

## Design for Lean Production on the improvement of a car component Design for Lean Production na melhoria de um componente automóvel

Mariana Correia - mariana.correia@pt.bosch.com

Universidade do Minho

Joaquim Barbosa - kim@dem.uminho.pt

Universidade do Minho

Anabela Alves - anabela@dps.uminho.pt

Universidade do Minho

Luís F. Silva - lffsilva@dem.uminho.pt

Universidade do Minho

Eurico Seabra - eseabra@dem.uminho.pt

Universidade do Minho

### Abstract

The optimum design, associated to low cost high quality and quick delivery are imperative for competitive companies. These targets lead to the development of new project methodologies that focus on the customer's needs. Today's organizations need to deal with dynamic and competitive environments. In order to be successful, companies must be strategically aware. They must understand how changes in their environment are unfolding and they should know the customers' importance. The integration of various tools on project development is a new key way to improve quality and increase profit. Thus, the goal of this project was to develop a project methodology that could integrate various project methods and at the same time could improve the performance of the steering angle sensor, reducing its cost and improving its quality regarding its production process. It can be said that the improvement of the component in respect of the reduction of the noise emitted allows an increase in the quality of it and consequently an increase in customer satisfaction. But the most important challenge was this improvement has happened in the product development phase. Thus, in the product development phase, it was possible to reduce the waste with the lean tools during production as the movement, inventory, shipping and defects consumption materials and energy, and this way it is possible do more with less. Thus, it was found that by integrating design tools such as TRIZ and QFD, in the product development phase, are developed concepts geared to the needs of customers at the same time that reduce waste that do not add value to the product.

### Keywords

Lean Production, Project, QFD, TRIZ, Innovation

### Palavras-chave

Lean Production, Projeto, QFD, TRIZ, Inovação

## Design for Lean Production na melhoria de um componente automóvel

### Introdução

Num cenário cada vez mais agressivo e competitivo, as empresas e indústrias de diversos setores desenvolvem metodologias que apontam para a otimização dos seus resultados, cada vez mais dependentes da satisfação do cliente.

Entre outros fatores, a capacidade de inovar desempenha um papel fundamental na competitividade de uma empresa, no mundo industrial de hoje em dia. Assim, um dos principais objetivos das empresas baseia-se no desenvolvimento e introdução de novos produtos no mercado, no mais curto espaço de tempo possível.

O processo de desenvolvimento de produtos é caracterizado por um elevado grau de incerteza nas fases iniciais do projeto. Neste contexto, é possível afirmar que, o custo do produto fica praticamente comprometido com as decisões tomadas nas primeiras fases do ciclo de vida. Assim, é fundamental que todas as mudanças ocorram nas fases iniciais do desenvolvimento, visto que é neste momento que o custo das alterações é menor.

Tal como acontece em diversas áreas, o sector industrial tem enfrentado desafios crescentes e cada vez mais exigentes, devido essencialmente à elevada competitividade, consequente da inovação e da globalização dos mercados de bens, serviços e fatores de produção. Como tal, o sector automóvel tem sido um dos sectores de atividade que mais transformações sofreu nas últimas décadas, devido às necessidades cada vez mais inconstantes e exigentes do mercado.

A presença de sistemas eletrónicos nos automóveis tem vindo a aumentar de forma considerável nos últimos 30 anos, tornando possível o aumento dos padrões de eficiência, segurança e conforto dos mesmos. Um destes dispositivos de segurança na condução é o sensor de ângulo de direção, que integra o Programa de Estabilidade Eletrónica, LWS, e que é desenvolvido e produzido na secção *Chassis System Control*, CC, de uma empresa internacional de componentes eletrónicos. O objetivo deste artigo é apresentar um trabalho realizado nessa empresa para melhorar um sensor de ângulo de direção relativamente ao ruído que emitia em funcionamento. Para o melhorar usaram-se metodologias de projeto mecânico, desdobramento da função qualidade (QFD) e Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ). Através do uso destas metodologias conseguiu-se reduzir o tempo de desenvolvimento do produto. Adicionalmente usou-se a metodologia organizacional Lean Production para melhorar a sequência de montagem e reduzir o número de componentes do sensor, eliminando atividades que não acrescentavam valor e reduzindo o custo deste sensor.

