapas de acordo com o estabelecido.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
Plano de manutenção	Manter atenção nos equipamentos que falham com mais frequência, visando agir preventivamente.	Elaborar uma lista de controle dos itens que necessitam de manutenção com frequência.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
		Monitorar o equipamento com periodicidade estabelecida pela Gerência de Perfuração.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
		Realizar uma inspeção e manutenção para verificar se há vazamentos nas linhas e se o motor está em condições de operação.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
		Determinar o tempo médio entre falhas das válvulas e linhas para acompanhamento e planejamento de ações corretivas em menor tempo.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir

Continuação do quadro 1

Qualidade e disponibilidade das peças de reposição	Evitar a parada por espera devido a falta de materiais em estoque.	Fazer controle do estoque para manter um estoque mínimo das peças que são substituídas com maior frequência (definidas na lista da etapa de elaboração de procedimento operacional).	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
	Acompanhar se o atendimento dos fornecedores à empresa está satisfazendo as necessidades.	Criar indicadores de desempenho para os fornecedores para acompanhamento. Verificar o desempenho dos fornecedores das peças (qualidade, prazo de entrega, etc.) e assegurar que as peças sejam originais de acordo com a necessidade.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
	Evitar a entrada de cascalhos não desejados no sistema, evitando o entupimento dos filtros, e limpando-os com periodicidade.	Monitorar o controle de sólidos do sistema de circulação.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir

Fonte: Autoria própria (2018)

Quadro 2 - Plano de ação para o *Top Drive*

Top Drive					
O QUE?	POR QUE?	COMO?	ONDE?	QUEM?	QUANDO?
Manutenção Preventiva	Monitorar o equipamento visando agir preventivamente.	Monitorar o equipamento com periodicidade estabelecida pela Gerência de Perfuração.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
Qualidade e disponibilidade das peças de reposição	Evitar a parada por espera devido a falta de materiais em estoque.	Fazer controle do estoque para manter um estoque mínimo das peças que são substituídas com maior frequência (definidas na lista da etapa de elaboração de procedimento operacional).	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
	Acompanhar se o atendimento dos fornecedores à empresa está satisfazendo as necessidades.	Criar indicadores de desempenho para os fornecedores para acompanhamento.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
		Verificar o desempenho dos fornecedores das peças (qualidade, prazo de entrega, etc.) e assegurar que as peças sejam originais de acordo com a necessidade.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
Instalação de sensor	Para limitação da vibração no top drive. Ao chegar no limite o torque deve ser travado.	Verificar viabilidade de instalação de sensor de torque.	Na empresa	Empresa especializada	A definir

Fonte: Autoria própria (2018)

Quadro 3 - Plano de ação para a Junta Dresser

Junta tipo Dresser					
O QUE?	POR QUE?	COMO?	ONDE?	QUEM?	QUANDO?
Manutenção Preventiva	Monitorar o equipamento visando agir preventivamente.	Monitorar o equipamento com periodicidade estabelecida pela Gerência de Perfuração.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
Qualidade e disponibilidade das peças de reposição	Evitar a parada por espera devido a falta de materiais em estoque.	Fazer controle do estoque para manter um estoque mínimo das peças que são substituídas com maior frequência (definidas na lista da etapa de elaboração de procedimento operacional).	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
	Acompanhar se o atendimento dos fornecedores à empresa está satisfazendo as necessidades.	Criar indicadores de desempenho para os fornecedores para acompanhamento.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
		Verificar o desempenho dos fornecedores das peças (qualidade, prazo de entrega, etc.) e assegurar que as peças sejam originais de acordo com a necessidade.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
	Passar para o fornecedor as especificações para o atendimento das necessidades da operação, ou seja, material mais resistente ao fluido utilizado e às condições.	Trabalhar junto com o fornecedor para que as peças adquiridas sejam de melhor qualidade e atenda aos requisitos devido ao tipo de fluido utilizado.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
Treinamento	Oferecer conhecimento e habilidade com o equipamento visando evitar alto torque sobre a peça.	Proporcionar um treinamento para os operadores.	Na empresa	Empresa especializada	A definir

Fonte: Autoria própria (2018)

