

**Aplicação do dispositivo poka yoke para melhoria de qualidade na
segurança do trabalho: um estudo de caso**

**Application of the poka yoke device for quality improvement in work
safety: a case study**

Alyson Pereira Rodrigues* – alisonluz93@outlook.com
Ricardo Daher* – ricardo.daher@hotmail.com

*Universidade CEUMA, UNICEUMA, São Luís, MA

Article History:

Submitted: 2018 - 04 - 14

Revised: 2018 - 05 - 16

Accepted: 2018 - 06 - 25

Resumo: O objetivo desta pesquisa é aplicar o sistema Poka-Yoke em ambiente industrial visando melhoria da qualidade na segurança do trabalho e garantir a realização de atividades com redução de erros humanos. Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa e exploratória, que utiliza como procedimentos técnicos a pesquisa bibliográfica e um estudo de caso em uma indústria nordestina. Esta pesquisa apresenta primeiramente os princípios do Poka-Yoke e sua aplicação e principais passos da sua implementação. Em seguida é descrita a apresentação da empresa bem como a metodologia utilizada para atingir os resultados e discussões. Finalmente, as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros são apresentadas.

Palavras-chave: PokaYoke, Melhoria, Erros Humanos, Segurança no Trabalho.

Abstract: The aim of this research is to apply the Poka-Yoke system in an industrial environment aiming at improving the quality of work safety and guaranteeing the performance of activities with reduction of human errors. This work is characterized as a qualitative and exploratory research, which uses as technical procedures the bibliographic research and a case study in a northeastern industry. This research presents first the principles of Poka-Yoke and its application and the main steps of its implementation. Next, the presentation of the company is described as well as the methodology used to achieve the results and discussions. Finally, the final considerations and recommendations for future work are presented.

Keywords: Poka Yoke, Improvement, Human Errors, Safety at Work.

1. Introdução

Há uma contínua busca de empresas para conseguir atingir os níveis de melhoria desejados e garantir eficiência frente aos concorrentes. Segundo Parente, Geleilate e Rong (2018) a situação resulta de as empresas não selecionarem as ferramentas mais adequadas ao seu caso.

É importante destacar o aumento da concorrência mundial e o fenômeno da globalização da economia passaram a provocar mudanças importantes na garantia de processo estáveis e confiáveis. Tais mudanças estão relacionadas com a constante busca por maior flexibilidade, qualidade e segurança bem como com a redução de falhas e acidentes.

Existe um conjunto de ferramentas capazes de ajudar as empresas a concretizarem esse objetivo, designadamente ao nível da detecção e prevenção de falhas, dentre tais ferramentas a presente pesquisa abordará a aplicação do sistema a prova de erros (Poka Yoke) (Al-Araidah *et al.*, 2010; Saurin *et al.*, 2012).

Atualmente, segurança no trabalho é um tema disseminado em todo o mundo, ultrapassando fronteiras, mesmo que ainda em estágios diferentes em cada continente. Independentemente do porte da organização, este assunto é destaque na rotina de qualquer empresa visto que a responsabilidade social e a preocupação com o bem estar dos funcionários e de seus familiares são assuntos muito discutidos.

É de suma importância que a Engenharia de Produção se aproprie cada vez mais dos processos que especifiquem a qualidade na segurança durante a realização de atividades, identificando que nos fluxos de produção estão inclusos erros, retrabalho e falhas. A partir da necessidade, entre questões práticas e teóricas, neste trabalho busca-se discutir alguns conceitos nos quais são direcionados procedimentos de avaliação e manutenção de critérios de qualidade no ambiente industrial.

O presente trabalho é relevante, pois aborda a aplicação de uma ferramenta de melhoria da qualidade para evitar erros no processo produtivo e aumentar níveis de eficiência na segurança dos colaboradores no ambiente de trabalho.

Na perspectiva do desenvolvimento acadêmico, o sistema Poka Yoke é um tema atual e pouco explorado com foco na melhoria da segurança do trabalho. A presente pesquisa visa fomentar aplicações deste sistema em ambientes de trabalho ressaltando a importância das ferramentas disseminadas na Engenharia de Produção.

O artigo está estruturado: o capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica atualizada sobre *lean* e ferramentas, tais como: Poka Yoke. O capítulo 3 descreve a metodologia adotada, as etapas para aplicação realizada. O capítulo 4 apresenta o estudo de caso adaptado à realidade da empresa estudada. Finalmente, o capítulo 5 apresenta as considerações finais do estudo realizado e propostas para projetos futuros.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Sistema Toyota de Produção (STP)

Os princípios e práticas da produção enxuta (PE) têm sido cada vez mais utilizado por uma série de indústrias (Liker, 2004; Smalley, 2004) Desde a década de 50 este termo começou a ser divulgado no Ocidente no contexto de expansão do Sistema Toyota de Produção (Miyake, 2002) e a produção puxada é um dos princípios que melhor caracterizam a operação de um sistema enxuto (Barbosa *et al.*, 2016).

O *lean manufacturing*, em uma perspectiva internacional, é uma das mais abordagens comumente usadas para melhoria na fabricação empresas em matéria de qualidade, custo e tempo (Narayanamurthy *et al.*, 2016). *Lean* segue regras simples para reduzir o desperdício nos processos - chamado muda - e concentra-se em ações de valor agregado (Hopp *et al.*, 2004; Meudt *et al.*, 2016; Aull *et al.*, 2012). Métodos de produção enxuta estão destinados para elevar o eficiência do departamento de produção (Hoellthaler *et al.*, 2018).