Este artigo encontra-se dividido em cinco capítulos. Depois desta introdução, são introduzidas as metodologias de projeto no capítulo 2. O capítulo 3 apresenta o problema a resolver (emissão de ruído) num sensor do ângulo de direção e as metodologias usadas para o resolver. O capítulo 4 apresenta o trabalho realizado para preparar a produção desse sensor através da aplicação de Design for Lean. O capítulo 5 e último apresenta as principais conclusões tiradas com o trabalho efetuado.

### Metodologias de projeto

O processo de desenvolvimento de novos produtos envolve a conexão de diferentes atividades, tais como, a definição inicial dos requisitos do produto, o desenvolvimento e teste do conceito do produto, a definição final e lançamento do produto no mercado. A procura de fornecedores, o planeamento do seu processo de fabrico, a definição da cadeia de abastecimento e, finalmente, a elaboração das estratégias de marketing, constituem atividades que devem estar presentes ao longo de todo o processo de desenvolvimento de novos produtos [1].



O projeto de engenharia consiste, assim, no uso de princípios científicos, informações técnicas e na definição de estruturas, máquinas ou sistemas para desempenhar funções pré-especificadas com máxima economia e eficiência [2].

Nesse sentido, a responsabilidade do projetista ou da equipa de projeto estende-se por todo o processo, desde o estabelecimento das especificações do mesmo até às instruções detalhadas para o fabrico, uso e rejeição ou desativação, além da atenção especial para com a segurança e o meio ambiente [3].

No processo de desenvolvimento de produtos é possível aplicar uma metodologia definida pelo modelo de processos associados, que se caracteriza pela sequência de atividades desenvolvidas que permitem que um produto evolua, desde a ideia inicial até ao lançamento no mercado, com sucesso. Um eficiente sistema de comunicação interna e externa é essencial para o sucesso da organização no desenvolvimento do novo produto [1].

Ao longo do tempo têm vindo a surgir várias técnicas e metodologias que podem ser aplicadas durante o processo de desenvolvimento de um produto. Elas surgiram em contextos diferentes, em setores industriais diferentes e mesmo em tipos de economias diferentes. Nesse sentido, de seguida são descritas sumariamente algumas dessas práticas como, o Projeto Mecânico, a *Quality Function Deployment* (QFD) ou Desdobramento da Função Qualidade e a Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ).

### Projeto Mecânico

A alta produtividade e o bom desempenho, fundamentais para o sucesso de um projeto, sustentados por uma equipa de trabalho, são assegurados por um projeto que é desenvolvido e gerido por um procedimento pré-determinado, de forma sistematizada. Neste contexto, surge o conceito de projeto mecânico, que é a essência da engenharia moderna e a base de toda a produção industrial. Assim, é possível afirmar que nenhum produto industrial nasce sem o desenvolvimento de um projeto mecânico assente num procedimento sistemático e metodológico, com vista à obtenção de bons resultados [3].

O processo completo de projeto mecânico, do início ao fim, é frequentemente representado pelo diagrama da Figura 1. Deste modo, verifica-se que a primeira fase é relativa ao reconhecimento de uma necessidade, seguindo-se a definição do problema, a síntese do problema, a análise e otimização, avaliação e por fim, após inúmeras iterações, o processo termina com a apresentação do produto desenvolvido.

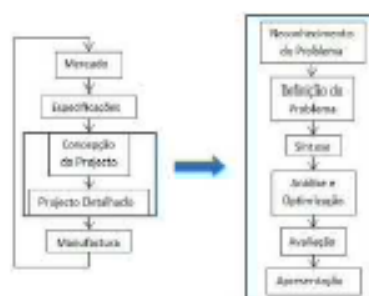


Figura 1 - Fases do projeto mecânico

### Desdobramento da Função de Qualidade (QFD)

Devido à crescente necessidade em criar e produzir num intervalo de tempo cada vez mais reduzido e de se manterem competitivas no mercado, as empresas procuram métodos que permitam a redução do ciclo de desenvolvimento dos produtos. Todavia, somente o lançamento de novos produtos não é suficiente, visto que ser fundamental a sua aceitação pelos clientes.

