



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Faculdade de Engenharia

# **A interação de ferramentas Lean com a Realidade Aumentada - Estudo Exploratório**

**Hugo Meireles Dantas Gonçalves**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos

**Covilhã, Outubro de 2016**



# Dedicatória

À minha mãe.



# Agradecimentos

Aos meus irmãos de curso pela ajuda e companheirismo durante esta jornada que agora termina. Aos irmãos de Engenharia Eletromecânica e aos de Engenharia e Gestão Industrial. Incluindo as infiltradas de Gestão.

Aos meus amigos de Leça da Palmeira pela compreensão pelas minhas falhas e ausências ao longo destes últimos anos.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos, pela sua compreensão, orientação e disponibilidade.

À minha família pelo apoio.

Por fim agradeço à mulher da minha vida. À minha mãe, por acreditar em mim em todas as alturas. Por nunca condicionar as minhas escolhas. Agradeço por me proporcionar tudo o que sou e que tenho. Por todo o esforço que fiz para que pudesse agora concluir este ciclo. Muito obrigado.



# Resumo

O Lean Manufacturing é uma filosofia de gestão industrial. Esta incorpora diferentes metodologias que têm como objetivo identificar e eliminar todos os desperdícios que existam numa empresa melhorando a organização e a competitividade. Este teve a sua origem no Japão do pós segunda guerra mundial devido à necessidade de competir em mercados a milhares de quilómetros de distância e para isso era essencial produzir bem, à primeira e de forma célere.

A Realidade Aumentada é uma tecnologia recente que tem vindo a ser cada vez mais explorada e publicitada. Muitos tem sido os avanços que se tem registado. Hoje em dia, é possível, através de um smartphones, adquirirmos aplicações que utilizam esta tecnologia. Os primeiros passos desta tecnologia foram dados tendo em vista a aplicação militar, contudo conseguiu sair da esfera militar e ser explorada para fins civis. Esta tecnologia necessita de um equipamento de recolha de imagens, de processamento e um display para a exibição de imagens. A Realidade Aumentada nada mais é que o cruzamento de imagens digitais com o ambiente real. Desta forma é possível aumentar a perceção e o acesso a informação pelo utilizador.

Esta dissertação pretende apresentar aplicações teóricas desta tecnologia para a implementação e/ou aplicação de metodologias Lean Manufacturing. Procura-se ainda demonstrar de que forma esta tecnologia pode melhorar a implementação e/ou aplicação das referidas metodologias.

## Palavras-chave

Lean Manufacturing, Realidade Aumentada, Filosofia Lean.



# Abstract

Lean Manufacturing is a philosophy of industrial management. This incorporates different methodologies that aims to identify and eliminate all waste that exist in a business organization and increased competitiveness. This philosophy has its origins in Japan's post World War II because of the need to compete in markets thousands of kilometers away and it was essential to produce well at first and swiftly.

Augmented Reality is a new technology that is being increasingly exploited and publicized. Many have been the advances that have registered. Nowadays, it's possible, through a smartphone, acquire applications using this technology. The very first steps of this technology had been given with military applications in mind. However this technology left the military sphere and it's now exploited for civilian purposes. This technology requires an image collection equipment, processing, and a display for showing images. Augmented Reality is nothing more than the crossing of digital images with the real environment. This way you can increase the perception and access to user information.

This work aims to present theoretical applications of this technology for the implementation and / or application of Lean Manufacturing methodologies. It seeks to demonstrate how this technology can improve the implementation and / or application of those methodologies.

# Keywords

Lean Manufacturing, Augmented Reality, Lean Philosophy.



# Índice

Dedicatória.....	iii
Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vii
Abstract .....	ix
1 Introdução .....	1
1.1 Motivação, Importância e Justificação da temática.....	1
1.2 Questões e objetivos da investigação.....	2
1.3 Estrutura da dissertação. ....	2
1.4 Metodologia de investigação. ....	3
2 Revisão bibliografia - Filosofia Lean.....	5
2.1 Definição Lean. ....	7
2.2 Princípios do Lean. ....	8
2.3 Os sete tipos de desperdícios.....	9
2.4 Ferramentas e metodologia Lean.....	12
2.4.1 Just in time .....	12
2.4.2 5's .....	13
2.4.3 Single Minute Exchange of Dies .....	14
2.4.4 Kanban.....	15
2.4.5 Poka Yoke .....	17
2.4.6 Heijunka.....	18
2.4.7 Kaizen .....	19
2.4.8 Total Productive Maintenance .....	23