Ao se analisar o *Lean Production* (LP) ou a Manufatura Enxuta (ME) na literatura, pode-se verificar que esta é geralmente descrita a partir de dois pontos de vista (Sieckmann *et al.*, 2018). O primeiro refere-se a uma perspectiva filosófica relacionada com os princípios orientadores e objetivos globais e o segundo a partir da perspectiva prática de um conjunto de práticas de gestão, ferramentas ou técnicas que podem ser observadas diretamente (Negrão *et al.*, 2016).

No que se refere ao pensamento *lean*, alguns autores descrevem que a essência desse pensamento é a integração de todos os processos de negócios em um sistema unificado, tendo como finalidade proporcionar um maior valor agregado para os clientes através da melhoria contínua (*kaizen*) e eliminação de desperdícios. (Torquato *et al.*, 2016; Carelli *et al.*, 2016).

É importante compreender a distinção da administração enxuta e produção enxuta. Enquanto a administração enxuta foca processos de negócios de divisões corporativas indiretas *lean* a produção prioriza processos diretos (Hinckley, 2007) . Operações como planejamento e

controle da produção, bem como manutenção e reparo de máquinas e estações de trabalho necessárias são categorizadas tão indireto quanto necessário, mas sem valor agregado. As divisões corporativas diretas enfocam a fabricação e montagem processos, bem como operações logísticas como provisionamento estocagem, comissionamento, transporte e manuseio (Wan *et al.*, 2008).

Para que haja a redução dos custos se faz necessária a redução dos desperdícios dos processos (Pereira *et al.*, 2018) que são definidos por Ghinato (2002) como sendo atividades completamente desnecessárias, que geram custo, não agregam valor e que, portanto, devem ser imediatamente eliminadas.

Ohno (1998) afirma que a ferramenta usada para operar o Sistema Toyota de Produção é o Kanban. Trata-se de uma palavra japonesa que significa registro, esse registro é usado mais frequentemente na forma de cartões, dentro de um envelope de vinil retangular. Outra ferramenta importante é o dispositivo Poka Yoke, termo que em japonês significa evitar ou prevenir erro (Liker *et al.*, 2007; Farris *et al.*, 2009).

Os objetivos do Sistema Toyota de Produção são atingidos pela eliminação dos desperdícios, a cobertura da casa é sustentada pelos pilares, *Just-in-Time* (JIT), o *Jidoka* (Autonomação) é a fundação da casa (Wan *et al.*, 2008; Liker, 2007). Além disso, existem outras ferramentas fundamentais para o sucesso na implementação do *lean manufacturing*, tais como: *takt-time* (ritmo de produção necessário para atender a um nível específico de demanda), relatório A3, TPM (manutenção conduzida com a participação de todos), *Single Minute Exchange of Die* (SMED), *Poka-Yoke* (Ludwig *et al.*, 2016; Lean Institute Brazil, 2017).

2.2. Formas de defeitos e inspeções

Os defeitos de qualidade impedem a forma de aceitação do produto pelo cliente. As informações inadequadas em um desenho, vistas desaparecidas e informações incompletas são todos os defeitos que podem ser evitadas por meio da padronização de documentos e formação adequada do pessoal de engenharia (Shingo, 1986; Berger *et al.*, 2017).

2.3. Inspeções sensoriais e inspeções físicas

As inspeções sensoriais baseiam-se nos sentidos humanos. Há dificuldade no estabelecimento de critérios porque o julgamento varia conforme o indivíduo ou à situação. Já as inspeções físicas utilizam ferramentas de medida, como paquímetros ou micrômetros (Martins, 2009). Já a inspeção ótica automática desempenha um papel importante também no

controle da qualidade da aparência de uma ampla gama de produtos no processo do produto (Hung e Hsieh, 2015).

Conforme Yamauchi (2012) os métodos de inspeção são divididos em:

a) Inspeções por Julgamento, onde os produtos defeituosos passam por uma triagem e são separados dos conformes por meio da comparação em relação a um padrão conhecido;

b) Inspeções informativas, que ajudam na redução do defeito, enviando uma informação alertando sobre a falha e solicitando a correção em relação ao ocorrido;

c) Inspeções na fonte que eliminam os defeitos antes da fabricação de um item, realizada pelos Poka-Yoke ou ferramentas a prova de falha.

2.4. Erros humanos

Calarge e Davanso (2003) e Liu *et al.* (2018) afirmam que inúmeras empresas se preocupam com o erro humano em seus sistemas de produção e estes erros interferem entre 50% a 75% na ocorrência de falhas. Considerando essa problemática, as inspeções apresentam avanços tecnológicos de prevenção.

Estudos aplicam modelos de probabilidade de erro humano para gerenciar melhor atividades industriais. Essas probabilidades são dinamicamente atualizadas à medida que novas informações estejam disponíveis sobre alterações internas (treinamento, experiência e fadiga) ou externas (condições ambientais e operacionais, como condições climáticas, temperatura do local de trabalho, ruído e vibração, carga de trabalho e estresse) (Islam *et al.*, 2018).

A confiabilidade humana envolve a probabilidade de que uma tarefa ou serviço seja feito com sucesso dentro do tempo reservado para o mesmo (Lopes; Forster, 2013; Gregorio *et al.*, 2018). Os erros de montagem diminuem muito depois de certo tempo e, eventualmente, podem atingir uma taxa constante, sendo que o mesmo acontece com os erros devidos à manutenção (Kim *et al.*, 2017). Exceção do que ocorre na fase inicial, quando existe uma probabilidade maior de quebra de equipamento, de forma que se tem mais trabalho e maior possibilidade de erro (Carlage; Davanso, 2001; Wiech *et al.*, 2017).

Do ponto de vista da qualidade, a diferença entre a pró-atividade e reativo encontra-se no tipo de inspeção realizada (Shingo, 1988): (a) inspeção da fonte, que evita a ocorrência de um defeito; (b) auto-inspeção, que detecta um defeito na muito operação em que é gerado; (c) inspeção sucessiva, que detecta um defeito na operação após a operação em que foi gerado; (d)

inspeção de julgamento, que detecta um defeito em duas ou mais operações à frente daquele que foi gerado.