Assim, a ferramenta de desdobramento da função de qualidade surge como uma ferramenta poderosa de planeamento da qualidade baseada nas necessidades dos clientes, que se baseia

na transformação das exigências do cliente em requisitos do processo, que, por sua vez, são convertidos em especificações apresentadas sob a forma de matriz [4].

A aplicação do QFD pode ser caracterizada por cinco grandes etapas denominadas por: voz do consumidor; análise e estudo dos requisitos; definição do conceito do produto; conversão dos requisitos do cliente em especificações do produto e conceito que quando aplicadas corretamente e sequencialmente permitirão diminuir as taxas de insucesso no lançamento de novos produtos e, ainda, aumentar a eficácia do próprio processo de desenvolvimento.

### Teoria da Resolução Inventiva de Problemas - TRIZ

Ao longo da vida as pessoas são confrontadas com inúmeros problemas. Neste contexto, desde muito cedo se conclui que a capacidade de ver e resolver um problema é fundamental no quotidiano das pessoas e vital para os engenheiros, cientistas, políticos e administradores. A Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ) surge no sentido de melhorar a capacidade de resolução de problemas.

Um problema pode ser definido como uma lacuna entre uma situação inicial e a situação desejável. A resolução de problemas que caracteriza a metodologia TRIZ é vista como uma transformação de várias etapas numa situação mais próxima do desejável [6].

TRIZ é uma sigla russa (Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch), que significa, literalmente, "Teoria da Resolução Criativa de Problemas". Esta sigla nasceu nos anos setenta e foi criada por Genrich Altshuller, na Rússia, sendo direcionada para a busca de ideias, através de uma abordagem sistemática da criatividade, para a solução de problemas inventivos [7].

A metodologia TRIZ tem como objetivo principal a reorganização de um problema específico num problema genérico, cuja solução recorre a princípios evidenciados na matriz de contradições [8, 9]. É importante referir que, apesar da TRIZ se caracterizar por um processo lógico e organizado, sempre que se converte a solução genérica numa solução específica é fundamental que a criatividade e a experiência dos agentes humanos sejam postas em prática.

A TRIZ é uma ferramenta que pode ser utilizada individualmente ou combinada com outras ferramentas ou técnicas. Assim, é importante referir que o seu uso integrado com outras técnicas permitirá o alcance de resultados mais significativos.

Não obstante, apesar de ser essencialmente caracterizada por um conjunto de métodos e ferramentas que auxiliam o projeto, a TRIZ pode ser vista como uma ciência que se dedica ao estudo da evolução da tecnologia e dos princípios por detrás dessa evolução. Deste modo, são inúmeros os conceitos em que se baseia nomeadamente, a idealidade, a criatividade, a inércia psicológica, os problemas inventivos, as contradições e ainda os recursos.

O processo de solução orientado pela metodologia TRIZ pode ser descrito pelo diagrama evidenciado na Figura 3.

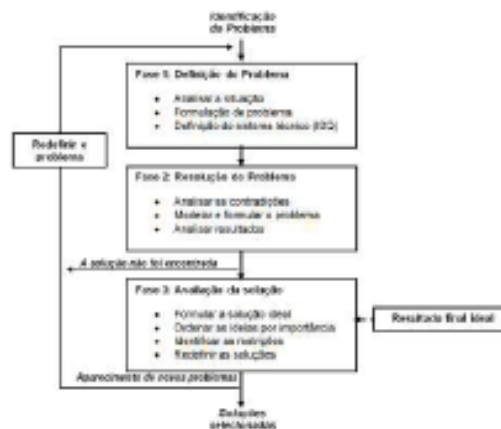


Figura 2- Fluxograma para aplicação da Metodologia TRIZ [10]



Tal como é possível observar no fluxograma da Figura 3, a primeira fase da TRIZ diz respeito à identificação do problema, ou seja, à descrição do sistema em análise. Neste contexto, surge muitas vezes neste procedimento o Questionário de Situações Inovadoras, ISQ, que permite identificar o sistema de engenharia em estudo, o seu ambiente operacional, os requisitos de recursos, as funções úteis primárias, os efeitos prejudiciais e o resultado ideal.

