



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

A aplicação de Dispositivos *Poka-Yoke* na melhoria do processo produtivo

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projecto

Autor

João Pedro Costa Pereira Santos Marques

Orientador

Cristóvão Silva

Júri

Presidente Professor Doutor José Valdemar Bidarra Fernandes
Professor Catedrático da Universidade de Coimbra

Vogais Professora Doutora Marta Cristina Cardoso Oliveira
Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra

Orientador Professor Doutor Cristóvão Silva
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Coimbra, Julho, 2014

A simplicidade é o último grau da sofisticação.

Leonardo Da Vinci

Aos meus pais.

Agradecimentos

O encerramento de mais uma etapa no meu percurso académico não seria possível sem o apoio de algumas pessoas, a quem agradeço.

Ao Professor Doutor Cristóvão Silva, por ter aceite ser o meu orientador e pelos conselhos e orientação técnica, durante o desenvolvimento desta Dissertação.

Aos colaboradores da 4Lean, em especial à Engenheira Clementina Dinis e ao Engenheiro Nuno Silva, pela disponibilidade demonstrada, pela oportunidade de realização do trabalho em conjunto com a empresa, e por todo o apoio prestado durante a realização do mesmo.

Aos elementos do melhor carro de sempre do cortejo da Queima das Fitas, o “AUdizELA”, por contribuírem para um dos melhores dias da minha vida.

A todos os efectivos do NEEMAAC, que tive o orgulho de liderar, e com quem tive o prazer de trabalhar.

Aos meus colegas e amigos de casa, Quaresma, Miguel e Filipa.

A todos os meus amigos, em especial ao Maça, Gil, Rodrigo, Leandro, Zé Paulo, Ana Raquel e Eduardo, pela paciência, motivação e apoio incondicionais.

À minha família, em especial aos meus pais, por todo o apoio, carinho e pelos valores que me transmitiram. Sem vocês, não seria certamente possível a concretização do desejo de ser Engenheiro Mecânico.

Resumo

O principal objectivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma solução *Poka-Yoke* aplicada a um problema específico proposto pela empresa 4Lean, de modo a que o processo estudado não gere peças defeituosas.

A competitividade inerente à indústria, implica uma exigência crescente nos processos produtivos, destacando-se a necessidade de produzir cada vez em maior quantidade e com zero defeitos no processo.

A metodologia *Poka-Yoke* é assim o ponto de partida para uma produção sem defeitos, pelo que neste estudo é proposta uma solução para ser aplicada a um processo específico, sendo ainda analisada a melhoria temporal e monetária que a solução pode introduzir no processo.

Palavras-chave: *Poka-Yoke*, Zero Defeitos, Análise de Melhoria, Metodologia *Lean*.

Abstract

The main purpose of this work consists in the development of a *Poka-Yoke* solution applied to a specific problem, proposed by 4Lean, so that the process won't be able to generate defective parts.

Competitiveness inherent to the industry, requires a growing exigency in processes, highlighting the necessity of producing in major quantity and without any defects.

Poka-Yoke methodology is the base to processes with zero defects, whereby this study is presented a solution to be applied to a specific process, being also analyzed the improvement in terms of time and money that the presented solution could provide.

Keywords *Poka-Yoke*, Zero Defects, Improvement Analysis, *Lean* Methodology.

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	vii
Siglas	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação e Objectivos do Trabalho	1
1.2. Organização da Dissertação	2
2. A metodologia <i>poka-yoke</i>	3
2.1. Enquadramento Histórico e Evolução do <i>Poka-Yoke</i>	3
2.2. A metodologia <i>Lean</i> como ponto de partida	5
2.3. A diferença entre erros e defeitos	6
2.4. Métodos de Inspeção de Defeitos	9
2.5. <i>Zero Quality Control</i>	13
2.6. Classificação de Dispositivos <i>Poka-Yoke</i>	15
2.7. <i>Poka-Yoke</i> aplicado à segurança	18
2.7.1. <i>Poka-Yoke</i> de segurança numa prensa	19
2.7.2. <i>Poka-Yoke</i> de segurança numa grua de elevação	20
3. <i>Case-study</i> proposto	21
3.1. Breve Apresentação da Empresa	21
3.2. Contextualização do problema proposto	22
3.3. Descrição do problema	22
3.4. Processo de Montagem anterior à implementação do <i>Gabari</i>	24
3.5. Defeitos causados por orientação incorrecta	25
3.6. Abordagem ao Problema	26
3.6.1. Abordagem inicial e primeira solução proposta	26
3.6.1.1. Sequência de Operações	27
3.6.1.2. Análise Crítica	29
3.6.2. Segunda solução proposta	29
3.6.2.1. Sequência de Operações	30
3.6.2.2. Análise Crítica	31
3.6.2.3. Aspectos Construtivos	32
3.6.2.4. Considerações	33
4. Análise de Melhoria	34
4.1. Definição Geral dos Custos associados ao processo	34
4.1.1. Custo de inspeção sem <i>Poka-Yoke</i>	34
4.1.2. Custo de rework	34
4.1.3. Custo de não-conformidades	35
4.1.4. Custo de processo sem <i>Poka-Yoke</i>	35

4.1.5.	Custo de aplicação do Poka-Yoke	35
4.1.6.	Custo de implementação do dispositivo Poka-Yoke	35
4.1.7.	Probabilidade de peça defeituosa	36
4.2.	Construção da equação de avaliação de melhoria do processo.....	36
4.2.1.	Equações de melhoria	36
4.3.	Contabilização dos custos associados ao processo	37
4.3.1.	Custo de inspeção sem Poka-Yoke	38
4.3.2.	Custo de <i>rework</i>	38
4.3.3.	Custo de não-conformidades	39
4.3.4.	Custo de processo sem <i>Poka-Yoke</i>	40
4.3.5.	Custo de aplicação do Poka-Yoke	40
4.3.6.	Custo de implementação do dispositivo Poka-Yoke	41
4.3.7.	Probabilidade de peça defeituosa	41
4.4.	Resultados Obtidos	41
4.4.1.	Avaliação da Melhoria Temporal	42
4.4.2.	Avaliação da Melhoria de Custos Monetários.....	42
4.4.3.	<i>Payback</i> do Dispositivo <i>Poka-Yoke</i>	43
4.5.	Considerações	44
5.	Conclusões.....	46
5.1.	Recomendações para trabalhos futuros.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		48
ANEXO A		49
ANEXO B		51
ANEXO C		53
ANEXO D		55
ANEXO E.....		57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A Casa Lean.	5
Figura 2. Estratégias de impedimento de evolução de erros para defeitos.	8
Figura 3. Esquematização de processo com inspeção por julgamento.	10
Figura 4. Esquematização do processo com Inspeção Sucessiva.	11
Figura 5. Esquematização do Processo com Inspeção na Fonte.	12
Figura 6. A evolução do ciclo PDCA com o ZQC.	14
Figura 7. Dispositivo Poka-Yoke com função de prevenção. (Hirano, 2009).	15
Figura 8. Comparação dos Métodos de Prevenção.	16
Figura 9. Dispositivo Poka-Yoke de natureza funcional (Hirano, 2009)	18
Figura 10. Aplicação de um Poka-Yoke de segurança numa prensa hidráulica. (Hirano, 2009).	19
Figura 11. Aplicação de um Poka-Yoke de segurança a uma grua de elevação. (Hirano, 2009).	20
Figura 12. Comboio Logístico. (Fonte: www.4lean.net).	21
Figura 13. Indicação, a traço amarelo, dos locais onde se realiza soldadura na peça.	23
Figura 14. Componentes em que o conjunto-base é utilizado.	24
Figura 15. Aplicação dos componentes no produto final.	24
Figura 16. Conjunto sem defeitos (à esquerda) e conjunto defeituoso (à direita).	25
Figura 17. Representação do Gabari e Componentes.	26
Figura 18. Representação da primeira operação.	27
Figura 19. Representação da segunda operação.	27
Figura 20. Representação da terceira operação.	28
Figura 21. Representação da quarta operação.	28
Figura 22. Aspecto final do Gabari com os componentes alinhados.	28
Figura 23. Base (à esquerda) e peça lateral do Gabari (à direita).	30
Figura 24. Esquema da 1ª Operação.	30
Figura 25. Esquema da 2ª Operação.	30
Figura 26. Esquema da 3ª Operação.	31
Figura 27. Aspecto final do Gabari com os componentes montados.	31
Figura A. Excerto do catálogo da Portugal Alves (página 4).	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de erros e soluções para os evitar.	7
Tabela 2. Dimensões e número de furos dos componentes.	22
Tabela 3. Descrição das operações realizadas na construção do Poka-Yoke.	32
Tabela 4. Salário médio e tempo de trabalho mensal.	38
Tabela 5. Custos de inspeção sem Poka-Yoke.	38
Tabela 6. Custo de não-conformidades para o Componente 1.	39
Tabela 7. Custo de não-conformidades para o Componente 2.	40
Tabela 8. Custo de implementação do Poka-Yoke.	41
Tabela 9. Quadro-resumo dos valores temporais e monetários associados a cada custo. ...	42

SIGLAS

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

JIT – *Just-In-Time*

PD – Dispositivo *Poka-Yoke* (deriva do Inglês *Poka-Yoke Device*)

PDCA- Ciclo *Plan-Do-Check-Act*

SPC – *Statistical Process Control*

ZQC – *Zero Quality Control*

1. INTRODUÇÃO

A presente Dissertação, que visa a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na especialidade de Produção e Projecto, foi realizada com a colaboração institucional da empresa 4Lean, situada em Rio Meão. O tema da dissertação compreende uma proposta de um dispositivo *poka-yoke* a ser aplicado no processo produtivo da empresa.

A empresa actua nas áreas de consultoria e fornecimento de soluções *Lean* aos clientes, sendo que o processo estudado nesta Dissertação se enquadra na produção de um dos componentes utilizados no *hardware Lean* fornecido pela empresa.

1.1. Motivação e Objectivos do Trabalho

A competitividade inerente à indústria e aos processos industriais é uma realidade indissociável da actualidade. As constantes mudanças de mercado e a capacidade de adaptabilidade a novos métodos reforçam a necessidade de produzir com cada vez mais qualidade.

As ferramentas de controlo de qualidade, embora efectivas, não são suficientes no acompanhamento do aumento natural de exigência observável a nível industrial. Assim, devem ser complementadas com sistemas e mecanismos que evitem o erro de forma absoluta.

A grande maioria dos erros deve-se a processos humanos – seja por distração, falta de competência ou cansaço. Os erros produtivos devido à falha humana são uma realidade em todas as indústrias. Não desrespeitando a lógica de que “errar é humano”, deve-se caminhar no sentido de evitar os erros tanto quanto possível.

Assim, a introdução de mecanismos *poka-yoke* na indústria é o caminho natural a seguir para evitar o erro, defeitos e, naturalmente, desperdício de tempo e recursos. A implementação deste tipo de mecanismos pode ser muito benéfica, uma vez que normalmente estes dispositivos envolvem um investimento financeiro reduzido, prevenindo efectivamente o erro, o que se traduz numa relação custo-benefício bastante positiva.

Embora a perfeição e o “erro zero” sejam conceitos teóricos, podendo passar por utópicos, é nesse sentido que se deve caminhar.

Desta forma, pretende-se nesta Dissertação explorar a metodologia *poka-yoke*, exemplificando a viabilidade económica e funcional deste tipo de mecanismos. É também objectivo deste trabalho o estudo de uma solução *poka-yoke* a implementar num processo proposto pela empresa *4Lean*, de modo a avaliar a possibilidade de implementação destas soluções em ambiente industrial.

1.2. Organização da Dissertação

A presente dissertação divide-se em três partes fundamentais.

Na primeira parte, materializada no Capítulo 2, é feita uma apresentação da metodologia *Poka-Yoke*, sendo ainda introduzidos conceitos adjacentes a esta matéria, tais como a filosofia *Lean*, a classificação de dispositivos *Poka-Yoke* e a metodologia do *Zero Quality Control*.

Por sua vez, a segunda parte desta dissertação – Capítulo 3 - trata da análise do caso de estudo proposto pela empresa *4Lean*, sendo realizada uma análise do problema. São ainda apresentadas as duas soluções propostas, com a exposição dos seus aspectos construtivos e do modo de funcionamento de cada uma delas.

A terceira e última parte deste trabalho divide-se nos Capítulos 4 e 5. No Capítulo 4 é realizada uma análise ao processo antes e depois da implementação do *Poka-Yoke*, uma vez que o processo é comparado temporalmente e no que diz respeito a custos monetários. No final deste Capítulo, são ainda analisadas as principais implicações da implementação do dispositivo no processo. No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões relativas ao tema desta dissertação, sendo ainda deixadas algumas recomendações para trabalhos futuros.