Os tipos de inspeção (b), (c) e (d) são reativos, pois detectam defeitos, em vez de impedi-los. Enquanto um PD pode ser integrado dentro de qualquer operação (por exemplo, transporte, processamento, inspeção, etc.). De uma perspectiva de segurança, o poka yoke proativo são aqueles que evitam uma interação homem-máquina que pode causar (Shingo, 1988).

2.5. Controle da qualidade zero defeitos

Segundo Shingo (1986), é um sistema de produção que possibilita a manufatura sem nenhum defeito. O seu conceito mais fundamental está em reconhecer que os defeitos são gerados pelo trabalho (processos de manufatura) e tudo que as inspeções podem fazer é revelá-los.

Para alcançar o ideal de zero defeito é necessário utilizar Poka-Yokes (sistemas à prova de erros) que permitem a detecção de anormalidades e fornecem feedback imediato, para que a causa-raiz do problema possa ser descoberta e impedida de ocorrer novamente (Liker; Meier, 2007).

A abordagem do controle da qualidade zero defeitos combate as soluções locais focadas em etapas de produção única. Eles também são estáticos e sequenciais, no sentido de que quando um problema é analisado e resolvido em um estágio específico, a empresa considera o processo como "congelado" e desloca a atenção para uma nova fase crítica (Eger *et al.*, 2018).

Atualmente, muitas empresas utilizam o Defeito Zero Atual Manufacturing (ZAM) para soluções locais focadas em etapas de produção única. Eles também são estáticos e sequenciais, no sentido de que quando um problema é analisado e resolvido em um estágio específico, a empresa considera o processo como "congelado" e desloca a atenção para uma nova fase crítica (Eger *et al.*, 2018).

2.6. Dispositivo poka yoke

Para operacionalizar o Controle de Qualidade Zero Defeitos (CQZD), foram criados na Toyota Motor Company, os dispositivos de detecção de anormalidade denominados poka yoke e são utilizados há muito tempo pela indústria manufatureira japonesa (Carlage; Davanso, 2001).

A literatura apresenta um número de definições semelhantes de poka yoke, mesmo que eles usem termos-chave diferentes e estejam sempre longe de preciso. De acordo com Shingo

(1988) um poka-yoke é um mecanismo para detectar erros e defeitos, que inspeciona 100% do peças, trabalhando de forma independente na atenção do operador. Middleton (2001) define poka-yoke como a prática sistemática de erradicar erros, localizando sua causa raiz. Outros estudos simplesmente definem um poka-yoke por meio de exemplos, seja simplesmente substituindo este rótulo por outros, como sensores e gabaritos, ou por traduções como, por exemplo, à prova de erros (Chen, 1996).

Uma definição mais atual é que poka yoke é uma ferramenta voltada para prevenção de erros, ou, detecção de erros, o mesmo não é um dispositivo tão enxuto quanto um modo de pensar e avaliar adversidades. (Saurin *et al.*, 2012). Ele consiste na linha de pensamento de que o funcionário não cometa faltas em seu serviço intencionalmente, mas por diferentes razões ou erros que ocorrem ocasionalmente (Liker; Meier, 2007).

Estes dispositivos (poka yokes) caracterizam-se por (Barash, 1990; Saurin *et al.*, 2012):

- ✓ serem utilizados num regime de inspeção a 100%;
- ✓ dispensarem a atenção permanente do operador relativamente ao produto que está a ser processado;
- ✓ reduzirem ou eliminarem defeitos através das ações corretivas imediatas;
- ✓ serem simples e de baixo investimento.

Os Poka-Yokes são classificados através das diferenças em suas funções regulatórias e do método de acionamento. Dependendo do propósito com que é usado, podem ser realizadas duas funções regulatórias (Barash, 1990; Chase, 2002). Neste estudo, com base nas definições acima mencionadas, um poka-yoke é definido como um dispositivo que previne ou detecta anormalidades, que podem ser prejudiciais à segurança do trabalho aos funcionários.

Um poka-yoke pode ser considerado como três tipos de dispositivos segundo Saurin *et al.* (2012): (a) físicos, se bloquearem o fluxo de massa, energia ou informação, e não dependem de usuários que interpretam eles (por exemplo, uma parede); (b) funcional, se eles podem ser transformados ligado ou desligado devido a um evento (por exemplo, um bloqueio ou uma senha), sem dependendo da interpretação do usuário; c) simbólico, se exigirem interpretação, ainda estão fisicamente presentes no momento em que necessário (por exemplo, um sinal de segurança).

Dispositivos imateriais independentemente da sua exigente interpretação do usuário, eles não estão fisicamente presentes no momento em que são necessários (por exemplo, regulamentos e cultura organizacional).

Segue abaixo a Figura 1 representando um exemplo prático de aplicação do dispositivo poka-yoke.

