

<https://doi.org/10.34632/gestaoedesenvolvimento.2021.9780>

Data de receção: 11/01/2021

Data de aceitação: 01/03/2021

IMPLEMENTAÇÃO DO SMED EM AMBIENTE LEAN

IMPLEMENTATION OF SMED IN LEAN ENVIRONMENT

Francisco Barros¹ orcid.org/0000-0001-5289-5756

Clotilde Passos² orcid.org/0000-0002-2924-0484

Resumo: Este artigo aborda a metodologia *Single Minute Exchange of Die* (SMED), também conhecida por troca rápida de ferramentas (TRF) que visa reduzir o tempo de set-up das máquinas numa unidade fabril, com vista à redução do lead time de produção. A redução do lead time permite uma maior flexibilidade, qualidade e produtividade operacional. Para o efeito utilizou-se a metodologia de estudo de caso numa fábrica de componentes automóvel, em que se monitorizou a evolução dos resultados operacionais, com a implementação desta ferramenta. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar se a utilização da metodologia SMED, reduz o tempo de set-up e o lead time de produção. Os resultados permitem concluir que a implementação do SMED contribui para melhorias significativas no setor em análise: reduz o tempo de set-up, o stock de peças, o número de máquinas utilizadas e os operadores necessários, permitindo com estas reduções ganhos de produtividade significativos.

¹ Mestrando em Gestão. Universidade Católica Portuguesa - Instituto de Gestão e das Organizações da Saúde. E-mail: f.a.barros@hotmail.com

² Doutora em Gestão. Universidade Católica Portuguesa - Instituto de Gestão e das Organizações da Saúde. E-mail: clotilde.passos@gmail.com

Palavras-chave: SMED, set-up, eficiência global dos equipamentos (OEE).

***Abstract:** This article addresses the **Single Minute Exchange of Die** methodology (SMED), which aims at the decrease in machine's changeover time of the factory to achieve the shorten of production lead time. The reduction of lead time production allows more flexibility, quality, and operational productivity. For this purpose, a case study methodology was selected in components automotive factory. The evolution of operational results caused by this tool implementation were monitored. Thus, the goal of this work is to analyze whether the implementation of this methodology decreases machine's changeover time and shorten production lead time. The results allow us to conclude that the implementation of SMED contributes to significant improvements in the sector under analysis: it reduces the set-up time, the stock of pieces, the number of machines used and the number of operators needed, allowing with these reductions, significant productivity gains.*

Keywords: SMED, set-up, overall equipment effectiveness

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas têm-se acentuado alguns problemas que o setor produtivo enfrenta, nomeadamente provocado pelo fenómeno de transição de produção em massa para produção à medida e gosto de cada consumidor. O paradigma mudou drasticamente para uma produção mais diversificada, em quantidades menores, com especial ênfase na qualidade e não na quantidade (Womack, Jones & Roos, 1991). Na prática, isso trouxe uma crescente necessidade do processo produtivo se ajustar a essa realidade que se caracteriza em produzir quantidades pequenas e muitas referências de produtos. Por outro lado, verificamos que a vida útil desses produtos é menor, ou seja, saem de moda rapidamente, sendo também necessário por parte das empresas, a capacidade de responder em curto prazo às necessidades do consumidor. Tornou-se então pertinente o aumento da eficiência dos sistemas produtivos reduzindo os desperdícios em todos os aspetos (Levinson, 2002). Um desses problemas são os fatores que promovem altos lead

times de produção como os set-ups.

Na prática, as máquinas estão com grande frequência a mudar de referência de produto ou subproduto. Assim, o presente estudo tem por objetivo analisar se a utilização da metodologia SMED, reduz o set-up e o lead time de produção. A informação é escassa relativamente ao SMED e o processo não refere ações específicas para o implementar, o que resulta em faltas de cuidado e perdas de oportunidade de melhoria (Sabadka, Molmar & Fedorko, 2017; Desai, 2011). Embora um grande número de empresas tenham iniciado o SMED, muitas falharam na sua implementação (Ferradás & Salonitis, 2013), a dificuldade é que as empresas frequentemente não estão ao corrente dos efeitos que devem esperar nos standards de trabalho, após implementação deste método (Antosz, Pacana, 2016).

Para dar resposta ao objetivo, recorreu-se a um estudo de caso único, numa unidade fabril de componentes de automóveis, onde se monitorizou a evolução dos resultados operacionais, com a implementação desta ferramenta e se comparou com resultados obtidos antes da aplicação da mesma. O forte desenvolvimento desta indústria é baseado em três pilares: competitividade, qualidade do produto e tempo de resposta aos pedidos (Tellini, Silva, Pereira, Morgado, Campilho e Ferreira, 2019).

A implementação do SMED no processo de cravação de terminais, realizou-se em duas fases, primeiro implementou-se o strict kanban o qual proporcionou redução do tempo de set-up (sequências de produção otimizadas e redução dos pedidos de produção urgentes), depois implementou-se o SMED nas operações de set-up (pré-ajuste de ferramentas, mudança rápida das bobinas de matéria prima). O estudo de caso a apresentar, evidencia a transição de métodos e processos que visam por parte das unidades industriais, dar resposta a essa nova realidade.

1. REVISÃO DA LITERATURA

1.1. Single Minute Exchange of Die - SMED

SMED é uma metodologia desenvolvida entre 1950 e 1960 por Shigeo Shingo (Sugai, McIntosh, & Novaski, 2007) que visa reduzir o

tempo de set-up das máquinas e assim permitir a redução do tamanho dos lotes e dos stocks intermédios associados. Segundo Calhado et al, (2015) a metodologia SMED visa a redução do tempo de troca de ferramentas para um tempo inferior a dez minutos. O SMED reduz o tempo de paragem pela simplificação e estandardização de operações de mudança de séries, usando técnicas de fácil implementação (Boran, Ekincioglu, 2017).

O SMED surgiu no sistema de produção da Toyota e é nos dias de hoje uma das metodologias integradas no modelo do Lean Manufacturing. Aborda um conjunto de técnicas como forma de minimizar os tempos de set-up, contribuindo para a diminuição dos tempos de paragem dos equipamentos, aumentando o rendimento da produção. Para Schroeder (2008), o set-up consiste na troca de referência em produção, numa máquina ou numa série de máquinas interligadas, pela troca de peças, ferramentas, moldes e/ou apertos. Os set-ups embora não acrescentem valor são, regra geral, fundamentais nos meios industriais. Dependendo da diversidade de produtos e respetivas quantidades, a rapidez nas atividades de troca de referência que englobam o set-up, pode ser vital para a qualidade, produtividade e sobrevivência de uma empresa na sua prestação, perante os clientes. O tempo de set-up é considerado como um dos desperdícios que mais afeta a disponibilidade de um equipamento. Reduzir este tempo ao máximo por meio da metodologia SMED proporciona um indicador de disponibilidade mais elevado, e que por consequência, garante um resultado de *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) muito mais competitivo. O desperdício resulta de todas as atividades que não acrescentam valor (Shahin e Janatyan, 2010). Antonioli, Guariente, Pereira e Ferreira (2017), desenvolveram um estudo sobre a aplicação de ferramentas de melhoria contínua numa linha de produção de uma indústria automóvel, estandardizando operações, eliminando desperdício e atividades sem valor acrescentado. Desse estudo resultou o aumento de produção de 1200 peças/dia para 1800 peças/dia, aumentando o OEE em 16%.

