



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

MURILO ALMEIDA SOLDI

**Problemas de leitura de Códigos em Matriz 2D e seus impactos em
um complexo processo de manufatura do setor automobilístico**

Taubaté - SP
2019



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

MURILO ALMEIDA SOLDI

**Problemas de leitura de Códigos em Matriz 2D e seus impactos em
um complexo processo de manufatura do setor automobilístico**

Trabalho de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade de Taubaté, como parte dos
requisitos para obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Prof. Dr. Mauro Pedro Peres

Taubaté
2019



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

SIBi - Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

S684p Soldi, Murilo Almeida
Problemas de leitura de códigos em matriz 2D e seus impactos em um complexo processo de manufatura do setor automobilístico / Murilo Almeida Soldi. – 2019.
43f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Mauro Pedro Peres, Departamento de Engenharia Elétrica.

1. DMAIC. 2. Matriz 2D. 3. Metodologia 6-Sigma. 4. Qualidade. 5. Resolução de problemas. I. Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica. III. Título.

CDD 658.562



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**PROBLEMAS DE LEITURA DE CÓDIGOS EM MATRIZ 2D E SEUS IMPACTOS
EM UM COMPLEXO PROCESSO DE MANUFATURA DO SETOR
AUTOMOBILÍSTICO**

MURILO ALMEIDA SOLDI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA”

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES

Orientador/UNITAU-DEE

Prof. RUBENS CASTILHO JUNIOR

UNITAU-DEE

Prof. Me. EDER SALIM MINHOTO

UNITAU-DEE

Novembro de 2019



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

DEDICATÓRIA

de modo especial aos meus pais que nunca hesitaram em sacrificar tempo e recursos financeiros para que eu e meu irmão pudéssemos ter uma formação profissional digna



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de toda força e coragem para lutar pelos sonhos e não desistir nunca. Agradeço a Ele pela minha inteligência, pelas pessoas que estão presentes no meu dia a dia e principalmente pela minha família.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Mauro Pedro Peres e ao Diretor do Departamento de Energia Prof. Me. Éder SalimMinhoto, que jamais deixaram de me incentivar e auxiliar nas fases difíceis do curso. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

Aos meus pais *Marcos e Beatriz*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos e não me deixaram desistir nunca, não importasse o tamanho da barreira que estivesse à minha frente. Seus conselhos foram extremamente importantes para que eu conseguisse chegar onde cheguei.

Às funcionárias da Secretaria da Engenharia Elétrica, em especial à *Sílvia*, pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar a fazer com que conseguisse ajustar minha grade horária e pudesse me formar nesse período.

À todos que estiveram ao meu lado, ouvindo, aconselhando e motivando-me para que continuasse firme em busca do diploma de Engenheiro Elétrico, obrigado.



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

“Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa
e esperar resultados diferentes.”

Albert Einstein



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

RESUMO

Neste trabalho aborda-se os impactos em que uma simples falha de leitura de um código de matriz 2D, usado para futura rastreabilidade do produto final, pode afetar tão gravemente a eficiência da produção, causando paradas de linhas, efeito extremamente prejudicial aos indicadores de produtividade e de qualidade do produto. Essa oportunidade de melhora de processo foi aproveitada junto à aplicação da metodologia proposta pelo 6-sigma e sua principal ferramenta, o DMAIC. Além de gerar conhecimento técnico a todo o time envolvido no processo de montagem e de leitura das peças em questão, a confirmação da eficácia de identificação e solução de problemas proposta pelo 6-Sigma deixa o ambiente de trabalho mais seguro para a utilização da mesma, visto que padroniza-se uma forma de se gerir toda uma organização através de um mesmo processo metodológico. Em adição, com o problema solucionado, pode-se ver impactos financeiros e organizacionais diretos no dia a dia do time.

PALAVRAS-CHAVE: Matriz 2D. Qualidade. Resolução de problemas. Metodologia 6-Sigma. DMAIC.



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

ABSTRACT

This project goes straight to what kind of troubles a simple failure on a very complex assembly line can cause, due to a 2D matrix for example, which is used for future an engine trackability. These troubles affect very negatively the assembly line due to its stops and because of problems that come along with it, affecting the production indicators and the quality indicators as well. This was a great opportunity to install the 6-Sigma methodology and its main tool, the DMAIC roadmap. Beyond generating technical knowledge to everybody who was involved on this project, this was a great chance to ensure that the 6-Sigma methodology works efficiently and is capable to solve problems. Besides this, keeps the team safe to work with this theory once everybody know it works when taken seriously. In addition to that, the project was also capable to bring positive financial results when eliminating time wasting from the assembly line and from the workers.

KEYWORDS: 2D Matrix. Quality Assurance. Problem solving. 6-Sigma methodology. DMAIC



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa numérico para classificação das matrizes 2D	17
Figura 2 – Exemplo de erro de modulação.....	18
Figura 3 – Falha de uniformidade axial.....	19
Figura 4 – Falha de uniformidade de um dos quadrantes.....	19
Figura 5 – Exemplo de um bom contraste de matriz 2D	20
Figura 6 – Exemplo de matriz 2D com pixels “largos”.....	21
Figura 7 – Exemplo de matriz 2D com pixels “finos”	21
Figura 8 – Exemplo de aplicação de um Diagrama de Ishikawa.....	25
Figura 9 – Fluxograma das etapas de montagem do pistão no bloco do motor	26
Figura 10 – Minutos de parada da linha de produção devido à falha de leitura de matriz...31	
Figura 11 – Exemplificação de matrizes aprovadas e reprovadas	32
Figura 12 – Diagrama de Ishikawa (Espinha de peixe).....	33
Figura 13 – DPMO das peças com matrizes 2D impressas	34
Figura 14 – Processo de impressão com a peça totalmente seca.....	35
Figura 15 – Processo de impressão com a peça úmida.....	35
Figura 16 – VJP da limpeza das lentes do equipamento de impressão da matriz	36
Figura 17 – Novo sistema de ventilação e secagem das bielas pós usinagem e lavagem ..38	
Figura 18 – VJP revisado com frequência diária de limpeza das lentes.....	38
Figura 19 – Qualidade da matriz 2D de um lote de 100 peças antes do plano de ação.....	41
Figura 20 – Tempo total, em minutos, de máquina parada ao longo dos meses de 2018 ...42	



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
DPMO	Defeitos por Milhão de Oportunidades
VJP	Visual Job Plan



UNITAU

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

LISTA DE SÍMBOLOS

px pixels
W watts



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo geral	16
1.2 Objetivo específico	16
2 EMBASAMENTO TEÓRICO	17
2.1 Introdução	17
2.2 Implementação do 6-Sigma para resolução de problemas	21
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	26
3.1 Conhecimento das atividades da empresa	26
3.2 Identificação do problema	27
3.3 Revisão bibliográfica	28
4 ELABORAÇÃO DO PROJETO	30
4.1 Metodologia DMAIC	30
4.2 Preocupação com o cliente	39
5 RESULTADOS	40
6 CONCLUSÕES	44

1 INTRODUÇÃO

O conceito da metodologia 6-Sigma consiste em ações que visam a eliminação de defeitos em processos de produção. Essa prática foi originalmente utilizada por um time de engenheiros da Motorola, empresa de eletroeletrônicos japonesa, nos meados de 1980. O principal objetivo dessa metodologia inovadora era transformar a empresa competitiva frente aos seus concorrentes, diminuir custos desnecessários para que seu produto final fosse mais viável para o consumidor, e conseqüentemente, aumentar sua receita.

O conceito de qualidade começou a ser introduzido e difundido na sociedade pelos japoneses no período pós Segunda Guerra Mundial, anos 70 e 80, quando esses conduziram a fabricação de produtos com excelência para a exportação. Nesse contexto, o mundo ocidental para garantir a competitividade no mercado, promoveu ainda no Séc. XX a adoção de práticas de controle de qualidade no sistema produtivo, que teve seu conceito expandido até o final do século para “qualidade total”, que significa garantia de qualidade em todos os aspectos de uma organização (O'NEILL; SOHAL; TENG, 2016).

A gestão da qualidade total engloba práticas de qualidade com a finalidade de garantir aumento da performance em todas as funções de uma organização, sendo adotada por empresas que buscam atingir excelência nos resultados desde os últimos 50 anos. O termo Gestão da Qualidade Total (TQM) abrange uma gama vasta de técnicas, métodos, princípios e práticas utilizados na gestão da qualidade, que devem ser corretamente utilizados desde a aquisição de recursos até a chegada do produto ou serviço nas mãos do cliente, afim de garantir a eficácia do método (VALMOHAMMADI; ROSHANZAMIR, 2015).

Para Valmohammadi e Roshanzamir (2015) organizações que adotam os princípios da gestão da qualidade possuem mais condições de competir no mercado, uma vez que os funcionários são motivados, a busca pela melhoria é contínua, e o trabalho é focado na satisfação dos clientes.