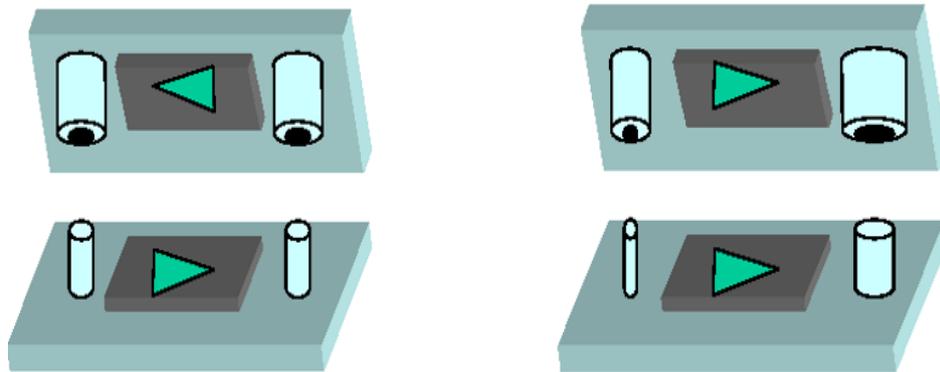


Figura 1 - Exemplo de aplicação do dispositivo poka yoke
Fonte: Saurin *et al.* (2012)

Na parte esquerda da Figura 1, a meia caixa da moldação superior pode ser colocada de forma incorreta, para que tal não aconteça, colocam-se pinos e casquilhos de diâmetros diferentes em cada um dos lados que é exposto na parte direita da mesma figura. É um sistema anti-erro que para o processo (Saurin *et al.*, 2012).

A Figura 2 exemplifica a utilização desse dispositivo e ilustra a aplicação do poka yoke em um processo de produção como sistema de prevenção de erros que controla o produto.

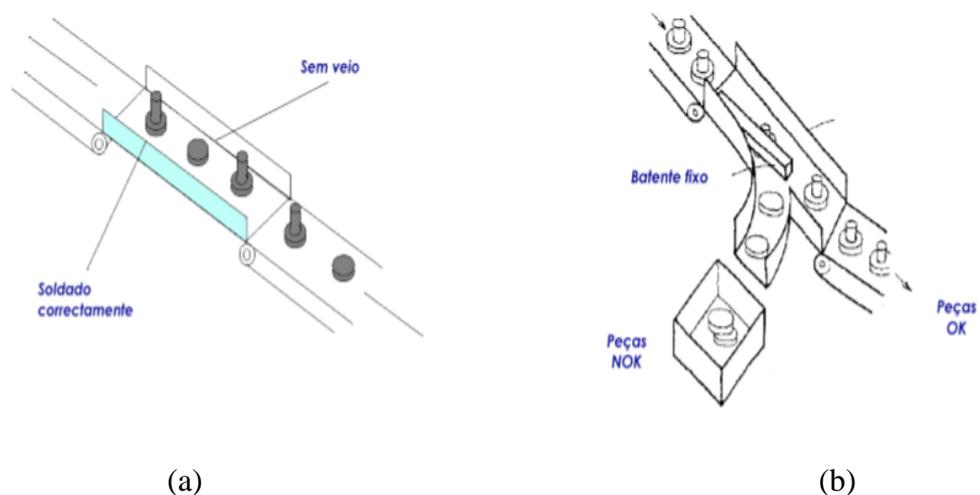


Figura 2 - Exemplo de aplicação de poka yoke controlando o produto
Fonte: Shimbun, Nikkan Kogyo (1988)

2.7. Classificação dos dispositivos poka-yoke

Calarge e Davanso (2003) afirmam que no processo de manufatura os dispositivos poka-yoke tem a função de interromper a operação, controlar ou alertar caso haja algo fora do padrão. A classificação de um dispositivo poka yoke quanto a sua função está representada na Figura 3.



Figura 3 - Classificação de um dispositivo poka-yoke, quanto às funções
Fonte: Adaptado de Calarge e Davanso (2003)

2.8. Implementação de sistemas poka-yoke

Corrêa (2011) cita alguns princípios que atuam na área de ação na adoção da ferramenta Poka-yoke como mostra a Figura 4.



Figura 4 - Princípios atuantes no Poka Yoke
Fonte: Corrêa (2011), p.194-195, (adaptado pelo autor)

A detecção, busca a identificar o erro, antes que se torne defeito; a minimização tenta minimizar o efeito do erro; a facilitação adota técnica que visa facilitação da execução de processos de manufatura ou fornecimento de serviços; a prevenção busca ações para impedir a ocorrência do erro; a substituição implica em substituir processos ou sistemas por outros mais consistentes; a eliminação visa eliminar a possibilidade de erro pelo redesenho do produto, do processo de obtenção ou da prestação de serviço (Corrêa, 2011).

A resolução para o avanço de uma efetiva detecção de erros está em entender a origem e a causa destes. A conclusão caso for um indivíduo e avaliar o serviço de forma padrão e assegurar que nenhum passo seja postergado, pois pode acontecer de um passo esteja mal interpretado. Nem todos os erros, podem ser detectados e conseqüentemente impedidos de acontecer (Liker; Meier, 2007).

O processo/operação piloto deve ser escolhido de acordo com as prioridades e preocupações da qualidade e com o envolvimento dos respectivos responsáveis; deve permitir uma implementação rápida, fácil e com resultados economicamente favoráveis. Os seguintes critérios podem ser utilizados na escolha do processo/operação alvo (Al-Araidah *et al.*, 2010): nível de desperdício elevado, inexistência de ações corretivas na sequência de defeitos.

A *Profitability Engineers* (2016) sugere que a caracterização dos defeitos deve incluir:

- ✓ identificação dos pontos de recolha de dados (por exemplo: postos de retrabalho ou de inspeção de segurança);
- ✓ recolha da informação da qualidade relevante (por exemplo: gráficos de tendência e frequência de defeitos) relativa, no mínimo, a um mês de produção.

Os defeitos mais típicos são:

- ✓ peças/produtos danificados ou com dimensões fora da especificação;
- ✓ peças/produtos incorretamente montados;
- ✓ presença de materiais estranhos.

Os benefícios do dispositivo Poka-yoke, independentemente da sua execução são: simplicidade e baixo custo (Ghinato, 2002). Vale a pena enfatizar duas implicações da definição deste artigo adota: (a) o poka yoke pode exigir interpretação dos operadores, se eles compreendem dispositivos simbólicos; (b) o poka yoke pode ser proativo, se previnem anormalidades, ou reativas, se detectarem anormalidades (Gurumurthy *et al.*, 2009).