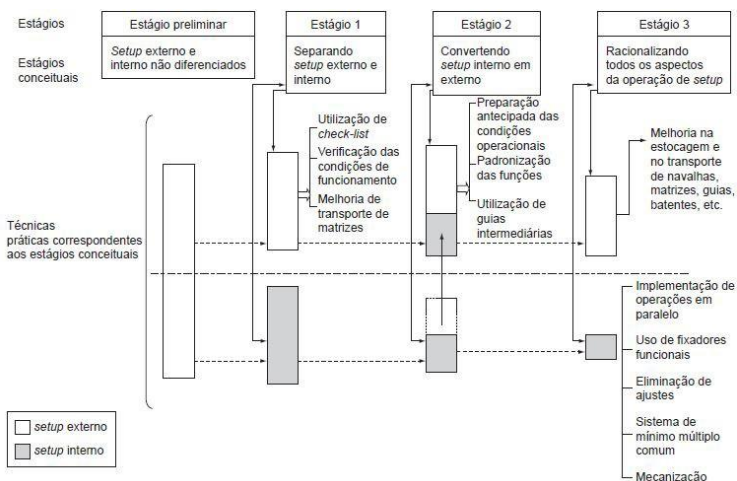


Figure 1: Etapas para o desenvolvimento da metodologia - (Shingo,2000)

Shingo elaborou várias etapas no desenvolvimento da sua metodologia, as quais se representam na figura 1, pois partiu de um estágio em que não se distinguíam operações a desenvolver com o equipamento em funcionamento ou não.

Seguiu-se a classificação dessas atividades e integração das mesmas em *set-up* interno ou em *set-up* externo, '*controlar a separação entre set-up interno e externo, é o caminho para o SMED*' (Shingo, 1985). A etapa seguinte consistia em converter atividades de *set-up* interno, em externo.

A racionalização dos elementos constituintes do *set-up*, '*streamlining all aspects of set-up operation*' (shingo, 1985), é a etapa seguinte, ou seja, a melhoria sistemática das operações constituintes do *set-up*, no sentido de poder obter oportunidades adicionais de melhoria

O conceito de *set-up* na ótica da perda de produtividade é exposto esquematicamente na figura 2. Neste exemplo, incluem-se as perdas associadas às mudanças de velocidade de processamento quer seja pela desaceleração (entrada na fase de *set-up*), quer pela aceleração (saída da fase de *set-up*). Tempo de *set-up* é o período decorrido entre a última peça boa produzida e a primeira peça boa produzida da seguinte ordem ou referência (Karam, Levin, Cristina & Radu, 2018). São apresentadas as terminologias mais utilizadas nesta temática.

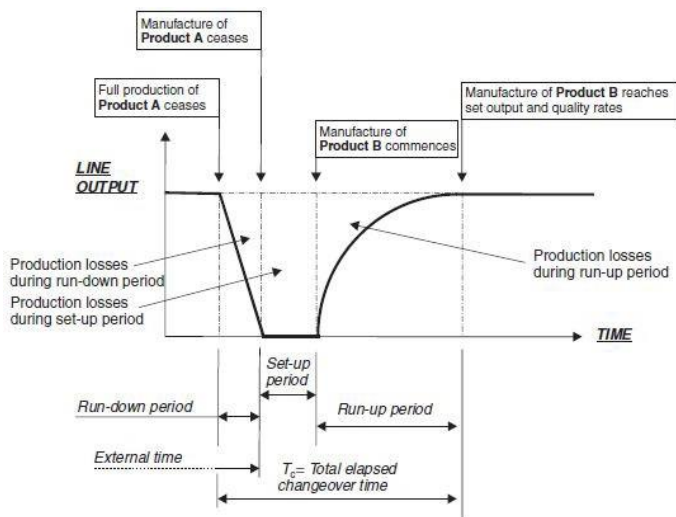


Figure 2: Fonte: Improvement changeover performance - (McIntosh et al., 2001)

Há, no entanto, na literatura autores, tais como McIntosh, Levin, Culley, Mileham & Owen, (2000) que abordam o SMED como:

* Conceito - busca da redução do tempo de set-up com objetivos e aplicações específicos.

* Programa de melhoria - a busca da melhoria contínua pode melhorar o método de trabalho realizado nas atividades de set-up (melhorias de processo, equipamentos, formação).

1.2. Impacto da redução do tempo set-up na flexibilização da produção

Para uma dada capacidade de produção instalada, só é possível reduzir o tamanho dos lotes de produção sem penalizar as entregas ao cliente, com a redução dos tempos não produtivos associados às mudanças de referências desses lotes. A diversidade da procura forçou a adoção do sistema produtivo da Toyota (TPS) que resulta na produção de lotes pequenos, isto mostra a direta relação entre o tamanho do lote e os tempos de set-up (Rosa, Silva, Ferreira e Campilho, 2017)

A figura 3 representa a tracejado, as curvas relativas ao cálculo

tradicional do custo total e custo das ordens de produção. As curvas a traço contínuo, representam a nova realidade com a introdução das melhorias SMED. Verifica-se que a quantidade económica de produção (EOQ), diminui. Os ganhos verificados nos tempos de set-up (diminuição dos custos operacionais associados), traduzem--se na redução do inventário intermédio.

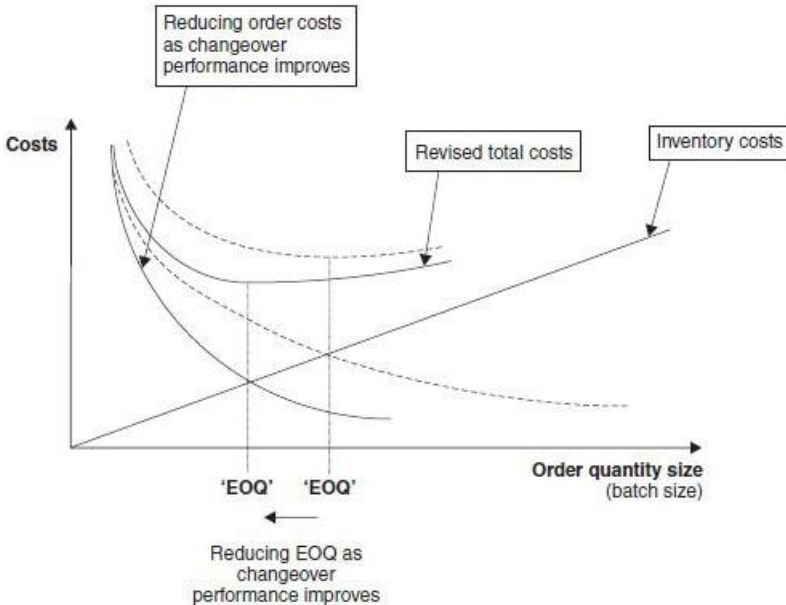


Figure 3: Fonte: Improvement changeover performance - (McIntosh et al., 2001)

Na prática, a aplicação do SMED é feita mantendo-se constante o output diário da máquina, aumentando gradualmente o número de set-ups realizados (diminuição gradual da quantidade por lote a produzir), tal como representado na figura 4. Obviamente que há mais atividades a realizar, nomeadamente a alocação de produtos semelhantes, pois tal prática evita mudanças radicais de ferramentas e matéria prima, e assim otimização do tempo de set-up.

