

LEAN MANUFACTURING: estudo de caso da implementação de dispositivo Poka Yoke automático em máquina de corte industrial

LEAN MANUFACTURING: case study of the implementation of an automatic Poka Yoke device in an industrial cutting machine

Larissa dos Santos Hemetério¹
João Mário Mendes de Freitas²
Roger Antônio Rodrigues³

RESUMO

O estudo de caso tem como objetivo apresentar de que forma a implementação de um dispositivo *Poka Yoke* automático em uma máquina de corte industrial, no processo de extrusão, reduziu a variabilidade do processo e os desperdícios gerados por problemas de comprimento fora do especificado. Tal abordagem se faz necessária para solucionar a problemática de alto índices de reclamações geradas pelos clientes devido ao recebimento de peças defeituosas e também pelo excesso de atividades repetitivas humanas que ocasionam erros no processo. Este estudo foi desenvolvido em uma indústria automobilística situada em Varginha – MG, cujo processo produtivo se trata da extrusão de perfis, que passam pelo processo de corte no final da linha de produção. Foram realizadas pesquisas em artigos, livros e revistas científicas, bem como utilizadas ferramentas como diagrama de Causa e Efeito, Controle Estatístico de Processo (CEP) e *Lean Manufacturing*. Os resultados finais indicaram que houve redução dos desperdícios identificados e da variabilidade do processo, assim como gerou um aumento da capacidade da máquina e qualidade dos produtos finais. Tais resultados geraram efeitos satisfatórios nos âmbitos econômicos, sociais e ambientais, uma vez que houve aumento da margem de lucro, redução de peças não conforme para descarte, eliminação de trabalhos humanos repetitivos e aumento da confiabilidade da empresa.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing. Poka Yoke. Variabilidade. Máquina de corte.*

ABSTRACT

The present case study aims to present how the implementation of an automatic Poka Yoke device in an industrial cutting machine, in the extrusion process, reduced the process variability and waste generated by problems of length outside the specified. Such approach is necessary to solve the problem of high rates of complaints generated by customers receivment of defective parts, and also by the excess of repetitive human activities that cause errors in the process. This study was developed in an automobile industry located in Varginha - MG, whose production process is the extrusion of profiles, which go through the cutting process at the end of the production line. Were realized researches on articles, books and scientific magazines, as well as tools such as Cause and Effect diagram, Statistical Process Control (CEP) and Lean Manufacturing. The final results indicated that there was a reduction in the identified waste and in the variability of the process, as well as an increase in the machine's capacity and the quality of the final products. Such results generated satisfactory effects in the economic, social and environmental spheres, since there was an increase in the profit margin, reduction of non-

¹ Graduando do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário do Sul de Minas. E-mail: larissa.hemeterio@alunos.unis.edu.br

² Professor MSc orientador do Centro Universitário do Sul de Minas. E-mail: joão.mario@unis.edu.br

³ Professor coorientador do Centro Universitário do Sul de Minas. E-mail: roger.rodrigies@professor.unis.edu.br

conforming parts for disposal, elimination of repetitive human work and reliability increase of the company.

Keywords: *Lean Manufacturing. Poka Yoke. Variability. Cutting Machine.*

Data de conclusão: 03/11/2020

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta um estudo de caso da implementação de um dispositivo *Poka Yoke* automático em uma máquina de corte industrial denominada cortadeira cuja função é cortar perfis extrudados no comprimento especificado transformando-os em peças semiacabadas denominadas guarnições para vedação de veículos leves. Essas guarnições têm como função vedar os veículos contra água, ruídos ou poeira e possuem comprimentos específicos para montabilidade correta no carro. Esse processo é de extrema importância para o cliente, uma vez que o comprimento é um requisito que afeta a montagem e funcionabilidade da peça no veículo. O processo de acionamento do corte da máquina é feito através de um sistema pneumático regulado manualmente e a inspeção dos comprimentos são feitas pelos operadores de produção através do instrumento de medição trena a laser. É notório que o processo atual depende totalmente de fatores humanos e que a qualquer momento pode ocorrer um erro de ajuste, medição, ou segregação das peças defeituosas, acarretando no recebimento de peças fora do especificado pelo cliente e geração de reclamações oficiais.

Tal abordagem se justifica por solucionar a problemática relativa à qualidade e atividades humanas repetitivas. É interessante acrescentar que os humanos não conseguem ter a mesma repetibilidade que os processos automáticos possuem, principalmente quando se trata de operações rápidas. Considerando que a linha de produção roda em uma velocidade média de 15 metros por minuto, e que uma peça tem 710 milímetros, são produzidas aproximadamente 21 peças por minuto, uma quantidade alta para ser inspecionada e segregada manualmente pelo operador. Além disso, problemas de qualidade impactam diretamente na lucratividade, satisfação do cliente e excesso de produtos não conforme para descarte, sendo esses fatores diretamente ligados aos âmbitos econômico, social e ambiental. Dessa forma, a automação é um recurso tecnológico que pode ser utilizado para substituição de atividades humanas repetitivas, gerando redução de variabilidade dos processos, bem como diminuição dos desperdícios gerados, o que impacta positivamente nos resultados competitivos da empresa.

É oportuno acrescentar que apesar de o estudo não ter sido aprofundado em lógicas de programação, bem como informações técnicas e imagens reais da máquina devido à política de confidencialidade da empresa, os assuntos e ferramentas abordados no estudo em questão tem suma relevância para a formação de Engenheiros de Produção, visto que são abordados assuntos voltados à qualidade, estatística, tecnologia, máquinas, mão de obra e processos.

Neste contexto, o objetivo geral deste estudo de caso foi apresentar de que forma um dispositivo *Poka Yoke* automático em uma máquina de corte industrial, no processo de extrusão, reduziu a variabilidade da operação de corte e os desperdícios gerados por problemas de comprimento fora do especificado.

Tal propósito foi conseguido mediante ao estudo realizado em uma indústria automobilística multinacional, situada no município de Varginha – MG, com enfoque no setor produtivo de extrusão de Borracha Etileno Propileno Dieno (EPDM) e Elastômero Termoplástico (TPE), sendo desenvolvido no período de fevereiro a novembro de 2020, com implementação em junho/2020. Foi elaborado um referencial teórico baseado em livros, revistas e artigos científicos, bem como utilizados alguns conceitos de *Lean Manufacturing* e

os 7 desperdícios, ferramentas da qualidade como (CEP) Controle Estatístico de Processo e Diagrama de Causa e Efeito.

O trabalho inicia com o referencial teórico dos assuntos pertinentes. Em sequência é explicado o método utilizado para o desenvolvimento, seguido da coleta de dados, mapeamento do processo, funcionamento da máquina, análise da sua capacidade e identificação das causas geradoras do problema. Logo após é apresentada a implementação do *Poka Yoke* através de um desenho esquemático, e por fim é demonstrado os resultados e conclusões.