3. Metodologia

Quanto aos fins a pesquisa será exploratória e explicativa. Classifica-se como exploratório devido às poucas pesquisas realizadas na atividade ceramista com o tema proposto, visando dar maiores esclarecimentos e entendimento ao questionamento da pesquisa para o setor ceramista vermelho, Gil (2010, p. 27) versa que as pesquisas exploratórias “têm como propósitos proporcionar maior familiaridade com o problema, com vista a torna-lo mais explícito ou a construir hipóteses”.

E será explicativa que para Gil (2010, p.28), “têm como proposito identificar fatores que determinam ou contribui para a ocorrência de fenômenos”, conceito esse, também descrito por Vergara (2003, p. 47) que versa que pesquisa explicativa busca, “(...) esclarecer quais fatores contribuem, de alguma forma, para a ocorrência de determinado fenômeno”.

Quanto aos meios a pesquisa é classificada em: Bibliográfica, Pesquisa de Campo e Estudo de Caso. Pesquisa bibliográfica segundo Vergara (2003, p.48), “é o estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas, isto é, material acessível ao público em geral”.

Com este modelo de investigação foi realizada a revisão da literatura em diversos bancos de dados nacionais e internacionais (*Scielo, Science Direct, Periódicos Capes*) na busca de conceitos e discussão que norteiam o uso de sistemas poka yokes para melhoria da segurança em ambientes industriais.

A primeira parte do trabalho constituiu na realização de uma pesquisa bibliográfica. A segunda parte do trabalho foi à realização do estudo de caso, no qual foram feitas observações *in loco* e levantamentos de dados para análises posteriores. A partir da análise desses dados, partiu-se para aplicação do sistema Poka-Yoke.

Para a coleta de dados deste trabalho foi realizada a análise de documentos internos à empresa e também a análise de documentos pessoais e institucionais, material gráfico, quadros, tabelas, fotografias, entrevistas, entre outros. Após a obtenção dos dados necessários para a pesquisa, estes foram analisados e interpretados.

O desenvolvimento do dispositivo envolveu a definição de atributos, identificando aqueles que fornecem características à prova de falhas e aqueles que informam as melhores práticas em projeto, implementação e manutenção de evidência para avaliar a existência de cada atributo.

4. Estudo de caso

4.1. Descrição da empresa

A empresa objeto do estudo de caso foi fundada no ano de 1982 e nesses anos de existência, esteve sempre voltada à execução de obras de construção e montagem eletromecânica de unidades e complexos industriais, junto as maiores e mais importantes indústrias de base e de transformação do Brasil.

A mesma tem como missão contribuir para o sucesso dos seus clientes, buscando soluções eficazes em obras industriais e visa alcançar excelência em obras industriais garantindo os princípios de compromisso com os clientes, comprometimento com os resultados e valorização do ser humano.

A organização estudada trabalha com o Sistema Integrado de Gestão – SIG. Todos os processos na Sede e nas obras são certificados nas Normas ISO 9001:2008 (Gestão da Qualidade), ISO 14001:2004 (Gestão de Meio Ambiente) e OHSAS 18001:2007 (Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional).

A organização estudada atua nos setores de mineração, siderurgia, cimento, química, papel e celulose, energia, e estende suas atividades a: montagem eletromecânica, grandes reparos e manutenções em paradas programadas, comissionamento, partida e operação assistida, construção e montagem de dutos, obras de construção civil, gerenciamento de empreendimentos, compras e suprimentos de equipamentos e materiais.

A atuação da empresa é feita sob as seguintes modalidades: contratos sob o regime de empreitada a preços unitários ou preço global, contratos sob o regime de administração, atuação através de associações, consórcios e sociedades com empresas nacionais ou estrangeiras.

4.2. Descrição do processo de montagem de estruturas metálicas

A montagem de estruturas metálicas necessita de um planejamento detalhado, com sequência pré- estabelecida permitindo economizar homens-hora e ao mesmo tempo manter a estabilidade do conjunto em todas as fases.

O procedimento e a sequência da montagem das estruturas variam de acordo com o tipo de estrutura e também com o espaço disponível de pré-montagem. Outro fator determinante para a sequência da montagem da estrutura é a ordem de instalação dos equipamentos e tubulações internas a estrutura.

Alguns tipos comuns de estruturas metálicas industriais são: galpões, suportes de equipamentos, plataformas marítimas, passarelas. A Figura 3 ilustra a estrutura de um galpão industrial.

4.3. Descrição do processo alvo

O processo é iniciado com a mobilização dos colaboradores para o local da atividade. Os mesmos são responsáveis pelo transporte manual de peças diversas e que podem ser com auxílio de carro plataforma, caminhão muck, manipuladora (*sky track*).

Após o transporte, os roletes de cargas e roletes auto alinhastes são disponibilizados nas frentes do serviço para início do processo da pré-montagem e montagem. Para auxiliar a montagem manualmente utiliza-se à plataforma do andaime é necessário posicionar estropos e manilhas (amarração) das peças, estruturas e vigas.

Quando a frente de serviço há possibilidades de acesso dos equipamentos, utiliza-se caminhão muck, manipuladora (*sky track*) e guindaste para executar a montagem em locais pré-determinados conforme o projeto de implantação.

4.4. Aplicação do dispositivo poka yoke

Buscando neutralizar as ocorrências de acidentes, principalmente com alta severidade, foram providenciadas ações propostas a partir de melhorias contínuas (*kaizen*) na busca de soluções da Saúde e Segurança.