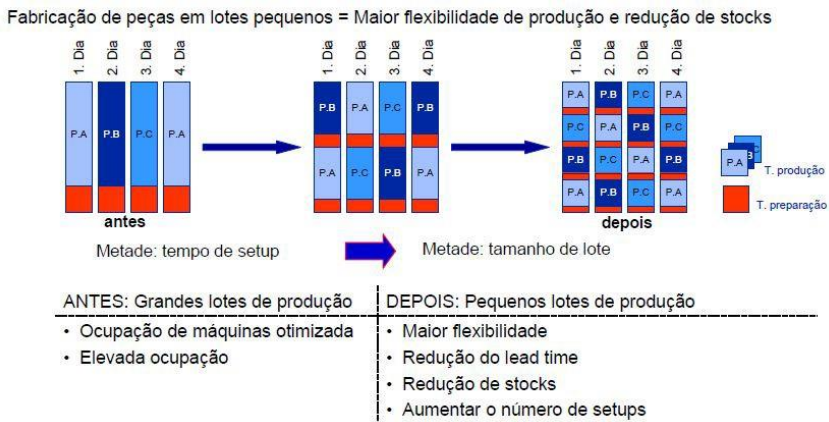


Figure 4: Fonte: SMED - Vetor Lean, Lean Consulting & Operations Management.

J. P. Rodrigues

Segundo Shingo, (1985) o SMED traz benefícios internos como: redução do tempo set-up, redução do tempo gasto com ajuste fino, menos erros durante as mudanças; melhoria da qualidade dos produtos e maior segurança; externos como: aumento da produção flexível, redução dos stocks e maior racionalização dos instrumentos. O tempo de inatividade da máquina influencia também o indicador de eficiência global, o OEE é uma medida fundamental para se avaliar a performance do equipamento. Segundo Lima & Zaratin, (2014) o OEE é amplamente utilizado para melhorar o desempenho das máquinas e equipamentos consequentemente contribuindo para os demais indicadores das empresas. Pinto, (2009) refere que a otimização pelo SMED permite aumentar a disponibilidade do equipamento, o que contribui para uma produção diferenciada mais eficaz com lead times mais reduzidos. Todas as ferramentas Lean são amplamente utilizadas na indústria automóvel e com bons resultados e os mais rápidos, com o menor investimento, são Standard Work, 5 S, gestão visual e SMED (Vieira et al.,2019) o que está em linha com Kusar, (2010) que considera que aplicar o SMED representa um investimento reduzido e resultados bons.

1.3. Estratégias e redução de tempo set-up

Melhorias assinaláveis no tempo de set-up, dependem das estratégias adotadas durante a implementação do SMED. Se o *focus* é só na metodologia, então os resultados expectáveis serão modestos, se tal *focus* combina melhoria na metodologia aliadas com modificação do *design* do equipamento, então teremos resultados aceitáveis, com custo moderado de investimento. O desenho de um novo sistema, mas com custos mais elevados, pode então trazer excelentes resultados. É o que se representa na figura 5.

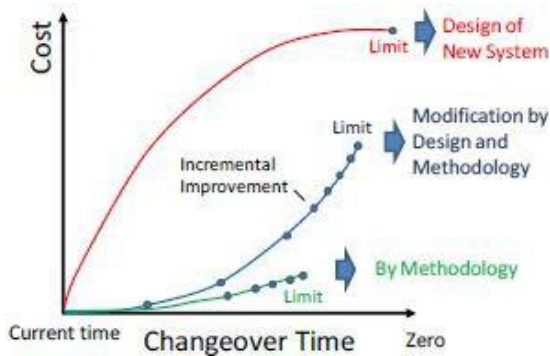


Figure 5: Fonte: A tailored SMED approach for welding cell - (Ferradás & Salonitis, 2013)

Para esta solução mais radical, há a necessidade de uma análise custo/benefício por forma a suportar a tomada de decisão.

Tsarouhas (2013), considera o TPM, *Total Productive Maintenance*, uma estratégia gradual que combina as melhores características de manutenção produtiva e preventiva, com o envolvimento dos funcionários, para maximizar a eficiência global de todos os equipamentos. Um sistema de manutenção efetivo que ajuda a maximizar a disponibilidade do equipamento, minimizando as paragens do equipamento, por indesejadas paragens, refere Fore & Zuze., (2010).

Face ao exposto, pode-se afirmar que o SMED se integra numa estratégia TPM. A figura 6, expõe as seis principais perdas na eficiência global de um equipamento (OEE), numa abordagem TPM.

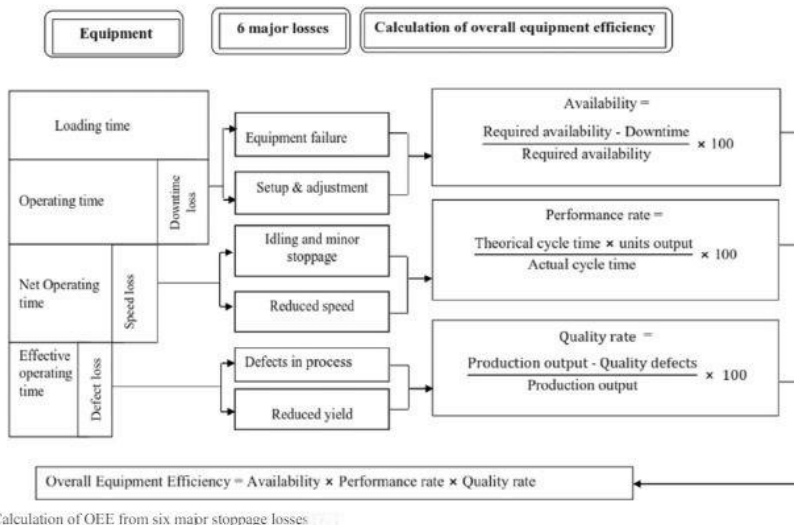


Figure 6: Fonte: Total Productive Maintenance: need & framework - (Parikh & Mahamuni, 2015)

Como se pode observar, o tempo de set-up, o tempo de abastecimento de materiais á máquina, os ajustes, as perdas devido a peças defeituosas, são também elementos constantes numa análise SMED.

O TPM visa então, obter elevados valores de eficiência global do equipamento. Pela equação:

OEE = disponibilidade X eficiência de performance x taxa qualidade, verificamos que o tempo de set-up penaliza a disponibilidade. No TPM o propósito é diminuir o tempo de set-up mas também o número de set-ups. Ora, este conflito entre obter elevado OEE e ter elevada flexibilidade na produção (produção de lotes mais pequenos para diminuir o stock intermédio), é resolvido pela introdução de set-ups planeados. Daí que a alocação dos produtos a produzir às máquinas, seja uma tarefa importante por forma a se obterem elevados OEE e flexibilidade na produção.