Quadro 4 - Plano de ação para o Iron Roughneck

Iron					
O QUE?	POR QUE?	COMO?	ONDE?	QUEM?	QUANDO?
Manutenção Preventiva	Monitorar o equipamento visando agir preventivamente.	Monitorar o equipamento com periodicidade estabelecida pela Gerência de Perfuração.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
Qualidade e disponibilidade das peças de reposição	Evitar a parada por espera devido a falta de materiais em estoque.	Fazer controle do estoque para manter um estoque mínimo das peças que são substituídas com maior frequência (definidas na lista da etapa de elaboração de procedimento operacional).	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
	Acompanhar se o atendimento dos fornecedores à empresa está satisfazendo as necessidades.	Criar indicadores de desempenho para os fornecedores para acompanhamento. Verificar o desempenho dos fornecedores das peças (qualidade, prazo de entrega, etc.) e assegurar que as peças sejam originais de acordo com a necessidade.	Na empresa	Equipe de Perfuração	A definir
Treinamento	Oferecer conhecimento e habilidade com o equipamento visando evitar alto torque sobre a peça.	Proporcionar um treinamento para os operadores.	Na empresa	Empresa especializada	A definir

Fonte: Autoria própria (2018)

4.5. Etapa Controlar

Após a implementação do projeto deve ser feito o acompanhamento para garantir que o objetivo seja alcançado e que permaneça a longo prazo. Assim, devem ser feitas avaliações em determinado intervalo de tempo, controlando e aplicando novas ações caso seja necessário.

Isso deve ser feito tanto para o acompanhamento dos tempos, quanto para verificar a redução de custos e comparar com o previsto no início do projeto. Como sugestão de controle dos resultados alcançados pode-se utilizar algumas ferramentas como:

- Procedimento padrão: Elaborar e garantir que os procedimentos padrão de manipulação dos equipamentos (sugeridos nos planos de ação na etapa anterior) sejam seguidos a fim de alcançar a execução da tarefa com sucesso.
- Relatórios de anomalias: Registrar as anomalias encontradas no processo com as possíveis causas, plano de ação, sintomas, etc.
- Indicadores de desempenho: Estabelecer métricas para quantificar o desempenho de acordo com os objetivos estabelecidos. Criar e acompanhar indicadores de desempenho para os fornecedores de materiais visando garantir o atendimento às necessidades dos materiais. Criar e acompanhar indicadores de manutenção para controle de frequência de ocorrência de falhas, e acompanhar os indicadores de custo do poço para verificar a redução nos gastos.

Para a projeção dos ganhos econômicos com a aplicação do projeto considera-se o plano de perfuração para o próximo ano, que consiste na conclusão de 20 poços, onde a estimativa de gastos com horas paradas pode chegar a:

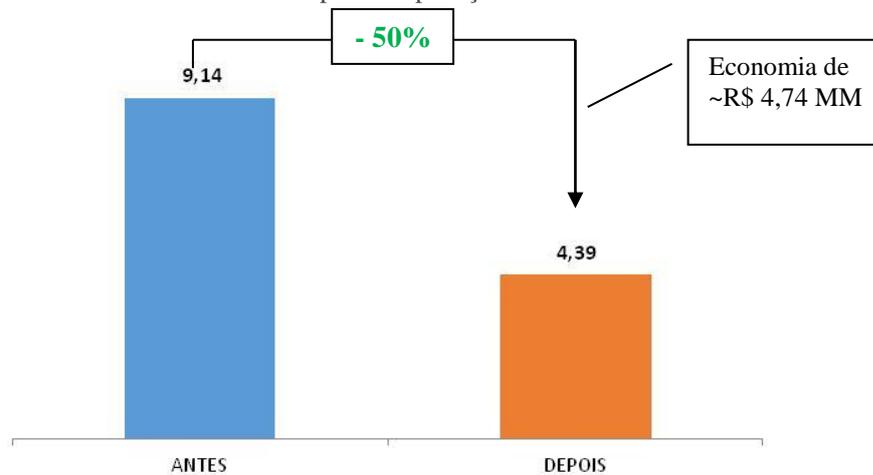
$$\text{R\$ } 5.890,00 \times 37,3\text{h/poço} = \text{R\$ } 219.697,00/\text{poço}$$

Em economia, tem-se R\$ 219.967,00 por poço, que representa 6% do valor gasto para a perfuração de 1 unidade. Porém, considerando que para o próximo ano há o planejamento de perfuração de 20 poços, o valor economizado é bastante significativo. Assim, a economia anual será:

$$\text{R\$ } 219.697,00/\text{poço} \times 20 \text{ poços} = \sim \text{R\$ } 4.393.500,00/\text{ano}$$

A seguir tem-se a comparação do dinheiro desperdiçado projetado para 2017 e no processo atual, considerando a perfuração de 20 poços, em R\$ MM.