2 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (*LEAN MANUFACTURING*)

O Sistema Toyota de Produção (STP) foi desenvolvido na década de 1950 após a Segunda Guerra Mundial, pelo gerente da fábrica da Toyota no Japão, cujo nome é Taiichi Ohno, juntamente com seu superior Eiji Toyoda. Devido a situação enfrentada na época, em que havia poucos recursos, os dois proprietários da fábrica fizeram uma visita ao complexo da Ford nos EUA e puderam compreender de perto o conceito de produção em massa desenvolvida por Henry Ford. No entanto, a Toyota não tinha como produzir em grande volume devido à escassez de dinheiro para investimento em matéria-prima e operava em um país pequeno, onde as vendas não eram volumosas como nos EUA. Dessa forma, surgiu a ideia de produzir mais com menos recursos, para garantir a entrega e retorno de capital mais rápido. (LIKER, 2004)

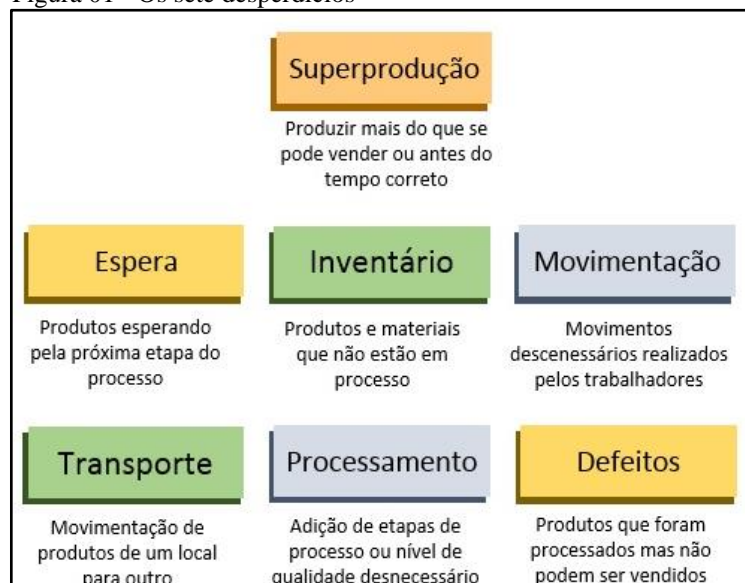
O STP teve grande importância para originar o termo *Lean Manufacturing*, cuja tradução significa Manufatura Enxuta, no qual o principal foco é produzir mais com menos reduzindo os desperdícios e agregando mais valor ao cliente. (JASTI; SHARMA, 2014)

2.1 Os sete desperdícios

Durante o desenvolvimento do STP foram identificadas três atividades distintas que contribuíam para o fraco desempenho das empresas, sendo elas denominadas *Muda*, *Mura* e *Muri*, que significam respectivamente desperdício, variabilidade e sobrecarga. (CACHIM, 2018)

Taiichi Ohno desmembrou o termo *Muda* em sete grupos de desperdícios conforme indicado na Figura 01.

Figura 01 - Os sete desperdícios



Fonte: Brenner (2014).

Estes desperdícios podem ser eliminados utilizando as técnicas e ferramentas que compõem o *Lean Manufacturing*. No presente estudo, será utilizada a ferramenta *Poka Yoke*.

2.2 Poka Yoke

Conforme Liker e Meier (2007, apud NUNES; MENEZES, 2014, p. 109) “*Poka Yoke* é traduzido como detector de falhas ou erros.” Essa ferramenta faz parte das inúmeras existentes dentro da metodologia *Lean Manufacturing*.

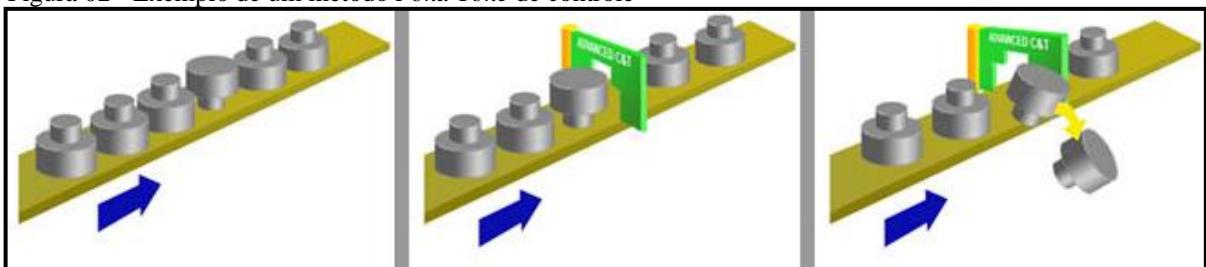
De modo geral em todas as organizações as pessoas cometem erros, porém para a Toyota o erro é uma falha do sistema e/ou dos métodos utilizados para o desempenho da tarefa, ou seja, os erros acontecem porque o sistema permite. Para tanto, deve-se analisar a causa e o tipo do erro (aleatório ou repetitivo). Em caso de erro aleatório, o treinamento das pessoas deve ser reforçado ou realizado e em caso de erro repetitivo, deve-se analisar as causas, impactos e desenvolver ferramentas e/ou dispositivos que garantam a não ocorrência da falha. (NUNES; MENEZES, 2014, p. 109).

De acordo com Shingo (1989) o *Poka Yoke* atinge 100% de inspeção por meios físicos ou mecânicos. Podendo ser de dois tipos:

- Controle: Onde a linha ou máquina é desativada quando detecta um problema ou a mesma descarta ou corrige o defeito;
- Alerta: onde o sistema emite um sinal sonoro ou luminoso com o intuito de alertar o trabalhador de que algo está errado na operação ou no processo.

Resumindo, um sistema *Poka Yoke* evita que um erro seja cometido, ou faz com que um erro seja facilmente identificado. A possibilidade de detectar erros através de uma inspeção rápida é essencial, já que, segundo Shingo, a maioria dos defeitos são causados por erros inadvertidos. Portanto, os erros não se tornarão defeitos (desvios à especificação do produto que podem conduzir ao descontentamento do cliente) se forem identificados e eliminados com antecedência. (NOGUEIRA, 2010, p. 6)

Figura 02 - Exemplo de um método *Poka Yoke* de controle



Fonte: Fiore (2013).

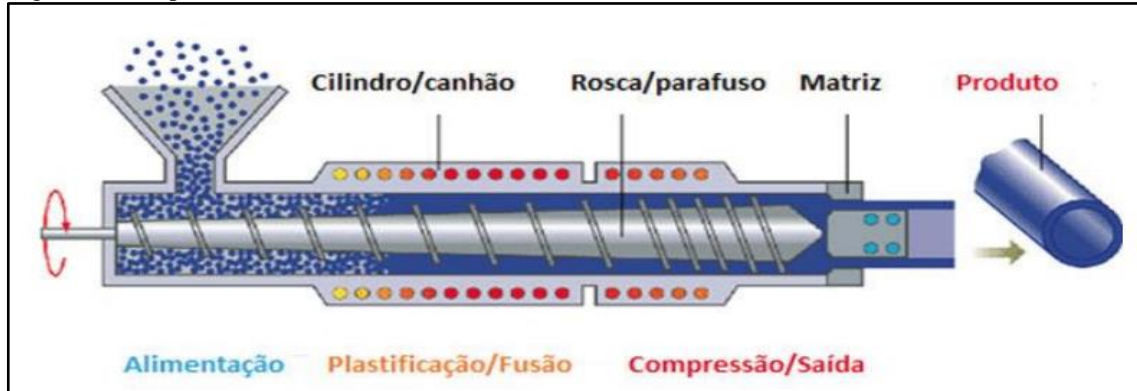
A Figura 02 exemplifica um método *Poka Yoke* de controle, que segrega peças defeituosas do processo através de seu contato incorreto no dispositivo. Essa sistemática auxilia no aumento da confiabilidade do processo, bem como na redução de desperdícios.

3 PROCESSO DE EXTRUSÃO

A extrusão é um processo de fabricação mecânico, que consiste basicamente em forçar um determinado material através do interior de um cilindro aquecido com a utilização de roscas sem fim, para comprimir o material contra uma matriz e por fim adquirir o formato desejado do perfil.

Após esse processo, o perfil pode passar por tratamentos térmicos, cortes, rolos e calibres para gerar o produto final. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO, 2014).