1.4. Gestão Lean & SMED

No contexto da gestão Lean, Lean significa flexibilidade, agilidade, leveza. Lean é um conjunto de princípios, métodos e ações, para a efetiva e eficiente configuração e examinação de toda a cadeia de fornecimento. O objetivo da gestão Lean é criar valor sem produzir desperdício 'MUDA'. Valor é qualquer ação em que o cliente está disposto a pagar por tal. As ferramentas Lean identificam e eliminam desperdício (Rauch, 2016). Gestão Lean significa “produzir o que o cliente pede, quando ele necessita, sem atrasos, a um competitivo custo e eliminando desperdícios (Verrier, Rose, Caillaud & Remita, 2014).” Quanto mais rápido o set-up, menor é o tempo de paragem do equipamento, uma vez que tempo de espera é uma das sete formas de desperdício “MUDA” (Ferroq, Lamouri & Carbone, 2016).

Então o focus na produção deve ser o valor acrescentado (Kulaç, 2003). A literatura é explícita quanto às ferramentas/métodos utilizados numa gestão Lean, tais como: *Jidoka*, *5S*, *Poka-yoke*, *TPM*, *Heijunka*, *Milk-run*; *Value mapping*, *benchmarking*, *risk management*, **SMED**, *Kanban*, *Single flow*, *Kaizen*, *Takt time*, *5W*, *5W2H*, *Andon*, *Value Stream Mapping (VSM)*, *SQC* controlo estatístico do processo, *Ajustes de Layout*, *padronização de tarefas*. Ao longo dos anos, alguns autores tentaram combinar a implementação do SMED com outras práticas Lean, para reduzir a variação do tempo de set-up (Bevilacqua, Ciarapica, Sanctis, Mazzulo, & Paciarotti, 2015).

Face ao exposto, verificamos que o SMED é elemento integrante de um sistema de gestão Lean.

1.5. Set-up e manutenção; set-up e design do equipamento

O set-up frequentemente envolve a substituição de componentes da máquina, para a produção de um novo produto. Por outro lado, atividades de manutenção, pressupõem a remoção e substituição de componentes da máquina, para assegurar a sua boa condição de funcionamento e assim, continuar a produzir produtos conformes (são atividades realizadas em contexto de manutenção preventiva ou curativa). O set-up pode ficar limitado ao ajuste da posição das peças existentes, sem a necessidade de as substituir. A qualidade dessas peças pode influenciar tanto as atividades de set-up com as atividades de

manutenção. Se por exemplo um punção de uma prensa sofre desgaste prematuramente, ou seja, tem uma vida útil diminuta, tal obrigará á sua substituição em contexto de set-up ou em contexto de manutenção. Procedimentos limitados de set-up podem aumentar as necessidades de manutenção, pois falhas no equipamento podem ocorrer devido a uma incorreta atividade de set-up.

Máquinas adequadamente ajustadas trabalharão suavemente e estão menos propensas a falhas. Serão realizados os set-ups com menor pressão de tempo, o que incentiva à reparação imediata das pequenas avarias (Henry J, 2013).

Um equipamento mal desenhado, origina disfuncionamentos de vária ordem, tais como aumento do número de avarias do equipamento, taxa elevada de peças defeituosas, elevados tempos de set-up interno.

2. METODOLOGIA

Para dar resposta ao objetivo do presente artigo, utilizou-se a metodologia qualitativa com recurso ao estudo de caso único de caráter holístico, descritivo e exploratório com utilização de múltiplas fontes de evidência, pois segundo Yin (1993, 2005) esta metodologia constitui uma estratégia abrangente e permite estudar e dar resposta a fenómenos contemporâneos complexos em contexto da atividade real, é válida quando o conhecimento existente sobre o fenómeno é diminuto (Halinen & Tornroos, 2005), ou não está bem definida (Macnealy, 1997). Utiliza uma linguagem diferenciada, específica do problema em estudo (Yin, 2005) e do contexto, de forma a compreender o fenómeno em particular e na globalidade (Stake, 1999; Yin, 2005, p 32).

A validade do estudo de caso como refere Yacuzzi (2005), reside não só no estudo do fenómeno, mas também do seu contexto e na capacidade para se poderem fazer generalizações, pois a finalidade dos estudos de caso é tornar compreensível o caso, através da particularização (Stake, 1999). Outra característica fundamental é que não se começa com noções teóricas à priori (Gillham, 2000, p.2).

A recolha de informação foi planeada e feita em três etapas como recomendado por Dooley, (2002); e Dubé & Paré (2003), recolha, análise e interpretação da informação e feita por observação e recolha de

dados (Flick, 2004; Oliveira et al., 2006; Rodríguez et al., 1999), numa perspetiva interpretativa e construtiva (Denzin & Lincoln, 1994).

Tal como já referido, para o estudo foi analisada a implementação do SMED no processo de cravação de terminais com a redução do respetivos set-up em duas fases:

1^a fase - após aplicação do *strict kanban*

2^a fase - após aplicação do SMED

3. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A empresa em análise produz cablagens (instalações elétricas) que se destinam aos mais variados modelos e motorizações de automóveis. Como matéria prima temos os fios das mais diversas secções e cores, os terminais (permitem a ligação das extremidades dos fios aos órgãos e sistemas do automóvel, através das caixas), e componentes diversos (caixas de ligação, borrachas, fitas). Como produto acabado há a considerar as cablagens com diferentes níveis de complexidade que vão desde um simples cabo de bateria a um complexo sistema de instalação elétrica para o interior do automóvel, tal como se representa na figura 7.



Figure 7: Cablagem (1- terminal, 2- caixa)

Um dos principais processos é a produção de leads, ou seja, fios com determinado comprimento, ligados a terminais. Trata-se do subproduto com maior volume e diversidade. Reduzir o seu stock intermédio, é reduzir:

- o stock de obsoletos aquando das alterações de produto
- a quantidade de fio alocada ao posto de trabalho no sector da montagem
- stocks em armazém de matéria prima
- espaço necessário à alocação de fio
- número de peças defeituosas pois o manuseamento dos leads é um fator de risco.

Se adicionarmos a estes benefícios outros, tais como a redução de custos do imobilizado (cada máquina de processamento de leads pode custar mais de 100.000 euros) e flexibilidade na produção, temos então motivos mais do que suficientes para selecionar estrategicamente este processo como prioritário e aí implementar o SMED.

De referir ainda o ambiente contextual interno em que esta ferramenta é implementada. Estamos perante uma fábrica em que grande parte das ferramentas LEAN anteriormente referidas, já se encontravam aplicadas. Sistemas *Poka-yoke* largamente difundidos que impedem a incorreta montagem de peças por parte do operador, também práticas TPM se encontravam em alguns postos de trabalho em que atividades de manutenção estavam associadas ao operador. Controlo estatístico do processo é aplicado ao processo de injeção poliuretano, mais concretamente á variável densidade. 5S foi aplicado no armazém de peças de substituição da manutenção resultando em significativas melhorias na gestão do espaço, arrumação, limpeza e localização das ditas peças.

Esta indústria é caracterizada de mão de obra intensiva pelo que ajustes de lay-out, padronização de tarefas, estudos ergonómicos, identificação de tarefas sem valor acrescentado, são relevantes para a competitividade, e como tal, atividades rotineiras.