3	Revisão bibliográfica - Realidade Aumentada .....	27
3.1	Evolução histórica .....	29
3.2	Diferentes tipologias de RA .....	31
3.3	RA e sua envolvimento tecnológica .....	32
3.3.1	Interface Máquina utilizador .....	33
3.3.2	Sensores de posição/orientação .....	43
3.3.3	Integração com softwares para a recolha de informação .....	46
3.4	Limitações .....	47
4	Filosofia Lean e a Realidade Aumentada .....	49
4.1	Metodologias e ferramentas Lean implementadas com o auxílio da Realidade Aumentada. ....	49
4.2	Implementação tecnológica. ....	50
4.3	Limitações para a implementação.....	53
5	Modelos de Implementação.....	55
5.1	Just in Time. ....	55
5.2	5'S.....	56
5.3	Single Minute Exchange of Dies .....	58
5.4	Kanban .....	60
5.5	Poka Yoke.....	62
5.6	Heijunka .....	63
5.7	Kaizen .....	65
5.8	Total Productive Maintenance .....	66
6	Conclusão .....	71
	Bibliografia.....	75

# Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Os 7 tipos de desperdícios (Liam, 2009) .....	9
<b>Figura 2</b> - Efeitos negativos devido ao excesso de stock numa linha de produção (Adaptado de Costa, 2007).....	10
<b>Figura 3</b> - Desperdícios de Womack e Jones (adaptado de <a href="http://www.lean.org/lexicon/mudamura-muri">http://www.lean.org/lexicon/mudamura-muri</a> em 12/12/2015) .....	11
<b>Figura 4</b> - Esquema ilustrativo das forças a favor e contra a implementação da filosofia Lean (Adaptado Melton, pág. 664, 2005) .....	12
<b>Figura 5</b> - Ilustração das diferentes fases de aplicação do método SMED (Cakmakci, 2008) .....	14
<b>Figura 6</b> - Cartão Kanban (adaptado de <a href="http://www.sequor.com.br/Mes.aspx?modulo=Andon&amp;seq=8">http://www.sequor.com.br/Mes.aspx?modulo=Andon&amp;seq=8</a> em 08/12/2015).....	16
<b>Figura 7</b> - Produção equilibrada (retirado de <a href="http://www.citisystems.com.br/heijunka/">http://www.citisystems.com.br/heijunka/</a> em 08/12/2016).....	18
<b>Figura 8</b> - O Guarda-Chuva do Kaizen (adaptado de Imai, 1994, pág.4) .....	20
<b>Figura 9</b> - Cartão PDCA.....	22
<b>Figura 10</b> - Quadro PDCA .....	22
<b>Figura 11</b> - Os 8 pilares do TPM .....	24
<b>Figura 12</b> - Realidade Mista de Milgram e Kishino. Adaptado de McMahon 2014 .....	28
<b>Figura 13</b> -“1968: Ivan Sutherland’s Sword of Damocles” - Head-mounted-display Retirado de: <a href="http://www.cnet.com/pictures/google-glass-ancestors-45-years-of-digital-eyewear-photos/">http://www.cnet.com/pictures/google-glass-ancestors-45-years-of-digital-eyewear-photos/</a> .....	30
<b>Figura 14</b> - Diagrama esquemático de um dispositivo VRD portátil. Retirado de: Conor P. K., Eric J. S., Erik S. V., John P. K., & Thomas A. Furness III, (2001) .....	35
<b>Figura 15</b> - Composição do Google’s Glass. Retirado de “Google Glass”, Dr. D.N. Chaudhari, 2013 .....	35

<b>Figura 16</b> - Funcionamento do Google's Glass. Retirado de "Google Glass", Dr. D.N. Chaudhari, 2013 .....	36
<b>Figura 17</b> - Epson Moverio Pro BT-2000, adaptado de <a href="https://www.epson.pt/pt/pt/viewcon/corporatesite/products/mainunits/overview/16149">https://www.epson.pt/pt/pt/viewcon/corporatesite/products/mainunits/overview/16149</a> em 04/01/2016 .....	37
<b>Figura 18</b> - Daqri Smart Helmet, retirado e adaptado de <a href="http://daqri.com/home/product/daqri-smart-helmet/">http://daqri.com/home/product/daqri-smart-helmet/</a> em 04/01/2016.....	38
<b>Figura 19</b> - Desenho esquemático do sistema de visão direta por vídeo (adaptado de VALLINO; 1998).....	39
<b>Figura 20</b> - Augmented Intervention Assistant (retirado de: <a href="http://kiliankreiser.com/AugmentedInterventionAssistant">http://kiliankreiser.com/AugmentedInterventionAssistant</a> em 04/01/2016) .....	40
<b>Figura 21</b> - Mark II Gyro Sights (retirado de: <a href="http://www.spitfiresite.com">http://www.spitfiresite.com</a> em 04/01/2016).....	41
<b>Figura 22</b> - HUD do Lockheed Martin F-22 Raptor (retirado de: <a href="https://forums.robertsspaceindustries.com">https://forums.robertsspaceindustries.com</a> ) .....	41
<b>Figura 23</b> - Video see-through através de um telemóvel (Möhring et al. 2004).....	42
<b>Figura 24</b> - Sensor de infravermelhos. (Retirado de: <a href="http://roboivre.org/conteudo/sensor-de-infravermelho">http://roboivre.org/conteudo/sensor-de-infravermelho</a> ) .....	44
<b>Figura 25</b> - Diagrama de uma linha de produção.....	61
<b>Figura 26</b> - Evolução das encomendas e da produção nivelada. Caso hipotético para demonstrar uma possível evolução.....	64

# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Matriz decisão.....	51
Tabela 2 - Legenda da Matriz decisão.....	52



# Lista de Acrónimos

5'S	Seiketsu, Seiri, Seisō, Seiton, Shitsuke
GPS	Global Positioning System
HMD	Head Mounted Display
HUD	Head's up display
JIT	Just in time
LCD	Liquid crystal display
OEE	Overall Equipment Efficiency
PC	Personal Computers
PDA	Personal Digital Assistant
PDCA	Plan Do Check Act
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
SMED	Single minute Exchange of dies
TPM	Total Productive Maintenance
TPS	Toyota Production System
VSM	Value Stream Mapping



# Capítulo 1

## 1 Introdução

### 1.1 Motivação, Importância e Justificação da temática.

O tema desta dissertação resulta da necessidade de inovação no sector industrial de forma a acompanhar a evolução tecnológica. Este acompanhamento do desenvolvimento tecnológico tem como objetivo melhorar os indicadores de competitividade aumentando o nível de eficiência das organizações. Para isso foi proposto estudar a influência da Realidade Aumentada na implementação da Filosofia Lean. A Realidade Aumentada é reconhecidamente uma tecnologia inovadora ainda pouco explorada neste contexto. A filosofia Lean é reconhecida como uma ajuda importante para a evolução das empresas e a melhoria dos seus indicadores.

É previsível que através da integração de novas tecnologias, as organizações venham a ser capazes de suavizar a transição das práticas atuais para métodos de produção mais eficazes. A transição constante e diversificação que a indústria deve sofrer à medida que alcançam o século 21, ilustra a procura para novos caminhos, práticas e filosofias que permitam às organizações continuarem a competir (Siegel, 1997).

A Realidade Aumentada (RA) pode ser utilizada para visualizar e editar projetos a três dimensões. Isto fornece um ambiente intuitivo para os utilizadores interagirem com a informação, explorar estruturas, peças ou dados, de uma forma que até então não era possível.

Esta dissertação pretende fornecer sugestões de implementação de ferramentas Lean utilizando interfaces que utilizem a Realidade Aumentada de forma a suavizar a transição e, desta forma, aumentar a eficiência da aplicação das novas práticas.

Torna-se assim importante estudar e analisar se é possível cruzar estes dois conceitos e de que forma isso pode ajudar as empresas num contexto industrial.

## 1.2 Questões e objetivos da investigação.

A Realidade Aumentada é um ramo tecnológico relativamente recente que integra informação digital no mundo físico. Esta tecnologia sobrepõe, de forma regrada, a informação digital sobre o mundo físico de forma a criar um espaço interativo para os utilizadores (Craig, 2013).

A Realidade Aumentada pode ser uma mais-valia na implementação de novas filosofias, métodos e ferramentas uma vez que permite aos utilizadores fazerem uma transição mais eficaz e “acompanhada” uma vez que o operador pode ter acesso a informações que lhe permitam realizar as suas tarefas de forma mais eficaz.

Tendo isto em conta colocam-se duas questões:

- Quais as ferramentas que podem ser implementadas com o auxílio da Realidade Aumentada?
- De que forma é que as organizações podem beneficiar através da implementação de ferramentas Lean com o auxílio da Realidade Aumentada?

O objetivo deste trabalho é apresentar propostas de implementação para um conjunto de ferramentas Lean com auxílio da Realidade Aumentada. Estes conceitos de implementação são meramente teóricos uma vez que não está previsto a sua implementação classificando assim este trabalho como um estudo exploratório.