2. A METODOLOGIA POKA-YOKE

O termo *Poka-Yoke* é de origem japonesa significando, em tradução literal, evitar (*yoke*) erros (*poka*). Ao longo dos anos, várias definições foram propostas para este termo, caracterizando-o como um conjunto de mecanismos, ou práticas, que permitam a detecção e eliminação de erros. Saurin et al (2012) reúnem um conjunto de definições para este termo, apresentados de seguida.

Shingo, define *poka-yoke* como “um conjunto de mecanismos de detecção de erros e defeitos, com inspeção total”.

Já Middleton afirma que “é a prática sistemática de erradicação de erros, através da localização da sua causa-raiz”.

Por seu turno, Planka refere que *poka-yoke* são “mecanismos de detecção e eliminação de erros na fonte”.

Uma análise mais abrangente permite concluir que apesar de correctas, nenhuma destas definições se encontra completa, não exprimindo todas as potencialidades desta metodologia.

Assim, *Poka-Yoke* considera-se como sendo um conjunto de técnicas e mecanismos que permitem prevenir, detectar e eliminar anomalias num processo, podendo ser aplicados tanto à qualidade produtiva como à segurança dos trabalhadores.

2.1. Enquadramento Histórico e Evolução do *Poka-Yoke*

O *Poka-Yoke* tem a sua raiz na metodologia *Lean*. Sendo esta uma metodologia que visa a implementação de um conjunto de processos por forma a reduzir todo o tipo de desperdício numa organização (a nível de tempo, recursos humanos ou recursos materiais), é de todo o interesse a aplicação do *poka-yoke*, que permitirá a eliminação total ou parcial da ocorrência de erros.

Shigeo Shingo, engenheiro japonês que trabalhou para a Toyota durante grande parte da sua vida, foi o primeiro a idealizar e implementar o *Poka-Yoke*. Por volta dos anos 50 do século anterior, a indústria a nível mundial sofreu um “boom”. A necessidade de produzir cada vez mais quer em quantidade quer em qualidade, era uma das grandes

preocupações da indústria, fosse esta de que área fosse. E se na Europa se assistia quase a um retrocesso, devido a condicionantes de várias ordens despoletadas pela II Guerra Mundial, a indústria e engenharia oriental – com claro destaque para a Japonesa – solidificou-se como uma potência mundial na arte de fazer bem e em maior quantidade, quase como uma segunda Revolução Industrial.

Antes de Shingo, foi Sakichi Toyoda a dar o primeiro passo para dotar as máquinas industriais de capacidade para detectar erros de produção e impedir que estes se transformassem em defeitos (Ghinato, P.). Assim, data de 1926 a primeira demonstração de controlo de processo por parte de uma máquina, aplicando-se a um tear a capacidade de paragem automática. Uma vez atingida a quantidade programada de tecido a utilizar, ou quando ocorresse um rompimento transversal ou longitudinal dos fios, o tear pararia automaticamente. Se por um lado esta aplicação permitiu o controlo de produção excessiva, por outro, garantia que não eram produzidas peças defeituosas, contribuindo assim para a eliminação de desperdício de recursos materiais. Mas, mais do que isso, Toyoda teve o condão de despertar a indústria japonesa para a necessidade de aplicação de mecanismos deste tipo.

No decorrer dos anos 50, Shingo concluiu que o controlo estatístico de erros era insuficiente (Dudek-Burlikowska e Szewieczek, 2009) para aumentar a competitividade de uma indústria. A produção com defeitos era até aceite de uma forma geral, numa lógica de “qualquer processo de fabrico acarreta erros, e o que interessa é minimizá-los, reduzindo-os ao mínimo possível”. Não fosse a ambição de Shingo, e provavelmente esta seria ainda uma ideia aceite até aos dias de hoje. De forma audaciosa e pragmática, Shingo estabeleceu como prioridade a eliminação da probabilidade de erro, por mais reduzida que esta fosse. Assim, foi pioneiro na metodologia do *Zero Quality Control* que, em traços gerais, não admite a produção de uma única peça defeituosa, estabelecendo estratégias como o *Poka-Yoke* que impedissem a produção de erros não programados.

De acordo com um estudo norueguês de 1998 (Abdel Ahmed, 2012), estima-se que 10% dos custos totais associados a um determinado projecto em ambiente industrial se devem a não-conformidades, defeitos, erros ou desperdício. Assim, é evidente a necessidade de prevenir e eliminar a probabilidade de erros, sendo hoje em dia a metodologia *Poka-Yoke* aplicada e aceite a nível mundial.

2.2. A metodologia *Lean* como ponto de partida

A metodologia *Lean* pode ser definida como uma filosofia produtiva que elimina todos os desperdícios associados a um determinado processo, mantendo apenas no processo produtivo todos os recursos e procedimentos que acrescentem valor real ao produto final. A redução de custos, o aumento de valor para o cliente e aumento de produtividade são os grandes objectivos desta filosofia, sendo dois os pilares que a suportam: o *Just-In-Time* e o *Jidoka*, como é ilustrado na Figura 1.

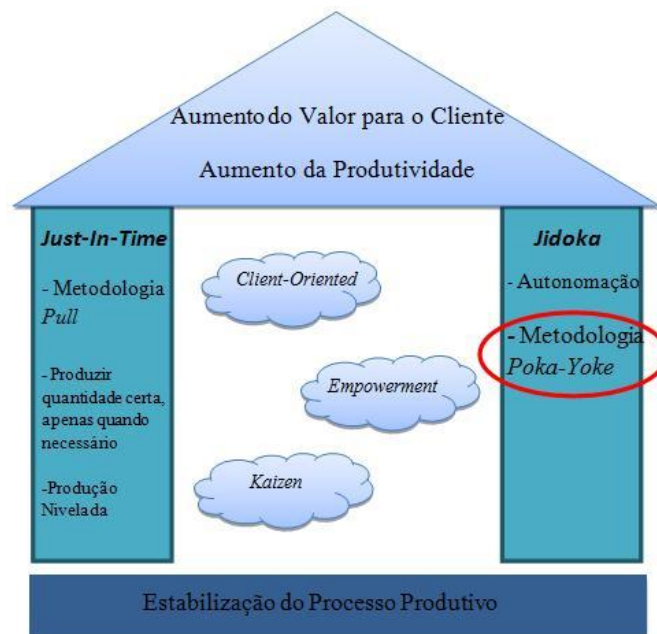


Figura 1. A Casa Lean.

O JIT é uma filosofia produtiva segundo a qual deve apenas ser produzida a quantidade exacta, no momento exacto e apenas quando necessário, eliminando assim ao máximo o desperdício de recursos e material originado. Dentro deste princípio, destaca-se a metodologia *Pull*, um sistema de produção puxado que permite que a empresa oriente as suas necessidades de acordo com as necessidades do cliente, não havendo necessidade de “empurrar” para o cliente o fluxo produtivo (Ghinato,P.). Também a produção nivelada (*heijunka*, em japonês) é uma parte essencial do JIT. O sistema *heijunka* permite que os produtos sejam fabricados de uma forma estável, evitando a criação de *stock*. Exemplificando, “em vez de numa semana produzir 500 peças de um dado capítulo que satisfaça o consumo para os próximos três meses, a produção nivelada procurará fabricar,

não apenas este como outros capítulos em quantidades menores e em curtos períodos de tempo” (Pinto, 2009). A aplicação sistemática deste método permite reduzir os tempos de execução minimizando, em última instância, os custos produtivos.

Outro dos pilares da filosofia *Lean* é o *Jidoka*. *Jidoka* é uma palavra japonesa cuja tradução gera alguma controvérsia. No âmbito deste trabalho, optou-se por definir este termo como “Autonomia” ou, segundo Ohno (Ghinato, P.), “facultar ao operador ou à máquina a autonomia de paralisar o processamento sempre que for detectada alguma anomalia”. O objectivo principal do *Jidoka* passa por impedir a geração e propagação de defeitos, eliminando anormalidades no processo e no fluxo produtivo. Assim, o objecto de estudo desta Dissertação, o *Poka-Yoke*, enquadra-se neste pilar da filosofia *Lean*.

Paralelamente a estes fundamentos, o *Lean Thinking* engloba outros conceitos fundamentais para o sucesso da organização. São disso exemplos a integração de todos os colaboradores no processo produtivo (“dar o poder às pessoas”), a criação de sinergias positivas com fornecedores e clientes e uma filosofia *Kaizen*, isto é, de melhoria contínua.

A implementação com sucesso dos conceitos supracitados contribui para a estabilização do processo produtivo, garantindo que os objectivos fundamentais do *Lean* são atingidos.

2.3. A diferença entre erros e defeitos

Apesar de os conceitos “erro” e “defeito” poderem parecer ter significados próximos, é importante clarificar as diferenças entre estes dois termos. O erro pode ter várias origens (Hiroyuki Hirano, 2009) entre as quais se destacam:

- **Origem Humana:** pode dever-se a inúmeros factores, incluindo fadiga, negligência ou uma sequência errada de processos. É importante ter em conta que apesar de as pessoas estarem sujeitas a cometer erros, são também capazes de diminuir o número de erros cometido;
- **Origem Material:** relaciona-se com a inadequação de um dado material a utilizar num determinado processo;
- **Origem Máquina:** ocorre normalmente quando é solicitada uma máquina cuja capacidade de operabilidade já foi ultrapassada;

- **Origem Método:** um erro deste tipo manifesta-se quando as operações não são *standardizadas*, isto é, cada operador realiza uma operação da forma que achar mais conveniente;
- **Origem Informativa:** assume-se quando existe uma falha do fluxo informativo, podendo ser uma omissão ou inexistência de operação;

Um breve exercício de análise, empregando a ferramenta dos “5 *Why's*?” permite identificar o erro/falha humana como causa-raiz de todas as origens anteriormente referidas.

Uma das formas de combater os erros de origem humana é a formação e treino contínuo dos operadores para as tarefas às quais são alocados. Embora esta solução não elimine por completo os erros dos operadores – porque estes vão sempre cometer erros – é um importante apoio para que estes sejam minimizados.

Quando um erro é de origem material, a causa primária pode dever-se ao fornecedor do material. Foi, por certo, um erro humano que deu origem ao erro, sendo que a integração do fornecedor no processo produtivo é uma estratégia aceitável para diminuir erros deste tipo.

Os erros de origem máquina devem-se em grande parte à inadequada manutenção da maquinaria a utilizar, podendo também ter origem na programação incorrecta da máquina. Uma estratégia de manutenção preventiva é adequada para prevenir situações indesejadas.

Para erros cuja origem primária é o Método, a implementação de procedimentos *standard* que incitem o operador a realizar a operação de forma correcta, evitando ao máximo que se cometam erros no processo, é uma boa estratégia a adoptar.

Por fim, os erros de origem Informativa podem ser combatidos através de várias ferramentas incorporadas na metodologia *Lean*, tais como *Kanban's* ou *check-lists*.

Na Tabela 1 encontram-se resumidos os tipos de erros e soluções para que estes sejam evitados.

Tabela 1. Tipos de erros e soluções para os evitar.

Origem	Problema	Solução
Humana	Fadiga, negligência, sequenciamento errado.	Formação e treino contínuos

Material	Material fornecido inadequado	Integração do fabricante no processo produtivo
Máquina	Capacidade da máquina esgotada	Manutenção preventiva
Método	Operação realizada de formas diferentes	<i>Standardizar o processo</i>
Informativa	Omissão ou inexistência de informação	<i>Kanban's, Check-lists</i>

O conceito “defeito” pode ser definido como a consequência natural dos erros, o que significa que os erros se transformam em defeitos caso não exista um *feedback* que os corrija e elimine. À produção de peças defeituosas estão associados, entre outros, “custos de inspeção, respostas às queixas dos clientes e custos de *rework*” (Pinto, 2009). A metodologia *Poka-Yoke*, bem como os dispositivos a ela associados, são uma forma eficaz de impedir que os erros cometidos ao nível do processo se tornem em defeitos e adicionem ao processo desperdício e tarefas desnecessárias.

Além da aplicação do *Poka-Yoke*, um fluxo contínuo de trabalho (apoiado na técnica do *Just-In-Time*) é uma forma eficaz de eliminação ou redução da produção de componentes defeituosos, uma vez que incentiva a inexistência de *stocks* para camuflar problemas que compensem a produção de defeitos. Estas estratégias encontram-se esquematizadas na Figura 2.

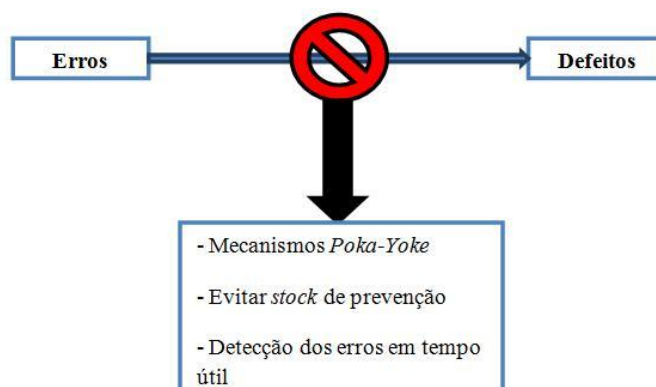


Figura 2. Estratégias de impedimento de evolução de erros para defeitos.