Posteriormente, no âmbito da formulação do problema surge a necessidade de descrever o problema em termos de contradições físicas e/ou técnicas.

A procura por problemas bem resolvidos previamente diz respeito à identificação dos parâmetros de engenharia envolvidos nas contradições descritas anteriormente. Nesse sentido, é possível afirmar que, encontrar a solução análoga e adaptá-la para a solução desejada consiste na utilização de parâmetros de engenharia, tendo em vista a definição dos princípios inventivos ou soluções padrão para ajudar na solução dos problemas [11, 12].

## Lean Production

Para garantir um elevado nível de qualidade nos produtos e serviços oferecidos, assegurando a satisfação dos clientes, é ainda necessário ter um sistema operacional suficientemente flexível para atender novas exigências de maneira rápida e eficaz e ao menor custo possível.

Todavia, na atual economia de mercado, ganhar mais através de produtos caros é difícil, devido à concorrência. A solução passa por gastar menos atuando ao nível dos custos. No entanto e tendo em conta a diminuição dos custos, é indispensável que o cliente fique satisfeito. Para isso, toda a estratégia industrial deve ser acompanhada de um nível de qualidade elevado [13].

Com a crescente competitividade entre as empresas, é fundamental que os recursos existentes dentro da própria organização sejam explorados ao máximo, tendo em vista a procura contínua do aumento dos lucros através da eliminação dos desperdícios em cada etapa do processo produtivo.

A produção Lean [14, 15] nasceu como resposta a estes requisitos sendo, inevitavelmente, a melhor forma de orientar uma empresa no sentido da otimização produtiva pretendida, uma vez que segue princípios de eliminação dos desperdícios ou de qualquer outra atividade que não acrescente valor para o cliente.

Neste sentido, e de acordo com a bibliografia [10, 15, 16], a política Lean pode ser vista como um sistema de medidas e abordagens, que conjugadas apresentam grande potencial para atingir elevados níveis de competitividade, apresentando vantagens em todas as áreas da empresa, desde o desenvolvimento dos produtos até ao serviço pós-venda. O conceito Lean visa, basicamente, a eliminação de sete desperdícios principais: defeitos, excesso de produção, inventário, esperas, movimentação, sobreprodução e transporte.

Em síntese, é possível afirmar que o Lean Production baseia-se em fazer mais com menos: menos tempo, menos espaço, menos material, menos esforço humano e ao mesmo tempo, dar aos clientes o que eles desejam [14].

## A TRIZ aplicada à filosofia Lean

A filosofia Lean pode ser vista como uma abordagem inovadora às práticas de gestão, que visa orientar as suas ações para a eliminação contínua dos desperdícios, através da aplicação de ferramentas e princípios orientadores, simples e práticos.

Nesta perspetiva, um ambiente de implementação Lean é caracterizado pelo uso de diversos instrumentos analíticos e de metodologias variadas, nomeadamente, *Value Stream Mapping (VSM)*, *Single Minute Exchange of Dies (SMED)*, *Kaizen*, *Flow Manufacturing*, *5S*, *Total Productive Maintenance (TPM)*, *Kanban Systems*. Todavia, é possível afirmar que as ferramentas analíticas que permitem gerar soluções não abundam [14, 17].

A TRIZ é uma das metodologias que possui um conjunto de diferentes técnicas e instrumentos analíticos que podem ser utilizados em conjunto, ou separadamente, na formulação de soluções para problemas detetados ou na análise de falhas.

É possível afirmar que o Lean e a TRIZ têm o objetivo comum de desenvolver e apoiar produção de produtos que satisfazem as necessidades, em constante evolução, do consumidor. Nesse sentido, através de um processo de melhoria contínua, os princípios e ferramentas destas teorias apontam para a minimização de desperdícios e para a redução de novos recursos.