Pela própria característica do estudo de caso realizado na condição real em uma indústria pode-se testar a abordagem da implantação de Poka-Yoke para garantia de segurança na execução de atividades risco operacional.

Para definir as práticas seguras no trabalho, é necessário identificar as situações de risco. Isso foi realizado examinando os relatórios de acidentes e outras fontes de informações fornecidas pelos próprios trabalhadores e seus superiores imediatos.

Para fins de análise da viabilidade da aplicação dos dispositivos poka yoke, foi realizado um levantamento dos desvios críticos das atividades representadas na Figura 5.



Figura 5 - Levantamento de desvios críticos
Fonte: A empresa (2017)

Observa-se na Figura 5 que 42% dos desvios críticos estão relacionados à movimentação de carga. Fazendo uma triangulação a partir de múltiplas fontes de evidências como documentos, análise crítica do fluxo do processo e operação, mapeamento dos erros chegou-se a uma convergência que determinou os requisitos para determinar o Poka-Yoke melhor aplicado à situação.

Posteriormente, utilizou-se a abordagem para verificação da sua eficácia em determinar os requisitos necessários de Poka-Yoke melhor aplicado para a situação encontrada. A abordagem fornece os requisitos necessários para a implantação de dispositivos Poka-Yoke para a situação encontrada no módulo e através desta solução tenta-se padronizar para o outro processo que se apresenta na mesma situação.

Foram identificados pontos críticos no ambiente de produção da empresa, no qual se observou que o manuseio de estruturas de forma manual apresentavam riscos de acidentes no posto de trabalho.

Com alto nível de criticidade de riscos, o manuseio de chapas metálicas apresentava risco de prensamento de mãos e dedos dos operados na execução da atividade. Sendo esta atividade escolhida para propor aplicação de um dispositivo poka yoke, ficando pendente a apresentação do projeto, memorial e sinalização da capacidade de carga do mesmo.

A Figura 6 abaixo representa um dispositivo poka yoke aplicado na atividade de carregamento de roletes. Para utilizar tal dispositivo (tenaz) foi necessário realizar um memorial de cálculo considerando as componentes da força principal que podem causar reações de flexão, compressão e tração na estrutura.



Figura 6 - Dispositivo poka yoke aplicado na atividade de carregamento de rolete
Fonte: A empresa (2017)

Com a realização do memorial de cálculo foi possível determinar as cargas atuantes na estrutura. A partir de tais cálculos o dimensionamento considerou a atuação de um rolete de 56 Kg, sendo que cada tenaz carrega 34 kg gerando um total de 68 kg.

A Figura 7 ilustra o dispositivo poka yoke sendo utilizado pelos colaboradores e confirmando sua aplicabilidade no ambiente de trabalho.



Figura 7 - Dispositivo poka yoke sendo utilizado no ambiente
Fonte: A empresa (2017)

Os mesmos procedimentos foram realizados para aplicar o sistema poka yoke de içamento para grade de piso. Na Figura 8 pode-se observar tal dispositivo e suas respectivas medidas.

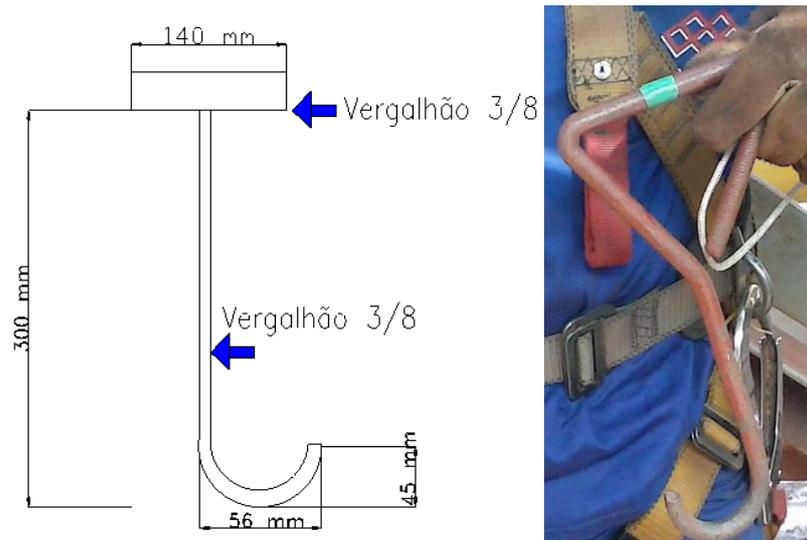


Figura 8 - Sistema poka yoke de içamento para grade de piso
Fonte: A empresa (2017)

As peças do sistema poka yoke de içamento atendem a um carregamento máximo de 127,4 kg, conforme tipologia desenvolvida no memorial de cálculo. Para cargas superiores, deverá ser enrijecido o sistema através de vergalhões mais grossos e conectores de maiores diâmetros ou mesmo em maior quantidade.

4.5. Discussões

Essa iniciativa da aplicação do Poka-Yoke proporcionou a empresa a abrangência do sistema de proteção nas áreas de montagem e armazenamentos. A implementação de canteiros avançados, galpões de montagem e armazenagem, mesmo que provisórios e em conformidade com a NBR 5419 - Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas e NR-10, com as respectivas medições de resistividade.

Além disso, a partir dessa iniciativa, a organização integrou os dispositivos poka yokes a outras ferramentas do gerenciamento de segurança e foram estabelecidas metas mensais de utilização desses dispositivos. Analisando financeiramente, a empresa obteve previamente uma redução de 15% em custos com perdas de materiais e acidentes.

Portanto, observou-se que a aplicação de dispositivos poka yokes são úteis para empresas que ainda não utilizam um sistema de produção enxuta. Mesmo que seja um único estudo de caso, também mostrou a contribuição de ferramentas *lean* para iniciativas de implantação do sistema Toyota de produção.