Figura 03 - Etapas de funcionamento de uma extrusora



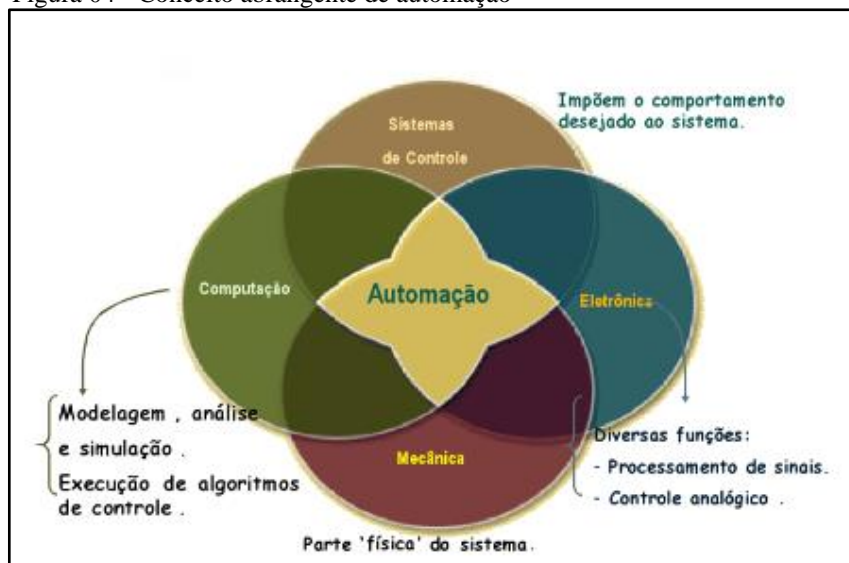
Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (2014).

Conforme a Figura 03 as etapas do processo de extrusão são basicamente compostas por alimentação do equipamento com o material desejado, plastificação ou fusão desse material através do aquecimento pelo calor gerado do cisalhamento da rosca contra a parede do cilindro juntamente com o calor das resistências, e compressão contra a matriz para adquirir o formato desejado. (NUNES, 2015).

4 AUTOMAÇÃO

A automação foi introduzida inicialmente nas indústrias de processo, quando os sistemas de controle e medição dos equipamentos passaram a ser desenvolvidos de modo elétrico e pneumático. Mais tarde, em meados de 1950 esse conceito passou a se expandir mediante ao surgimento da máquina de comando numérico. O avanço seguinte foi quando a leitura numérica foi substituída pelo computador, utilizando o Comando Numérico Computadorizado (CNC), cuja função é comandar a repetibilidade e operação de uma máquina operatriz através do computador, gerando alta precisão no produto final. (ROSÁRIO, 2012)

Figura 04 - Conceito abrangente de automação



Fonte: Rosário (2012).

O conceito de automação pode ser entendido como ações feitas pelo sistema baseado em informações recebidas por sensores ou outros recursos do meio sobre o qual atuam. Seu processo ocorre da seguinte forma: um computador recebe os sinais oriundos de várias fontes de medida, geralmente emitida por sensores, compara-as com os valores padrões e realiza operações para gerar as ações de correção final, que serão instruídas para os dispositivos de controle, essa simulação pode ser entendida através da Figura 04. (ROSARIO, 2012).

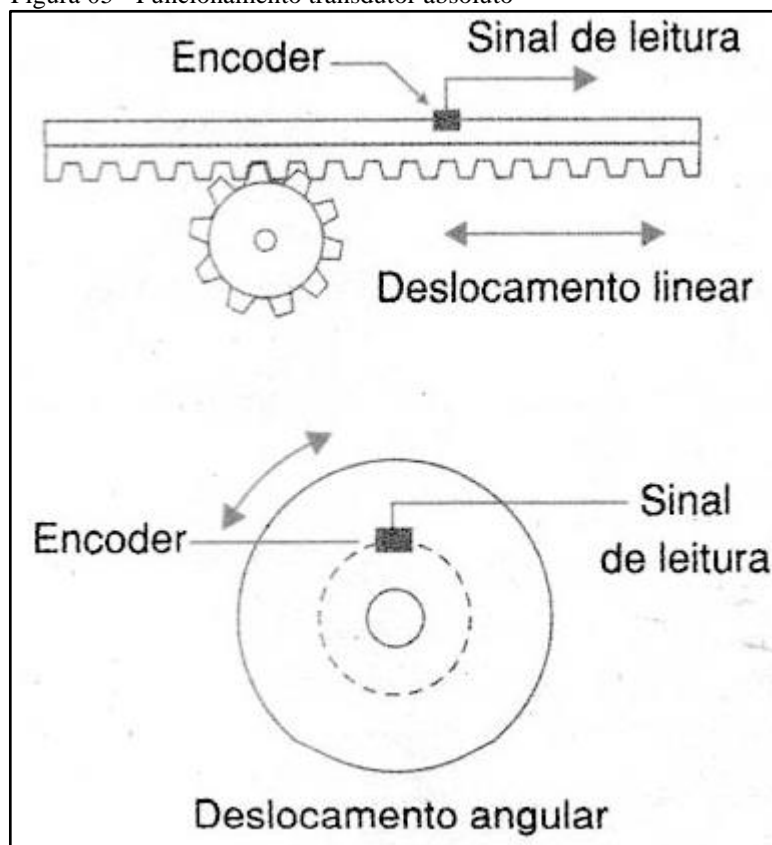
5 ENCODER

Existem diversos dispositivos que são de grande importância para a automação, dentre eles o *Encoder* é o mais utilizado e conhecido quando se trata da saída de informações relacionadas a posição exata de uma peça que se desloca linearmente. Esses sensores, também conhecidos como Transdutores Codificados fornecem informações para um circuito externo em forma de códigos, podendo ser classificados em:

- a) Transdutores relativos: fornecem informações sobre mudança de posição e não posição concreta;
- b) Transdutores absolutos: indicativos de posições reais da peça, sendo utilizados para medição de deslocamento.

A Figura 05 explicita o funcionamento de um transdutor absoluto. (BRAGA, 2012)

Figura 05 - Funcionamento transdutor absoluto



Fonte: Braga (2012).

A utilização de um *Encoder* é um ótimo recurso para reduzir a variabilidade de um determinado processo, pois a junção dele com os demais recursos garante processos mais robustos, o que acarreta na melhor confiabilidade dos produtos finais.

6 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma ferramenta utilizada para identificar se o processo está trabalhando de forma estável e tem como objetivo eliminar ou reduzir a variabilidade. Para isso, são utilizados os gráficos de controle, que possuem três referências importantes para validação das amostras quanto à qualidade, sendo elas: Limite Inferior de Controle (LIC), Limite Superior de Controle (LSC) e a média. Quando um processo está sob controle, todos os pontos das amostras estão dentro desses limites, por outro lado, se existir um ponto fora dos limites, o processo é considerado fora de controle e deve ser encontrada e eliminada a causa. (MONTGOMERY, 2009).

O CEP também fornece índices importantes para análise de capacidade do processo, conhecidos como:

C_p : mede a capacidade potencial do processo comparado a propagação dos seis sigma. Ou seja, considerando um processo centralizado.

C_{pk} : mede a capacidade real do processo, e é sempre mais precisa que o C_p , pois indica se o processo se deslocou bilateralmente. O Quadro 01 indica a interpretação para valores de C_p :

Quadro 01 - Referências para C_p

C_p	Itens não conformes (PPM)	Interpretação
$C_p < 1$	Acima de 2700	Processo incapaz
$1 \leq C_p \leq 1,33$	64 a 2700	Processo aceitável
$C_p \geq 1,33$	Abaixo de 64	Processo potencialmente capaz

Fonte: Montgomery (2009).