3.1. O processo de cravação de terminais

O processo de cravação permite a ligação de um terminal (ver figura 8) a um fio, formando um 'lead', ou seja, uma peça a qual vai integrar

um conjunto chamado cablagem. Esta ligação é mecânica, ou seja, através de uma prensa, o fio é cravado no terminal.

O processo de cravação de terminais consiste na ligação mecânica de terminais a fios, envolvendo subprocessos tais como o corte do fio.

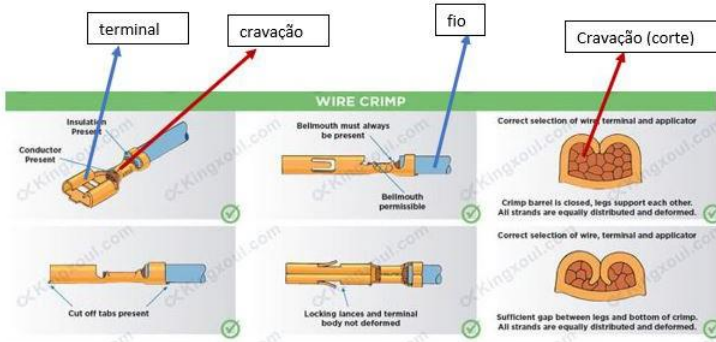


Figure 8: 'Lead' - fio com terminal. Tyco Crimping Validation Chart

3.2. Processo de cravação automático - caracterização do posto de trabalho tradicional

Na figura 9 podemos ver representados os movimentos do operador numa fase de set-up do equipamento que evidenciam alguns desperdícios significativos:

- * aparelhos de medida, para controlo da qualidade do produto final, aplicadores, terminais e bobines de fio, longe do posto de trabalho do operador
- * necessidade de ajustes repetidos nas prensas para garantir altura correta de cravação (prensas não calibradas)
- * produção de leads para as banheiras plásticas, dificultando o *housekeeping* bem como o controlo visual do produto acabado.

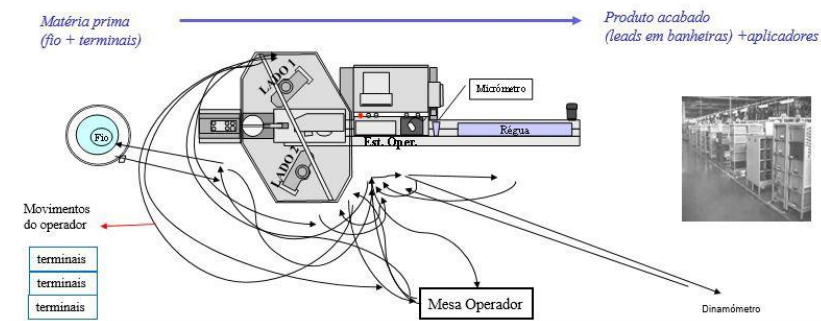


Figure 9: Posto tradicional de cravação automática - elaboração própria

Os métodos de trabalho baseavam-se num planeamento de produção a médio prazo, e a partir daí era definido o posto de trabalho em termos de necessidades, ou seja, á volta da máquina, estavam alocados os materiais, as ferramentas (aplicadores), os equipamentos de medida, as estantes com as banheiras para o produto acabado. O stock de produto acabado seguia então para as linhas de produção de acordo com o espaço disponível nessas mesmas linhas. Numa ótica de produção, resumidamente existia:

- * *push system* - produto alocado e em stock no ponto de consumo, ou seja, na linha de produção
- * ordem de produção da zona de cravação, diferente da ordem efetiva de produção da linha de montagem, stock não alocado no ponto de produção, nem o FIFO respeitado.
- * trabalho não estandardizado (o operador tinha a liberdade de efetuar operações não previstas no método de trabalho, mas necessárias)

3.3. Processo cravação automático - caracterização do posto de trabalho em contexto lean

A figura 10 apresenta o mesmo posto de trabalho, mas agora com as ações associadas a metodologias e ferramentas tais como SMED, 5S, JIT já implementadas.

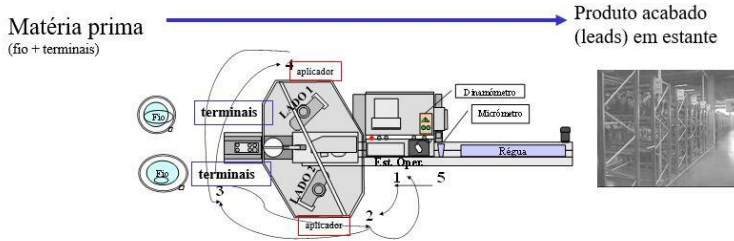


Figure 10: Posto de cravação automática em contexto LEAN - elaboração própria

Pelos movimentos do operador na fase de set-up interno e representados por linhas na figura 10, verificamos significativas melhorias, tais como:

- * meios de medida (dinamómetro, micrómetro, régua) junto ao posto de trabalho do operador e os aplicadores, só os necessários para a ordem em produção e para a seguinte
- * uma bobine de fio em produção e outra para a próxima ordem
- * prensa calibrada e respetivo cabeçote selado (não são necessários ajustes na prensa).
- * leads em stock nas estantes (fácil controlo visual)

Na ótica da produção, pode-se afirmar então que o paradigma mudou completamente:

- * sistema pull (stock a ser 'puxado' pelo ponto de consumo), ou seja, só se produz o que a linha de produção necessita. Na prática verifica-se que o stock intermédio diminui de forma significativa. As linhas de produção passam a ter um stock limitado (tanto em consumo como em espera)
- * As mudanças de referência a produzir, fazem-se mais facilmente e de forma mais rápida.
- * A estandardização do trabalho, associada a menos ajustes de ferramentas, traduz-se numa redução significativa na taxa de produtos defeituosos.

3.4. Melhorias de set-up

A calibração da prensa, trouxe redução no tempo de set-up interno (o tempo para regulação da altura do cabeçote foi suprimido) e também houve ganhos ao nível da manutenção, pois o número de de punções partidos diminuiu significativamente (força 'F' de cravação passou a estar controlada). O número de peças produzidas defeituosas também diminuiu devido a este facto, bem como a possibilidade de obter terminais esmagados.

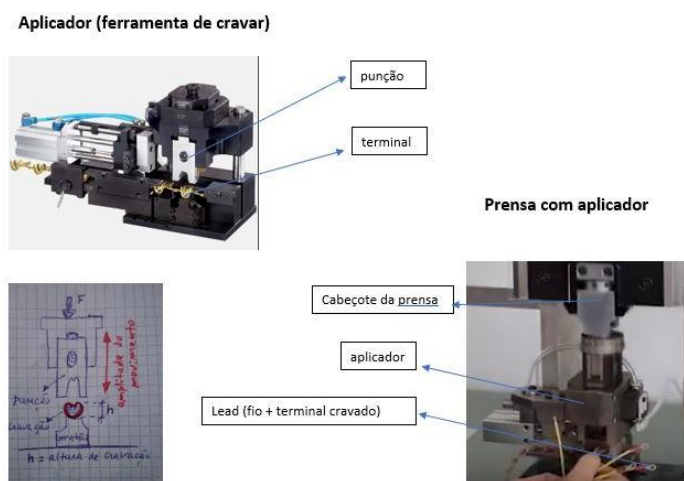


Figure 11: Aplicador - elaboração própria

Em termos de métodos de trabalho, foram introduzidas significativas alterações. Os aplicadores, representados na figura 11, passaram a estar disponíveis numa zona central específica para o efeito, sendo feita com maior frequência a inspeção da sua condição e atividades de limpeza e lubrificação (foram afetos recursos para a entrega e receção destes meios junto de cada máquina). A matéria prima ficou alocada no armazém, sendo fornecida a cada máquina de acordo com os pedidos, permitindo também o respeito pelo FIFO, controlo do stock e respetiva redução. Basicamente, muitas atividades de set-up interno passaram para atividades de set-up externo.