O desenvolvimento contínuo da gestão da qualidade nas organizações foi impulsionado, por um lado, pela concorrência e, por outro lado, pelas crescentes exigências dos clientes. A produção em massa com uma estratégia puramente abrangente mudou para uma estratégia cada vez mais focada, com maior orientação para o cliente e para o mercado. Para satisfazer os requisitos do triângulo (qualidade, custo e tempo), o campo de visão da gestão da qualidade tem sido continuamente ampliado, considerando “o que” é feito para “como” é feito. (WECKENMANN; AKKASOGLU; WERNER, 2013, v. 27, p. 1, tradução nossa)

O grande desafio do mundo moderno atual é a competitividade das organizações no mercado, conquistando a fidelidade do cliente, diminuindo custos sem comprometer a qualidade do produto ou serviço ofertado e, ao mesmo tempo, acompanhar o rápido progresso tecnológico, buscando ser pioneiro naquilo que oferta. A adoção de boas práticas, técnicas e ferramentas é uma grande aliada na busca por esses objetivos, garantindo ainda qualidade e tempo de produção menores.

Conforme (WECKENMANN; AKKASOGLU; WERNER, 2013), para uma empresa é importante se encontrar dentre aquelas que lideram o mercado em novas direções e não ao lado daquelas que seguem sempre o mesmo caminho e ritmo. A inovação nesse caso só é possível desvendando e contornando desafios que não são evidentes, e ampliando o foco da qualidade do produto para a qualidade do processo – baseado no fato de que é possível conciliar exigências dos consumidores, com baixo custo e rapidez, por meio da eficiência do processo.

Para Singh, Rastogi e Sharma (2014), as duas maiores dificuldades encontradas pelas organizações frente a competitividade no mercado são: a tomada das melhores decisões pelos líderes, aproveitando as oportunidades, e a comodidade por parte dos mesmos com o método de gestão da organização, deixando de se aprofundarem em novos conhecimentos e aumentarem a performance da instituição. Para esse autor, a adoção de práticas 5S é uma solução na identificação do incremento da performance.

O'Neill, Sohal e Teng (2016) afirmam que os estudos que relacionam Gestão da Qualidade com empresas de pequeno e médio porte são poucos, comparados ao de empresas de grande porte. Por esse motivo e em virtude da forte relação entre Gestão da Qualidade e performance, relatada em diversos estudos citados por esses mesmos autores, essa monografia será desenvolvida com o intuito de liderar e acompanhar as mudanças implementadas numa pequena parte da linha de produção de uma montadora através da metodologia 6-sigma, extremamente eficaz para solucionar problemas complexos.

A empresa sobre a qual os estudos desta monografia foram desenvolvidos trata-se de uma montadora multinacional 1903, nos Estados Unidos, onde mantém sua sede até hoje e plantas nos continentes europeu, sulamericano e asiático. Essa montadora é uma das maiores do mundo e modernizou o conceito de manufatura enxuta, sendo líder de vendas por seguidos anos.

Devido à complexidade da linha de montagem do motor Dragon, existe uma imensa gama de detalhes e operações e em consequência, inúmeras oportunidades de melhorias. Esse projeto é apenas uma delas. Diante do impacto negativo que as falhas de leitura de matriz 2D,

seja ela em qualquer peça que terá sua informação rastreada a partir do código primário do motor em seu estado final, é bastante danoso ao processo e exige dos trabalhadores reparadores grandes quantidades de mão-de-obra, portanto, reduzir essas falhas representa um ganho significativo de tempo e diminui o desperdício de tempo com retrabalhos e movimentações desnecessárias.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um projeto baseado na metodologia 6-sigma para eliminar os defeitos no processo de gravação de matriz 2D na biela, a fim de reduzir os rejeitos na linha de produção da empresa estudada.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

O presente trabalho teve como objetivo específico o que segue:

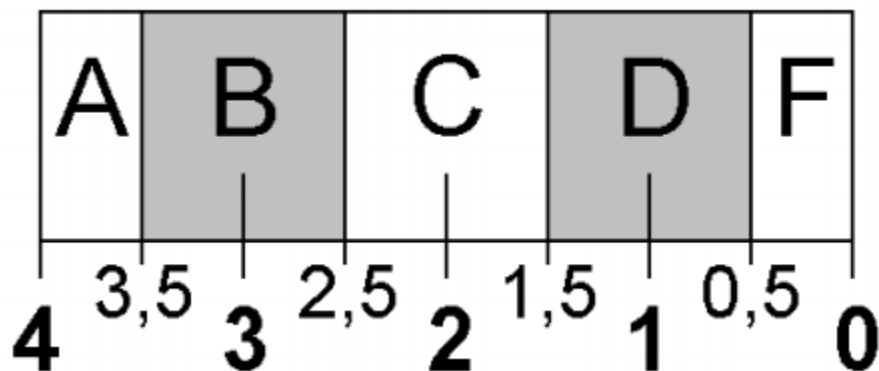
- Aumentar a eficiência produtiva;
- Reduzir o desperdício do processo;
- Reduzir os rejeitos na linha de produção;
- Reduzir o tempo de parada de máquinas da linha;
- Minimizar o tempo de mão de obra para reparos.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 INTRODUÇÃO

A tecnologia do armazenamento de informações no modo de matriz 2D se baseia na ordenação de caracteres brancos e pretos em uma área pré-definida, normalmente quadrada ou retangular. Cada matriz 2D tem a capacidade de armazenar mais de três mil caracteres alfanuméricos e podem ter tamanhos desde 10x10 até 144x144 pixels. A legibilidade das matrizes 2D são classificadas por letras e variam de acordo com a sua qualidade de impressão e facilidade de leitura pelas classes A, B, C, D e F, sendo A a de melhor qualidade de impressão e F, a pior segundo a ISO/IEC 15426, 2004, como representada na Figura 1.

Figura 1 – Mapa numérico para classificação das matrizes 2D



Fonte: ISO/IEC 15415:2004

De maneira simples, essa nova forma de armazenamento de informação tem sido utilizada em ampla escala para se ter a possibilidade de rastreamento de qualquer objeto que tenha uma superfície propícia a receber esse símbolo. A sua utilização possibilitou que processos consigam diminuir seus custos, economizem tempo, facilitem verificações e aumentem a eficiência operacional. (FATIMA, Shahwar; ANSARI, Alam A; STM Journals, 2017)

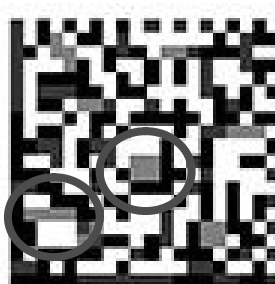
2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DA MATRIZ 2D

Existem sete parâmetros que são considerados pelo *scanner* ou outro dispositivo de leitura de *barcodes*, todos padronizados pela ISO/IEC 15415:2011, para classificar a qualidade da matriz 2D com as notas de A à F, como mencionados previamente, que serão mais detalhados descritos adiante.

2.1.1.1 MODULAÇÃO

A modulação de uma matriz de informação 2D está relacionada com a uniformidade do contraste do símbolo juntamente com a refletância de pixels escuros. Como mostra a Figura 2, uma matriz cuja modulação não é perfeita tem pixels que estão no meio termo entre o branco e preto, o que pode causar erro de leitura pelo aparelho identificador e leitor do código.

Figura 2 – Exemplo de erro de modulação

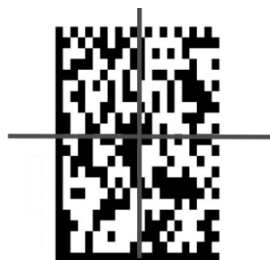


Fonte: ISO/IEC 15415:2011

2.1.1.2 NÃO UNIFORMIDADE AXIAL

Essa falha acontece devido à não uniformidade no sentido axial da matriz 2D. Usualmente, as leituras dos códigos não são feitas a 90°, e isso ocasionaria um problema de leitura onde o scanner estaria incapaz de reconhecer a presença da matriz. Uma causa comum desse modo de falha é a descalibração do sistema de impressão, que tem velocidades diferentes fixadas para os eixos x e y, levando a uma deformação da matriz 2D, conforme demonstrado na Figura 3, onde percebe-se que existe uma diferença notável do comprimento para a altura do símbolo.

Figura 3 – Falha de uniformidade axial

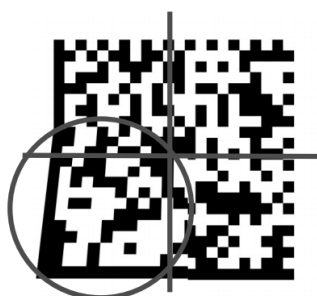


Fonte: ISO/IEC 15415:2011

2.1.1.3 NÃO UNIFORMIDADE DOS QUADRANTES

Todos os quadrantes de uma matriz 2D são comparados entre si, uma vez que cada um é responsável pelo armazenamento de um tipo de informação. Se um deles diferir dos demais, um problema de leitura seria passível de causar inegibilidade por falta de reconhecimento do *scanner*. A Figura 4 exemplifica com clareza esse modo de falha.