Nos últimos anos as empresas e indústrias estão buscando melhoria na qualidade e capacidade do processo, e em alguns casos até adotaram um C_p de pelo menos 2. O desvio padrão também é um índice importante para análise de variabilidade, pois quanto maior a distribuição dos dados, maior será o desvio padrão. (MONTGOMERY, 2009)

7 MÉTODO

O estudo de caso em questão foi realizado em uma indústria automobilística multinacional, situada no município de Varginha – MG, com enfoque no setor produtivo de extrusão de EPDM e TPE, sendo desenvolvido no período de fevereiro a novembro de 2020 e implementado em junho de 2020. Foi necessário pesquisas em livros e artigos científicos para embasamento teórico. E o tipo de pesquisa utilizada para solucionar a problemática em pauta foi classificada como exploratória, visto que os fatos que geram peças com comprimento fora do especificado foram relatados e estudados pelo autor com embasamento nas definições e delineamento dos assuntos bibliográficos, além disso, também pode ser classificada como descritiva, uma vez que houve coleta, exposição e interpretação de dados.

Inicialmente foram coletados os dados de reclamações dos clientes referentes ao defeito de comprimento fora do especificado do período de 2019 até junho de 2020, em seguida foi realizado um mapeamento macro do processo produtivo da empresa, para identificar e indicar em qual setor ocorreu o problema. Posteriormente, foi feito um fluxo do processo produtivo

desse setor, retratando em qual equipamento ocorre a falha. Após isso foi relatado o funcionamento e processo da máquina de corte através de um desenho esquemático, e posteriormente realizado um estudo estatístico da capacidade do processo através da medição do comprimento de 125 amostras com média de comprimento de 710 milímetros. Conforme a Figura 06, foi utilizado uma trena a laser para medição das peças, com precisão de 2 casas decimais depois da vírgula. Além disso, foi utilizado o *Software Minitab* para plotagem dos gráficos de controle.

Figura 06 - Medição das amostras com trena a laser



Fonte: O autor.

Em seguida foram identificadas as causas geradoras do problema em questão para enfim ser apresentado a implementação do *Poka Yoke* automático, cujo funcionamento é baseado na atuação de um *Encoder*, que realiza a medição de posição da peça e compara com o *setpoint* da cortadeira a fim de definir se está dentro do especificado ou não.

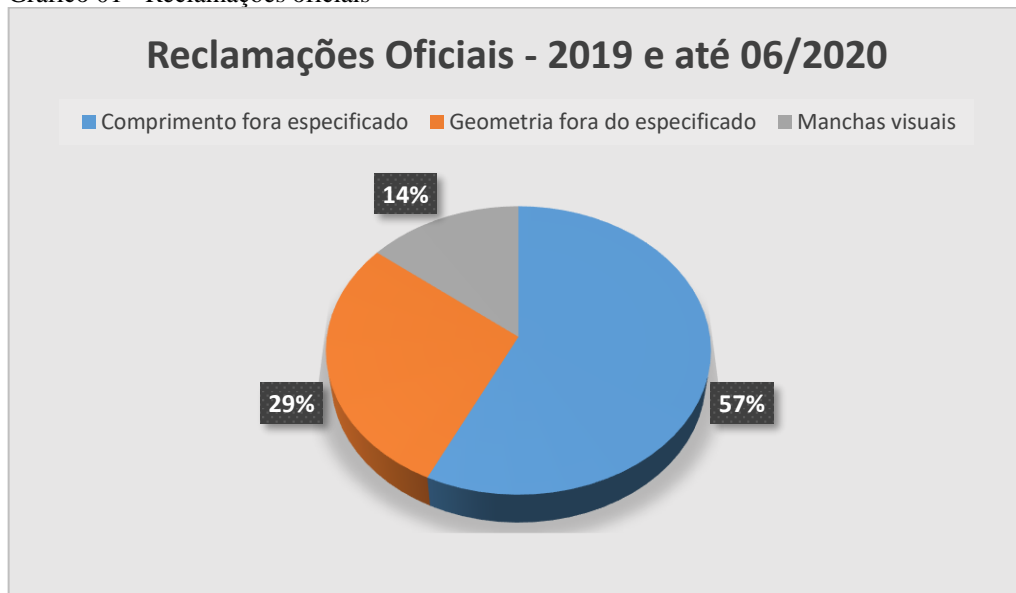
Posteriormente foram mensurados e comparados no cenário estudado quais são os tipos de desperdícios gerados antes e depois da implementação, assim como elaborado um novo estudo estatístico da capacidade do processo.

Após implementação, foi realizado os comparativos das métricas, bem como apresentado os custos de implementação e as vantagens geradas.

7.1 Coleta dos dados

Inicialmente, foram coletadas as quantidades de reclamações oficiais das montadoras no período de 2019 até junho de 2020, conforme indicado no Gráfico 01.

Gráfico 01 - Reclamações oficiais



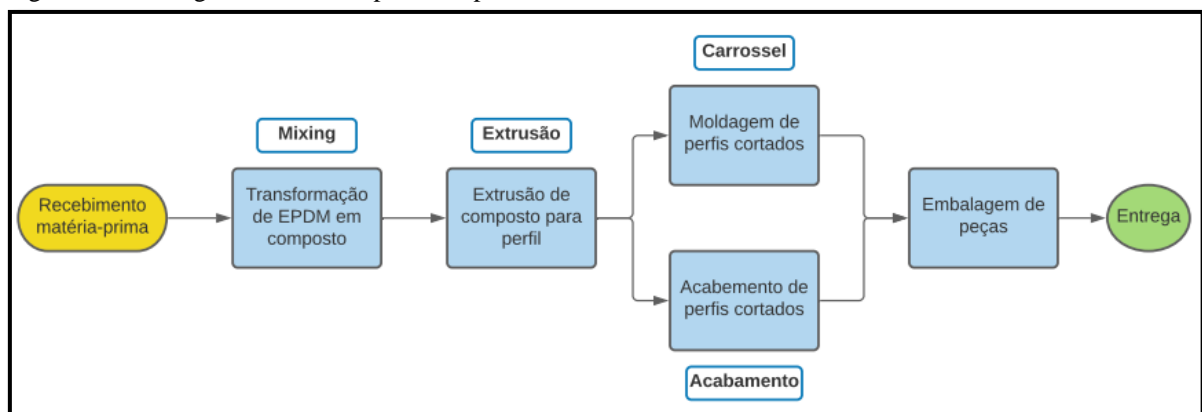
Fonte: o autor.

Do total de 21 reclamações oficiais, 12 foram por motivos de corte de comprimento fora do especificado, indicando um percentual de 57% do total, ou seja, a maior responsabilidade de insatisfação dos clientes está relacionada a problemas de comprimento. Dessa forma, torna-se necessário mapear o processo para entender onde e como esse problema é gerado.

7.2 Processo produtivo

O processo produtivo macro da empresa pode ser entendido pelo esquema indicado na Figura 07, que mostra a transformação do EPDM e TPE em peça semiacabada e acabada.

Figura 07 - Fluxograma macro do processo produtivo



Fonte: O autor.

O processo macro de manufatura da indústria consiste em basicamente transformar a matéria prima em composto EPDM, para posteriormente passar pelo processo de extrusão e gerar perfis contínuos conforme as geometrias das matrizes pretendidas. Ao final desse processo, os perfis são cortados no comprimento especificado e transformados em material semiacabado, para enfim serem moldados, acabados e embalados para entrega ao cliente. A partir desse fluxo é possível enxergar que os problemas de comprimento ocorrem na fase de

extrusão durante o corte do perfil, sendo assim, é necessário entender afundo o processo de extrusão e em específico a operação de corte.