As causas mais comuns associadas aos defeitos encontram-se ao nível do processo e do produto.

Quanto aos defeitos com origem a nível do processo, estes podem classificar-se em:

- **Falha no Processo:** quando ocorre uma falha operacional ou de procedimento;
- **Erro no Processo:** quando ocorre uma incorrecção ou imprecisão na operação *standard*.

Por sua vez, os defeitos a nível do produto, podem dividir-se em:

- **Produto *substandard*:** quando a qualidade do produto final se encontra abaixo dos padrões estabelecidos;
- **Produto inacabado.**

2.4. Métodos de Inspeção de Defeitos

O engenheiro japonês Shigeo Shingo identificou três métodos de inspeção de defeitos, que a seguir se apresentam.

Por forma a ilustrar as diferenças entre estes três métodos de inspeção, apresenta-se um exemplo puramente académico: pretende-se acoplar a uma peça rectangular, uma esfera do lado direito e uma haste do lado esquerdo. As ligações entre os diversos elementos são todas efectuadas por roscagem, sendo que a peça rectangular possui furos roscados em ambos os lados, bem como no topo e na base (utilizadas para outras operações realizadas noutra célula produtiva), o que pode suscitar erros de montagem por parte dos operadores. A montagem é feita sequencialmente através das Operações 1 e 2 que acoplam, respectivamente, a esfera e a haste à peça rectangular.

- 1) **Inspeção por Julgamento:** este tipo de inspeção permite descobrir eventuais defeitos produtivos no final do processo. Depois de realizadas todas as operações, o produto final é inspeccionado, determinando se é, ou não, defeituoso. Este processo encontra-se esquematicamente representado na Figura 3.

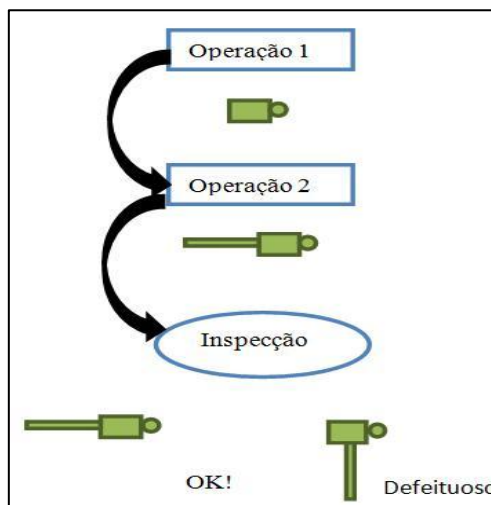


Figura 3. Esquematização de processo com inspeção por julgamento.

Neste caso, observa-se que as duas operações são efectuadas de forma seguida, sem qualquer inspeção intermédia, podendo assim ser produzidas peças em conformidade com o que se pretende ou peças defeituosas, como é exemplo a peça final apresentada no canto inferior direito da Figura 3, em que a roscagem da haste é feita na base.

A inspeção por Julgamento enquadra-se em métodos produtivos menos recentes, como o método de Taylor. Uma vez que a inspeção apenas é feita ao produto final, acarreta várias desvantagens, tais como custos de reprocessamento, custos de inconformidades do processo produtivo e pouca ou nenhuma informação sobre qual a operação do processo que originou o defeito.

- 2) **Inspeção sucessiva:** este tipo de inspeção permite a redução de defeitos, uma vez que são utilizadas inspeções intermédias entre as operações do processo. Caso exista uma peça defeituosa numa fase intermédia, esta já não será utilizada na operação seguinte, como é esquematizado na Figura 4.

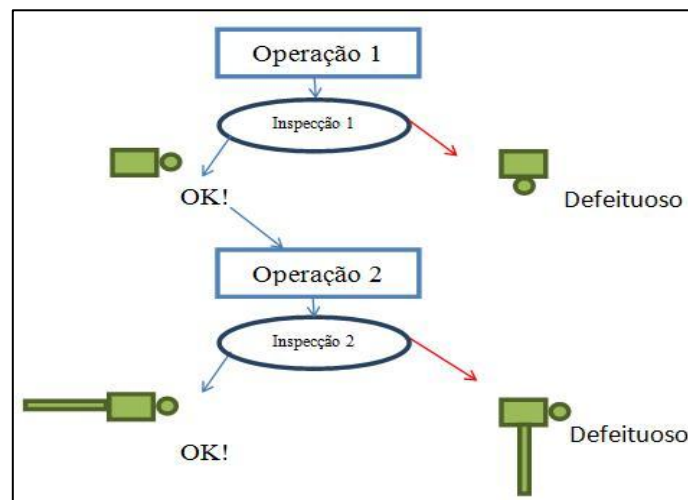


Figura 4. Esquematização do processo com Inspeção Sucessiva.

O processo de inspeção sucessiva representado na Figura 4, leva à eliminação de peças durante o processo. Como se observa, na primeira inspeção detecta-se uma não conformidade (esfera roscada na base da peça rectangular) o que leva a que a peça defeituosa não avance para a Operação 2. Depois da segunda inspeção detecta-se que uma das peças produzidas tem a haste roscada na base, pelo que é uma peça defeituosa que não avança para os processos seguintes.

Este método de inspeção apresenta algumas vantagens relativamente ao anterior, uma vez que fornece informação sobre qual a operação que originou o defeito, além de apresentar um tempo de reprocessamento menor. No entanto, os custos de inspeção aumentam (há mais operadores ou equipamentos para realizar as sucessivas tarefas de inspeção) e o tempo de espera entre operações é maior, uma vez que é necessário aguardar até que se confirme que a operação precedente produziu peças com a qualidade desejada.

- 3) **Inspeção na fonte:** a inspeção na fonte, introduzida por Shingo, permite a eliminação de defeitos do processo produtivo através da utilização de dispositivos *Poka-Yoke* que garantam que as operações são efectuadas de forma correcta, sendo este processo esquematizado na Figura 5.

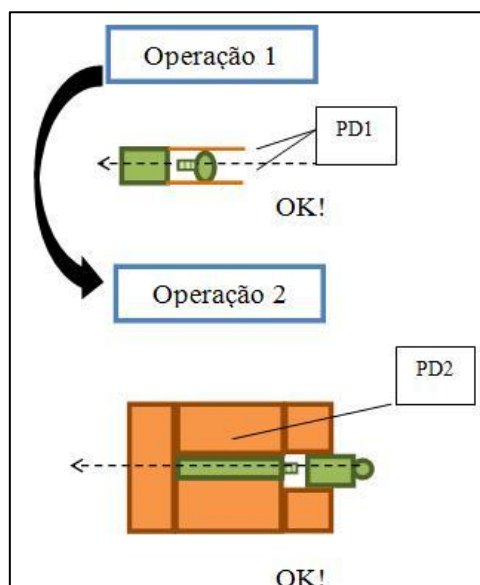


Figura 5. Esquemática do Processo com Inspeção na Fonte.

Note-se que no caso representado na Figura 5, a introdução de dois dispositivos *Poka-Yoke* (PD1 e PD2) garante uma inspeção na fonte e elimina a possibilidade de erro. Olhando com mais detalhe para cada uma das operações, podemos observar que na Operação 1, o PD1 são umas simples guias com o diâmetro da esfera que obrigam a que a esfera seja colocada na posição correcta. Estas guias eliminam ainda a possibilidade de a esfera ser acoplada ao topo ou base da peça rectangular, pois caso isso acontecesse o operador notaria uma folga entre a esfera e as guias, em virtude da diferença dimensional. O PD2 é uma caixa com a dimensão exacta do diâmetro da haste. Isto permite que a haste seja inserida na caixa, sendo depois inserido e roscado o conjunto proveniente da Operação 1.

Este processo de inspeção apresenta vantagens significativas relativamente aos anteriores. Reforce-se que com o método de inspeção na fonte só há uma possibilidade de montagem, assegurando-se assim que esta é realizada da forma correcta. Assim, não há produção de peças defeituosas, eliminando-se a necessidade de inspeção posterior e reduzindo a quantidade de passos do processo produtivo. Outra vantagem mencionável é o facto de os dispositivos *Poka-Yoke* serem de baixo custo, não representando um elevado valor associado à sua implementação.

2.5. Zero Quality Control

O modelo *Zero Quality Control* (ZQC), foi proposto por Shingo como alternativa ao modelo *Statistical Process Control* (SPC).

O SPC, como o próprio nome indica, é um processo essencialmente estatístico. Significa isto que, da quantidade total produzida, é feita uma análise por amostragem que avalia o número de defeitos produzidos no processo. O principal argumento de Shingo contra o SPC e a favor do ZQC centra-se no facto de “uma vez que o SPC contempla uma natureza intermitente de inspecção, permite que alguns defeitos ocorram no processo produtivo” (Grout e Downs, 1995). Shingo afirmou ainda que o controlo pelo processo estatístico era uma forma de manter o nível de defeitos existentes, ao invés de procurar eliminá-los.

Assim, o ZQC pode definir-se como um método do estudo da qualidade de produto com o objectivo claro de atingir os zero defeitos num processo de fabrico. Nesta abordagem está intrínseca a filosofia de controlar a *performance* de um processo ao pormenor, de modo a que seja impossível a produção de defeitos, mesmo que se verifique um erro humano.

Kumar e Watt mencionam que, segundo Shingo, são quatro os elementos fundamentais do *Zero Quality Control*:

- **Inspecção na Fonte:** o principal objectivo da inspecção na fonte é a detecção de erros antes que estes se tornem defeitos. Contrariamente ao que acontece na inspecção sucessiva e inspecção por julgamento (cf. Capítulo 2.4 deste trabalho), a inspecção na fonte previne os defeitos, garantindo um *feedback* que impossibilita a sua propagação no processo de produção;
- **Inspecção 100%:** ao contrário da inspecção por amostragem existe a garantia de que todos os componentes são inspeccionados, sendo imediatamente detectados os que possuem defeitos;
- **Feedback instantâneo:** uma resposta imediata permite que os erros detectados sejam corrigidos *on-time*, assegurando que não avançam no processo produtivo dando origem a defeitos;
- **Mecanismos Poka-Yoke:** o controlo encontra-se do lado dos dispositivos instalados, contrariamente ao que acontece no SPC, em que o controlo é maioritariamente executado por operadores.

Este é um método de controlo de qualidade muito ambicioso, uma vez que não é sequer admissível a produção de uma pequena quantidade de produtos defeituosos. As implicações do ZQC são visíveis e bem definidas, sendo que a sua aplicação permite a redução dos custos de retrabalhar e do desperdício, garantindo que todos os produtos são testados e, em última análise, para a satisfação total do cliente.

O ZQC implica também uma alteração ao ciclo PDCA. O ciclo PDCA tradicional é “uma sequência simples de processos que serve de guia à melhoria contínua, à realização de mudanças ou mesmo à análise de situações” (Pinto, 2009), caracterizando-se por quatro fases:

- 1) *Plan* (Planear)
- 2) *Do* (Fazer)
- 3) *Check* (Verificar)
- 4) *Act* (Ajustar)

No entanto, o ciclo PDCA tradicional enquadra-se numa filosofia mais próxima com a do SPC, sendo que a aplicação do *Zero Quality Control* leva a algumas mudanças no ciclo. Como é visível na Figura 6, as fases dois e três (*Do* e *Check*, respectivamente) encontram-se integradas, o que é facilmente justificável pelo facto de existir uma inspeção na fonte, pelo que ao mesmo tempo que a tarefa é executada é feita a verificação. É ainda de notar que a fase quatro – *Act* – pode ser eliminada no ciclo PDCA alterado. Isto porque, a partir do momento em que a inspeção implementada seja completamente eficaz, não existirá a necessidade de implementar qualquer tipo de ajustes ao processo.

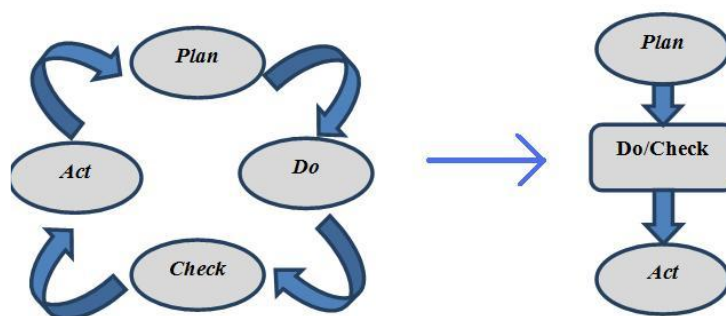


Figura 6. . A evolução do ciclo PDCA com o ZQC.