De acordo com Bligh [18], o Lean e a TRIZ caracterizam-se por três pontos em comum: a melhoria contínua das operações de um sistema, a necessidade de algum tempo para a identificação do problema e posterior análise do estado atual da empresa tendo em vista a previsão do estado futuro e a otimização do uso de recursos disponíveis. Estes pontos são abordados logo no início da aplicação da TRIZ onde através da matriz de contradições são relacionados parâmetros de engenharia como o desperdício de energia, de substância, a perda de tempo, a quantidade de substância e a produtividade que levam à resolução do problema em estudo e que conduzem à eliminação de desperdícios que são frequentemente eliminados pelas ferramentas Lean [19, 18, 17].

Os princípios inventivos que são aplicados na matriz de contradição tendo em vista a resolução dos problemas identificados conduzem à necessidade de utilização das ferramentas que caracterizam o Lean [17]. Neste contexto, é importante referir princípios como a combinação, a ação prévia e a continuidade que levam à necessidade de alterações relacionadas com a reconfiguração das linhas produtivas, organização de objetos, eliminação de tarefas que são conseguidas na maioria das vezes através da integração de ferramentas Lean como o 5S's, *Value Stream Mapping (VSM)* [20].

Desta forma, através da aplicação simultânea das várias técnicas e conceitos do Lean e dos instrumentos do TRIZ, é possível fortalecer a capacidade de inovação da equipa, ou seja, colaborar na criação e no desenvolvimento de ambientes de Lean Management que vão de encontro aos desejos do cliente [20].

### Sensor de ângulo de direção - Objeto de estudo

O sensor de ângulo de direção, componente estudado ao longo deste trabalho, surge integrado no sistema LWS e assegura a estabilidade da condução em todas as direções.

O sensor de ângulo de direção está ajustado à coluna de direção ou à caixa de direção do automóvel e permite a medição da rotação angular tratando informações sobre a direção em que o motorista deseja ir. Um sensor, como o evidenciado na Figura 4, mede o ângulo de rotação da coluna de direção imposto pelo motorista no volante, proporcionando a medição precisa da rotação angular e do sentido do volante de direção do veículo. Desta forma, é possível afirmar que estes sistemas de direção de última geração tomam a condução mais segura e mais agradável.



Figura 3 - Sensor de ângulo de direção

O sensor de ângulo de direção estudado é caracterizado por um sistema de engrenagens magnéticas montadas e ligadas à coluna de direção do veículo. O ângulo de viragem é detetado através do movimento angular das direções de fluxo das duas engrenagens magnéticas ligadas à coluna de direção. A rotação das rodas dentadas origina atrito entre as superfícies de contato, que pode gerar ruído.

Este ruído é emitido pelo sensor e captado pelo condutor do veículo durante a condução levando à diminuição do conforto e da segurança do mesmo. De modo a resolver este



problema, foi desenvolvida a metodologia de projeto apresentada ao longo do próximo capítulo.

## Projeto de Produto

Ao longo deste capítulo é apresentada a metodologia de projeto formulada que permitiu gerar potenciais soluções focadas na melhoria do produto em estudo. De notar que devido a questões de salvaguardar informação relativa ao sensor estudado apenas são referidas as várias fases de projeto. O processo apresentado, apesar de ser ilustrado num projeto industrial, tem partes que podem ser diretamente para uma evolução conceptual em diversas áreas de aplicação. Nesse sentido, pode ser visto como uma mais-valia para as empresas dos diversos setores que diariamente competem entre si de modo a gerarem mais lucros.

### Reconhecimento do problema e Estabelecimento dos requisitos

A primeira fase de desenvolvimento de um produto diz respeito ao estudo das limitações, ou seja, ao reconhecimento das necessidades que existem no meio onde o produto vai ser lançado. Nesse sentido, no caso em estudo, foi feita uma análise a alguns dos modelos atualmente produzidos na Bosch Car Multimédia e desta forma foi possível identificar alguns dos principais problemas que justificam o desenvolvimento de um novo produto.