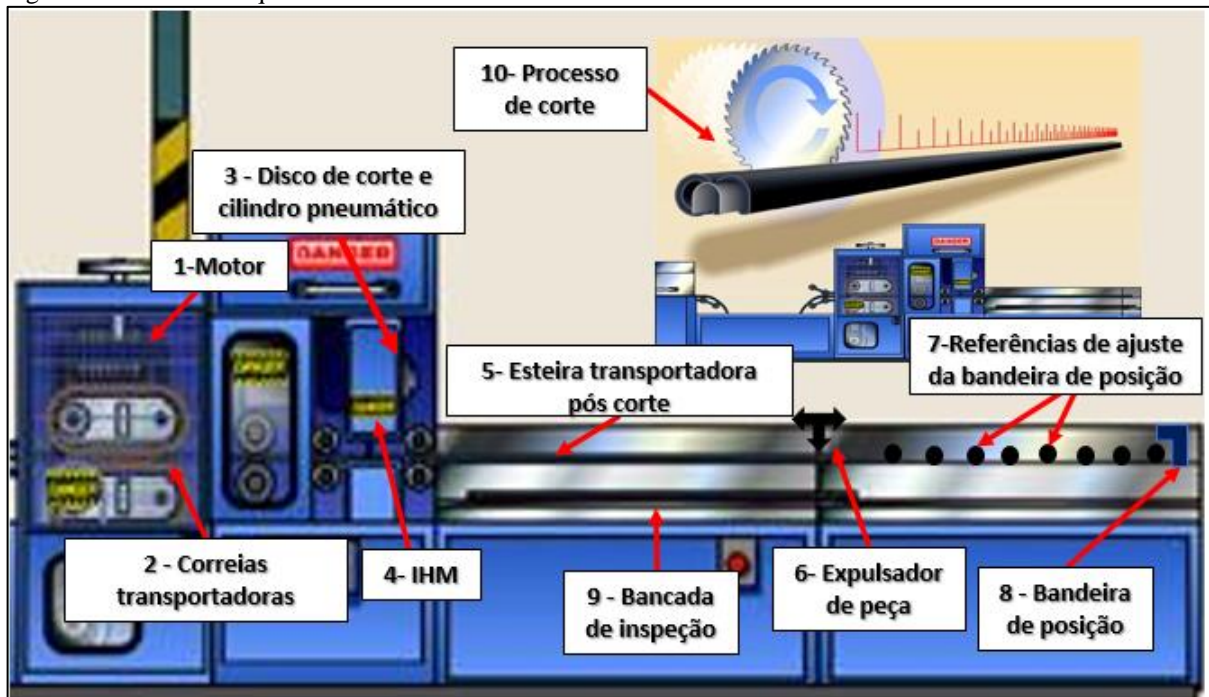
7.2.1 Processo produtivo de extrusão

O processo produtivo de extrusão ocorre através de uma linha de produção contínua sequenciada pelos equipamentos indicados conforme Apêndice A. A primeira etapa se trata da transformação do composto em perfil conforme a geometria especificada, esse processo ocorre desde as extrusoras, passando pelos fornos e tanques de resfriamento. Em seguida, o perfil passa por tratamentos superficiais em máquinas específicas e aplicação das características finais, tais como furação e identificação de rastreabilidade. E por fim, os perfis sofrem o processo de corte pela cortadeira, sendo nesse momento a geração de ocorrência dos problemas relacionados a comprimento.

7.2.2 Operação da cortadeira

A cortadeira é constituída pelos componentes indicados na Figura 08 e dividida em basicamente dois estágios de funcionamento.

Figura 08 - Desenho esquemático da cortadeira



Fonte: O autor.

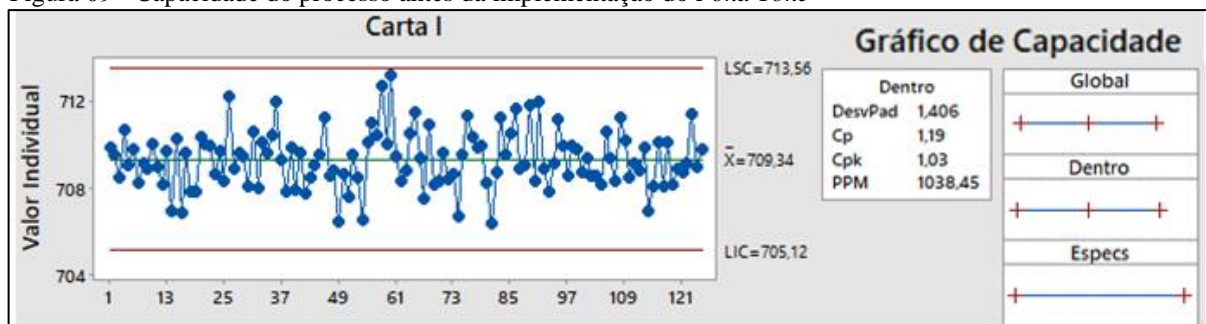
O primeiro estágio é baseado na atuação de um motor que rotaciona os eixos das correias para transportar o perfil contínuo até o segundo estágio da máquina. A segunda etapa é composta por um cilindro pneumático interligado em uma rede de ar comprimido localizada na parte traseira da máquina, que se comunica com o expulsor de peças e a bandeira de posição. O avanço vertical do disco ocorre 1 segundo após a peça encostar a sua extremidade na bandeira de posição, que são posicionadas manualmente através de pinos ajustáveis conforme indica o item 7 da Figura 08. Em seguida, é enviado um sinal para o ar do expulsor despejar a peça na bancada de inspeção, para enfim ser inspecionada e embalada pelo operador. Todas as lógicas de programação são feitas pelo setor de Engenharia Avançada, tornando essa informação confidencial. As opções disponíveis na Interface Homem Máquina (IHM) são

apenas as funções de selecionar e cadastrar novas receitas de comprimento de peças. Depois de todo esse processo, o operador de produção faz a inspeção do comprimento das peças de 30 em 30 minutos com a utilização de uma trena a laser, e por fim separa manualmente as peças não conforme para serem refugadas. Com esse entendimento, foi necessário validar com estudos estatísticos se esse processo é capaz ou não.

7.2.2.1 Análise da capacidade do processo

Com o intuito de mensurar a capacidade do processo e sua variabilidade, foi realizado a medição de 125 amostras com especificação de comprimento de 710 milímetros com tolerâncias de mais ou menos 5 milímetros. A figura 09 indica os resultados da plotagem do gráfico no *Minitab*.

Figura 09 - Capacidade do processo antes da implementação do *Poka Yoke*



Fonte: o autor.

O gráfico indicou que a média das amostras medidas equivale a 709,34 milímetros com os limites inferiores e superiores expostos no gráfico. Além disso, é notório que o processo tem grande variabilidade, podendo ser confirmado pelo alto valor do desvio padrão. Já considerando o valor do Cp, pode-se concluir que o processo é aceitável, porém podem ser feitas melhorias devido ao alto índice de Partes por Milhão (PPM) defeituosas. Seguindo essa vertente, foram analisadas as causas para criação da solução a fim de reduzir o PPM e aumentar o Cp.

7.2.2.2 Identificação das causas

Foi utilizado o Diagrama de Causa e Efeito, disposto no Apêndice B com o intuito de identificar as causas para geração de comprimento maior ou menor que o especificado. O Diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta que auxilia na identificação das causas e sua relação com o efeito desmembrado em seis blocos chamados de 6M: Método, Máquina, Mão de Obra, Matéria-Prima, Meio Ambiente e Medição.