Posição	Etapas	Método Operatório do Setup Total	Fio			Ferramenta			
			Comprimento diferente	Secção igual	Secção diferente	Lado 1		Lado 2	
						Terminal	Ferramenta	Terminal	Ferramenta
1	1	Retirar o último molho da última ordem e metê-lo no suporte de fios	X	X	X	X	X	X	X
	2	Produzir uma amostra curta para a colocar sobre a cabeça da ferramenta					X		X
	3	Chamar ordem	X	X	X		X		X
	4	Levantar a protecção da máquina			X	X	X	X	X
2	5	Desmontar a bobine de terminais 2 e prensa 2						X	X
	6	Desmontar a ferramenta da prensa 2 e colocar a amostra							X
3	7	Pôr a ferramenta da ordem antiga sobre a mesa de setup							X
	8	Retirar o fio da ordem anterior		X	X				
	9	Enfiar (ou meter) o fio da bobine da nova ordem		X	X				
	10	Meter boquilhas (bicos para fio)			X				
4	11	Buscar a bobine de terminais e ferramenta da nova ordem para a prensa 1						X	
	12	Desmontar a bobine de terminais da prensa 1				X			
	13	Desmontar a ferramenta da prensa 1 e colocar a amostra						X	
	14	Montar a ferramenta prensa 1						X	
3	15	Montar bobine de terminais prensa 1				X	X		
	16	Pôr a bobine de terminais e a ferramenta da ordem antiga sobre a mesa de setup						X	
	17	Buscar a ferramenta da nova ordem para a prensa 2							X
2	18	Montar a ferramenta prensa 2							X
	19	Montar bobine de terminais prensa 2						X	X
1	20	Baixar a protecção da máquina			X	X	X	X	X
	21	Produzir uma amostra curta para verificação de desnudo	X	X	X	X	X	X	X
	22	Medir o comprimento do desnudo	X	X	X		X		X
	23	Contagem de capilares	X	X	X				
	24	Produzir uma amostra curta para verificação de altura terminais	X	X	X	X	X	X	X
	25	Controlo visual da qualidade do cravamento da amostra	X	X	X	X	X	X	X
5	26	Medir a altura de cravamento da amostra	X	X	X	X	X	X	X
	27	Fazer teste de tracção	X	X	X	X	X	X	X
1	28	Medir comprimento de fio	X	X	X		X		X
	29	Iniciar a produção	X	X	X	X	X	X	X
1	30	Registrar os valores medidos na carta de produção	X	X	X	X	X	X	X

Tabela 1: Exemplo de estandardização das operações de set-up

A estandardização das operações de set-up, foram consideradas, tal como se exemplifica na tabela 1.

De referir que tal estandardização teve em conta as características específicas de cada tipo de máquina. A figura 12 ilustra algumas melhorias aplicadas que permitiram reduzir o tempo de set-up.

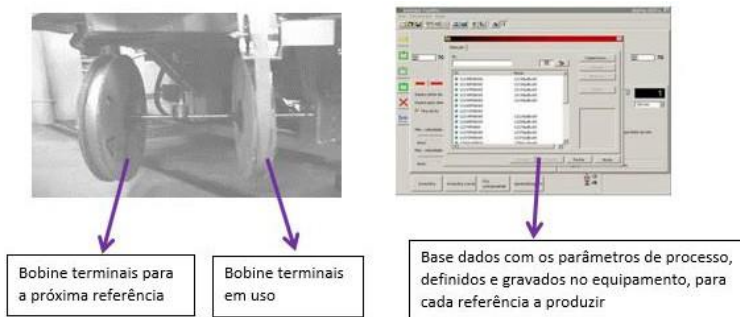


Figure 12: Exemplos de aplicação de melhorias de set-up - elaboração própria

3.5. Resultados

Resultados da 1ª fase (após aplicação do strict kanban)

		BEFORE	AFTER	RESULT
	QUALITY PPM	9.600	3.800	60%
PRODUCTIVITY	MACHINES	50	45	10%
	Av	1.000	1270	22%
	SET UP TIME	10	9,4	5%
	# SET UP	7	10	42%
INVENTORY	INVENTORY Pcs	6.021.000	3.552.000	41%
	INVENTORY €	500.000	291.000	42%
	LOT SIZE UNITS	2,5	1,4	44%
	SPACE m ²	1.655	1.355	18%

Tabela 2: Resultados da implementação de *Strict Kanban* (pull system)

As melhorias foram significativas, como se pode ver na tabela 2, nas quais se destacam:

- * redução significativa no número de peças com defeitos (passagem de 9600 ppm para 3800 ppm)

- * o número de peças produzidas por máquina e por hora, subiu de 1000 para 1270. O *strict kanban* reduziu significativamente o número de pedidos urgentes, que obrigava a alterar sequências de produção. Como o tamanho do lote a produzir diminuiu (passou de

uma cobertura de produção de 2,5 dias, para uma cobertura de 1,4 dias de produção), então o número de set-ups teve de aumentar de 7 para 10, e o inventário de leads produzidos, diminuiu 41%.

Face a esta nova realidade (sistema pull, em que as linhas de produção ditam o que e quanto a produzir), com lotes mais pequenos e por consequência, maior número de set-ups, era necessário atuar na redução dos tempos de set-up e diminuir ainda mais os stocks.

Resultados da 2ª fase (após aplicação do SMED)

Para alcançar o objetivo principal de ter em stock 0,5 dias de produção, houve necessidade de calcular o tempo de set-up médio. Neste caso de estudo, o valor obtido foi de 2,5 minutos. Os cálculos partem da disponibilidade de um conjunto de dados, os quais não são objeto de análise deste trabalho (tempo de ciclo/tipo de peça, número de referências a produzir, quantidades necessárias para 0,5 dias, número de máquinas/tipo), sendo que cada tipo de máquina tem um tempo de set-up diferente, como se apresenta na tabela 3.