Após a apresentação do problema pelo cliente e feita a sua análise detalhada, é essencial que sejam definidas as necessidades do mesmo. Neste contexto, inicialmente, foi desenvolvida uma árvore de objetivos que evidenciou claramente todos os objetivos a alcançar durante o desenvolvimento do equipamento em estudo. Posteriormente, foram definidos os requisitos do produto. Os requisitos permitiram definir as características e o comportamento do produto, sob uma forma documenta e organizada.

### Aplicação do desdobramento da função de qualidade (QFD)

A aplicação do Desdobramento da Função de qualidade surge no sentido equacionar a relação entre as características e atributos do produto. Este método reconhece que a pessoa que adquire o produto é o elemento mais importante na determinação do sucesso comercial do mesmo. Assim, de forma a demonstrar a relevância dos requisitos nas funções e a importância das especificações com os requisitos que o equipamento a desenvolver possuirá, foi desenvolvida uma casa de qualidade. Desta forma, foi possível, através de uma análise, definir a ordem de importância dos requisitos numa determinada função fundamental no desenvolvimento da TRIZ relativo ao produto.

### Utilização da metodologia TRIZ

Após a definição de todos os requisitos e especificações fundamentais para o desenvolvimento do equipamento em estudo, a metodologia TRIZ surge como uma abordagem sistemática da criatividade para a solução de problemas inventivos.

Assim, no trabalho desenvolvido foram aplicadas ferramentas e conhecimentos da TRIZ que permitiram a geração de novos conceitos e ideias para ajudar no desenvolvimento de um novo sensor de ângulo de direção.

Num primeiro momento, foram definidos os Maxi e Mini problemas que permitiram o desenvolvimento do produto. Desta forma, foi possível clarificar o problema que levou à necessidade de um novo equipamento.

Consequentemente foi formulada a contradição base para o desenvolvimento da matriz de contradições. Esta matriz permitiu relacionar as contradições técnicas entre características a melhorar e as características afetadas adversamente através da aplicação de princípios inventivos. Assim, após o desenvolvimento da matriz de contradições, foram selecionados os parâmetros de engenharia que influenciam diretamente o desempenho do sensor estudado.

### QFD & TRIZ

Após o desenvolvimento da matriz de contradições, surge a necessidade de saber quais as funções que podem sofrer alterações através da aplicação dos princípios inventivos. Nesse

sentido, foi desenvolvida uma matriz onde foram relacionados os conteúdos resultantes da análise do QFD e da matriz de contradições. Desta forma, foram relacionados os princípios inventivos selecionados no desenvolvimento da TRIZ com os principais requisitos identificados na QFD.

Assim, após a identificação das funções do produto em que podem ser empregues os princípios inventivos da TRIZ, surgiu a necessidade de gerar princípios de solução na matriz morfológica.

#### Mapa morfológico e criação de soluções alternativas

A criação de soluções é um aspeto essencial no processo de conceção, permitindo a proposta e apresentação de algo novo. Assim sendo, foi desenvolvida uma matriz morfológica que permitiu a formulação de novas soluções para o problema do ruído que caracteriza o componente em estudo. Posto isto, foram formuladas quatro soluções alternativas com base na TRIZ, caracterizadas por reordenações de conceitos, e pequenas alterações do modelo estudado que permitem a minimização do problema estudado.

#### Avaliação e análise das soluções alternativas

O processo de avaliação de soluções é uma das etapas mais relevantes no desenvolvimento de um projeto de engenharia. Neste contexto para determinar os níveis de ruído que permitem validar as soluções formuladas foram efetuados, experimentalmente, testes acústicos.

#### Design for Lean

A integração de ferramentas de projeto, focadas na fase de desenvolvimento de produto, aumenta a sua probabilidade de sucesso, visto que permite o desenvolvimento de um projeto em tempo reduzido, possibilita um aumento significativo da qualidade e a diminuição de custos.

As soluções formuladas através da aplicação das várias ferramentas apresentadas ao longo do trabalho desenvolvido irão garantir a melhoria paralela do componente em estudo e a simplificação da sua sequência de montagem. Tendo em conta os resultados obtidos, e considerando a sequência de montagem do sensor é possível afirmar que, para além da redução do ruído emitido pelo componente, foi possível reduzir o número de componentes do sensor, o que contribuirá significativamente para uma produção mais robusta e lean visto que nesta produção prevê-se a eliminação de atividades que não acrescentam valor ao produto, do ponto de vista do cliente e a redução de custos com um material que deixa de ser necessário.