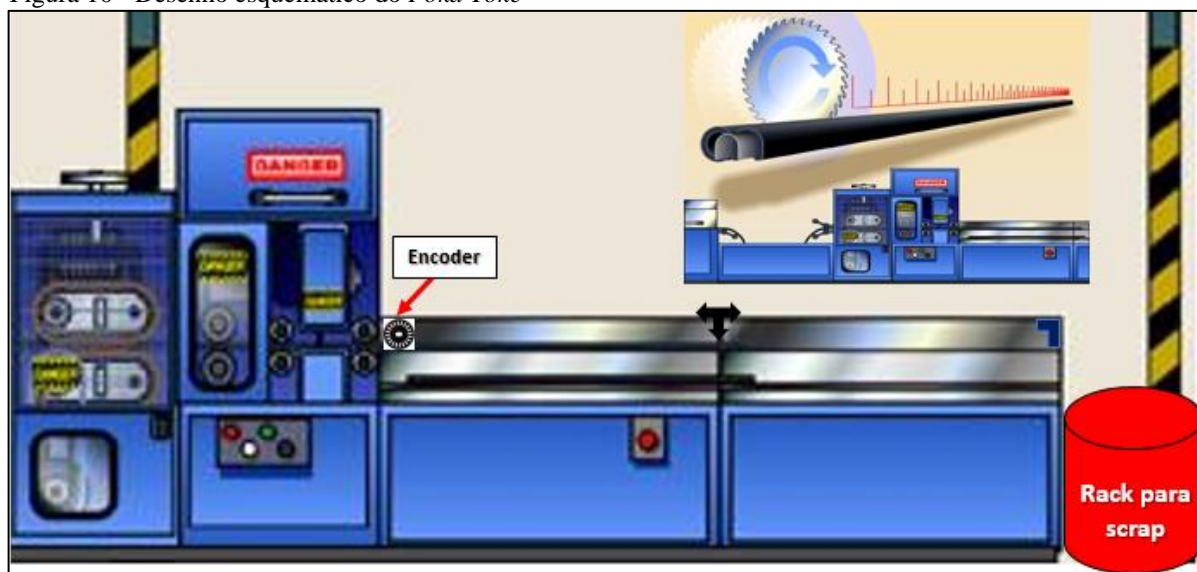
A análise de causa e efeito é uma ferramenta extremamente poderosa. Um diagrama de causa e efeito altamente detalhado pode servir como uma ajuda eficaz para a solução de problemas. Além disso, a construção de um diagrama de causa e efeito como uma experiência da equipe tende a envolver as pessoas no ataque a um problema, em vez de atribuir a culpa. (MONTGOMERY, 2009, p. 203)

As causas comprovadas foram identificadas após reprodutibilidade do erro no processo, ou seja, gerando propositalmente ausência de repetibilidade dos ajustes de posição da bandeira, com excesso de folga ou aperto. Sendo notório que o processo não é estável e que a qualquer momento pode gerar falhas impactando diretamente na satisfação dos clientes, foi implementado um dispositivo *Poka Yoke* automático a fim de solucionar as causas comprovadas que geram o efeito mencionado.

7.3 Implementação do dispositivo *Poka Yoke*

O dispositivo *Poka Yoke* implementado tem como ideia principal acoplar um *Encoder* no eixo das esteiras transportadoras do perfil pós corte, para gerar a contagem de deslocamento e fazer um comparativo com o *setpoint* da cortadeira. Através desse comparativo, o próprio sistema pode segregar as peças boas das peças ruins e descartá-las de modo automático no *rack* para *scrap*. A Figura 10 indica o esquema da máquina após a implementação do *Poka Yoke*.

Figura 10 - Desenho esquemático do *Poka Yoke*



Fonte: o autor.

Desse modo, após o disco de corte ser acionado, o *Encoder* faz a leitura e compara com o *setpoint*, caso os valores estejam corretos, o sistema pneumático aciona o expulsador e manda a peça para a bancada de inspeção, designando que está boa. Por outro lado, se os valores estiverem incoerentes, a peça passa pela correia transportadora, o sistema pneumático levanta a bandeira e em seguida a peça cai no *rack* para *scrap*. Esse sistema elimina a necessidade de ajuste manual das posições das bandeiras, eliminando a causa identificada como geradora do problema.

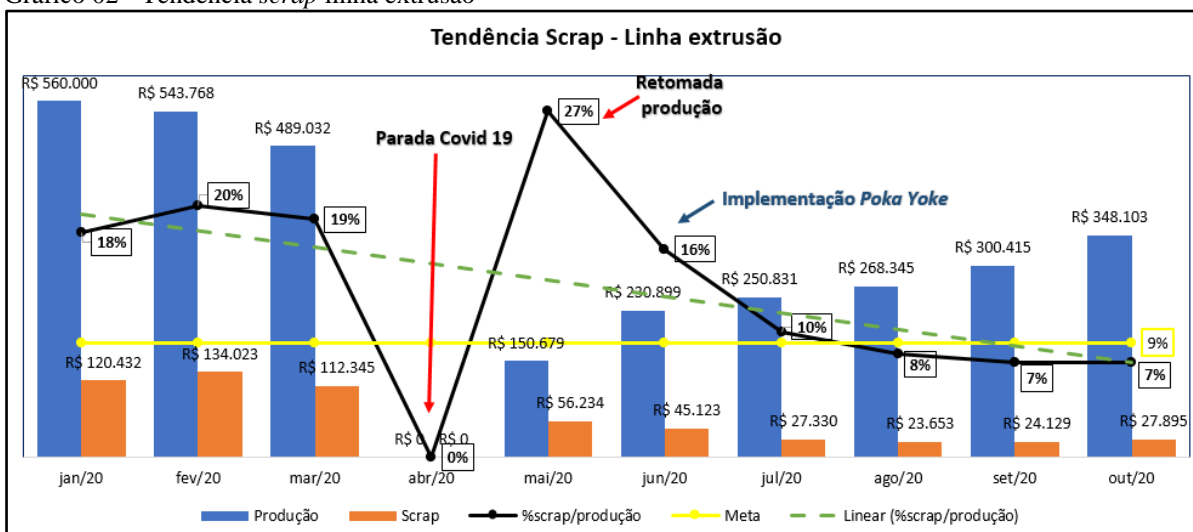
É importante ressaltar que o custo para implementação do *Poka Yoke* foi apenas de R\$300,00 destinado a compra do *Encoder*. O *rack* para *scrap* é um recurso interno da empresa, e toda programação e instalação foram feitas pelos especialistas em lógicas de programação, técnicos eletrônicos, mecânicos e eletricitas, que também são colaboradores da empresa.

A implementação desse dispositivo deixou o processo mais robusto, gerando inúmeras vantagens e reduções, cujos comparativos serão mensurados a seguir.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse momento, é oportuno levantar que o maior desperdício identificado no processo foram peças defeituosas, portanto, foi levantado os dados de quantidade em R\$ e % de refugo sobre produção da linha de extrusão e feito um comparativo entre os meses conforme indicado no Gráfico 02.

Gráfico 02 - Tendência *scrap* linha extrusão



Fonte: O autor.

É observado que antes da implementação do *Poka Yoke* a linha tinha uma média de 19% de refugo sobre produção, após o mês de junho, houve uma queda significativa desse percentual estabilizando em 7% nos últimos dois meses, atingindo um resultado abaixo da meta de 9%. Também é importante salientar que a linha de tendência indica que para os próximos meses o % de refugo sobre produção terá mais decréscimo.

Para comprovar mais afundo esse resultado, foi realizado o Gráfico 03, que compara as quantidades refugadas em R\$ especificamente por problemas de comprimento fora do especificado ao longo dos meses.

Gráfico 03 - Tendência *scrap* (R\$) por comprimento fora do especificado



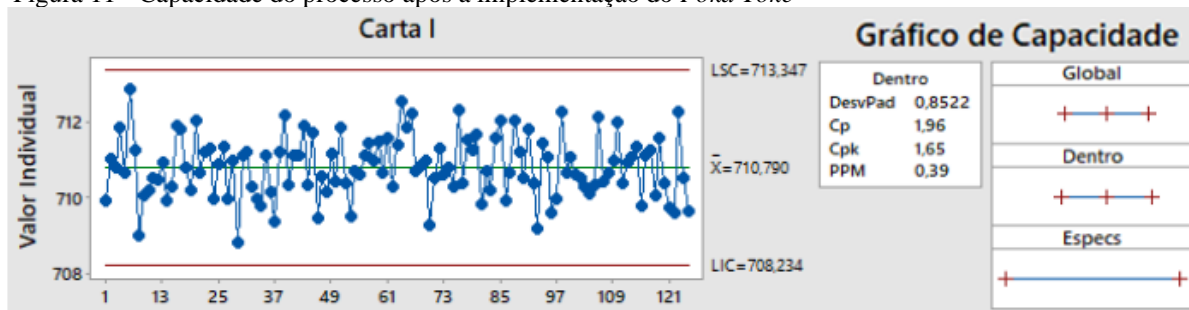
Fonte: O autor.