Foi proposto à empresa estudada uma estrutura para avaliação de dispositivos poka-yoke, englobando tanto aqueles projetados para controle de qualidade (referido como PD de

qualidade) quanto aqueles projetados para controlar riscos à saúde e segurança no trabalho (referido como PD de segurança).

Propõe-se também adaptar os poka yokes a outros setores, tais como transporte e adaptar tais dispositivos para que possa ser utilizado em outras etapas do processo da empresa estudada. Pode-se também avaliar se existem correlações estatísticas entre o nível de conformidade com os atributos e outros fatores, como a complexidade tecnológica de poka-yoke.

O estudo de caso também mostrou que os funcionários devem estar familiarizados com os conceitos subjacentes aos atributos do poka yoke e que requerem experiência em *lean* e fatores humanos. Esta necessária base de conhecimento é resultado da natureza sociotécnica do processo de design poka-yoke e precisará de investimentos da organização.

Duas necessidades adicionais podem ser adotadas para projetos futuros para a empresa em questão, tais como:(a) avaliar a confiabilidade (ou seja, verificar se resultados semelhantes serão encontrados por diferentes equipes de trabalho); e (b) avaliar sua capacidade de prever a efetividade dos dispositivos (ou seja, a validade preditiva), em termos de medidas como produtividade.

5. Considerações finais

A teoria permitiu que fosse possível aplicar ferramentas do *Lean Manufacturing* em um caso real na perspectiva da melhoria de segurança em uma empresa com atividades de montagem de estruturas eletromecânicas e comprovado que a ferramenta e a metodologia atenderam plenamente seus objetivos descritos na literatura.

O estudo realizado permitiu demonstrar a aplicabilidade de sistemas à prova de erros. O caso apresentado nesta pesquisa confirma que os sistemas poka yoke podem ser concebidos a partir de princípios simples e com baixos custos de investimento.

O investimento efetuado na implantação do poka yoke é considerado baixo (valores não autorizados pela empresa) , tendo em consideração as vantagens obtidas na segurança das atividades do processo produtivo e redução de acidentes no processo de montagem de grade de piso.

A implantação dos dispositivos poka yokes permitiu garantir um processo livre de defeitos causados por erros de distração dos operadores. Por outro lado, promoveu o envolvimento proativo dos colaboradores, nas mudanças e no aperfeiçoamento do processo

produtivo, gerando um comprometimento coletivo com os objetivos da empresa em reduzir índices de acidentes no trabalho.

Recomenda-se para estudos futuros a classificação útil do Poka-Yoke para auxiliar na escolha da solução mais adequada para um determinado problema industrial avaliados com base em um conjunto de critérios aplicando Inferência Fuzzy a KPIs (*Key Performance Indicator*) selecionados retirados do conjunto de critérios definidos.

REFERÊNCIAS

- Al-Araidah O., Jaradat M. & Batayneh, W. (2010). Using a fuzzy poka-yoke based controller to restrain emissions in naturally ventilated environments. *Expert Systems with Applications*, 37, 4787-4795.
- Aull F. (2012). Modell zur ableitung effizienter implementier ungs strategien für lean-production-methoden. Diss. TU München. München: Herbert Utz.
- Barash, M. M. (1990). Poka-yoke: Improving product quality by preventing defects. *Journal of Manufacturing Systems*, 9(2): 178-179. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-6125\(90\)90033-e](http://dx.doi.org/10.1016/0278-6125(90)90033-e).
- Barbosa, M. R., Barbosa, M. E. & Santos, S. A. S. (2016). A metodologia enxuta e sua contribuição em uma instituição hospitalar. *Journal of Lean Systems*, 1(3): 53-68.
- Berger, D., Brabandt D., Bakir, C., Hornung, T., Lanza, G., Summa, J., Schwarz, M., Herrmann, H. G., Pohl, M., & Stommel, M. (2017). Effects of defects in series production of hybrid CFRP lightweight components: detection and evaluation of quality critical characteristics. *Measurement*, 95: 389-394. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.10.003>.
- Calarge, F. A., & Davanso, J. C. (2003). Conceito de dispositivos à prova de erros utilizados na meta do zero defeito em processos de manufatura. *Revista de Ciência & Tecnologia*, 11(21): 7-18.
- Carelli, P. L. F., Rodriguez, C. M. T., & Rôa, L. M. (2016) Proposta de adequação do processo de inspeção com base nos conceitos do lean manufacturing: estudo de caso em um fabricante de equipamentos agrícolas. *Journal of Lean Systems*, 1(4): 66-86.
- Carlage, F. A., & Davanso, J. C. A (2001). Utilização de dispositivos à prova de erros: poka-yoke empregado na melhoria de desempenho de processos de manufatura. *Conferência Brasileira de Engenharia de Manutenção*.
- Chase, R. B., & Stewart, D. M. (2002). Mistake proofing: designing errors out. *Morrisville: John Grout*, 11(2): 12-25.
- Chen J., & Black, J. (1996). A fuzzy logic based approach for poka yoke stoplight control in unmanned manufacturing cells. *Journal of Manufacturing Systems*, 15: 33-42.
- Corrêa, H. L., & Corrêa, C. A. (2011). *Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica*. 2 ed. São Paulo: Atlas.
- Eger, F., Coupek, D., Caputo, D., Colledani, M., Penalva, M., Ortiz, J. A., Freiburger, H., & Kollegger, G. (2018). Zero defect manufacturing strategies for reduction of scrap and inspection effort in multi-stage production systems. *Procedia Cirp*, 67: 368-373. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.228>.
- Farris A, Van Aken E, Doolen T, & Worley J. (2009). Critical success factors for human resource outcomes in kaizen events: an empirical study. *International Journal of Production Economics*, 117(1): 42-65.
- Ghinato, P. (2002). *Lições práticas para a implementação da produção enxuta*. EDUCS - Editora da Universidade de Caxias do Sul: Caxias do Sul.
- Gil, A. C. (2010). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5 ed. São Paulo: Atlas.
- Gregorio, F. di, Maier, M. E., & Steinhauser, M. (2018). Errors can elicit an error positivity in the absence of an error negativity: evidence for independent systems of human error monitoring. *Neuroimage*, 172: 427-436. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.01.081>.