2.6. Classificação de Dispositivos *Poka-Yoke*

Dependendo da sua aplicação e método de trabalho, os dispositivos *Poka-Yoke* (PD's) podem ser agrupados e classificados em diversos grupos:

(1) Classificação quanto à função

Tal como proposto por Dudek-Burlikowska e Szwieczek, os PD's podem ser classificados funcionalmente como sendo de:

- (a) **Prevenção:** dispositivos que previnem o erro antes de este se tornar num defeito, viabilizam uma inspeção a 100% uma vez que todas as peças são testadas antes de passarem à operação subsequente. Na Figura 7, encontra-se representado um dispositivo de prevenção que funciona de forma muito simples: pretende-se que um suporte seja encaixado numa caixa, mas dada a simetria do suporte há facilidade em cometer erros no encaixe. Assim, a inclusão na caixa de uma pequena aba garante que o suporte é encaixado de forma correcta, prevenindo assim o erro e, consequentemente, o defeito;

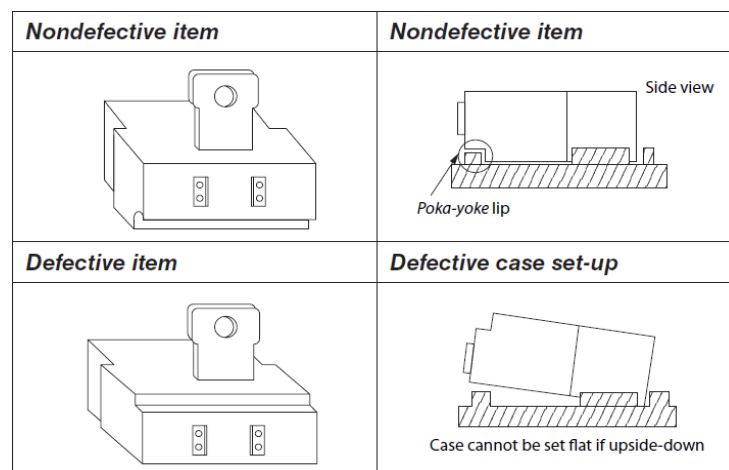


Figura 7. Dispositivo Poka-Yoke com função de prevenção. (Hirano, 2009)

Os dispositivos *Poka-Yoke* de prevenção podem ainda ser subdivididos em três categorias, de acordo com o método utilizado, sendo estes:

- (i) **Método de Controlo:** assim que o erro é detectado, existe uma paragem no processo produtivo, implicando que exista uma correcção imediata para que o processo prossiga;
- (ii) **Método de Aviso:** este método é bastante utilizado em situações em que o controlo total é impossível ou economicamente inviável; a detecção de um erro gera um sinal de aviso (*buzzer*, activação de um *led...*) que alerta o operador para a necessidade de eliminação ou reparação do erro;
- (iii) **Método *Shutdown*:** a detecção de um erro implica a paragem total do processo produtivo.

Uma comparação destes três métodos leva a concluir que o método de Controlo é o mais efectivo, seguido pelo método de *Shutdown* e, finalmente, pelo método de aviso, como é visível na Figura 8. Esta classificação justifica-se pelo facto de o método de Controlo requerer uma correcção imediata do problema. Os métodos de *Shutdown*, param todo o processo produtivo, o que contribui para o desperdício de tempo e recursos. Por fim, os métodos de Aviso consideram-se os menos efectivos, devido ao facto de os alertas emitidos poderem ser ignorados, continuando a ser produzidos defeitos no processo.

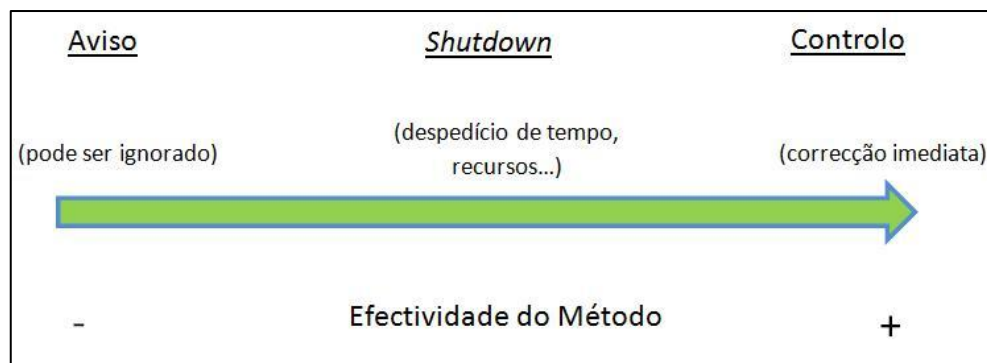


Figura 8. Comparação dos Métodos de Prevenção.

- (b) **Detecção:** estes dispositivos não previnem o erro, não deixando no entanto que este se propague e se transforme num defeito. Está associado à auto-inspecção ou à inspecção sucessiva.

Tal como proposto por Abdel Ahmed, os métodos de detecção podem ser agrupados em três grupos diferentes:

- (i) **Métodos de Contacto:** detecção de defeitos ou desvios relativamente aos padrões na forma, dimensões ou peso, estando a peça de análise em contacto com o dispositivo *Poka-Yoke*;
- (ii) **Métodos de Valor Fixo:** controlo de parâmetros críticos em operações sequenciais – por exemplo, controlo de temperatura num processo de soldadura;
- (iii) **Método *Motion-Step*:** garante que um operador não realiza um processo ou movimento que não seja necessário ao processo produtivo.

(2) Classificação quanto ao modo de actuação

Os dispositivos *poka-yoke*, podem também ser classificados quanto ao modo de actuação (Saurin et al, 2012), podendo ser:

- (a) **Pró-activos:** evitam a ocorrência de defeitos, estando normalmente relacionados com inspecção na fonte;
- (b) **Reactivos:** não evitam a ocorrência de defeitos, uma vez que a inspecção só é feita depois do processo (auto-inspecção, inspecção sucessiva e inspecção por julgamento).

(c) Classificação quanto à Natureza

Os PD's podem ainda ser classificados quanto à sua natureza, sendo classificados em:

- (a) **Natureza Física:** são dispositivos que bloqueiam o processo produtivo, não dependendo da interpretação do operador. Como exemplo, o dispositivo representado na Figura 7 é de natureza física, uma vez que a inserção incorrecta do suporte na caixa provoca o bloqueio do processo;
- (b) **Natureza Funcional:** este tipo de dispositivo é activado ou desactivado devido a um determinado evento. Como exemplo, apresenta-se na Figura 9 um PD de natureza funcional. Neste

processo, o operador deve encaixar uma peça numa determinada posição, no item transportado pelo tapete transportador. Foram instalados junto do tapete transportador dois interruptores-limite (*limit switch*) que avaliam a presença da peça superior encaixada na peça inferior (*workpiece*). Caso não se detecte a presença da peça superior, o tapete transportador para automaticamente;

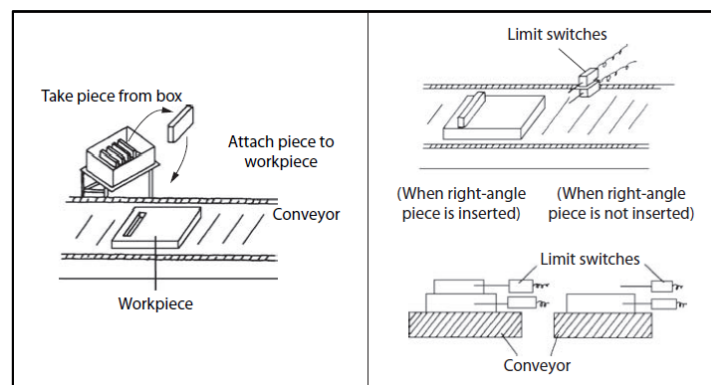


Figura 9 - Dispositivo Poka-Yoke de natureza funcional (Hirano, 2009)

- (c) **Natureza Simbólica:** este tipo de dispositivo requer interpretação de um operador. Exemplos de PD's de natureza simbólica são luzes de alarme/aviso ou *buzzers*.

2.7. Poka-Yoke aplicado à segurança

Os dispositivos *Poka-Yoke* têm a função principal de ser adaptados a várias etapas do processo produtivo com o objectivo final de aumentar a produtividade. No entanto, como afirma Hiroyuki Hirano, os PD's podem também ser aplicados à segurança dos trabalhadores.

Uma vez que grande parte dos acidentes se devem ao descuido dos operadores e ao facto de as operações serem executadas de forma errada, os *Poka-Yoke* de segurança podem prevenir acidentes e contribuir de forma efectiva para o aumento de segurança dos operadores.

Seguidamente, apresentam-se dois exemplos retirados do livro “Complete Guide to Just-In-Time Manufacturing, Vol.5” que demonstram como estes dispositivos podem ser aplicados à segurança dos trabalhadores.

2.7.1. Poka-Yoke de segurança numa prensa

As prensas hidráulicas são as máquinas mais propensas a provocar lesões num operador. Um reflexo involuntário por parte do operador ou uma simples falha de concentração ao colocar a peça de trabalho na plataforma de trabalho, podem levar a situações em que as mãos do operador sejam atingidas pela prensa, colocando assim a sua integridade física em risco.

Por forma a garantir a segurança dos trabalhadores, algumas prensas encontram-se equipadas com comando de activação duplo, implicando que o operador coloque ambas as mãos em interruptores diferentes para que a máquina funcione, o que impede que estas sejam inadvertidamente colocadas na plataforma de trabalho. Na Figura 10, encontra-se representado um dispositivo bastante simples aplicado para aumentar a segurança do operador. Este consiste numa jaula de segurança com uma porta deslizante, que quando fechada activa um *limit switch*, que permite o movimento da prensa apenas enquanto se encontrar activo. Isto permite separar totalmente a ligação entre o operador e máquina.

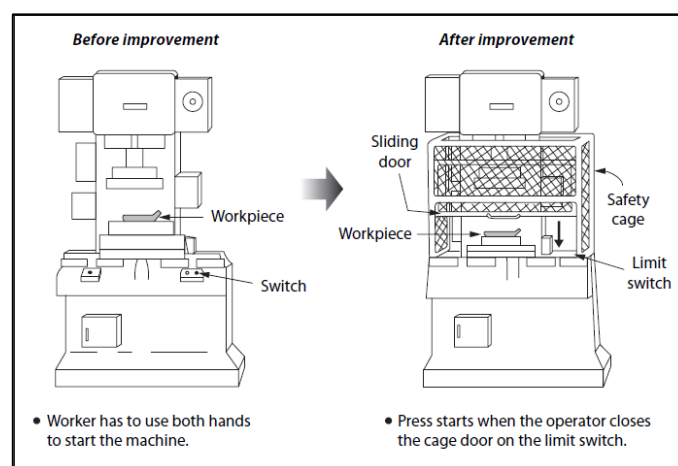


Figura 10. Aplicação de um Poka-Yoke de segurança numa prensa hidráulica. (Hirano, 2009)

Nesta nova situação, a segurança do trabalhador fica totalmente garantida, o que já acontecia com as prensas de comando duplo. No entanto, o dispositivo representado

apresenta vantagens relativamente ao outro, uma vez que também contribui para a produtividade ao libertar o operador para outras funções.

2.7.2. Poka-Yoke de segurança numa grua de elevação

Neste caso, apresenta-se uma grua de elevação de materiais cujo carril não estava preparado para sustentar muito peso. Por este motivo, os operadores pesavam o material a elevar antes de utilizar a grua, sendo que por vezes a medição era baseada num palpite.

De modo a evitar o levantamento de uma carga superior à suportada pela grua, foi instalado um dispositivo *Poka-Yoke* limitador de carga, como é mostrado na Figura 11. Assim, é aplicada uma pré-tensão para avaliar o peso do material a ser elevado. Caso seja superior, o limitador de carga é activado e impede o funcionamento da grua. Este procedimento impede que o fio parta a meio da operação, tornando-a mais segura.

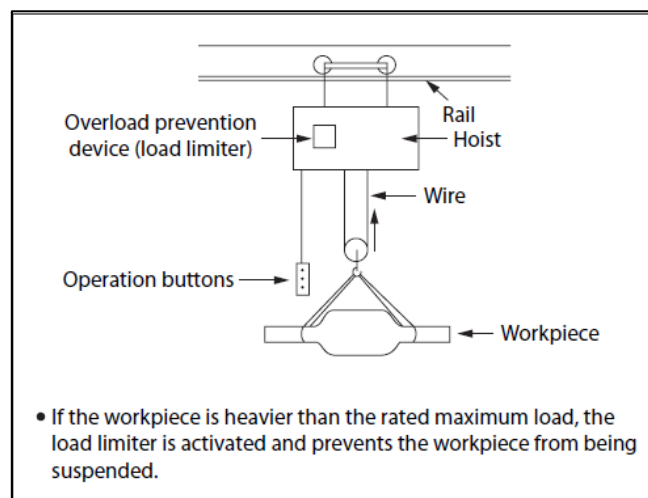


Figura 11. Aplicação de um Poka-Yoke de segurança a uma grua de elevação. (Hirano, 2009)

3. CASE-STUDY PROPOSTO

No presente Capítulo, é apresentada a empresa 4Lean, fazendo-se ainda uma contextualização e descrição do problema proposto pela empresa antes de se passar à apresentação das soluções propostas.