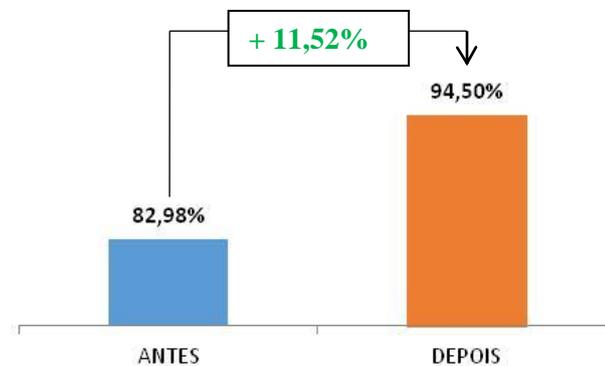
Gráfico 4 - Gastos antes x depois da aplicação do DMAIC em R\$ MM



Fonte: Autoria própria (2018)

Com a redução dos tempos perdidos há o aumento do índice de eficiência operacional, que antes em média era 82,98%, e com a execução da metodologia pode-se chegar à média de 94,50%.

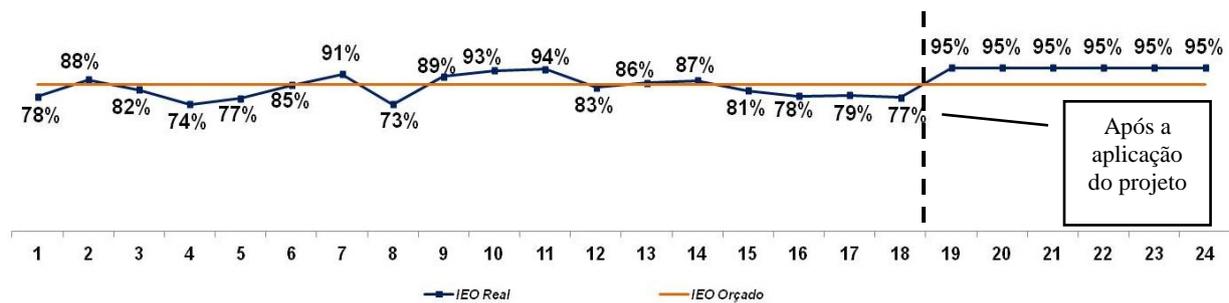
Gráfico 5 - Eficiência operacional antes x depois da aplicação do DMAIC em %



Fonte: Autoria própria (2018)

Levando em consideração que o limite mínimo estabelecido pela equipe de perfuração é 85%, e que quanto maior melhor, após a aplicação do projeto pode-se projetar o aumento da eficiência para os demais poços planejados no plano de perfuração para o ano seguinte.

Gráfico 6 - Comparação do IEO antes e depois da aplicação do projeto



Fonte: Autoria própria (2018)

4. Considerações finais

Através do presente estudo de caso foi possível demonstrar a aplicabilidade da metodologia DMAIC visando aumentar a eficiência operacional da perfuração de poços de uma mineradora em Sergipe por meio da redução de ocorrência de tempos perdidos, tendo o objetivo alcançado.

Através da análise do processo de perfuração foi possível identificar que as paradas por operações não planejadas devem ser reduzidas de acordo com as ações para a diminuição de tempos perdidos. Por meio de uma análise mais profunda pode-se concluir que as principais ocorrências são causadas por falhas de peças e equipamentos como bomba de lama, *Top Drive*, *Iron Roughneck* e *Junta dresser*.

Logo, visando o aumento do desempenho e redução dos tempos perdidos foram propostos planos de ação para cada equipamento ou peça, podendo-se resumir como principais ações: Elaborar procedimento operacional padrão, oferecer treinamentos para os operadores, elaborar um plano de manutenção preventiva visando agir antes que a parada ocorra, definir plano de monitoramento dos equipamentos, verificar disponibilidade e qualidade das peças utilizadas e criação de indicadores de manutenção.