- Gurumurthy, A., & Kodali, R. (2009). Application of benchmarking for assessing the lean manufacturing implementation. *Benchmarking: An International Journal*, 16(2): 274-308.
- Hoellthaler, G., Braunreuther, S., & Reinhart, G. (2018). Digital lean production an approach to identify potentials for the migration to a digitalized production system in SMES from a lean perspective. *Procedia Cirp*, 67: 522-527. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.255>.
- Hollnagel, E. (2004). *Barrier analysis and accident prevention*. Ashgate.
- Hopp, W., & Spearman, M. (2004). To pull or not to pull: what is the question? *Manufacturing & Service Operations Management*, 133-148.
- Hung, M. H., & Hsieh, C. H. (2015). A novel algorithm for defect inspection of touch panels. *Image and Vision Computing*, 41: 11-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.imavis.2015.06.001>.
- Kim, Y., Park, J., & Jung, W. (2017). A quantitative measure of fitness for duty and work processes for human reliability analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 167: 595-601. <http://dx.doi.org/10.1016/j.res.2017.07.012>.
- Lean Institute Brasil (2017). *Lean Thinking*. Disponível em: <<http://www.lean.org.br>>. Acesso em: 02 de Dez. 2017.
- Liker J. (2004). *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.
- Liker, J. K., & Meier, D. (2007). *O Modelo Toyota: Manual Aplicação*. Porto Alegre. Bookman.
- Liu, X., Zheng, J., Fu, J., Nie, Z., & Chen, G. (2018). Optimal inspection planning of corroded pipelines using BN and GA. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 163: 546-555. <http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2018.01.030>
- Lopes, M. E. R. F., & Forster, C. H. Q. (2013). Application of human error theories for the process improvement of Requirements Engineering. *Information Sciences*, 250: 142-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2013.07.010>.
- Ludwig, J. P., Faiz, E. B., Scheifler, T., & Dreger, A. A. (2016). Aplicação da metodologia just in time para a redução de estoques em uma indústria do ramo moveleiro. *Journal of Lean Systems*, 1(2): 25-39.
- Martins, H. A. (2009). *Estudo sobre os conceitos da autonomia e aplicação de PFMEA para auxílio na implementação de sistemas à prova de erro*. Trabalho de graduação, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Meudt, T., Leipoldt, C., & Metternich, J. (2016). Der neue blick auf verschwendungen im kontext von industrie 4.0. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 111(11): 754-758.
- Middleton P. (2001). Lean software development: two case studies. *Software Quality Journal*, 9: 241-52.
- Narayanamurthy, G., & Gurumurthy, A. (2016). Leanness assessment: a literature review. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(10): 1115-1160.
- Negrão, L. L. L., Monteiro, M. A. M., Ramos, M. O., Gonçalves, M. C., & Dias, I. C. P. (2016). Avaliação da relação entre a importância e o desempenho de práticas de lean manufacturing em um centro de distribuição. *Journal of Lean Systems*, 1(4): 87-111.
- Nikkan, K. S. (1988). *Poka-yoke: Improving product quality by preventing defects*. Cambridge, Mass: Productivity Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: beyond large-scale production*. Portland, OR: Productivity Press.
- Parente, R. C., Geleilate, J. M. G., & Rong, K. (2018). The sharing economy globalization phenomenon: a research agenda. *Journal of International Management*, 24(1): 52-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.intman.2017.10.001>.
- Pereira, C. P., Ferreira, J. C. E., & de Souza Campos, L. M. (2018). Implementation of energy value stream mapping (EVSM) as an alternative tool for the management and reduction of energy in processes in the industrial sector: a literature review. *Journal of Lean Systems*, 3(2): 104-130.
- Profit Ability Engineers. Disponível em: <<http://www.profitability.pt>>. Acesso em: 22 de Mar. 2018.
- Saurin, T. A., Ribeiro, J. L. D., & Vidor, G. (2012). A framework for assessing poka-yoke devices. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(3): 358-366. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.04.001>.

Shingo S. (1988). *Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system*. Productivity Press.

Sieckmann, F., Ngoc, H. N., Helm, R., & Kohl, H. (2018). Implementation of lean production systems in small and medium-sized pharmaceutical enterprises. *Procedia Manufacturing*, 21: 814-821.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.188>.

Smalley A. (2004). *Creating level pull*. Lean Enterprise Institute.

Torquato, M. L., Fantoni, B. B., & Neto, A. I. (2016). As células de produção no canteiro de obras sob a perspectiva dos sistemas complexos. *Journal of Lean Systems*, 1(4): 112-124.

Vergara, S. (2003). *Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração*. 4 ed. São Paulo: Atlas.

Wan, H., & Frank Chen, F. (2008). A leanness measure of manufacturing systems for quantifying impacts of lean initiatives. *International Journal of Production Research*, 46(23): 6567-6584.

Wiech, M., Böllhoff, J., & Metternich, J. (2017). Development of an optical object detection solution for defect prevention in a learning factory. *Procedia Manufacturing*, 9: 190-197.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.037>.

Yamauchi, L. (2012). Aplicação de Poka-yokes como ações de PFMEA em linhas de montagem do setor automobilístico. Trabalho de Graduação - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.