Na Figura 5 são comparados os diferentes tempos de ciclo, que permitem ter uma noção aproximada da redução de tempo que é conseguida quando o componente que deixa de ser necessário aplicada no modelo do sensor de ângulo de direção estudado.

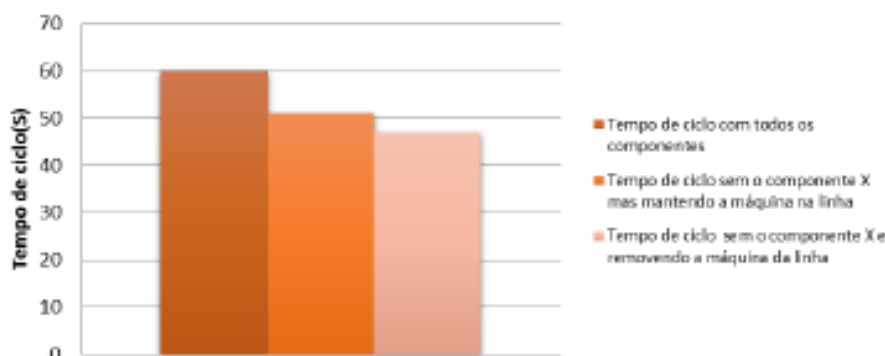


Figura 4 - Redução do tempo de ciclo de produção do sensor eliminando um componente

Nesse sentido, verifica-se que através da eliminação da etapa em que é inserido o componente eliminado com a solução proposta, seria possível eliminar uma estação de





trabalho da linha de produção, que se traduz como um desperdício para todo o processo de montagem do componente.

As reduções do tempo de ciclo estimadas relativas ao sensor em estudo, apresentadas anteriormente, permitem verificar que se a máquina onde é inserido o componente a eliminar deixar de ser necessária por não se aplicar mais o componente poderá existir uma redução aproximada de 10 segundos (s) no tempo de ciclo de produção do componente. Neste caso, para além do aumento de produção associado à diminuição de tempo de ciclo, é importante notar que associada à eliminação desta operação poderá assistir-se a uma diminuição do consumo de materiais (houve redução de um componente), a uma redução da necessidade de mão-de-obra neste posto de trabalho, a uma diminuição da manutenção na máquina desta linha do sensor e uma redução no consumo energético.

Se a máquina deixa de ser necessária na linha de produção, esta pode ser removida da linha e poderá verificar-se que o tempo de ciclo de produção do componente poderá diminuir mais do que os 10 seg., passando para, aproximadamente, 13s. Isto pode acontecer, pois para além das reduções anteriormente referidas, o espaço ocupado pela linha de produção é reduzido, aproximando-se mais as outras máquinas ao mesmo tempo que se reduz o número de movimentações que o componente efetuava durante a sua produção.

Em conclusão, é possível afirmar que, a melhoria do sensor relativamente ao ruído emitido, eliminando um problema de desempenho do sensor, permitiu um aumento da qualidade do mesmo e conseqüentemente um aumento da satisfação dos clientes. Para além disso, conseguiu-se que fossem eliminados, logo na fase de desenvolvimento do conceito do produto, os desperdícios reduzidos/eliminados pelas ferramentas lean na fase de produção, nomeadamente, as movimentações, os inventários, o transporte e os defeitos, consumo de materiais e energia, i.e., fazendo mais com menos.

## Conclusão

Este artigo apresentou várias técnicas de projeto que se focam na otimização de produtos e que foram usadas para reduzir o ruído emitido por um sensor de ângulo de direção em funcionamento. Desta forma, verificou-se que apesar de aparentemente simples e reduzido, o ruído emitido pelo equipamento durante o seu funcionamento poderia ser diminuído se se eliminassem as causas para o seu aparecimento.