Colocando o plano em ação foi possível projetar os resultados a serem obtidos em relação ao desempenho e em relação à execução financeira. Quanto ao desempenho é possível alcançar a performance de 11,52% a mais que a média atualmente, atingindo 94,50% de índice de eficiência operacional. Na análise financeira conclui-se que a redução de gastos com as paradas chega a 50%, ou seja, economia da metade do dinheiro desperdiçado atualmente com tempos perdidos.

Diante do exposto, é possível concluir que a aplicação do estudo na empresa contribui para redução de custos, aumento da performance, o maior controle e padrão do poço perfurado e maior aderência aos tempos e custos planejados para a perfuração. Conclui-se que a metodologia DMAIC é eficiente para a solução de problemas, viabilizando o alcance dos objetivos organizacionais.

REFERÊNCIAS

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2009;

JÚNIOR, A. N., **Introdução ao Lean Seis Sigma: Coleção Melhoria Contínua** - Livro 1 - 2ª ed. - Brasil: Clube de Autores, 2011;

MARSHALL JUNIOR, Isnard; CIERCO, Agliberto Alves; VARANDA, Alexandre. **Gestão da qualidade**. 10. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2010. (Gestão empresarial);

PORSALE, Roberto. **Ferramentas da qualidade**. São Paulo: Senais - Sp, 2014.

REIS, M. S., **Estatística: A perspectiva Seis Sigma**, Coimbra: Imprensa Universidade de Coimbra, 2016;

RIBEIRO, José Luís Duarte; CATEN, Carla Shwengber Ten. **Controle Estatístico do Processo**. Porto Alegre: Feeng/ufrgs, 2012. (Monográfica Qualidade).;

RODRIGUES, M. V., **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo qualidade no padrão seis sigma**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2013;

ROTONDARO, Roberto G., **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**, 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2002;

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2013;

THOMAS, José Eduardo (Org.). **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência: Petrobrás, 2011;

WERKEMA, C., **Lean Seis Sigma: Introdução às ferramentas do lean manufacturing** - 2ª ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2011;

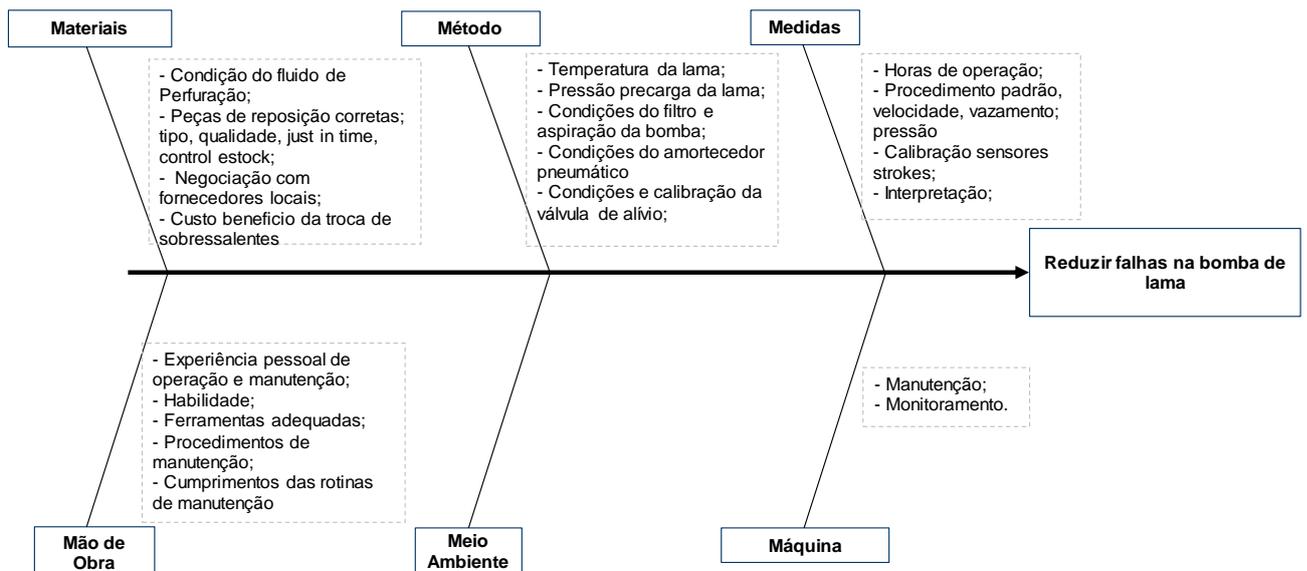
WERKEMA, C., **Criando a cultura Lean Seis Sigma** - 3ª ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2012;