SETUP [minutos]				
Maquina	Antes	Actual	objetivo	GAP
tipo A	17,1	11,6	7,7	3,9
Tipo B	28,1	12,0	8,0	4,0
Tipo C	9,5	6,3	4,2	2,1
tipo D	3,3	1,5	1,3	0,2
Tipo E	2,3	1,2	0,8	0,4
t medio Setup	9,4	3,7	2,5	1,2

Tabela 3: Tempo de set-up por tipo de máquina em estudo - elaboração própria

O desafio era passar de um tempo médio de set-up de 3,7 minutos para o valor objetivo de 2,5 minutos, possibilitando assim um stock de 0,5 dias. Na tabela 4, são apresentadas as atividades constituintes no set-up de uma máquina tipo E. Este tipo de máquina caracteriza-se pelo facto de permitir efetuar a cravação de terminal em ambas as extremidades do fio e integrar nessa cravação o

vedante que permite a função estanquicidade da caixa em que serão inseridos esses terminais. Incorpora tecnologia de ponta tais como servomotores, software em ambiente windows (permite a programação prévia da máquina para cada tipo de lead a produzir, migrar dados). Isto traduz-se em ajustes efetuados através de software em detrimento de certos ajustes realizados manualmente pelo operador, para além de uma maior precisão de movimentos.

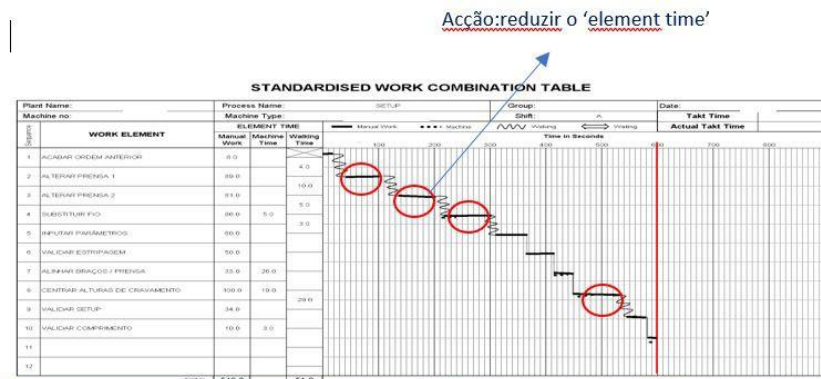


Tabela 4: Atividades standard de set-up para máquina tipo E - elaboração própria

O objetivo é, diminuir o tempo para a realização dessas tarefas ou passá-las de tarefas de set-up interno para atividades de set-up externo, conforme já referido anteriormente.

Quarenta e quatro semanas após o início deste projeto, verifica-se uma melhoria também significativa, na implementação do SMED em sistema de produção *pull*.

	Início	Fim	resultado
LOT SIZE	2,5 days	0,5 days	80%
SET UP TIME	10 min	2,5 min	75%
# MACHINES	50	39	22%
# SET UP	7	48	586%
Pcs	6.021.000	1.623.000	73%
\$	500.000	99.000	80%
SPACE	1655	1080	35%

Tabela 5: Resultados finais do projeto em estudo - elaboração própria

Analisando em conjunto as várias tabelas expostas, verificamos que a implementação do SMED, contribuiu para melhorias significativas, as quais se destacam:

- tempo de set-up de 9,4 min para 2,5 min
- stock de 3552 para 1623 peças (em milhares)
- 45 máquinas para 39 máquinas

Melhorias estas que implicitamente trazem benefícios adicionais que mereciam ser contabilizados, nomeadamente:

- libertação de equipamentos os quais podem ser alocados a novos negócios
- libertação de espaço associado á atividade existente
- redução do número de operadores (a cada máquina está associado um só operador)

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos do estudo de caso e em particular da análise do processo produtivo de cravação de terminais, vão ao encontro da opinião de Kusar (2010) que refere que a aplicação do SMED é um investimento reduzido e com bons resultados, da opinião de Levinson (2002) e de Shahin et al, (2010) que referem que permite uma redução de desperdício e de Fore & Zuze (2010)

que referem a maximização do equipamento, pois os resultados permitem concluir que há uma redução significativa de tempo de set-up, redução de stocks, diminuição dos equipamentos necessários e do número de operadores. A utilização do SMED facilita a passagem do sistema de produção push para o sistema pull permitem ganhos adicionais para todo o setor da produção da empresa. A pertinência deste trabalho manifesta-se pela possibilidade de observação do quanto se torna poderosa uma ferramenta LEAN conjugada com outras. Também se verifica que as fronteiras não são estanques aquando da aplicação de uma determinada ferramenta ou metodologia, isto é, por exemplo a aplicação dos 5S favorece a estandardização de métodos de trabalho que por sua vez, leva a melhorias no tempo de set-up. Por outro lado, verificamos que o contexto no qual é aplicada a nova metodologia, é determinante para o maior ou menor sucesso da mesma.

A sobrevivência das empresas industriais passa pela capacidade das mesmas em se adaptarem às constantes mudanças de volumes e referências de produtos requisitados pelos clientes, no menor prazo de entrega possível, sendo o SMED uma metodologia a ter em conta. No estudo de caso em análise, a implementação da metodologia SMED verificou-se após a aplicação de algumas ferramentas LEAN, ou seja, algumas das ações tomadas anteriormente, influenciaram positivamente a operação set-up (5% foi o ganho registado), daí que os ganhos apurados e associadas ao SMED possam necessitar de alguma correção, mas para tal havia necessidade de comparar com mais projetos similares.

Não foi possível quantificar os investimentos efetuados quer na alteração aos equipamentos, quer em termos de formação aos operadores e restantes recursos humanos. A cultura LEAN que já existia na empresa também contribuiu positivamente para os resultados apresentados e tal não é fácil de mensurar.

BIBLIOGRAFIA

Antoniolli I., Guariente P., Pereira T., Ferreira LP, & Silva FJG (2017).

- Standardization and optimization of an automotive components production line. *Procedia Manuf* ; 13:1120–7.
- Antosz K, Pacana A. (2018) Comparative analysis of the implementation of the SMED method on selected production stands - *Tehnički vjesnik* - <https://doi.org/10.17559/TV-20160411095705>.
- Bevilacqua, M., F. E. Ciarapica, I. De Sanctis, G. Mazzuto, and C. Paciarotti. (2015). “A Changeover Time Reduction through an Integration of Lean Practices: A Case Study from Pharmaceutical Sector.” *Assembly Automation* 35 (1): 22–34. doi:10.1108/AA-05-2014-035
- Boran S, Ekincioglu C. (2017). A novel integrated SMED approach for reducing setup time. *Int J Adv Manuf Tech*; 92(9-12):3941-3951. DOI 10.1007/s00170-017-0424-9.
- Buket B, Fatih C. (2008). Lean tools for reducing production time and satisfying employees - a case study. Vaxjo Universitet, thesis no 022/2008.
- Calhado P. M et al. (2015) Implementação do método de troca rápida de ferramentas no setor de usinagem numa indústria de autopeças in: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, Enegep, v. 1, n.1, p. 1 - 17. out
- Denzin, N.K., Lincoln, Y.S., (1994). *Handbook of qualitative research*. Thousand Oaks (CA): Sage Publications.
- Desai M.S. (2012). Productivity enhancement by reducing setup time-SMED: case study in the automobile factory. *Global Journal of Research In Engineering*; 12(5): 15-20. DOI: 10.47893/IJMIE.2011.1009
- Dooley, L. M. (2002). Case Study Research and Theory Building. *Advances in Developing Human Resources* (4), 335-354. DOI: 10.1177/1523422302043007
- Dubé, L.; Paré, G. (2003) Rigor in information systems positivist case research: current practices, trends, and recommendations. *MIS Quarterly*, v.27, n.4, p.597-635, dec. DOI: 10.2307/30036550
- Fercq A., Lamouri S., and V. Carbone. (2016) “Lean/Green integration focused on waste reduction techniques,” *J. Clean. Prod.*, vol. 137, pp. 567–578. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.107.
- Ferradás P, Salotinis K. (2013). Improving changeover time: a tailored SMED approach for welding cells.