3.1. Breve Apresentação da Empresa

A empresa 4Lean, situada em Rio Meão, dedica-se à *criação e implementação de soluções Lean*.

As soluções passam por vários produtos desenvolvidos e construídos pela empresa, facilmente adaptáveis às necessidades do cliente, e delas são exemplo comboios logísticos, supermercados, carrinhos de transporte, entre outros.

A peça sobre a qual este trabalho incide tem aplicação em vários produtos, dos quais se destacam os comboios logísticos (*mizusumashi*), representados na Figura 12. Estes têm a função de transportar componentes entre o supermercado (local de armazenamento de todos os componentes necessários à montagem dos produtos) e as células de trabalho. Os comboios logísticos são uma ótima solução *Lean* em empresas, uma vez que a sua utilização pode eliminar a necessidade de utilização de empilhadoras, com a particularidade de serem sistemas mais baratos, mais manobráveis e mais flexíveis.



Figura 12. Comboio Logístico. (Fonte: www.4lean.net)

3.2. Contextualização do problema proposto

A operação que se pretende melhorar é actualmente realizada por outra empresa, subcontratada pela *4Lean*.

Sendo uma operação externa que causa defeitos (como referido adiante), a solução *Poka-Yoke* a implementar, poderá ser sugerida à empresa subcontratada, ou ser aplicada na *4Lean*, caso seja tomada a opção estratégica de incorporar a operação de soldadura no processo da empresa.

De modo a perceber qual o melhor método de soldadura para este processo em específico, consultou-se o operador que realizará a operação, afirmando este que a opção mais fácil será soldadura MAG, ao baixo.

Na impossibilidade de testar a solução sugerida em ambiente industrial, realizou-se uma simulação da implementação da solução, sendo o tempo cronometrado e comparado com o tempo despendido antes da implementação do *Poka-Yoke*. Este processo será descrito com mais detalhe no Capítulo 4 desta dissertação.

3.3. Descrição do problema

Foi proposto pela empresa *4Lean* que se estudasse a solução para um problema de orientação incorrecta na soldadura de duas peças. No âmbito desta dissertação, a solução teria de passar pela implementação de um dispositivo *Poka-Yoke* – neste caso, um *Gabari* – que evite a ocorrência de erros no processo e que represente valor acrescentado em termos de tempo de processamento e em termos de custo. Esta análise é realizada na parte final deste trabalho, no Capítulo 4.

O conjunto a soldar é constituído por duas peças de secção quadrada, com as dimensões descritas na Tabela 2, sendo o conjunto soldado em “T”. Os desenhos dos Componentes 1 e 2 podem ser consultados nos Anexos A e B, respectivamente.

Tabela 2. Dimensões e número de furos dos componentes.

	Componente 1	Componente 2
Altura [mm]	45	45
Largura [mm]	45	45
Comprimento [mm]	90	45
Nº furos	8	2

A peça superior do “T” – Componente 1 – tem 2 furos em cada face, sendo que os furos da face na qual se realiza a soldadura ficam orientados paralelamente ao Componente 2. Este contém dois furos que devem ficar posicionados a 30 mm dos cordões de soldadura. A soldadura é realizada nos dois lados da junção do “T”, como é observável na Figura 13.

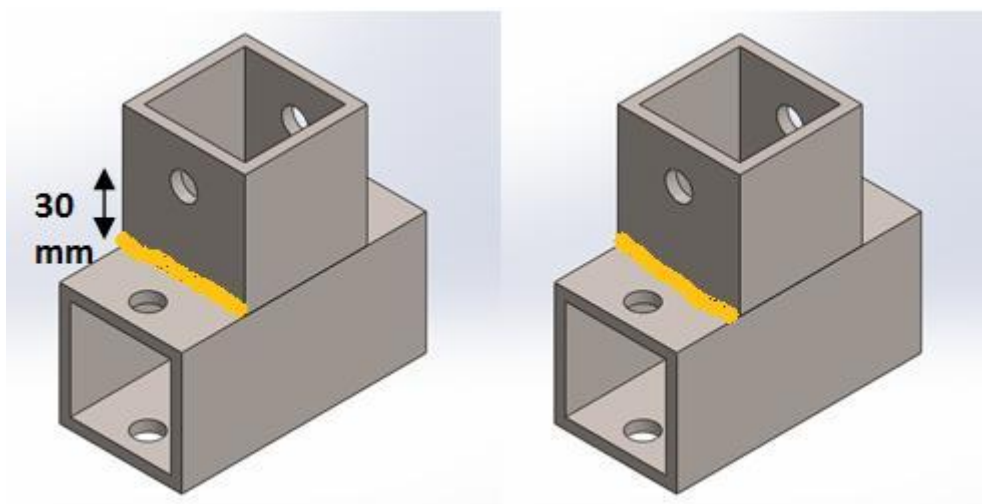


Figura 13. Indicação, a traço amarelo, dos locais onde se realiza soldadura na peça.

Este conjunto-base tem aplicabilidade em várias peças, sendo que pode ser posteriormente acoplada uma chapa, ser soldado um tubo de secção circular, ou outro tubo de secção quadrada.

O conjunto-base é aplicado nos modelos com as referências “CL-E2”, “CL-E”, “CM” e “CT-E”, como é visível na Figura 14. Estes modelos são utilizados na estrutura de vários produtos finais, sendo que neste trabalho apenas foi estudada a forma de melhorar os problemas associados à junção do conjunto-base.

Na Figura 15, observa-se a aplicação do conjunto-base no produto final.



Figura 14. Componentes em que o conjunto-base é utilizado.



Figura 15. Aplicação dos componentes no produto final.

3.4. Processo de Montagem anterior à implementação do *Gabari*

Antes da implementação do *Gabari*, o operador necessitava de ter especial atenção a dois passos antes do processo de soldadura.

Em primeiro lugar, e uma vez que o Componente 2 deve ficar alinhado exactamente a meio do Componente 1, o alinhamento exigia muita atenção por parte do operador, uma vez que caso este não fosse colocado a meio, o conjunto-base não teria aplicabilidade.

O outro passo que implica muita atenção por parte do operador é a orientação do Componente 2. Recorde-se que este deve ficar orientado com os furos paralelamente ao

plano de soldadura e com estes posicionados a 30 mm do cordão de soldadura. Como explicado adiante, este é a única causa-raiz dos defeitos detectados no lote inspecionado.

Adiante ver-se-á que a implementação do *Gabari* no processo elimina a necessidade de extrema atenção do operador no processo pré-soldadura.

A soldadura a realizar é do tipo MAG, sendo realizada ao baixo, por ser o processo mais fácil para o operador e porque o cordão de soldadura não envolve grandes cuidados nem uma precisão extrema.

3.5. Defeitos causados por orientação incorrecta

Como já foi referido em 3.4, existe o risco de o operador orientar o Componente 2 de forma incorrecta, isto é, orientá-lo ao contrário antes do processo de soldadura. Caso isto aconteça, o conjunto-base fica inutilizável, uma vez que os furos têm de estar obrigatoriamente posicionados a 30 mm do cordão de soldadura. Isto acontece porque os furos servirão para uma ligação aparafusada na montagem do produto final, pelo que a sua orientação incorrecta inviabiliza a sua utilização no produto final. Sendo a soldadura uma ligação permanente, a orientação incorrecta implica que a peça seja enviada para a sucata.

Foi analisado um lote de 35 conjuntos-base, sendo cronometrado o tempo de inspecção para que posteriormente pudesse ser incluído este custo na Análise de Melhoria (vd. Capítulo 4).

Das 35 peças inspeccionadas, verificaram-se 3 peças defeituosas, sendo a orientação incorrecta do Componente 2 a causa-raiz dos defeitos. Este número de defeitos corresponde a 8,57% de defeitos no processo, sendo esta uma percentagem bastante elevada e que se pretende eliminar por completo.

Na figura 16, observa-se o conjunto defeituoso e o conjunto sem defeitos.

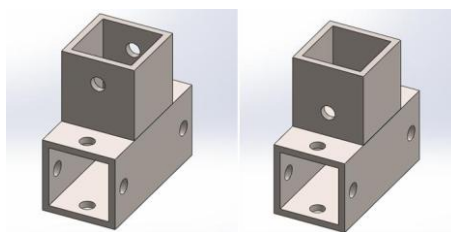


Figura 16. Conjunto sem defeitos (à esquerda) e conjunto defeituoso (à direita).

3.6. Abordagem ao Problema

Uma vez que o problema se manifestava na 2ª operação – isto é, aquando da orientação do Componente 2 – a ideia passa por criar um dispositivo físico para utilizar durante o próprio processo de soldadura, que impeça que o Componente 2 seja soldado ao contrário.

Deve ainda ser evitada a ocorrência de defeitos devido ao facto de o Componente 2 não estar posicionado exactamente a meio do Componente 1, pelo que *Gabari* deve ser projectado para esse efeito.

A utilização de um dispositivo *Poka-Yoke* deve garantir a inexistência de erros no processo, eliminando ainda a necessidade de inspecção. Estes pressupostos serão discutidos mais adiante.

3.6.1. Abordagem inicial e primeira solução proposta

A primeira solução proposta à empresa foi um *Gabari* em madeira, que seria basicamente uma “caixa” com pinos de posicionamento.

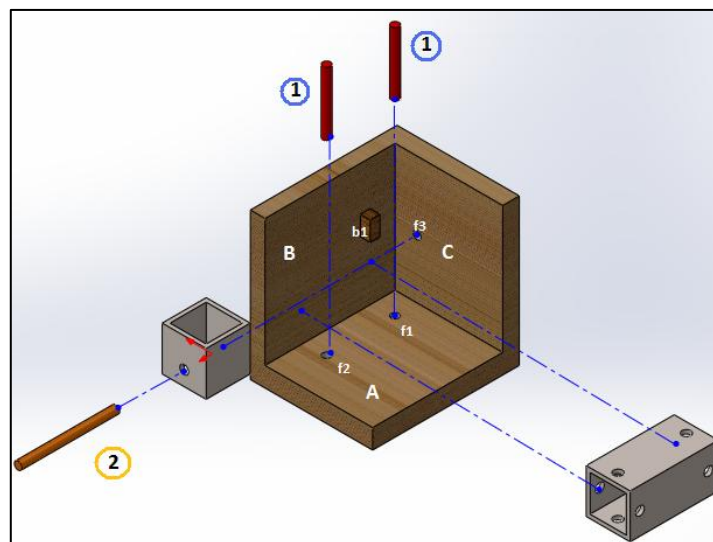


Figura 17. Representação do Gabari e Componentes.

Como é visível na Figura 17, o *Gabari* consiste numa caixa em madeira, com dois furos na face A (furos f1 e f2) e um furo na face C (furo f3). O dispositivo contém ainda um batente (b1) na face B, que garante o correcto posicionamento do Componente 2.

Os pinos designados na figura com os números 1 e 2, garantem que ambos os Componentes 1 e 2 (respectivamente) não saem do sítio correcto.

3.6.1.1. Sequência de Operações

Apesar de simples, o dispositivo envolve 4 operações, a saber:

- **1ª Operação:** Colocação do Componente 1 encostado à face A (Figura 18);

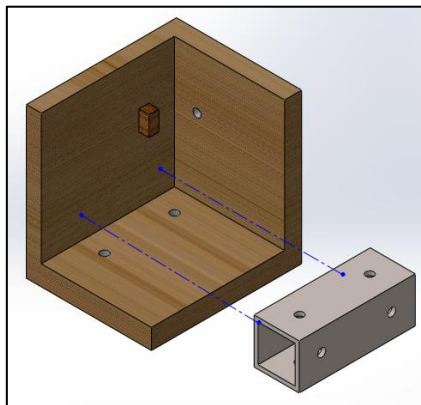


Figura 18. Representação da primeira operação.