Figura 4 – Falha de uniformidade de um dos quadrantes



Fonte: ISO/IEC 15415:2011

2.1.1.4 CONTRASTE

O contraste, assim como de qualquer imagem, deve estar bem ajustado para facilitar a leitura do código. Uma vez que o contraste não está adequado, a chance de não reconhecimento aumenta e pode prejudicar o processo em que se está inserido. Alguns fatores que podem causar um contraste ruim são a má qualidade da tinta de impressão, baixa eficiência do equipamento que grava o código, alta rugosidade da superfície da área de impressão e umidade relativa dessa mesma superfície, como representado na Figura 5.

Figura 5 – Exemplo de um bom contraste de matriz 2D



Fonte: ISO/IEC 15415:2011

2.1.1.5 DANOS NA SUPERFÍCIE DE GRAVAÇÃO

Esse modo de falha é bastante simples e se refere à condição da superfície de gravação, se está danificada ou contaminada por sujeiras na hora da impressão da matriz 2D. Qualquer interferência irá necessariamente afetar a qualidade da impressão e conseqüentemente, sua leitura.

2.1.1.6 ERROS DE CORREÇÃO

Os softwares responsáveis pelas impressões possuem, em sua maioria, um padrão de detectar possíveis falhas e assim, compensar essas falhas sem haver a necessidade de repetir o processo de impressão. O lado ruim dessa compensação é que uma descalibração do sistema pode compensar erros erroneamente e prejudicar ainda mais a impressão da matriz 2D na superfície.

2.1.1.7 PRECISÃO DO TAMANHO DOS PIXELS

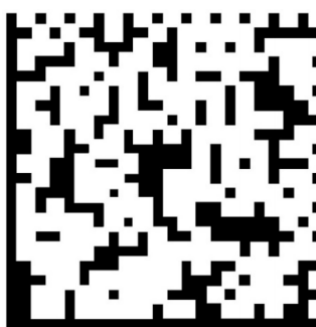
A qualidade de impressão está relacionada diretamente com a precisão do equipamento de desenho, ou seja, quão mais preciso é o hardware, melhor será sua qualidade. No mundo da manufatura, sabe-se que quanto mais qualidade se coloca em um processo, seja ele qual for, maior será o custo de produção daquele produto, e para as matrizes 2D não é diferente. Existem vários processos de diferentes fabricantes e os preços por unidade variam de acordo com a precisão que se deseja ter. Como mostram as Figuras 6 e 7, essas variações podem ocorrer e conseqüentemente, erros de leitura derivam das falhas de precisão das máquinas, sejam elas ocorridas por falha de calibração ou falta de manutenção.

Figura 6 – Exemplo de matriz 2D com pixels “largos”



Fonte: ISO/IEC 15415:2011

Figura 7 – Exemplo de matriz 2D com pixels “finos”



Fonte: ISO/IEC 15415:2011

2.2 IMPLEMENTAÇÃO DO 6-SIGMA PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

A aquisição da qualidade é de importância fundamental para a competitividade das empresas, e isso as coloca em constante busca por melhoras em seus processos e produtos, embora a gestão da qualidade com foco quase que exclusivo para os clientes não seja uma tarefa simples (KACHBA et al, 2012). Para isso, torna-se imprescindível o conhecimento por parte da empresa das reais necessidades dos consumidores, construir relações com os mesmos e acima de tudo procurar atender suas demandas (LAOSIRIHONGTHONG; TEH; ADEBANJO, 2013, p.5).

Empresas portadoras da gestão da qualidade total se comparadas a aquelas que possuem um sistema antigo de gestão, apresentam melhor capacidade de liderança e capacidade produtiva de melhor qualidade (LAOSIRIHONGTHONG; TEH ;ADEBANJO, 2013, p.3).

O foco da gestão da qualidade total é direcionado para a qualidade do sistema, englobando seus aspectos sociais e técnicos, em relação a melhoras na produtividade, qualidade, lucro, redução de desperdício, defeitos, produção em excesso e garantir a satisfação do consumidor (KACHBA et al, 2012; DUBEY;GUNASEKARAN;ALI, 2015).

2.2.1 DMAIC

Quando se trata de resolução de problemas, a ferramenta da qualidade DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) é sem dúvida a mais eficiente. Essas cinco fases guiam e orientam os pensamentos e raciocínios do responsável do engenheiro, sem deixar se perder o foco que é acabar com a falha e resolver a dor do cliente que seria afetado por ela. A metodologia DMAIC está detalhada conforme a seguir:

- **Define**: fase inicial do projeto onde se clarifica os problemas, define-se o time e atribui diferentes responsabilidades a cada integrante, estuda-se a dor do cliente, o status da situação e estabelece-se um objetivo final a ser atingido;
- **Measure**: nesse estágio do projeto, faz-se medições necessárias para dimensionar o problema, caracterizá-lo e esclarecê-lo tanto ao time quanto aos líderes e responsáveis pela linha de montagem. É importante nessa parte do projeto que sejam os dados a serem analisados sejam colhidos da forma mais objetiva possível, pois reduz-se assim, a chance de interferência humana, levando o time a tomar decisões erradas, causadas por dados imprecisos;
- **Analyse**: a análise é a etapa de minuciosamente se atentar aos resultados dos testes feitos e medições realizadas durante a fase anterior. Aqui é onde deixa-se de lado as opiniões e palpites para dar lugar aos dados objetivos, capturados por máquinas e aparelhos de medições.
- **Improve**: nesse estágio precisa-se tomar decisões com o objetivo de resolver o problema em questão, sugerir alterações de processo de produção, métodos alternativos de executar o trabalho que era feito antes de maneira errônea, sempre com o foco de realmente resolver o problema.
- **Control**: essa é a fase mais complicada do projeto como um todo. Controlar as ações tomadas no estágio anterior significa, em muitos projetos, mudar o mindset do time, tanto de engenheiros como de operadores e colaboradores, além das mudanças físicas que são comumente realizadas. A cultura do “sempre foi feito assim” é bastante presente em linhas de produção e precisa-se de uma boa comunicação com o time para que as mudanças não sejam temporárias.

2.2.2 DPMO – Defeitos por milhão de oportunidades

Essa ferramenta estatística é usada para se ter uma visão geral de um problema e o quanto ele estaria afetando a produção como um todo. O cálculo é bastante simples e apesar de sua simplicidade, ajuda no conhecimento mais detalhado de um determinado processo ou produção, conforme a equação 1:

$$DPMO = \frac{\text{número total de defeitos da amostragem}}{\text{número total de oportunidades da amostragem}} \times 1.000.000 \quad (1)$$

Em outras palavras, o número de defeitos por milhão de oportunidades é a quantidade máxima possível de defeitos que podem ser achados em uma amostragem de produtos. Por exemplo, supondo que um determinado processo é responsável pela produção de 2000 bielas por turno. Ao final do período, pega-se uma amostragem de 10 peças para inspeção e identifica-se os seguintes no total de 39 defeitos, descritos a seguir.

- 8 bielas com diâmetro do olhal menor com dimensão acima do especificado;
- 12 bielas com diâmetro do olhal maior com dimensão abaixo do especificado;
- 7 bielas com o chanfro do olhal maior com ângulo acima do especificado;
- 1 biela com chanfro do olhal maior com ângulo abaixo do especificado;
- 11 peças com a rugosidade da face interna do olhal maior acima do especificado.

Como foram encontradas apenas esses cinco modos de falha e o tamanho da amostragem, pode-se afirmar que o total de oportunidades de defeito é 5 x 1500, ou seja, 7500 oportunidades.

Finalmente, o cálculo do DPMO, seguindo a equação 1, é feito da seguinte maneira:

$$DPMO = \frac{39}{7500} \times 1.000.000 = 5200 \text{ defeitos}$$

Ou seja, o DPMO do processo diz que a cada milhão de oportunidades, estima-se que serão produzidos juntamente 5200 defeitos. Claramente, quanto maior for o DPMO de um

processo, menos eficiente ele será e conseqüentemente, menor será a qualidade final de sua produção.