- DOI: 10.1016/j.procir.2013.06.039
- Flick, U. (2004). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Morata
- Fore S. Zuze L. (2010) Improvement of overall equipment effectiveness through total productive maintenance. *World Ac Sci Eng Technol* 37:402-410.
- GIL, A.C (2004) *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 4ª. edição São Paulo: Atlas.
ISBN 978-85-224-5142-5
- Gillham, Bill. (2000) *Case study research methods*. London: Continuum Research Methods. ISBN 0 8264 4796 I.
- Helminen, A.; Tornroos, J. A. (2005) Using case methods in the study of contemporary business networks. *Journal of Business Reseach*, v.58, n.9, p.1285-1297, set.
- Henry, J. R. (2013) *Achieving Lean Changeover. Putting SMED to Work*. International Standard Book Number: 978-1-4665-0174-4 (paperback). DOI: 10.1016/j.promfg.2018.03.125.
- Karam, A., Liviu, M., Cristina, V., & Radu, H. (2018). The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project. *Procedia Manufacturing*. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.03.125
- Kusar, J., et al. (2010) Reduction of Machine Set-up Time. *Strojnicki vestnik*. Vol. 56, n. ° 12 p.833-845.
- Kula, U. (2003). *Lean Manufacturing Philosophy*, Lean Institute, 2003.
- Levinson, W.A. (2002) *Henry Ford's lean vision: Enduring principles from the first Ford motor plant*. Productivity Press. ISBN: 1563272601 / 9781563272608.
- Levinson, W.A. (2002). *Henry Ford's lean vision: Enduring principles from the first Ford motor plant*. Productivity Press. ISBN 9781563272608.
- Lima, E, C, O; Zaratim M, H. (2014) OEE: Utilizando conceitos para medir a Eficácia de uma equipe de manutenção. *Anais, Simpoi*, v.1, p. 1-13. ISSN 1984-9354.

- Macnealy, M. S. (1997) Toward better case study research. *IEEE Transactions on professional Communication*, v. 40, n. 3, p. 182-195, Sept. DOI:10.1109/47.649554
- McIntosh R I, Culley S J, Mileham A R. (2000). A critical evaluation of Shingo's 'SMED' methodology. *International Journal of Production Research*, v. 38, n. 11, p. 2377-2395.
- McIntosh R I, Culley S J, Mileham A R, Owen G W, Reik M. (2005). Design for Changeover: enabling the design of highly flexible, highly responsive manufacturing process, *International Mass Customization Meeting (IMCM' 05) Concepts – tools – realization*. Klagenfur Austria.
- McIntosh R I, Culley S J, Mileham A R, Owen G W. (2001). *Improving Changeover Performance*. Butterworth Heinemann: Oxford. ISBN 9780080495347.
- Neto, J.S et al. (2015) Implantação do Método de Troca Rápida De Ferramentas em Máquinas de Injeção de Calçados Plásticos. In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, Enegep*, v. 1, p. 1 – 17.
- Oliveira, M.; Maçada, A. C. G.; Goldoni, V. (2006) Análise da aplicação do método estudo de caso na área de sistemas de informação. In: *Encontro Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, Salvador. Anais*. Rio de Janeiro: ANPAD, set.
- Parikh Y, Mahamuni P. (2015). *Total Productive Maintenance: need & framework*.
- Pinto, J. P.(2009a) *Pensamento Lean - A filosofia das organizações vencedoras*. Lidel - Edições Técnicas, Lda.
- Pinto, J. L. Q. (2009b) - *Modelo de Implementação do pensamento JIT - Uma abordagem prática aos conceitos*. Publindustria Edições Técnicas. ISBN 978-972-8953-35-5.
- Rauch E, Damian A, Holzner P, Matt D. (2016). *Lean Hospitality Application of Lean Management methods in the hotel sector*.48th CIRP Conference on Manufacturing Systems - CIRP CMS 2015. doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.019.
- Rodríguez, G. G., Flores, J. G., Jiménez, E. G. (1999). *Metodología de la investigación cualitativa*. Málaga: Ediciones Aljibe.
- Rosa C, Silva FJG, Ferreira LP, Campilho R. (2017). *SMED*

- methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing* 2017; 13:1034-1042. DOI:10.1016/J.PROMFG.2017.09.110.
- Sabadka D, Molnar V, Fedorko G. (2017). The use of lean manufacturing techniques–SMED analysis to optimization of the production process. *Adv Sci Technol Res J* 2017 - DOI:10.12913/22998624/76067
- Shahin, A.; Janatyan, N. (2019). Group Technology (GT) and Lean Production: A Conceptual Model for Enhancing Productivity. *International Business Research*. ISSN 1913-9012. Vol. 3, n.º 4.
- Sherif Mostafa, Sang-Heon Lee, Jantanee Dumrak, Nicholas Chile, She & Hassan Soltan. (2015). Lean thinking for a maintenance process, *Production Manufacturing Research*, 3:1, 236-272. Doi.org/10.1080/21693277.2015.1074124 .
- Shingo S. A., (1985) *Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press. Cambridge, MA.
- Stake, R. E. (1999). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata. E-ISSN: 2346-4712.
- Sugai, M.; McINTOSH, R.I.; Novaski, O. (2007) *Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso*. São Carlos: Revista Gestão & Produção. Vol. 14. Doi.org/10.1590/S0104-530X2007000200010.
- Tellini T., Silva FJG, Pereira T., Morgado L., Campilho RDSG, and Ferreira LP. (2019). Improving In-Plant Logistics Flow by Physical and Digital Pathways. *Procedia Manuf*; 38:965-74. Doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.197
- Tsarouhas P. (2013). Evaluation of overall equipment effectiveness in the beverage industry. Doi.org/10.1080/00207543.2011.653014.
- Verrier, B., Rose, B., Caillaud, E. and Remita, H. (2014) ‘Combining organizational performance with sustainable development issues: the lean and green project benchmarking repository’, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 85, pp.83–93. Doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.023.

- Vieira T., Sá J., Lopes M., Santos G., Félix M., Ferreira, L., Silva F., Pereira M. (2019). Optimization of the cold profiling process through SMED. *Procedia Manufacturing* Volume 38, Pages 892-899 Doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.171.
- Womack, J.P.; Jones, D.T.; Roos, D. (1991) *The machine that changed the world: The story of lean production*. ISBN-13: 978-0-7432-9979-4.
- Yin, R. (1993). *Applications of case study research*. Beverly Hills, CA: Sage Publishing.
- Yin, R. (2005). *Estudo de Caso. Planejamento e Métodos*. Porto Alegre: Bookman. ISBN 85-7307-852-9.

Creative Commons Attribution License | This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.