Com base no gráfico acima, é notório que após a implementação do projeto em junho, o refugo em R\$ por motivos de comprimento fora do especificado teve uma redução de R\$ 31.478 no mês de outubro comparado ao mês de junho. Sendo assim, o projeto comprova as reduções de refugo e defeitos e ainda indica uma tendência de redução continuada.

Com base nos sete desperdícios, foi identificado também excesso de movimentação no processo de inspeção pelo operador. Pois o mesmo necessitava andar para depositar peças não conforme no *rack* para *scrap*. Com a implementação do *Poka Yoke* foi eliminada essa movimentação, uma vez que, quando a peça é identificada como não conforme, cai diretamente no *rack* para *scrap*.

E por fim, foi realizado um novo estudo de capacidade do processo com o mesmo método realizado antes da implementação. A Figura 11 indica o gráfico de controle do processo com as medidas coletadas das amostras produzidas no dia 19 de outubro de 2020.

Figura 11 - Capacidade do processo após a implementação do *Poka Yoke*



Fonte: o autor.

Com base no gráfico, é possível observar que a média das amostras está mais próxima do valor especificado, indicando 710,79 milímetros e que a variabilidade dos dados diminuiu devido ao desvio padrão também ter reduzido de 1,406 para 0,852. Já o Cp indicou um aumento significativo de 1,19 para 1,96, concluindo que o processo é potencialmente capaz. E por fim, o número de PPM também reduziu de 1038,45 para 0,39, o que resulta na atenuação de desperdícios.

9 CONCLUSÃO

Com base na implementação do dispositivo *Poka Yoke* e os resultados apresentados, é notório que a problemática foi solucionada através da redução de processamento de peças com comprimento fora do especificado e da diminuição da variabilidade do processo, bem como eliminação das atividades repetitivas humanas. Isso evidencia que o objetivo geral foi alcançado e que tais fatos impactaram diretamente na satisfação dos clientes, visto que não houveram mais reclamações oficiais por problemas de comprimento após o mês de junho de 2020.

Seguindo a vertente dos 7 desperdícios do *Lean Manufacturing*, é oportuno mencionar que os dois desperdícios identificados no processo foram reduzidos com a implementação do *Encoder*, sendo um ligado a peças defeituosas, e o outro excesso de movimentação dos operadores. Essa ferramenta foi de grande valia pois auxiliou na visão de desperdícios que não poderiam ser identificados tão facilmente.

Além disso, o CEP foi de extrema importância para analisar estatisticamente a capacidade do processo e comprovar o objetivo de redução de variabilidade através do desvio padrão e índice Cp. Esta condição impactou diretamente na qualidade dos produtos finais, pois o processo se tornou padronizado e mais robusto.

Financeiramente, o projeto apresentou grande vantagem econômica e aumento da margem de lucro, uma vez que o custo do *Encoder* foi relativamente baixo comparado a redução de *scrap* em R\$ atingida após implementação do *Poka Yoke*. Caso ele não fosse implantado, o processo continuaria gerando peças defeituosas, reclamações de clientes, trabalho repetitivo humano e prejuízos financeiros.

Nessa perspectiva, o alcance do objetivo gerou impactos positivos nos âmbitos econômicos, ambientais e sociais, uma vez que houve aumento da margem de lucro juntamente com a satisfação dos clientes, além disso houve redução de descartes de peças defeituosas no meio ambiente e foi eliminada a fadiga humana proveniente de atividades repetitivas.

Apesar de todas as vantagens apontadas, algumas limitações como o sigilo das informações de lógicas de programação, bem como informações técnicas da máquina

impediram o projeto de ter sido mais aprofundado. Nesse sentido, o presente estudo pode ser detalhado futuramente sob a ótica dessas considerações faltantes.

REFERÊNCIAS:

ALMEIDA, P. S. **Manutenção Mecânica Industrial**, Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada, [s.n.]. São Paulo: Érica, 2014. Disponível em: <books.google.com.br/books?id=sLZiDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Paulo+Samuel+De+Almeida%22&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjh6LeTj_bpAhVJHLkGHh6NASsQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 05 mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). **Processos de transformação para materiais plásticos**. São Paulo: ABIPLAST, 2014. Apresentação. Disponível em: <file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/apresentacao_sobre_transformacao_vf.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2020.

BERNARDO, L. C. M. Projeto de máquina de corte e furação de perfil: standard work de montagem de produtos standard, 2015. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2015. Disponível em: <repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/90245/2/35732.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2020.

BRAGA, N. Como funcionam os encoders (MEC128). **Institute NCB**, 2012. Disponível em: www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/5454-mec128. Acesso em: 01 out. 2020.

BRENNER, P. As 7 Perdas da Produção. **Produtividade**, 2014. Disponível em: <produtividadeblog.wordpress.com/2014/03/15/as-7-perdas-da-producao/>. Acesso em: 31 out. 2020.

CACHIM, H. M. **Implementação de metodologias Lean num setor de trabalho Corte LASER 2D**, 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2018. Disponível em: <docplayer.com.br/135813458-Implementacao-de-metodologias-lean-num-setor-de-trabalho-corte-laser-2d.html>. Acesso em: 27 mar. 2020.

CARMO, A. R. **KPI como base para modelagem de requisitos não funcionais em processos de negócio**, 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100131/tde-09032017-235011/pt-br.php>. Acesso em: 07 jun. 2020.

CONSUL, J. T. Aplicação de Poka Yoke em processos de caldeiraria. **Production**, Porto Alegre, v. 25, n. 3, p. 678-690, 2015. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132015005084012&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 25 fev. 2020.

EATON, M. **The Lean Practitioner's Handbook**, [s.n.]. London: Kogan Page, 2013. Disponível em: <books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=pIYiB-3cew8C&oi=fnd&pg=PP5&dq=The+Lean+Practitioner%27s+Handbook,&ots=qzYXNGc7gm&sig=TcprAgpZWErOJrJBvI0d->

N9aphY#v=onepage&q=The%20Lean%20Practitioner's%20Handbook%2C&f=false>
Acesso em: 03 Jun. 2020.

FIORO, V.; HENRIQUE, F. O que é Poka Yoke?. **Industria Hoje**, 2013. Disponível em:
<industria hoje.com.br/o-que-e-poka-yoke>. Acesso em: 31 out. 2020.

IMAI, M. **Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy**, 2. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2012. Disponível em:
<www.academia.edu/35760416/Gemba_Kaizen_A_Commonsense_Approach_to_a_Continuo_us_Improvement_Strategy_2nd_Edition>. Acesso em: 05 jun. 2020.

JASTI, N. V. K; SHARMA, A. **Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Birla Institute of Technology and Science (BITS), Pilani, 2014. Disponível em:
<www.emerald.com/insight/publication/issn/2040-4166>. Acesso em: 27 mar. 2020.

LIKER, J. K. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**. [s.n.]. Madison: CWL Publishing Enterprises, 2004. Disponível em:
<gtu.ge/Agro-Lib/%5BJeffrey_Liker%5D_The_Toyota_Way_-_14_Management_Pri(BookFi.or.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2020.

MARQUES, J. P. C. P. S. **A aplicação de dispositivo Poka Yoke na melhoria do processo produtivo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto) – Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014. Disponível em: <estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/39055> Acesso em: 23 mar. 2020.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 6. ed. Jefferson City: John Wiley & Sons, 2009. Disponível em:
<www.academia.edu/29943359/_Livro_Introdu%C3%A7%C3%A3o_ao_Controle_Estat%C3%ADstico_da_Qualidade_Montgomery_Ingl%C3%AAs_>. Acesso em: 15 out. 2020.