- **2ª Operação:** Colocação dos pinos “1” nos furos do Componente 1 (Figura 19);

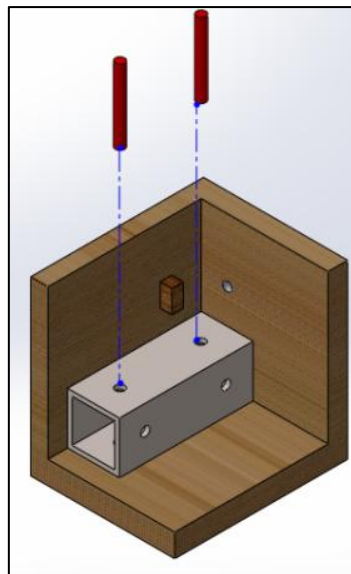


Figura 19. Representação da segunda operação.

- **3ª Operação:** Colocação do Componente 2 encostado ao batente colocado na face “B” (Figura 20);

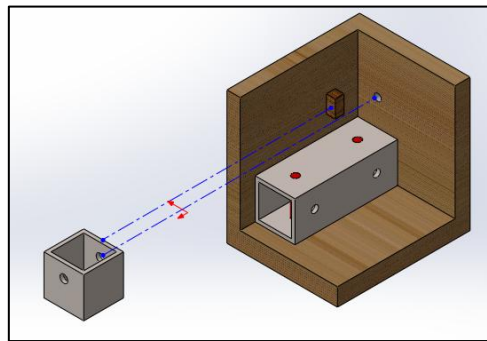


Figura 20. Representação da terceira operação.

- **4ª Operação:** Colocação do Pino “2” no furo do Componente 2 (Figura 21).

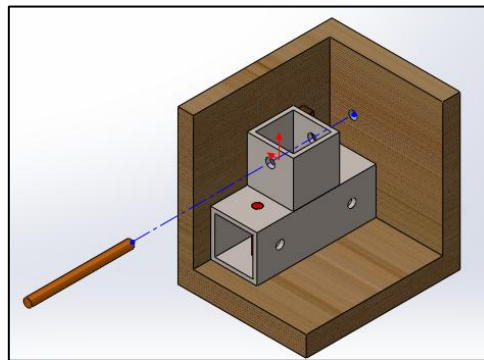


Figura 21. Representação da quarta operação.

Na Figura 22, observa-se o aspecto final do *Gabari* e o posicionamento correcto dos componentes, estando este pronto para que o operador efectue a soldadura.

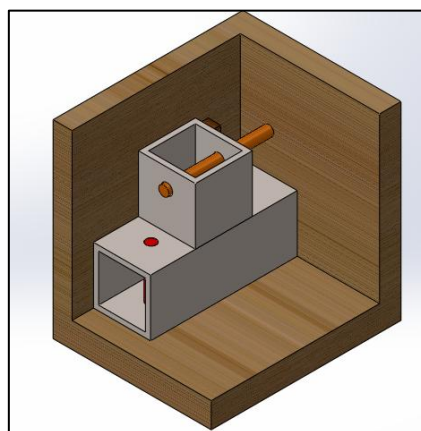


Figura 22. Aspecto final do Gabari com os componentes alinhados.

3.6.1.2. Análise Crítica

Aquando da apresentação desta solução à empresa, esta foi rejeitada apesar de ser uma solução funcional.

Esta solução tem, de facto, alguns pontos negativos.

Uma das principais vantagens de um dispositivo *Poka-Yoke*, deverá ser o facto de este ser intuitivo, sendo que esta solução pode gerar alguma confusão ao operador.

O facto de o operador ter de realizar quatro operações, torna o processamento pré-soldadura mais lento do que seria desejável. Além disso, quanto menos operações a solução implicar, mais eficaz esta será, não só em termos de tempo despendido mas também porque haverá menos margem para errar.

Outro dos problemas deste modelo, prende-se com o facto de depois de o operador efectuar a primeira soldadura, necessitar de retirar o pino “2”, retirando depois o conjunto-base para efectuar a segunda soldadura. Assim, perder-se-ia algum tempo, não sendo o processo totalmente intuitivo.

Do ponto de vista construtivo, a solução não seria difícil de construir, mas do ponto de vista funcional foi sugerido que se pensasse numa solução mais simples e directa, que se apresenta de seguida.

3.6.2. Segunda solução proposta

A segunda solução apresentada à empresa consiste num *Gabari* com duas partes: uma base de madeira com dois furos onde se incorporam dois pinos de ferro (p1, p2); e uma parte lateral, com a forma de “L”, com um furo onde se incorpora um pino de ferro (p3) que servirá de encaixe ao Componente 2, como demonstrado na Figura 23. Registe-se ainda a utilização de duas guias na peça lateral (g1, g2), cujo objetivo é encaixar na base do *Gabari*, que contém dois furos (f1, f2) para este efeito. A peça lateral foi dimensionada para que o Componente 2 fique posicionado exactamente a meio do Componente 1.

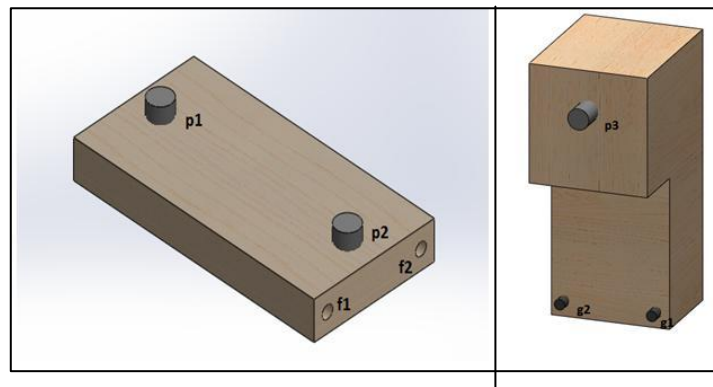


Figura 23. Base (à esquerda) e peça lateral do Gabari (à direita).

A descrição dimensional de ambas as partes do *Gabari* pode ser consultada nos Anexos C e D.

3.6.2.1. Sequência de Operações

Este dispositivo envolve 3 operações, sendo elas:

- **1ª Operação:** Colocação do Componente 1 na Base do *Gabari* (Figura 24);

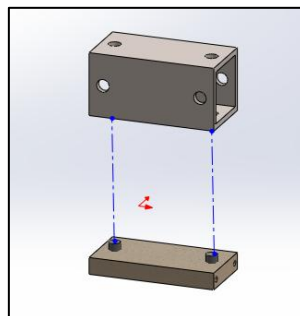


Figura 24. Esquema da 1ª Operação.

- **2ª Operação:** Encaixe da parte Lateral do *Gabari* na Base, através das guias (Figura 25);

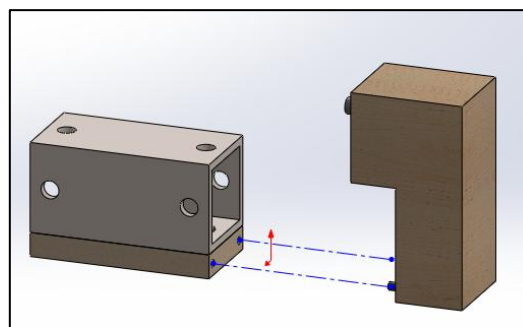


Figura 25. Esquema da 2ª Operação.

- **3ª Operação:** Encaixe do Componente 2 na parte Lateral do *Gabari* (Figura 26);

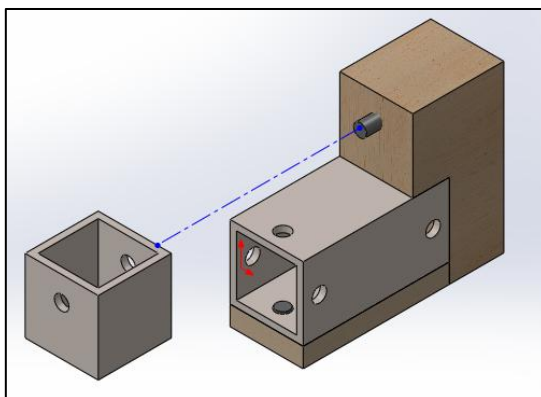


Figura 26. Esquema da 3ª Operação.

Na Figura 27, observa-se o aspecto final do *Gabari* e os componentes, estando este pronto para que o operador efectue a soldadura.

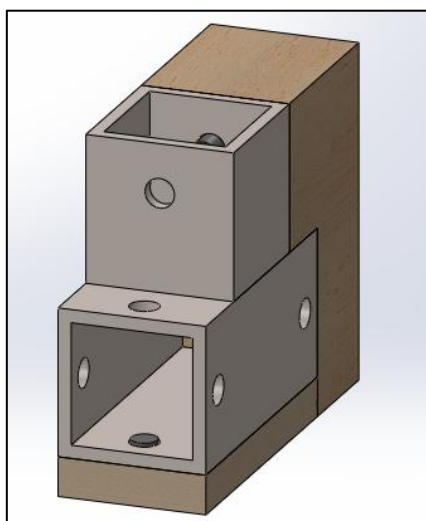


Figura 27. Aspecto final do Gabari com os componentes montados.

3.6.2.2. Análise Crítica

Esta solução provou ser mais eficaz e fácil de implementar que a anterior.

Em primeiro lugar, destaca-se a redução do número de operações a realizar, sendo assim realizadas 3 operações. O facto de os pinos se encontrarem embutidos nas duas partes do *Gabari*, permite que o processo de alinhamento dos Componentes 1 e 2 se torne mais facilitado.

Destaque-se também que, depois de executado o primeiro cordão de soldadura, o operador necessita apenas de fazer “deslizar” a parte Lateral do *Gabari* para efectuar a segunda soldadura, eliminando assim o complicado processo de retirar a peça com apenas uma soldadura que se verificava na solução primeiramente proposta.

3.6.2.3. Aspectos Construtivos

Do ponto de vista construtivo, este dispositivo não envolve um processo difícil sendo as operações realizadas para cada componente descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Descrição das operações realizadas na construção do Poka-Yoke.

Componente do <i>Gabari</i>	Operação	Descrição
Base	1	Corte de 90 cm de Ripa de Madeira
	2	Furação da base, com 2 furos de 5 mm de profundidade
	3	Corte de dois pinos de um varão de ferro (5 mm comprimento, 8 mm de diâmetro)
	4	Furação para realizar os furos para as guias
Lateral	1	Corte de 102 cm de Barrote de Madeira
	2	Maquinação da peça, para esta adquirir a forma de "L"
	3	Furação da Lateral, com um furo de 15 mm de profundidade e 8 mm de diâmetro
	4	Corte de um pino de um varão de ferro (15 mm comprimento, 8 mm de diâmetro)
	5	Furação para realizar os furos onde ficam apoiadas as guias
	6	Lubrificação das guias

Este processo foi realizado nas oficinas do DEM.

Quanto aos materiais escolhidos para o dispositivo, estes foram madeira e um varão de ferro, essencialmente pelo seu baixo custo. A necessidade de escolha de materiais que não envolvam custos elevados, justifica-se com um dos principais objectivos na implementação de um *Poka-Yoke*: o baixo custo. Assim, como será explorado mais adiante neste trabalho, a escolha destes materiais permite que a rentabilidade seja elevada.

3.6.2.4. Considerações

A implementação deste *Gabari* no processo estudado, permite alcançar objectivos coincidentes com os de implementação de qualquer dispositivo *Poka-Yoke*, a saber:

- **Inspecção 100%:** com o *Gabari*, todos os conjuntos-base são inspecionados no pré-processamento (isto é, antes de ser realizada a soldadura), garantindo que o operador tem um *feedback* em tempo real;
- **Rentabilidade:** o facto de o dispositivo não implicar custos construtivos elevados, garante que se paga a ele próprio ao fim de 15 utilizações (como será descrito adiante, no Capítulo 4);
- **Zero Defeitos:** este é, de facto, o grande resultado atingido. A implementação do dispositivo no processo impede a existência de erros e, por conseguinte, a propagação de defeitos. A anterior percentagem de 8,57% de erros é totalmente eliminada, sendo que o operador não tem forma de errar, uma vez que há apenas uma maneira de executar todo o processo.

De referir que depois da apresentação desta solução, surgiram outras ideias que poderiam eventualmente tornar o processo mais expedito, como por exemplo a criação de um *Gabari* que fosse uma peça única (com a inclusão de guias laterais no Dispositivo) ou a construção de um Dispositivo que incluísse uma secção quadrada que encaixasse no Componente 1. No entanto, não se procedeu à construção de nenhuma destas soluções, não só por terem surgido já numa fase de finalização desta Dissertação, mas também atendendo ao facto de serem soluções construtivamente mais complexas.

4. ANÁLISE DE MELHORIA

De forma a avaliar os reais benefícios da implementação do dispositivo *Poka-Yoke*, surge a necessidade de realizar uma avaliação que permita a obtenção de resultados concretos. Esta avaliação deve ser feita em duas vertentes diferentes: análise de melhoria do processo avaliando as diferenças entre tempos, antes e após a implementação do dispositivo, e análise de melhoria no que ao custo diz respeito.