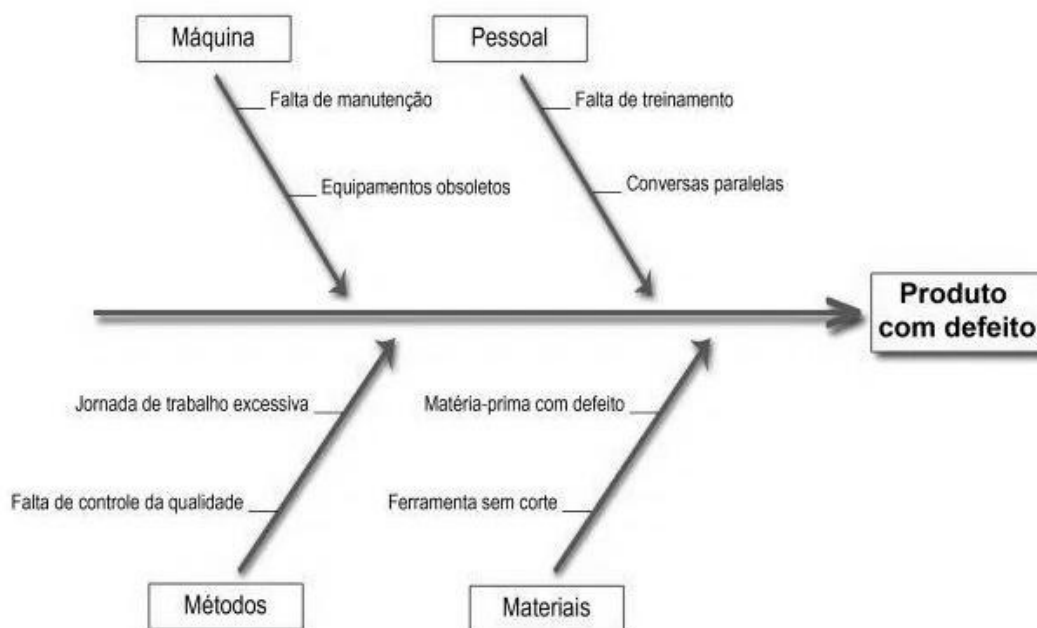
2.2.3 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou ainda Diagrama de Espinha de Peixe, é uma ferramenta utilizada para se descobrir a causa-raíz de um problema e consiste em analisar todos parâmetros que podem afetar um determinado processo de manufatura. Dentre as principais aplicações desse diagrama, estão:

- ✓ Visualização simplificada de causas principais e secundárias;
- ✓ Ser capaz de enxergar o problema de uma maneira mais ampliada e considerar parâmetros que não seriam levados em conta durante a utilização de outras ferramentas de resolução de problemas;
- ✓ Identificar novas soluções para os problemas levando em conta os recursos disponíveis para o time;
- ✓ Inovar e criar melhorias para os processos em questão.

Conforme a Figura 8 e mais adiante na figura 12, podemos ver exemplos de aplicação do diagrama de Ishikawa. Nota-se que o foco está sempre na saída e elenca-se as entradas de acordo com cada categoria:

Figura 8 – Exemplo de aplicação de um Diagrama de Ishikawa



Fonte: www.blogdaqualidade.com.br

Nota-se que é bastante intuitiva a classificação de cada entrada segundo os parâmetros Máquina, Pessoal, Métodos e Materiais.

Após esse agrupamento, o passo seguinte é essencialmente a avaliação de cada parâmetro e discutir entre o time se o fator é contribuinte real para o problema ou não. Em caso negativo, risca-se e ele será descartado daí em diante.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

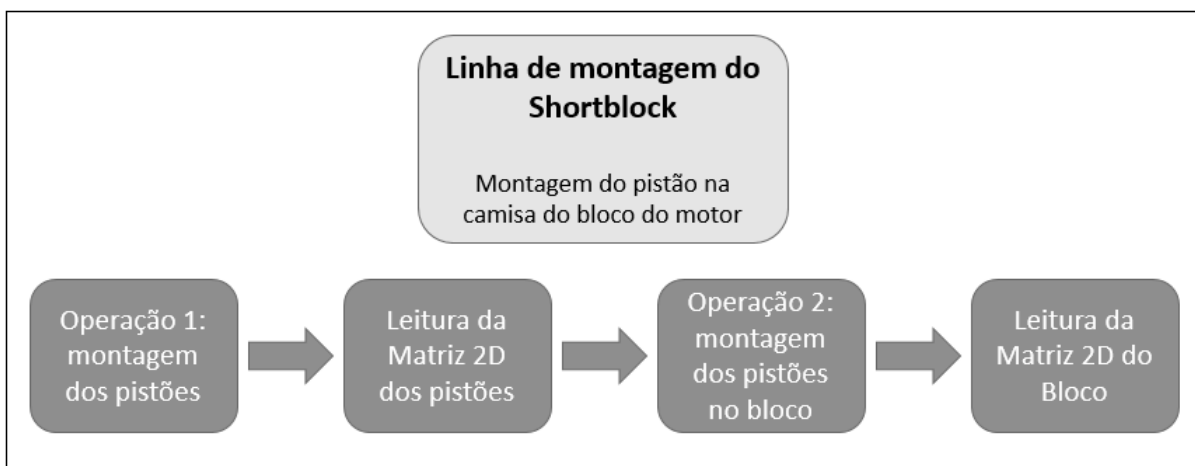
Para o desenvolvimento deste trabalho as seguintes fases foram adotadas:

- Conhecimento geral da organização e dos principais processos operacionais de uma empresa montadora automobilística;
- Identificação do problema;
- Revisão da literatura sobre os assuntos envolvidos (Metodologia contra defeitos 6-sigma e processo de gravação de uma matriz 2D);
- Elaboração de um plano de ação na empresa em estudo.

3.1 CONHECIMENTO DAS ATIVIDADES DA EMPRESA

Nessa primeira etapa, foi feito o aprofundamento em todas as etapas da linha de produção no processo de montagem do pistão no bloco do motor, desde o recebimento da biela, estoque dos lotes, transporte interno, manuseio dos operadores com as peças e aprovações do sistema contra defeitos dos produtos na linha de montagem. A Figura 9 detalha o tratamento da peça desde a introdução na linha de produção até a última operação da montagem do shortblock do motor.

Figura 9 - Fluxograma das etapas de montagem do pistão no bloco do motor



Fonte: Autoria própria

Para isso, acompanhou-se o trabalho em cada operação em diferentes turnos durante uma semana de produção. Nesse período foi possível a familiarização com cada operação juntamente com os possíveis defeitos, funcionários e o ambiente de trabalho; reconhecimento do modo de falha e o reflexo do defeito na linha de produção, durante a montagem do shortblock.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Para a identificação dos problemas, levou-se em conta os relatos dos operadores, observações das situações cotidianas vivenciadas na empresa e principalmente através da coleta de dados no sistema, que apontavam a falha como recorrente já nos três meses anteriores ao início do projeto.

Reuniões a cada três dias eram inicialmente feitas com os supervisores da linha de produção, juntamente com o engenheiro responsável pela redução de gargalos da produção, e o time operacional para o planejamento de um conjunto de ações, que visava reduzir o tempo de parada da linha e reduzir o deslocamento de mão-de-obra e desperdícios

Os relatos e observações mais críticas apontados pelos responsáveis pela produção e operadores eram os seguintes:

- Excesso de rejeitos nas operações 3.1 e 3.2: cada matriz 2D de um pistão que não fosse lida corretamente pelas câmeras requeria uma ação de um reparador, causando um atraso no processo e deslocamento de mão-de-obra;
- A cada pistão rejeitado por causa da falha de leitura da matriz 2D, um rejeito era gerado, ou seja, a peça era descartada e o custo totalmente arcado pela empresa e não mais pelo fornecedor.
- Aumento do tempo do ciclo de operação da máquina: o que era normalmente feito em 55 segundos, um defeito de leitura gerava um atraso de mais 10 minutos de parada de máquina até que o operador entrasse na gaiola, desligasse o robô, retirasse o motor e reiniciasse a máquina, além de mais 10 minutos para desmontagem do pistão e retorno das peças utilizáveis para o processo.

Além dos relatos acima, observou-se que haviam outros problemas, tais como:

- Para a retirada do bloco que continha uma biela com matriz 2D rejeitada, era necessário que o operador utilizasse um equipamento de transporte para que os

pistões fossem retirados, gerando movimentação pesada extra e aumentando riscos de segurança, já que é uma área de intenso transporte de outras peças e de resíduos da montagem;

- A parada dos robôs responsáveis pelas operações 3.1 e 3.2 fazia com que o sistema necessitasse de uma reinicialização, perdendo-se dados estatísticos de produção que podiam ser importantes para uma outra qualquer ocasião, como análise de outros modos de falha ou informações relevantes para o cálculo da eficiência da linha de montagem.

Tal situação motivou este estudo seguido do desenvolvimento do projeto 6-Sigma, mais especificamente sobre atuar na causa raiz do defeito para que não impactasse negativamente o processo como um todo, além de contribuir indiretamente para garantir melhores condições de trabalho, aumento da produtividade, organização, diminuição de movimentação, redução do desperdício e promover maior segurança do operador.