WERKEMA, Cristina. **Ferramentas estatísticas básicas do lean seis sigma integradas ao PDCA e DMAIC**. Rio de Janeiro: Campus, 2014;

ANEXOS

Anexo 1

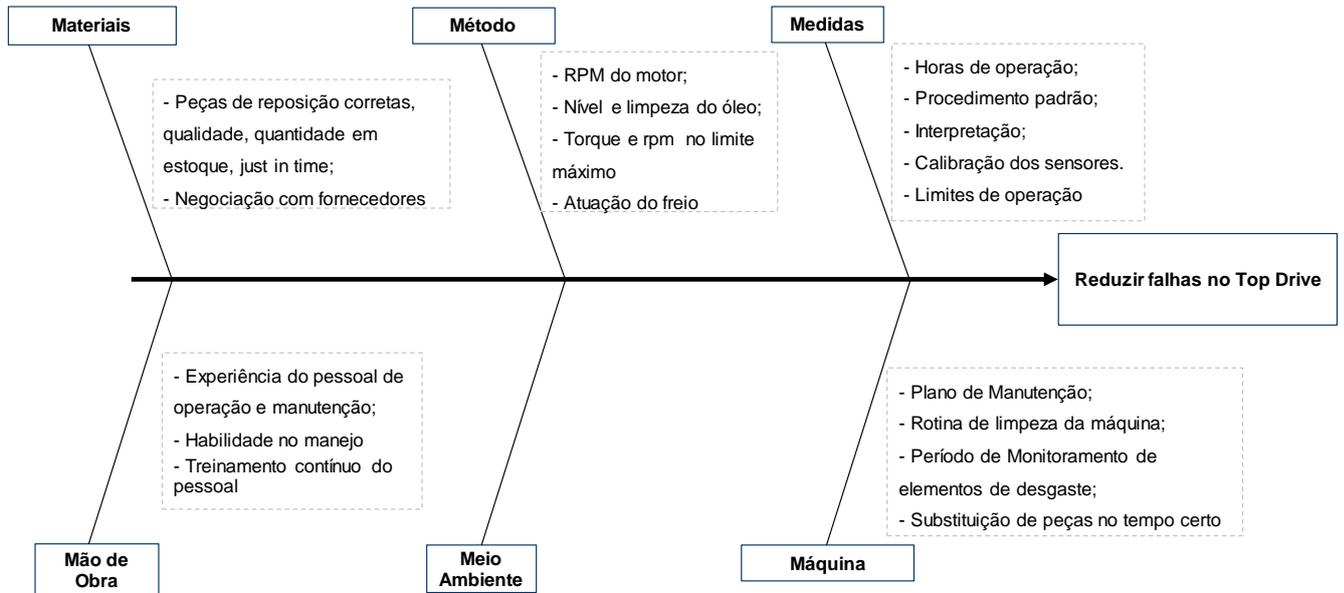
Figura 1 - Diagrama de causa e efeito para a bomba de lama



Fonte: Autoria própria (2018)