A avaliação, em ambos os casos, implica o conhecimento das condições existentes antes da aplicação do *Gabari* e das condições verificáveis depois da aplicação do mesmo. Para isso, foram retirados alguns tempos de operações relativas ao processo, sendo estes transformados em custos como é explicado nos subcapítulos seguintes.

4.1. Definição Geral dos Custos associados ao processo

O processo de soldadura dos Componentes 1 e 2 acarreta vários custos, no pré-processamento, processamento e pós-processamento. Estes custos podem ser directos – por exemplo, custos que envolvam material – ou indirectos – avaliados em forma de tempo, sendo depois transformados em custos monetários.

Todos os custos associados ao processo são descritos de seguida.

4.1.1. Custo de inspecção sem Poka-Yoke

Os custos de inspecção sem *Poka-Yoke* (C_{ins}) definem-se como o custo monetário representativo do tempo que o operador demora a recolher a amostra e a inspecioná-la, contabilizando os defeitos para posterior tratamento estatístico.

É contabilizado temporalmente, pelo que a sua transformação num custo monetário é feita com base no salário do operador que inspeciona a amostra, como descrito adiante.

4.1.2. Custo de rework

Estes custos (C_r) podem ser definidos como os custos suportados para retrabalhar a peça ou componente, caso se detectem defeitos. Este custo não implica

necessariamente a produção de novas peças ou componentes, uma vez que se prende apenas com o processo de repetição do procedimento sem erros, para que não se originem defeitos.

É contabilizado temporalmente.

4.1.3. Custo de não-conformidades

Segundo Grout e Downs define-se como “o custo de perda produtiva quando as máquinas param”. No entanto, no âmbito deste trabalho, optou-se por redefinir este conceito, sendo definido como todos os custos associados à produção de peças defeituosas. Assim, C_n será o custo de produção de novos componentes para a produção não defeituosa de uma peça.

Estes custos são contabilizados temporalmente embora seja também tido em conta o custo dos materiais necessários à produção de novos componentes.

4.1.4. Custo de processo sem Poka-Yoke

Estes custos (C_p) podem ser definidos como os custos associados à realização do processo, sem que nele seja utilizado nenhum dispositivo *Poka-Yoke*.

É contabilizado temporalmente.

4.1.5. Custo de aplicação do Poka-Yoke

Este custo ($C_{a,PD}$) pode ser definido como o custo que traduz o tempo que o operador demora a verificar ou impedir a ocorrência de erros que originem defeitos com o dispositivo *Poka-Yoke* presente no processo.

Trata-se um custo contabilizado temporalmente.

4.1.6. Custo de implementação do dispositivo Poka-Yoke

Define-se como o custo dos materiais que constituem o dispositivo Poka-Yoke, sendo custos (C_i) contabilizados directamente.

Permite avaliar o número de utilizações do dispositivo *Poka-Yoke* até que este fique pago.

4.1.7. Probabilidade de peça defeituosa

Não sendo um custo, é um parâmetro que traduz a probabilidade de defeitos (p) num determinado processo, sendo extrapolado após inspecção por julgamento de lotes de peças finalizadas.

4.2. Construção da equação de avaliação de melhoria do processo

A avaliação das reais implicações da introdução de um dispositivo *Poka-Yoke* num processo produtivo em geral deve ser feita através da comparação do processo antes da implementação do dispositivo, com o processo depois da introdução do mesmo.

Na bibliografia consultada, não se encontrou nenhuma abordagem a esta questão em específico, pelo que surgiu a necessidade de implementar uma fórmula em geral que se adaptasse ao caso de estudo em específico.

Grout e Downs (1995) referem uma proposta de Iyer e Vecchia para a análise económica de custos de inspecção para dispositivos à prova de erro. No entanto, a fórmula proposta centra-se no custo a longo-prazo por unidade inspeccionada, o que se distancia do objectivo deste estudo.

Assim, a fórmula proposta pelo autor desta Dissertação tem como objectivo a quantificação da melhoria (em termos percentuais) no processo, depois da implementação do *Gabari*.

4.2.1. Equações de melhoria

A equação proposta é uma simples fórmula de melhoria, sendo o resultado dado pela razão entre a diferença, temporal

$$M_t (\%) = \frac{[p \times (T_r + T_n) + T_{ins} + T_p] - T_{a,PD}}{T_{a,PD}} \times 100\%. \quad (1)$$

, e de custo,

$$M_C (\%) = \frac{[p \times (C_r + C_n) + C_{ins} + C_p] - C_{a,PD}}{C_{a,PD}} \times 100\%. \quad (2)$$

, como será explicado subseqüentemente, da situação anterior e actual e a situação actual.

Em ambas as equações, a primeira parcela do numerador refere-se aos tempos (1) e custos (2) envolvidos no processo antes da aplicação do *Poka-Yoke*. De referir que a probabilidade de peça defeituosa (p) foi incluída como factor multiplicativo dos custos de *rework* (C_r) e dos custos de não-conformidade (C_n), porque apenas as peças defeituosas serão afectadas por estes custos. Os custos de inspecção sem *Poka-Yoke* (C_{ins}) e os custos de processo sem *Poka-Yoke* (C_p) são também incluídos nesta parcela, uma vez que a inspecção terá de ser feita a todas as peças. Também a montagem é também um processo comum.

A segunda parcela do numerador é coincidente com a parcela do denominador e reflecte os tempos (1) e custos (2) envolvidos no processo depois da implementação do *Poka-Yoke*.

Os custos de aplicação/utilização do *Poka-Yoke* ($C_{a,PD}$) são os únicos envolvidos depois de o *Gabari* ser implementado. Esta situação verifica-se porque o dispositivo garante que, após a sua implementação, não ocorrem erros que originem defeitos, sendo assim eliminados os termos C_r e C_n , não existindo necessidade de *re-trabalhar* as peças ou de produzir novas peças devido a não-conformidades. Torna-se evidente que também a inspecção subsequente se torna desnecessária, uma vez que o *Gabari* garante que não são produzidas peças defeituosas.

Optou-se por não se considerar os custos e tempos de soldadura, pois este processo realiza-se com e sem *Poka-Yoke*, sendo estimados os mesmos custos e tempos, antes e depois da implementação.

4.3. Contabilização dos custos associados ao processo

Os custos que efectivamente se verificam no processo são contabilizados de seguida, sendo explicado como se chegou a cada valor.

Como já referido, existem muitos custos que são contabilizados temporalmente, sendo necessário efectuar a sua conversão para um custo monetário. Esta transformação efectua-se tendo em conta o salário médio bruto de um operador que efectue operações de serralharia, corte, furação e inspecção, sendo o valor considerado de 650 euros mensais. Considerou-se um mês com 20 dias de trabalho e 8 horas de trabalho diárias.

Tabela 4. Salário médio e tempo de trabalho mensal.

Salário médio mensal [€]	650
Tempo de trabalho mensal [s]	576000

Como observado na Tabela 4, o tempo de trabalho mensal é de 576000 segundos, sendo que a estes correspondem os 650 euros mensais de salário. O valor monetário correspondente a uma determinada operação é obtido multiplicando o tempo de operação (em segundos) pelo salário médio mensal do operador, e dividindo depois este valor pelo tempo total de trabalho mensal do operador.

4.3.1. Custo de inspeção sem Poka-Yoke

No caso em concreto, C_{ins} será o custo decorrente da inspeção depois de realizada a soldadura. É necessário que o operador inspecione o conjunto-base, verificando se os furos do Componente 2 se encontram a 30 mm do cordão de soldadura.

A contabilização deste custo foi realizada através da inspeção de um lote de 35 conjuntos-base (já referida no Capítulo 3), sendo cronometrado o tempo total de inspeção do lote. Seguidamente, dividindo pelo número total de peças inspeccionadas, obteve-se o tempo de inspeção a uma unidade, sendo daí extrapolado (pelo método já referido), o custo acarretado por esta operação. Os resultados podem ser consultados na Tabela 5.

Tabela 5. Custos de inspeção sem Poka-Yoke.

C_{ins}	Tempo [s]	Custo Monetário [€]
Análise ao lote (35 peças)	232	0,2618
Análise por unidade	6,6286	0,0075

4.3.2. Custo de *rework*

No âmbito deste trabalho, optou-se por não se considerar os custos de *rework*. Isto acontece porque sendo a soldadura uma ligação permanente, será impossível retrabalhar o conjunto-base caso este seja defeituoso. Existiria, porventura, uma possibilidade para considerar este custo: contabilizar a fundição do conjunto-base, fazer

nova produção de ambos os componentes e obter assim o tempo e custo associados a estes processos. No entanto, estes procedimentos enquadram-se melhor nos custos de não-conformidades, tendo o parâmetro C_r um valor nulo.

4.3.3. Custo de não-conformidades

Como já foi referido, as não-conformidades implicarão a produção de novos componentes.

Por não-conformidade, entende-se um conjunto-base defeituoso, ou seja, em que o Componente 2 esteja colocado de forma errada. A ocorrência de uma não-conformidade provoca assim que sejam produzidos novos Componentes 1 e 2 para compensar os conjuntos-base defeituosos. Por sua vez, a produção destes novos componentes envolve custos monetários, não só devido ao material utilizado mas também devido ao tempo que é despendido.

Os Componentes 1 e 2 são feitos do mesmo material – tubo de ferro de secção quadrada – diferindo apenas no número de furos e no comprimento, sendo que o seu fabrico envolve três operações – corte, furação e acabamento superficial.

A contabilização dos custos do material baseou-se na consulta dos catálogos do fabricante Portugal Alves (cujo excerto se encontra disponível para consulta no Anexo E), que comercializa os tubos de ferro com o comprimento de um metro. O preço de cada componente foi então extrapolado com base no comprimento de cada um.

Nas operações de corte, furação e acabamento superficial foi apenas considerado o custo envolvido devido ao tempo das operações – sendo transformado em custo monetário da forma já referida anteriormente – não se considerando os custos das máquinas (energia eléctrica) em operação, por serem bastante baixos e, por isso, desprezáveis. Saliente-se que os tempos retirados para cada operação são tempos médios.

Nas tabelas 6 e 7 indicam-se os custos totais das operações para cada componente.

Tabela 6. Custo de não-conformidades para o Componente 1.

C_n	Componente 1	
	Tempo [s]	Custo Monetário [€]
Custo do Material	-	0,4293
Op. de Corte	20	0,0226

Op. de Furação	100	0,1128
Op. de Acabamento	60	0,0677
Total	180	0,6324

Tabela 7. Custo de não-conformidades para o Componente 2.

C_n	Componente 2	
	Tempo [s]	Custo Monetário [€]
Custo do Material	-	0,2147
Op. de Corte	20	0,0226
Op. de Furação	25	0,0282
Op. de Acabamento	60	0,0677
Total	105	0,3332

O custo total devido a não-conformidades (C_n) será dado pela soma dos custos de fabrico dos dois componentes, ascendendo ao valor de 0,9656 €.

4.3.4. Custo de processo sem *Poka-Yoke*

O C_p traduz o tempo que o operador demora a alinhar o Componente 2 a meio do Componente 1 sem que o *Gabari* faça parte do processo.

Embora o processo actualmente seja já realizado com um *Gabari* (não sendo o mesmo proposto nesta Dissertação), a contabilização do tempo foi realizada admitindo que o alinhamento do Componente 2 é feito com uma régua para que este seja alinhado exactamente a meio. Assim, repetiu-se esta simulação do processo por 30 vezes, sendo que o tempo médio obtido para este processo é de 18 segundos, o que corresponde a um custo monetário de 0,0203 €.

4.3.5. Custo de aplicação do *Poka-Yoke*

Este custo traduz o tempo que o operador demora a realizar o procedimento descrito no Capítulo 3.6.2.1.

Por impossibilidade de testar o processo em ambiente industrial, o procedimento seguido para avaliar o tempo associado a este custo foi a simulação do processo, sendo este repetido 30 vezes.

O tempo médio para o processo é de 14 segundos, correspondendo a um custo monetário de 0,0158 €.

4.3.6. Custo de implementação do dispositivo Poka-Yoke

O C_i é o custo directo dos materiais utilizados na construção do *Gabari*. Os aspectos construtivos foram já expostos no capítulo anterior, sendo que para a construção do dispositivo *Poka-Yoke* se recorreu a um barrote de madeira, uma ripa de madeira, um varão de aço e pregos utilizados como guias. Os custos de cada componente foram obtidos com a mesma metodologia descrita em 3.6.2.3, isto é, contabilizando apenas o comprimento utilizado, podendo ser consultados na Tabela 8.

Tabela 8. Custo de implementação do Poka-Yoke.

C_i		Custo Monetário [€]
Base do <i>Gabari</i>	Ripa de Madeira	0,349
	Varão (pinos)	0,1158
Lateral do <i>Gabari</i>	Barrote de Madeira	0,5995
	Varão (pinos)	0,0869
	Pregos (guias)	0,1988
Total		1,35

De referir que este custo não entra na equação de melhoria por ser aplicado apenas uma vez, podendo ainda assim retirar-se algumas informações relevantes para este estudo.