Para o desenvolvimento desse projeto, foi necessário que se adquirisse informações sobre o processo, além de:

- Conhecer detalhadamente o processo de gravação da matriz 2D em superfícies, quais parâmetros e condições do ambiente são importantes para realizar uma boa gravação e leitura do código e quais informações são relevantes nesse tipo de gravação.
- Realizar o estudo sobre o ambiente no qual a matriz 2D deve se encontrar para que ela não seja reprovada no teste de leitura e consequentemente não impacte o processo negativamente, tais como iluminação, distância até as lentes e o tipo de leitura feita.
- Desenvolver um plano de ação e propor melhorias baseado em um estudo estatístico segundo a metodologia 6-sigma, comprovar e controlar o processo.

3.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica realizada compreendeu os seguintes temas: Metodologia 6-Sigma, Técnicas de gravação de matriz 2D.

O material de estudo fundamentou-se de arquivos digitais obtidos de publicações avulsas, revistas, livros, e artigos datados majoritariamente entre 2018 e 2014. Tal base bibliográfica, serviu de orientação e suporte para o desenvolvimento desta monografia em todas as suas fases para a implantação da metodologia 6-Sigma na linha de montagem da empresa estudada.

4 ELABORAÇÃO DO PROJETO

Esta fase de elaboração do projeto de melhoria do processo procurou solucionar o problema de falha na leitura da matriz 2D da biela, que causava parada da máquina das operações 3.1 e 3.2 na linha de montagem da empresa, com base na linha de raciocínio proposto pela metodologia 6-Sigma

O escopo do projeto foi reduzir ao máximo a quantidade de peças recebidas pela empresa com borrões e danos na matriz 2D e que causavam as falhas de leitura.

Buscou-se entender o processo como todo, desde as técnicas usadas para se imprimir os códigos na forma de matriz 2D até os métodos utilizados pela empresa para realizar a leitura dos mesmos e usá-los de maneira apropriada durante o processo de montagem

Em relação às práticas de impressão da matriz 2D na superfície da biela, foi estudado os parâmetros da impressora do código como tipos de impressão, velocidade de impressão, potencia dos lasers e também a umidade ambiente onde a gravação era realizada.

Quanto à leitura, verificou-se as condições do ambiente de leitura, tais como iluminação, possíveis variâncias na quantidade de lux dependentes do horário do dia, características das câmeras e dos leitores e a distância das peças até as lentes dos equipamentos.

Foi realizado um teste controlado para acompanhar e entender melhor os parâmetros dos equipamentos a fim de tornar o ambiente mais propício à leitura das matrizes, bem como o entendimento do que era aceitável e o que era recusado.

Um plano de ação foi elaborado com base em experiências similares anteriores e com o conhecimento adquirido em outras plantas da empresa espalhadas pelo mundo. A seguir, a metodologia DMAIC aplicada na prática para resolver esse problema.

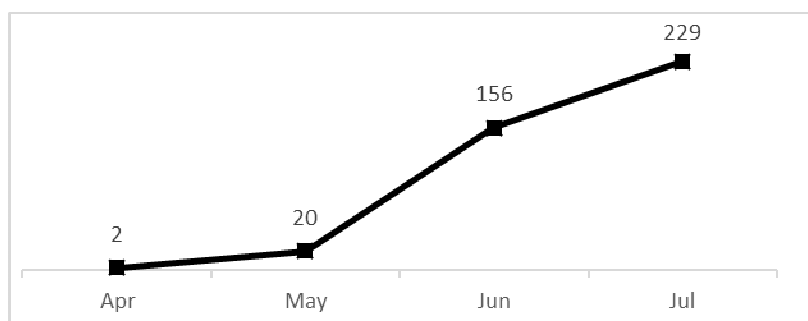
4.1 METODOLOGIA DMAIC

Conforme explicado no começo desta dissertação, quando um problema é classificado como causa não especial, uma das ferramentas mais eficientes para resolução de falhas é a aplicação do DMAIC:

4.1.1 DEFINE

O projeto foi definido como um dos problemas que mais afetava a efetividade da linha de produção. Conforme podemos ver na Figura 10, nos meses de maio, junho e principalmente em julho de 2018, o número de falhas cresceu atípicamente. Ela mostra o tempo que a linha ficou parada devido à essas falhas de leitura da matriz 2D, causando prejuízos à empresa.

Figura 10 – Minutos de parada da linha de produção devido à falha de leitura de matriz

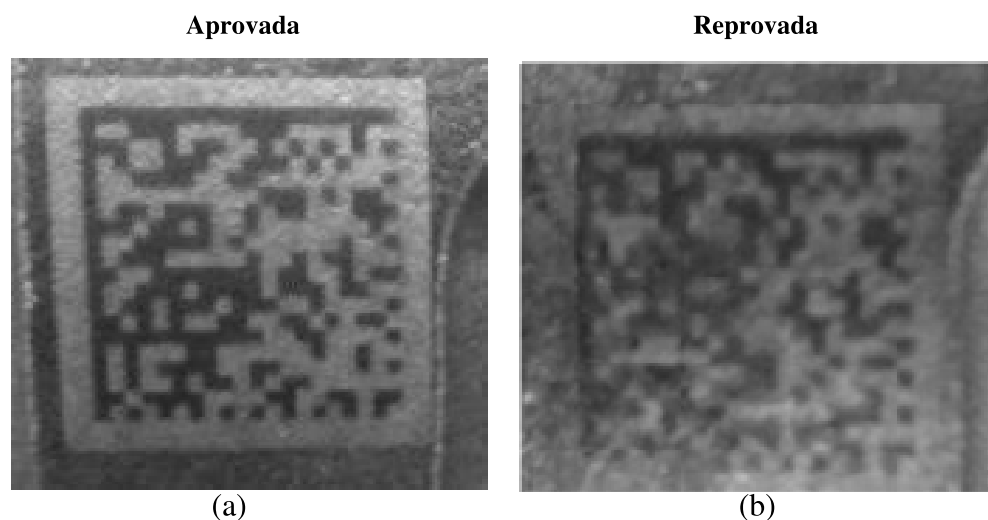


Fonte: Autoria própria

4.1.2 MEASURE

Para a resolução de testes e validação de melhorias, é fundamental que se conheça detalhadamente a situação antes de qualquer ação tomada. Ou seja, precisa-se conhecer informações estatísticas como porcentagem de peças falhas a serem montadas, porcentagem de peças falhas no estoque, e assim por diante. Decidiu-se então usar um aparelho móvel que era capaz de ler a matriz e dar à ela uma nota, similar em alguns aspectos com a câmera que era responsável por essa operação na linha de montagem.

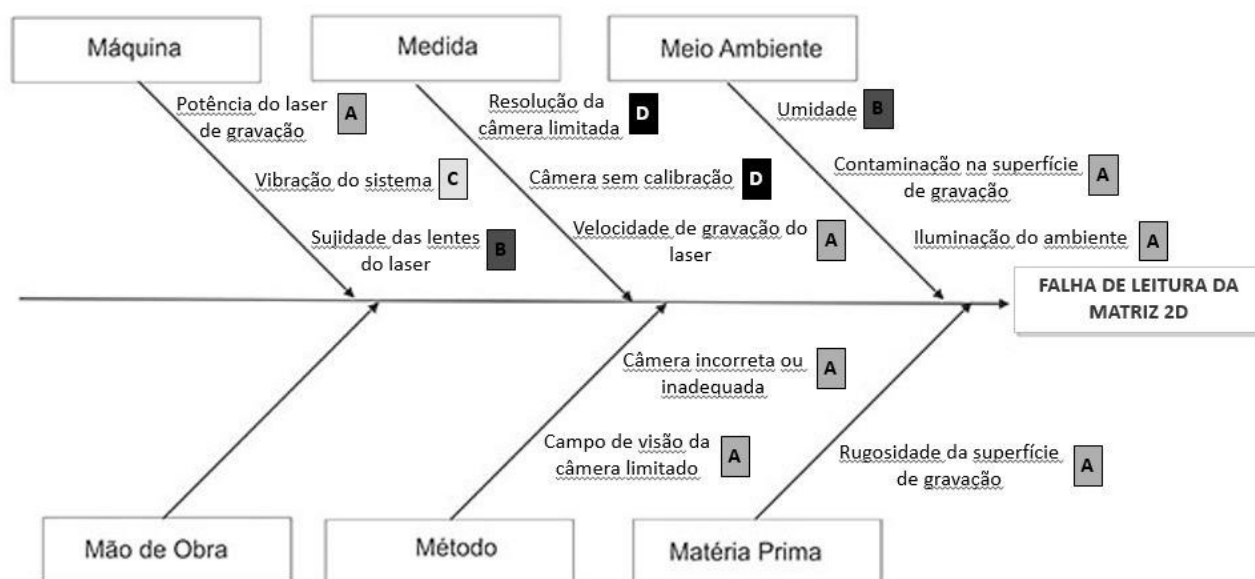
Figura 11 (a) e (b) – Exemplificação de matrizes aprovadas e reprovadas



Fonte: Autoria própria

O measure é a fase ideal para se utilizar ferramentas visuais e, juntamente com o time, fazer o brainstorming a respeito do que pode ter influência nesse processo de impressão da matriz 2D na superfície da biela. O diagrama de Ishikawa, Diagrama de Causa e Efeito, ou ainda a espinha de peixe, como é mais popularmente conhecida, é uma das ferramentas mais utilizadas em resoluções de problema, muito pela sua facilidade de entendimento e por não requerer conhecimentos específicos de todos os integrantes da equipe. Para esse projeto, o diagrama de Ishikawa foi realizado juntamente com o coordenador do time de produção, um engenheiro da linha de montagem, um engenheiro de qualidade, um operador de montagem e o supervisor da linha de produção. O resultado é mostrado na Figura 12 a seguir.