NASCIMENTO, D. M.; DINIZ H. H. L.; GABÚ A. B. S. Manutenção Produtiva Total: Estudo de caso em uma indústria de bebidas. **Revista de Trabalhos Acadêmicos Universo Recife**, Recife, v. 4, n. 2-1, p. 6-7, 2017. Disponível em:
<www.revista.universo.edu.br/index.php?journal=1UNICARECIFE2&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=5138>. Acesso em: 06 jun. 2020.

NOGUEIRA, L. J. M. **Melhoria da Qualidade através de Sistemas Poka-Yoke**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010. Disponível em:
<pdfs.semanticscholar.org/5719/63a806054be65cacad8710f23ac045463ad6.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2020.

NUNES, A. T.; **Desvulcanização termomecânica contínua de borracha natural da banda de rodagem de pneus automotivos: por meio do processo de extrusão em rosca dupla**. 2015. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015. Disponível em: <repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7423>. Acesso em: 07 jun. 2020.

NUNES, F. L.; MENEZES, F. M. Sistema Hyundai de produção e sistema Toyota de produção: suas interações e diferenças. **Revista Acadêmica São Marcos**, Alvorada, ano 4, n. 2, p. 101-120, 2014. Disponível em:

<www.researchgate.net/publication/308991489_Sistema_Hyundai_de_producao_e_sistema_Toyota_de_producao_suas_interacoes_e_diferencas>. Acesso em: 24 mar. 2020.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: Além da produção em larga escala. [s.n.]. [S.l.]: Bookman, 1997. Disponível em: <www.academia.edu/16347106/Taiichi_Ohno_-_O_Sistema_Toyota_de_Produ%C3%A7%C3%A3o?auto=download>. Acesso em: 03 jun. 2020.

PAGATINI, M. **Implementação do Índice de Rendimento Operacional Global**: IROG, em Máquinas CNC de Corte a Laser. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017. Disponível em: <repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/4109>. Acesso em: 15 mar. 2020.

PARMENTER, D. **Key Performance Indicators**, Developing, Implementing, and Using Winning KPIs. 3 ed. New Jersey: Wiley, 2015. Disponível em: <jadoobi.com/wp-content/uploads/2018/03/Parmenter-David-Key-performance-indicators_-_developing-implementing-and-using-winning-KPIs-Wiley-2015.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2020.

PASCAL, D. **Produção Lean Simplificada**, Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. Disponível em: <www.academia.edu/40161431/Livro_Produ%C3%A7%C3%A3o_Lean_Simplificada_Um_Guia_Para_Entender_o_Sistema_e_Produ%C3%A7%C3%A3o_mais_Poderoso_do_Mundo?auto=download>. Acesso em: 05 jun. 2020.

RAUWENDAAL, C. **Polymer Extrusion**. 5 ed. Auburn: Hanser Publications, 2013. Disponível em: <https://www.academia.edu/42835161/Rauwendaal_Polymer_Extrusion>. Acesso em: 07 jun. 2020.

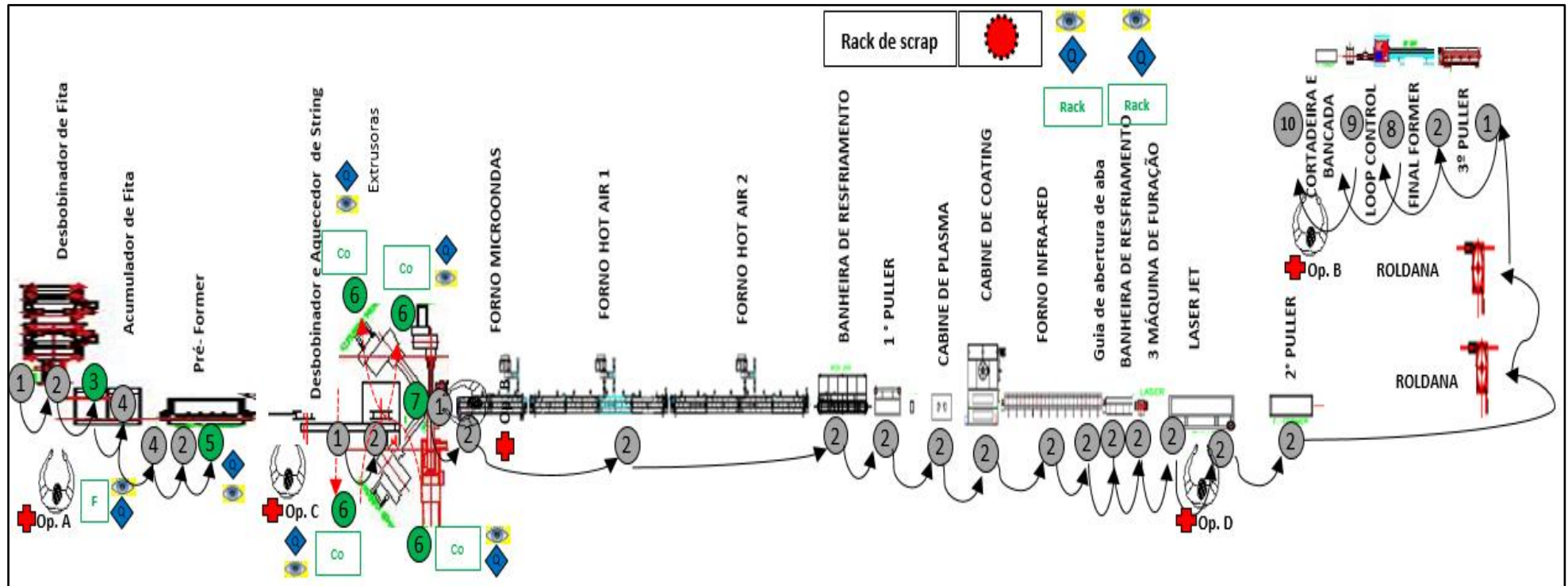
ROSÁRIO, J. M. **Automação Industrial**, [s.n.]. São Paulo: Baraúna, 2012. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=YsUHLcHdbh4C&oi=fnd&pg=PA9&dq=automatiza%C3%A7%C3%A3o+industrial&ots=3klQIpQZ6r&sig=TdKuymaQDDaPA5sjlZvbokzPow8#v=onepage&q=automatiza%C3%A7%C3%A3o%20industrial&f=false>>. Acesso em: 07 jun. 2020.

SHINGO, S. **A study of the Toyota Production system**, Rev. ed. Tokyo; Japan Management Association, 1989. Disponível em: <books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=RKWU7WEIJ7oC&oi=fnd&pg=PR13&dq=a+study+of+the+toyota+production+system+shigeo+shingo+pdf&ots=nkaO7yCAcB&sig=fIzLBAhMICuVC8pHvAMfNz-Ptf8#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 02 jun. 2020.

SPITZER, D. R. **Transforming Performance Measurement**, Rethinking the Way We Measure and Drive Organizational Success, [s.n.]. New York: Amacom, 2007. Disponível em: <www.untagsmd.ac.id/files/Perpustakaan_Digital_2/ORGANIZATIONAL%20EFFECTIVENESS%20Transforming%20performance%20measurement,%20Rethinking%20the%20way%20we%20measure%20.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2020.

ZATTAR, I. C.; RUDEK, S.; TURQUINO, G. S. O uso do indicador OEE como ferramenta na tomada de decisões em uma indústria gráfica: um caso prático. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 113-132, 2010. Disponível em: <incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/623>. Acesso em: 03 jun. 2020.

Apêndice A - Fluxograma do processo de extrusão



Apêndice B - Diagrama de Causa e Efeito