Após o estudo e análise detalhada de várias metodologias e ferramentas de projeto, procedeu-se à sua aplicação no processo de otimização do sensor de ângulo de direção. Esta interação permitiu compreender a contribuição das técnicas de projeto na redução de tempo de desenvolvimento de um produto, no aumento de qualidade do mesmo e na redução de desperdícios. Relativamente à TRIZ foi importante notar que, apesar de ser uma ferramenta pouco conhecida, é uma mais-valia para a resolução de problemas de engenharia, num curto período de tempo visto que permite aliar a inovação à criatividade.

A realização deste trabalho permitiu a integração de ferramentas projeto, como o TRIZ e o QFD e metodologias organizacionais como o Lean Production para gerar soluções focadas na redução do ruído emitido pelo sensor, através de simples alterações nos componentes do equipamento e na melhoria do processo de montagem deste, reduzindo componentes o que por consequência conduz à diminuição do custo de material e do tempo de produção, obtendo-se um produto com um menor custo.

## Referências

- [1] M. J. L. Nunes, Metodologias de Desenvolvimento de Novos Produtos Industriais, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2004.
- [2] H. M. G. C. d. Costa, Design de mesas de direção (Triple Clamps] para motociclos, Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [3] J. E. Shigley, C. R. Mischke e R. G. Budynas, Mechanical Engineering Design, 7 ed., New York: McGraw-Hill, 2004.

- [4] G. K. Nagumo, *Desdobramento da função de qualidade (QFD) aplicado à produção de mudas de café (Coffea arábica L.)*, São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2005.
- [5] J. D. B. Delgado, *Gestão da qualidade total aplicada ao sector do fornecimento da energia eléctrica*, Coimbra: Departamento de Engenharia Electrónica e de Computadores, Universidade de Coimbra, 2002, pp. 152-169.
- [6] S. D. Savaransky, *Engineering of Creativity (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving)*: CRC Press, 2000.
- [7] R. P. F. Carneiro, *Aplicação das metodologias TRIZ no desenvolvimento do projeto FRICTORQ*, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, 2013.
- [8] M. Carvalho, *Modelo Prescritivo para a Solução de Problemas nas etapas iniciais do Desenvolvimento de Novos Produtos*, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- [9] G. MAZUR, *QFD for Service Industries: From voice of customer to task deployment*, Michigan, 1993.
- [10] H. C. Chen, R. R. Lindeke e D. A. Wyrick, "Lean automated manufacturing: avoiding the pitfalls to embrace the opportunities," 2010.
- [11] P. M. R. T. Marques, *Criatividade Organizacional: selecção e avaliação de "ferramentas" para a promoção do pensamento e de acção criativa*, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Universidade de Aveiro, 2006.
- [12] R. D. Ximenes, *Estudo e aplicação da metodologia TRIZ: Desenvolvimento de um projeto conceitual para escolha de mancais para cabeçote de uma máquina de ultraprecisão*, São Carlos, Brasil: Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.
- [13] J. P. Pinto, *Lean Thinking: Introdução ao pensamento magro*, Comunidade Lean Thinking, 2008.
- [14] J. Womack, D. T. Jones e D. Roos, *The machine that changes the world*, NY: Rawson Associates, 1990.
- [15] J. P. Womack e D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish the waste and create wealth in your corporation*, New York: Free Press, 1996.
- [16] F. E. Meyers e J. R. Stewart, *Motion and Time Study for Lean Manufacturing*, Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, 2002.
- [17] K. Suzaki, *The New Shop Floor Management: empowering people for continuous improvement*, New York: Free Press, 2006.
- [18] B. A., *The Overlap Between TRIZ and Lean*, 2006.
- [19] L. C. Maia, A. C. Alves e C. P. Leão, "How could the TRIZ tool help continuous improvement efforts of the companies?," *ETRIA*, n.º TRIZ Future 2012, 2006.
- W. Organisation, "5S Workplace Organisation," [Online]. Available: <http://www.tpfeurope.com/cms/view/44>. [Acedido em 16 Junho 2014].
- [20] H. V. G. NAVAS e V. A. C. Machado, *Inovação Sistemática com a Metodologia TRIZ num Ambiente de Lean Management*, Lisboa: Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2011.