Figura 12 – Diagrama de Ishikawa (Espinha de peixe)



Fonte: Autoria própria

Legenda para figura 12:

A – Elemento investigado e descartado;

B – Elemento a ser investigado;

C – Elemento cuja capacidade não é mensurável;

D – Elemento descartado.

Nessa fase, haviam em estoque uma 56948 peças com oportunidade de terem a matriz 2D com falhas de impressão. O leitor manual então foi usado em cada uma delas, e encontrou-se 325 unidades com impossibilidade de leitura da matriz. Para contabilizar essas informações, usou-se a ferramenta DPMO para que fosse tomado como referência do antes e depois das ações, com o objetivo de validá-las futuramente, como mostra a Figura 13:

Figura 13: DPMO das peças com matrizes 2D impressas

Amostragem	56948	Unidades
Oportunidades de Erro	1	Oportunidades
Unidades com Erro	325	Unidades
Total de oportunidades	56948	Erros
Rendimento	99.4293	%
Rejeição	0.57070	%
DPU	0.00571	
DPO	0.005707	
DPMO	5706.96	
NIVEL SIGMA	2.53	LONGO PRAZO
	4.03	CURTO PRAZO

Fonte: Autoria própria

É importante ressaltar que da figura 13, apenas as informações da Amostragem, Unidades com Erro, Rendimento e o valor do DPMO são relevantes para o estudo, podendo se desconsiderar as demais presentes.

4.1.3 ANALYSE

De acordo com o diagrama de Ishikawa (figura 12), vê-se que a umidade na peça, lentes sujas do aparelho de gravação da matriz 2D, e a velocidade e potência do laser de gravação foram levantadas como potenciais causas-raízes do problema. Pediu-se então, para que o fornecedor realizasse testes para validar cada uma das possíveis origens do problema, conforme descrito nos itens 4.1.3.1 e 4.1.3.2.

4.1.3.1 UMIDADE

Dentre todas as entradas desse problema, a umidade foi levantada como principal contribuidora do problema. Conforme as Figuras 14 e 15, pode-se validar que realmente a

umidade era majoritariamente a causa raiz da falha de impressão. A explicação da umidade está na presença de óleo de arrefecimento utilizado na usinagem do olhal maior, próximo à superfície de impressão da matriz 2D, que sobra na peça após a operação. Esse fato foi atentado por um dos engenheiros de linha de montagem do fornecedor que prontamente realizou um teste de gravação onde garantia que uma peça estava completamente livre de óleo e outra com uma camada fina de óleo, como se fosse resquício da operação anterior. Os resultados desse teste estão representados nas figuras 14 e 15.

Figura 14: Processo de impressão com a peça totalmente seca



Fonte: fornecedor da biela

Figura 15: Processo de impressão com a peça úmida



Fonte: fornecedor da biela

4.1.3.2 LENTES DO EQUIPAMENTO DE IMPRESSÃO CONTAMINADAS

O processo de gravação da matriz 2D possuía a preventiva para limpeza do equipamento, principalmente suas lentes que protegem o canhão de laser, programadas para


uma vez por semana. Segundo a fábrica de fundição que também realizava um processo bastante similar de gravação de matriz 2D em blocos e cabeçotes FOX, essa frequência não era suficiente pois qualquer contaminação (partículas de poeira, cavacos, óleo, entre outros) poderiam afetar gravemente a eficiência da impressão. Dessa maneira, foi requisito ao fornecedor para que se diminuísse essa frequência de limpeza semanal para diária, afim de minimizar os potenciais de contaminação, visto que esse trabalho não demanda grandes quantidades de energia e tempo. Vê-se, conforme a Figura 16, o VJP (Visual Job Plan) da limpeza semanal executada pelo fornecedor.

Figura 16: VJP da limpeza das lentes do equipamento de impressão da matriz

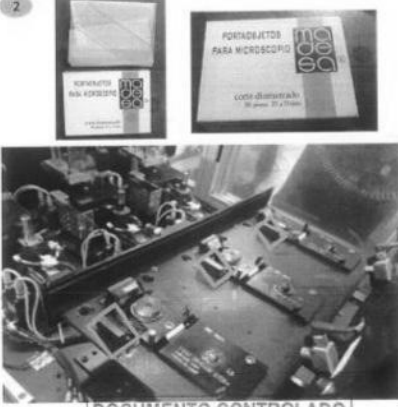
AYUDA VISUAL			
CRISTALES A UTILIZAR EN - OP.55 LÍNEA 2			
Responsable:	Técnico de la operación	N° ayuda visual:	MA-AV-060
Documento de referencia:	N/A	Fecha de revisión:	04/10/2018
Instrumentos de medición utilizados/método:	N/A	Revisión:	0
Registrar en:	N/A	Elaboró:	Patricia Ramos
		Vigencia:	04-oct-19
		Página:	1 de 1
		Autorizó:	Daniel Ramirez

CRISTALES A UTILIZAR

1.- Colocar en la línea 2 de Matrix Cristales AR (Color tomasol)
Base Frontal



2.- Colocar en la fecha Julian Cristal convencional
Base Lateral



DOCUMENTO CONTROLADO

Nº 01 FIRMA KAPG

SISTEMAS DE CALIDAD

1 de 1

FQS-018; Rev. 06

Fonte: fornecedor da biela

4.1.3.3 VELOCIDADE DO LASER DE GRAVAÇÃO DA MATRIZ 2D

A velocidade de gravação pode ser entendida como o equilíbrio entre qualidade de impressão e eficiência de produção. Como todo processo de manufatura, de nada adianta se ter um volume grande de peças produzidas se o nível de qualidade é baixo, e vice-versa.

Essa entrada foi validada pela realização de um benchmark com a fábrica de fundição de blocos e cabeçotes FOX, como mencionada anteriormente. Os padrões do canhão de laser relacionados à velocidade de impressão encontravam-se semelhantes aos do fornecedor da biela, portanto foi descartada a hipótese de ser uma causa raiz.

4.1.3.4 POTÊNCIA DO LASER DE GRAVAÇÃO DA MATRIZ 2D

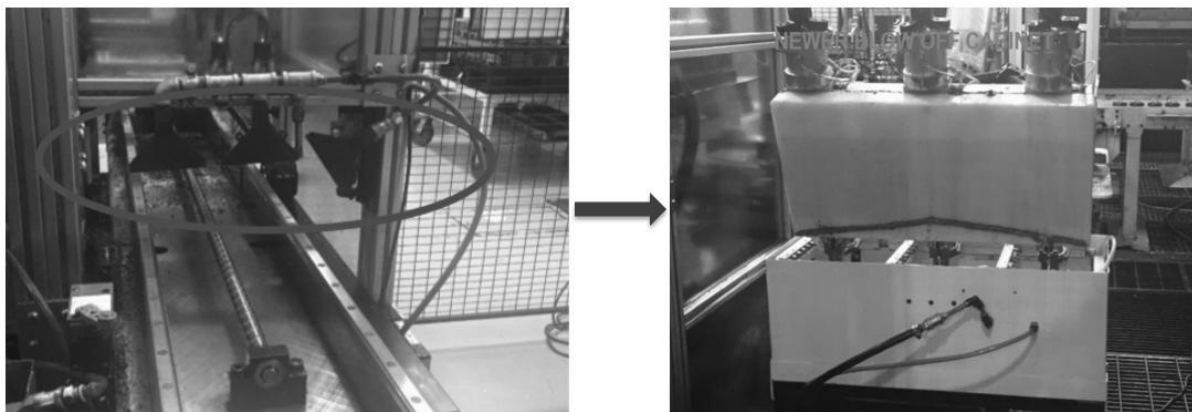
A potência, medida em watts (W), do canhão de laser influencia diretamente no contraste da matriz 2D, como apresentado no item 2.1.1.4, e na espessura dos pixels, detalhado no item 2.1.1.7. Assim como no item 4.1.3.3, os mesmos parâmetros de potência do canhão de impressão da fábrica de fundição foram comparados com os do fornecedor e descartados como causa raiz, uma vez que eram considerados equivalentes.