4.3.7. Probabilidade de peça defeituosa

A avaliação deste parâmetro foi realizada através da já referida inspecção a um lote de 35 conjuntos-base. Desta inspecção, verificou-se que 3 peças eram defeituosas, pelo que p toma um valor de 0,0857, isto é, 8,57%.

4.4. Resultados Obtidos

A melhoria obtida com a implementação do *Poka-Yoke* é obtida com a simples substituição dos valores quer temporais quer monetários, nas equações (1) e (2)

Na Tabela 9, resumem-se os valores obtidos para cada custo.

Tabela 9. Quadro-resumo dos valores temporais e monetários associados a cada custo.

	Tipo de Custo	Tempo [s]	Custo Monetário [€]
Antes da implementação	Cins	6,6286	0,0075
	Cr	NA	NA
	Cn	285	0,9656
	Cp	18	0,0203
Depois da implementação	Ca,PD	14	0,0158

4.4.1. Avaliação da Melhoria Temporal

De modo a avaliar a melhoria no processo, em termos de tempo, depois da implementação do dispositivo *Poka-Yoke*, foram substituídos na equação 1 os tempos processuais antes e depois do *Gabari*, como é visível de seguida

$$M_t (\%) = \frac{[0,0857 \times (0+285) + 6,6286 + 18] - 14}{14} \times 100\%.$$

$$\Leftrightarrow M_t (\%) = 250\%.$$

Nos cálculos realizados, não deve ser apenas incluído o tempo de alinhamento dos Componentes 1 e 2 com e sem *Gabari* – no qual se verifica um decréscimo de 18 para 14 segundos – mas também o tempo de inspeção necessário quando o processo não inclui *Poka-Yoke*, bem como o tempo para corrigir não-conformidades, afectado da probabilidade de ocorrência das mesmas.

O resultado obtido demonstra uma melhoria no processo, em termos temporais, de 250%. Uma análise a este resultado permite concluir que enquanto antes se executava o processo de montagem uma vez, existe agora capacidade de o realizar 3,5 – ou seja, 3 vezes – o que demonstra uma melhoria significativa, como é demonstrado a seguir,

$$\frac{\text{Tempo de processo sem Poka-Yoke}}{\text{Tempo de processo com Poka-Yoke}} = \frac{49,06}{14} = 3,50.$$

4.4.2. Avaliação da Melhoria de Custos Monetários

A todos os tempos envolvidos na execução do processo estão associados custos monetários que, substituídos na equação de melhoria, permitem retirar conclusões sobre o custo antes e depois da implementação do *Poka-Yoke*.

O procedimento seguido para analisar a melhoria em termos monetários é o mesmo utilizado para avaliar a melhoria em termos temporais, sendo o resultado de

$$M_c (\%) = \frac{[0,0857 \times (0 + 0,9656) + 0,0075 + 0,0158] - 0,0203}{0,0203} \times 100\%.$$

$$\Leftrightarrow M_c (\%) = 599\%.$$

No caso dos custos, é observável uma melhoria no processo de 599%. Uma primeira avaliação permite concluir que antes da implementação do *Gabari*, o custo do processo – incluindo os custos de não-conformidades afectados da probabilidade de peças defeituosas – é de 0,1106 €, sendo que este custo se reduz a 0,0158 € depois da implementação do dispositivo – o que redundava num decréscimo de 0,0948 €.

Conclui-se ainda que com a implementação do *Poka-Yoke* é possível realizar a operação 6,99 vezes – ou seja, 6 vezes – enquanto que antes da implementação esta apenas se realizava uma vez, o que representa um valioso *upgrade* no processo.

$$\frac{\text{Custo de processo sem Poka – Yoke}}{\text{Custo de processo com Poka – Yoke}} = \frac{0,1106}{0,0158} = 6,99$$

4.4.3. **Payback do Dispositivo Poka-Yoke**

O custo do *Gabari*, apesar de referido anteriormente, não foi incluído na equação para avaliar a melhoria processual pelo facto de ser um custo aplicado apenas uma vez. Uma alternativa para a inclusão deste custo, passaria por dividir o seu custo pelo número de vezes que é utilizado, retirando assim o valor “unitário” do dispositivo. No entanto, optou-se por não incluir este custo, por não haver certeza quanto ao número de utilizações do *Gabari*.

Ainda assim, é possível avaliar o *payback* do Dispositivo – isto é, o número de vezes que o dispositivo tem de ser utilizado até que o valor nele investido seja igualado. Como referido em 4.3.6, o custo de implementação do Dispositivo *Poka-Yoke* ascende ao valor de 1,35 €. Assim, o *payback* será dado pela razão entre o custo de implementação do Poka-Yoke – C_i – e a redução de custos processuais com a sua introdução no processo,

$$\text{Payback} = \frac{C_i}{\text{Redução de Custos}} = \frac{1,35}{0,0948} = 14,24$$

O resultado indica que o número de utilizações do Dispositivo no processo até que este fique pago é de 14,24, ou seja, o dispositivo deve ser utilizado 15 vezes para que a sua implementação fique compensada.

Este é um excelente resultado, uma vez que o número de utilizações para compensar a introdução do *Gabari* no processo é bastante baixo, sendo a principal justificação para este resultado o facto de o *Gabari* ser constituído por materiais pouco dispendiosos.

4.5. Considerações

A implementação do dispositivo *Poka-Yoke* no caso de estudo proposto pela *4Lean* é claramente vantajosa para o processo em questão. Esta vantagem é observável nos dois parâmetros avaliados: tempo e custo.

Em termos temporais, a redução de tempo processual com a implementação do *Gabari* implica que o número de vezes que é possível realizar o processo passa para o triplo, eliminando os tempos associados à inspecção e à produção de novos componentes devido a não-conformidades produzidas pelo processo primário.

Em termos de custo, observa-se uma maior vantagem na implementação do *Poka-Yoke*, uma vez que o processo pode passar a ser realizado seis vezes, quando antes era realizado uma vez. Em termos percentuais, o custo mais oneroso antes da implementação do *Gabari* era o custo devido a não-conformidades, representando 75% dos custos totais do processo. Com a implementação do Dispositivo, este custo é eliminado – uma vez que não existe produção de conjuntos defeituosos – tal como o custo de inspecção. Assim, a eliminação da maior parcela de custos contribui significativamente para o baixo custo do processo com *Poka-Yoke*.

Relativamente ao *payback* do Dispositivo, o valor de 15 utilizações para que este fique pago recomenda vivamente a sua implementação no processo. No entanto, vale a pena referir que não foram contabilizados custos de depreciação dos materiais por se tratar de materiais muito baratos e com pouca expressão na operação global da empresa.

No que diz respeito aos tempos associados a cada custo, há que ressaltar que todos os tempos obtidos são tempos médios e que os processos foram apenas simulados, por impossibilidade de os executar em ambiente industrial, pelo que os valores obtidos

para as melhorias de tempo e de custo são valores indicativos, podendo por isso parecer exagerados.

5. CONCLUSÕES

Apesar de ser um tema pouco explorado no universo das dissertações de mestrado, a metodologia *Poka-Yoke* prova ser um assunto que merece ser estudado com atenção.

Nesta Dissertação procurou recorrer-se à resolução de um caso concreto existente na indústria, por forma a mostrar que a implementação desta metodologia pode efectivamente implicar melhorias no processo produtivo de uma empresa.

Os resultados obtidos no Capítulo 4 provam a utilidade dos dispositivos *Poka-Yoke*, recomendando-se para este caso em concreto a implementação do *Gabari* proposto no processo de soldadura dos componentes envolvidos.

É no entanto de referir que os resultados obtidos não podem ser tomados como absolutos, uma vez que é impossível simular o ambiente industrial das operações estudadas. Na tentativa de colmatar essa insuficiência, foram realizadas 30 simulações para os processos de alinhamento dos Componentes, com e sem *Gabari*, sendo considerado o tempo médio das operações. Os resultados obtidos devem assim ser considerados como uma estimativa dos potenciais resultados reais com a implementação do *Poka-Yoke*, sendo expectável que a melhoria em termos percentuais tome na realidade valores mais baixos.

Uma vez que esta Dissertação se refere apenas a uma etapa de um processo produtivo, sendo os custos desta bastante baixos, é difícil prever com exactidão o impacto da implementação do *Poka-Yoke* na operação global da empresa.

Com a introdução do dispositivo atingem-se os principais objectivos da metodologia *Poka-Yoke*: inspeccção a 100% das peças, garantia de inexistência de defeitos no processo e rentabilidade do Dispositivo implementado no processo.

5.1. Recomendações para trabalhos futuros

Uma vez que a ausência de teste da solução proposta em ambiente industrial se afigurou como a principal dificuldade neste trabalho, recomenda-se que em trabalhos futuros sobre o mesmo tema, a solução seja validada dentro de uma realidade industrial.

As fórmulas propostas de avaliação de melhoria temporal e de custo, surgem nesta Dissertação como uma forma de valorizar academicamente o trabalho, uma vez que em ambiente industrial apenas se deve considerar o tempo do processo antes da implementação do *Poka-Yoke* e o tempo registado depois da implementação do mesmo. Por essa razão, recomenda-se também uma revisão das fórmulas propostas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed,A., (2012), “Poka-Yoke: Techniques to prevent defects”, consultado a 2 de Março de 2014 em: <http://www.docstoc.com/docs/168515384/PokaYokedoc>
- Dudek-Burlikowska,M., Szewieczek,D. (2009), “The Poka-Yoke Method as an improving quality tool of operations in the process”, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 36/1, 95-102
- Ghinato, P., “Jidoka: Mais do que pilar da qualidade”, consultado a 16 de Fevereiro de 2014 em: <http://pt.scribd.com/doc/49497563/jidoka>.
- Grout,J., Downs,B., (1995), “An Economic analysis of Inspection Costs for Failsafing Attributes”, Working Papers, Paper 176, Consultado a 15 de Abril de 2014 em: http://digitalrepository.smu.edu/business_workingpapers/176
- Hirano,H. (2009), “JIT implementation manual – the complete guide to just-in-time manufacturing”, Vol.4, Segunda Edição – Leveling – Changeover and Quality Assurance, CRC Press,pp.541-616
- Hirano,H. (2009), “JIT implementation manual – the complete guide to just-in-time manufacturing”, Vol.5, Segunda Edição – Standardized Operations – Jidoka and Maintenance/Safety, CRC Press,pp.655-676, 689-703
- Kumar, R., Watt,B., “Teaching Zero Quality Control Concepts in Mechanical Engineering Technology”, Consultado a 20 de Março de 2014 em: http://search.asee.org/search/fetch;jsessionid=i66gfjrev3p5?url=file%3A%2F%2Flocalhost%2FE%3A%2Fsearch%2Fconference%2F22%2FAC%25201998Paper558.pdf&index=conference_papers&space=129746797203605791716676178&type=application%2Fpdf&charset=
- Pinto, J.P.O., (2009), “Pensamento Lean: A filosofia das Organizações Vencedoras”, Lidel-Edições Técnicas,lda, Lisboa,pp. 3-19, 43-46, 110-138
- Saurin,T., Ribeiro,J., Vidor, G. (2012), “A framework for assessing poka-yoke devices”, Journal of Manufacturing Systems, 31, 358-366
- Smith,M., (2005), “The Poka-Yoke System: Is Zero Defects a Reality?”, Consultado a 23 de Março de 2014 em: http://elsmar.com/pdf_files/Poka_yoke_B.pdf
- Yi, L., Yusof,S., (2007), “Product Quality Improvement Through Poka Yoke Technique”,Jurnal Mekanikal, 23, 74-82

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

ANEXO D

ANEXO E

Indicação, a verde, do preço de um tubo de secção quadrada, com o comprimento de um metro e com as dimensões 45x45 mm, e 4 mm de espessura. O catálogo está disponível para consulta em <http://www.portugalalves.com/pt/>.

Medida (Size) mm	3,00	4,00	5,00
25 x 25	1,8700		
30 x 30	2,3300	2,9100	
35 x 35	2,8000		
38 x 38	3,0800		
40 x 40	2,9900	3,8100	4,7300
45 x 45	3,7200	4,7700	
50 x 50	3,8500	4,9400	6,2100
60 x 60	4,7000	6,0800	7,7000
70 x 70	5,5800	7,2200	9,1800
80 x 80	6,4100	8,3500	10,6900
90 x 90	7,4700	9,8000	12,4600
100 x 100	8,1200	10,6000	13,6300

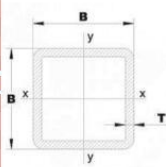


Figura A. Excerto do catálogo da Portugal Alves (página 4).