Anexo 2

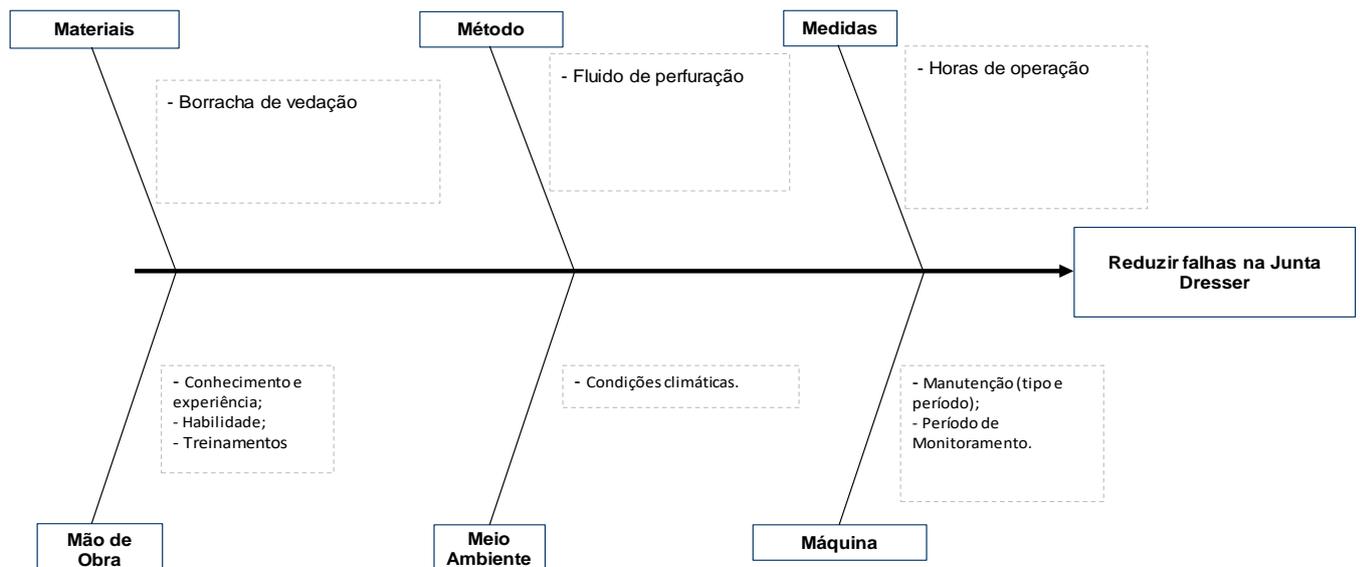
Figura 2 - Diagrama de causa e efeito para o *Top Drive*



Fonte: Autoria própria (2018)

Anexo 3

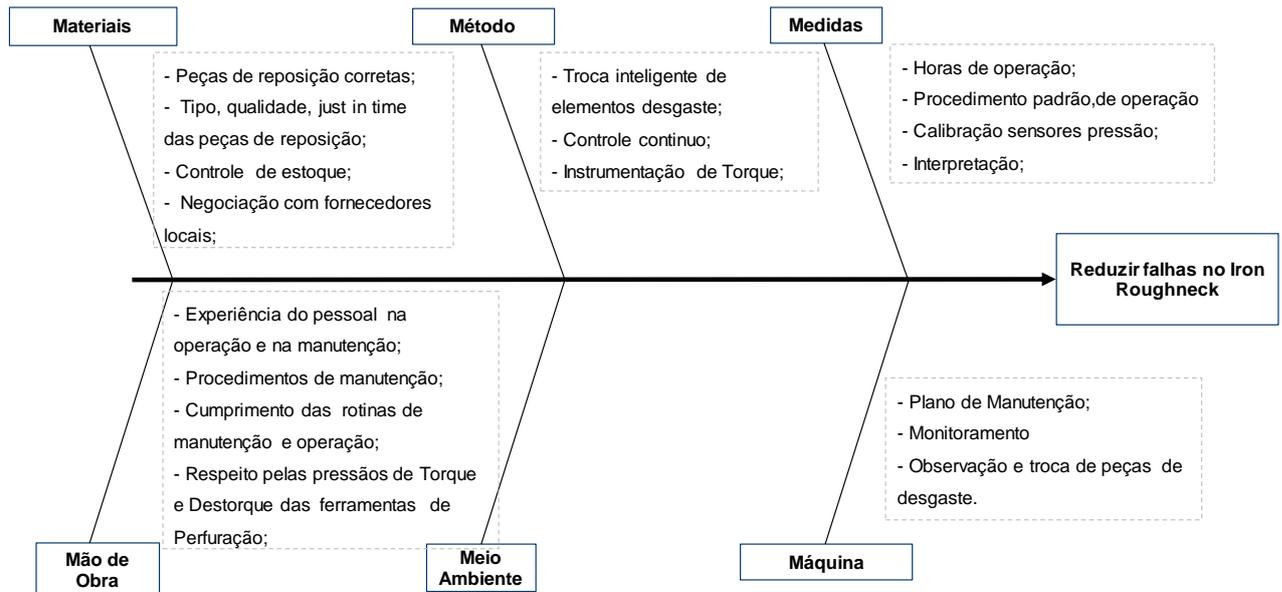
Figura 3 - Diagrama de causa e efeito para a Junta *Dresser*



Fonte: Autoria própria (2018)

Anexo 4

Figura 4 - Diagrama de causa e efeito para o Iron Roughneck



Fonte: Autoria própria (2018)