4.1.4 IMPROVE

4.1.4.1 AÇÕES TOMADAS EM RELAÇÃO À UMIDADE

Para se resolver o problema da umidade, foi instalado pelo fornecedor uma cabine de ventilação das peças na região onde se grava a matriz 2D. Essa operação acontece logo antes da impressão e após a usinagem do olhal maior. A peça chega relativamente molhada pois é necessário que se aplique óleo de arrefecimento para a usinagem do olhal e logo depois é lavada para que o excesso de óleo seja retirado. O novo sistema está representado na Figura 17.

Figura 17: Novo sistema de ventilação e secagem das bielas pós usinagem e lavagem



Fonte: fornecedor das bielas

4.1.4.2 AÇÃO TOMADA EM RELAÇÃO À LIMPEZA DAS LENTES

A simples ação de se diminuir a frequência de limpeza das lentes se mostrou eficaz para a manutenção do equipamento. Conforme mostra a Figura 18, enviado também pelo fornecedor.

Figura 18: VJP revisado com frequência diária de limpeza das lentes

AYUDA VISUAL			
LIMPIEZA Y CAMBIO DE CRISTALES - OP.55 LÍNEA 2			
Responsable:	Técnico de la operación	N° ayuda visual:	MA/AV-059
Documento de referencia:	N/A	Fecha de revisión:	04/10/2018
Instrumentos de medición utilizados/método:	N/A	Revisión:	1
Registrar en:	N/A	Vigencia:	04-oct-19
Elaboró:		Patricia Ramos	Autorizó
			Daniel Ramirez
LIMPIEZA DE CRISTALES			
<ol style="list-style-type: none"> 1.- Detener la Operación en el apartado "Detener ciclo" en la pantalla. 2.- Seleccionar abrir guardas de seguridad en la pantalla. 3.- Colocar alcohol en un pedazo de papel higiénico. 4.- Limpiar con la parte húmeda el Cristal. 5.- Retira el exceso de alcohol del Cristal con el pañuelo azul. 6.- Cerrar la guarda de seguridad. 7.- Seleccionar indicar ciclo en la pantalla. 			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">DOCUMENTO CONTROLADO</div> <div style="margin: 5px auto; text-align: center;"> N° 01 FIRMA <u>KAPG</u> SISTEMAS DE CALIDAD </div>			
CAMBIO DE CRISTALES			
<ol style="list-style-type: none"> 8.- Hacer el paso 1 y 2 de la limpieza de cristales. 9.- Utilizar llaves allen de 2.0mm y 2.5 mm para desatornillar placa. 10.- Retira la placa de la base. 11.- Quitar con precaución el cristal para cambiarlo. 12.- Revisar que el cristal se encuentre dañado para realizar el cambio. 13.- Sacar con cuidado el cristal de su empaque y colocarlo en la base. 14.- Colocar la placa y atornillarla. 15.- Realiza el paso 7 y 8 de la limpieza de cristales. 			
NOTA: ANTES DE HACER UN CAMBIO DE PORTA ESPEJO ASEGURA QUE SE ENCUENTRE DAÑADO POR AMBOS LADOS.			
1 de 1		FQS-018; Rev. 06	

Fonte: fornecedor das bielas.

4.1.5 CONTROL

Como ações para controlar o processo, monitorar os indicadores de falhas e garantir que não haveriam recorrências, a contribuição do time do projeto foi essencial. Além disso, era necessário que o fornecedor cooperasse com a operação de controle de melhorias. Por isso, pediu-se que mantivessem informando a empresa compradora das bielas a respeito do funcionamento do sistema de ventilação e envios semanais do cumprimento das limpezas conforme ditava o VJP modificado.

Dentro da empresa montadora, o engenheiro responsável pela qualidade das peças recebidas de fornecedores se encarregou de monitorar as falhas das operações em questão, conforme mostrado na figura 18.

4.2 PREOCUPAÇÃO COM O CLIENTE

Em uma extensa linha de montagem de uma manufatura, é bastante normal que seja feita uma divisão em vários times para facilitar a organização, limpeza e execução dos trabalhos destinados à aquelas operações, e conseqüentemente, os times acabam se tratando como clientes e fornecedores uns dos outros dos outros. Nesse caso, o cliente em questão é a linha montagem que equipa os periféricos do bloco e do cabeçote, seguinte à pré-montagem do motor.

Nesse caso, o cliente sofre com repetidas e recorrentes falhas, que mesmo quando estão em pequena quantidade, ainda demandam energia e tempo de mão-de-obra especializada para que o processo seja destravado e os produtos sejam reparados. Até o mês de maio de 2018, a engenharia da empresa havia estipulado que apenas matrizes classificadas como A, B e C seriam aprovadas, enquanto D e F seriam automaticamente rejeitadas. Porém, vendo-se que o número de rejeitos por matrizes D e F era grande demais e o processo era constantemente paralisado, essa margem de aceitação foi aberta e a partir de junho, matrizes legíveis seriam aprovadas e ilegíveis seriam rejeitadas, ou seja, as de qualidade D e F também passariam a ser aceitas, mesmo que se possuíssem baixa qualidade.

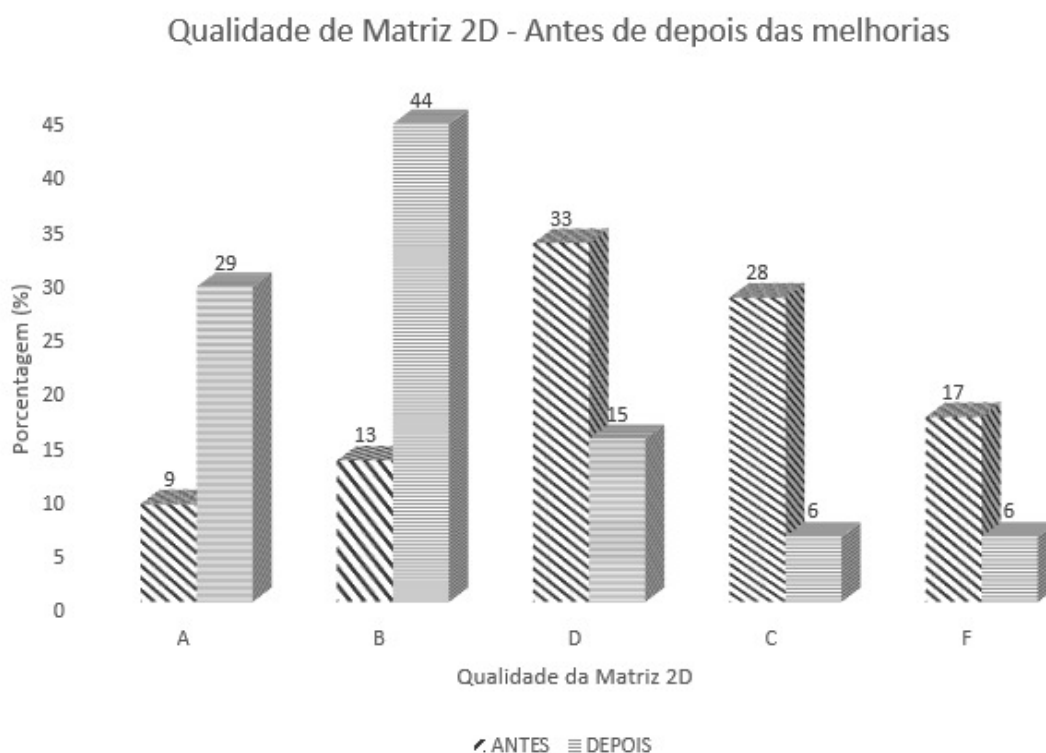
Como cliente indireto, a empresa também é punida com esse problema, uma vez que o rejeito da peça ocorra devido à falha de leitura da matriz 2D, o pistão deve ser necessariamente desmontado e a biela obrigatoriamente descartada. É importante ressaltar que há a possibilidade de se estar jogando peças com perfeito funcionamento fora, apenas por causa da falha de leitura da matriz, ou seja, a empresa sofre com desperdício desnecessário e

que poderia ser evitado. Além disso, cada minuto de linha de produção paralisada causa prejuízos financeiros, pois não há lucro se não houver vendas, e não há vendas se não houver produção.

5 RESULTADOS

Após o conjunto de ações sugeridas serem implementadas, o fornecedor produziu um lote especial e certificado para que se pudesse validar as melhorias. Para comprovação das melhorias e controle da qualidade, 100 peças que foram produzidas após o primeiro lote certificado foram acompanhadas durante o processo, visto que poderiam haver ajustes entre um e outro. De acordo com o fornecedor, os parâmetros usados estarão fixados nos valores propostos e não serão alterados sem um aviso prévio. Vê-se com mais clareza o resultado do teste desse lote a seguir, na Figura 19.

Figura 19 – Qualidade da matriz 2D de um lote de 100 peças antes do plano de ação



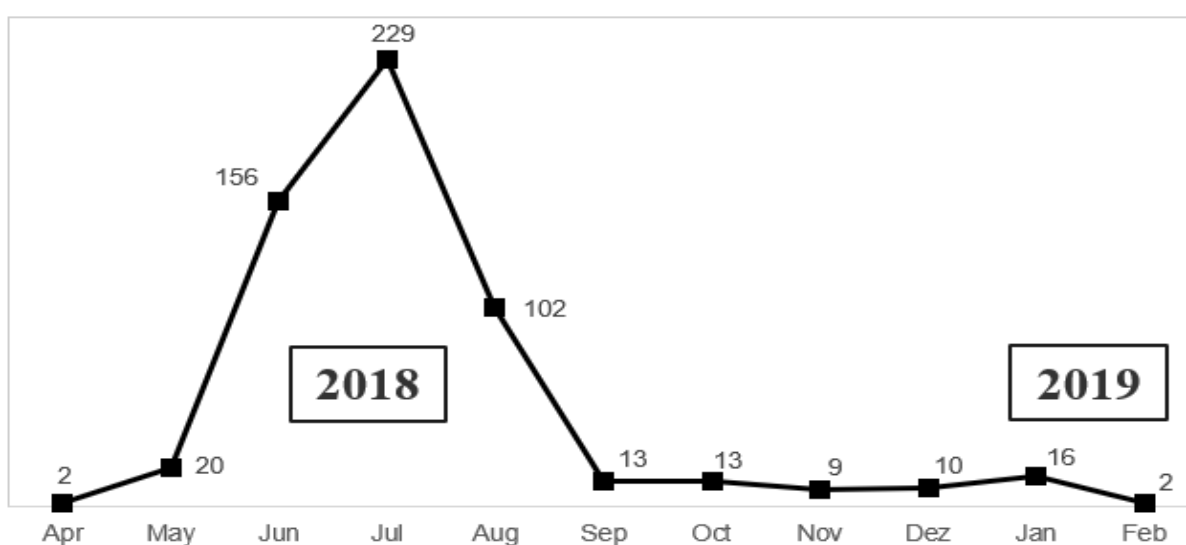
Fonte: Autoria própria.

É notória a diferença após o plano de ação ter sido colocado na prática: antes das melhorias, 45% das peças se encontravam fora do limite aceitável para o processo e pós implementação, esse número caiu para 12%, como representado nas figuras 8 e 9. Ainda mais importante que a melhora na qualidade da matriz 2D, o tempo total de parada de máquina diminuiu drasticamente, assim como demonstrado na Figura 20.

Em relação aos planos propostos para a empresa, alguns foram implementados de imediato (dentro de dois meses), outros foram planejados para serem realizados algum tempo depois e outros foram considerados inviáveis, por questões financeiras ou opção da empresa.

Vê-se também uma melhoria significativa no tempo de parada de máquina nas operações gêmeas 3.1 e 3.2, conforme mostra a Figura 20. Com a melhoria da qualidade da matriz 2D, os *scanners* tem mais facilidade em realizar com sucesso a leitura da matriz e incorporar as informações que elas contém no sistema da empresa.

Figura 20 – Tempo total, em minutos, de máquina parada ao longo dos meses de 2018



Fonte: Autoria própria.

Além disso, houve uma diminuição significativa do número de reparos de motor na área da produção, ou seja, diminuição da movimentação gerada pelo rejeito da peça com falha na matriz 2D.

A inspeção feita por um funcionário de uma empresa terceirizada desde o mês quatro de 2018 também pôde ser cessada, já que não foram mais achados casos de rejeição na linha depois de 2 semanas de produção após a chegada das peças com as mudanças implementadas. Essa interrupção também cortou gastos do fornecedor da biela, que era responsável pelo pagamento da inspeção.

Com relação à diminuição da frequência de rejeitos por esse motivo de falha de leitura da matriz, houve um alívio por parte dos operadores responsáveis pelos reparos dos motores que precisavam ser desviados da linha principal de produção. Esse tipo de problema acarretava cuidados extras com as peças e tomava um tempo significativo do dia-a-dia de cada um, incluindo entre eles o coordenador do time da submontagem do motor.

6 CONCLUSÃO

A implementação da metodologia 6-Sigma com o pensamento “zero defeitos” na empresa e os resultados alcançados, só foi possível em virtude do engajamento e disciplina de todos os envolvidos na mudança, desde a empresa em estudo, o fornecedor e seus funcionários e o time operacional da empresa terceirizada. A otimização dos parâmetros de produção, práticas e padronização adotadas dessa metodologia não são dispendiosas.

Quando se fala em melhorias de processos, é preciso que leve-se em consideração vários aspectos, tais como a qualidade do produto final, volume de produção da linha e também a capacidade de produção instalada. O equilíbrio entre esses dois primeiros fatores é o que consegue tornar o processo final mais eficiente e adequado financeiramente.

O desenvolvimento desse projeto serviu também como aprendizado na condução de reuniões com fornecedores e colaboradores da própria empresa. Durante essas reuniões, foi importante respeitar a ideia de que existe uma necessidade grande de se esclarecer a situação do problema e explicar com clareza os impactos que esse problema tem causado no dia-a-dia operacional de produção. É preciso tratar a situação com cautela e respeito para que haja engajamento dos fornecedores, uma vez que se torna difícil mudar um processo que está acontecendo em outro país quando não existe uma boa comunicação e disposição para consertar problemas por ambas as partes.

Tornou-se evidente a eficácia da implantação da metodologia e do pensamento proposto pelo 6-Sigma em uma empresa de grande porte em relação à redução do desperdício de mão de obra e matérias primas, satisfação dos funcionários, melhores condições de trabalho para os mesmos e organização da instituição.

REFERÊNCIAS

AKHRAMOVICH, A. A.; BORISOVA, E. V.; ODINOKOV, S. A. Lean Manufacturing in Russia: Myth or Reality? **2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"** (IT and QM and IS), St. Petersburg, p.410-414, 2017.

ATTRI, R. S. Analysis of interaction among the barriers to 5S implementation using interpretive structural modeling approach. **Benchmarking: an international journal**, Faridabad, v.24 , n.7, p.1834-1853, 2017.

BAJJOU, M. S. ; CHAFI, A. ; ENNADI, A. ; HAMMOUMI, M. E. The Practical Relationships between Lean Construction Tools and Sustainable Development: A literature review. **Journal of Engineering Science and Technology Review**, Morocco, v.10, n.4, p.170-177, 2017.

BERNARDO, M. Integration of management systems as an innovation: a proposal for a new model. **Journal of Cleaner Production**, Barcelona, v.82, p.132-142, 2014.

CALVO-MORA, A. et al. The relationships between soft-hard TQM factors and key business results. **International Journal of Operations and Production Management**, Seville, v.34, n.1, p.115-143, 2013.

CHARANTIMATH, P. M. **Total Quality Management**. 1.ed. New Delhi: Pearson education, 2009. 272 p.

DUBEY, R.; GUNASEKARAN, A.; ALI, S. S. Exploring the relationship between leadership, operational practices, institutional pressures and environmental performance: A framework for green supply chain. **Int. J. Production Economics**, v.160 , p.120-132, 2015.

FILHO, W. et al. The benefits of a quality tool in a Student Branch: Implementing the 5S methodology to create a new culture. **2017 IEEE Technology and Engineering Management Society Conference**, TEMSCON, Santa Clara, p. 400-403, 2017.

JAIN, A.; BHATTI, R.; SINGH, H. Productivity improvement through 5S implementation in Indian manufacturing industries. **Lecture Notes in Mechanical Engineering**, New Delhi, p.535-545, 2014.

KACHBA, Y. et al. Alignment of Quality Management in SMEs with the Market Performance. **Journal of Tecnology Management & Innovation**, Santiago , v.7 , n.4, p. 111, 2012.

LAOSIRIHONGTHONG, T. et al. Revisiting quality management and performance. **Industrial Management and Data Systems**, Santiago, v.113 , n.7, p.990-1006, 2013.

LIJUAN, C.; HANBIN, L. A BIM-based construction quality management model and its applications. **Automation in Construction**, v.46, p.64-73, 2014.

NOWOTARSKI, P.; PASLAWSKI, J.; MATYJA, J. Improving Construction Processes Using Lean Management. **Procedia Engineering**, v.161 , p.1037-1042, 2016.

O'NEILL, P.; SOHAL, A.; TENG, C. W. Quality management approaches and their impact on firms' financial performance – An Australian study. **International Journal of Production Economics**, v.171, n.3, p.381-393, 2016.