## 1.3 Estrutura da dissertação.

Esta dissertação está estruturada de acordo com duas fases de investigação.

A fase conceptual contempla o capítulo 1, capítulo 2 e capítulo 3. No primeiro capítulo é feita uma apresentação do trabalho a realizar e de que forma este vai ser conduzido. No segundo capítulo é feita a revisão bibliográfica sobre a filosofia Lean especificamente Lean Manufacturing. Neste capítulo analisam-se as ferramentas, teorias, metodologias e conceitos passíveis de serem utilizados em conjunto com a Realidade Aumentada. No terceiro e último capítulo desta fase, é feita a revisão bibliográfica da Realidade Aumentada. São expostos quais os diferentes sistemas, aplicações e composições. É ainda feito um enquadramento histórico do desenvolvimento desta tecnologia.

A fase de desenvolvimento contempla o capítulo 4, capítulo 5 e capítulo 6. No quarto capítulo é feito um estudo sobre a associação da filosofia Lean com a Realidade aumentada de forma a demonstrar de que forma esta pode influenciar a implementação e utilização de

ferramentas e filosofias Lean. É ainda feito uma análise dos dispositivos disponíveis no mercado de forma a selecionar um equipamento. No quinto capítulo é apresentado um conjunto de propostas de aplicações para implementação e utilização de filosofias Lean com o auxílio da realidade aumentada. No sexto e último capítulo serão retiradas as conclusões do trabalho desenvolvido nos capítulos anteriores.

## **1.4 Metodologia de investigação**

Não existiria ciência sem a utilização dos métodos científicos, uma vez que são essas atividades sistemáticas e racionais que permitem alcançar conhecimentos válidos, (Marconi & Lakatos, 1995).

A metodologia de investigação tem como objetivo auxiliar o desenvolvimento desta dissertação, desde a formulação do tema até à conclusão em que é produzido este trabalho.

Este trabalho utiliza como procedimentos técnicos a pesquisa bibliográfica. Esta é elaborada através de publicações nacionais e internacionais, entre as quais livros, artigos científicos e documentos disponíveis na Internet.

Nesta dissertação, usámos uma metodologia de investigação de composição qualitativa uma vez que o objetivo é apresentar propostas de implementação de ferramentas Lean com auxílio da Realidade Aumentada. Esta proposta é, meramente teórica. Sendo assim este trabalho enquadra-se num estudo exploratório e desta forma pensamos conseguir que o leitor atinja uma maior familiaridade com a temática apresentada.

A pesquisa foi essencialmente do tipo exploratório e bibliográfico uma vez que foi baseada em livros e artigos científicos nacionais ou internacionais. Esta pesquisa tem como objetivo

Numa fase inicial foi feito um estudo exploratório para a seleção da temática a estudar, com base em pesquisa bibliográfica. Após esta, e ainda com recurso a pesquisa bibliográfica foi elaborado um plano de trabalho que foi cumprido ao longo do ano letivo. Por fim procedeu-se à redação do texto da dissertação onde as ideias e se concluiu sobre a informação recolhida na fase anterior.



# Capítulo 2

## 2 Revisão bibliografia - Filosofia Lean

Os primeiros conceitos de produção em massa surgiram durante a Revolução Industrial. Este novo conceito baseava-se na criação de linhas de montagens e de pontos fixos de trabalhos.

Agosto de 1945 ficou marcado como o primeiro e único momento da história em que armas nucleares foram utilizadas em populações civis. Hiroshima e Nagasaki foram os alvos. Em Setembro desse ano o Japão assinou a rendição pondo fim à Segunda Guerra Mundial. Findo o conflito emergiu uma potência mundial, os Estados Unidos da América, e um Japão derrotado e arrasado tanto no seu poderio bélico como no seu complexo industrial. (Barret,2012).

No período do pós guerra, o Japão esteve sob o controlo Americano exercido pelo Comandante Supremo das Forças Aliadas no Pacífico, General Douglas MacArthur. Exerceu o cargo de líder interino entre 1945 e 1948. Durante esse período o Japão sofreu reformas políticas e sociais que levaram à sua recuperação económica. A sociedade nipónica tinha como objetivo recuperar a soberania e restaurar o orgulho nacional, através do aprimoramento da qualidade das atividades prestadas. (Correia, 2007)

Com tantas dificuldades económicas e escassez de recursos que o país atravessava, era importante conseguir aumentar as exportações e consequentemente a entrada de divisas para criar uma estabilidade económica. Para isso era necessário para os japoneses racionalizarem recursos eliminando todo o desperdício de dinheiro, de tempo e de produção. Sendo assim foi adotada uma padronização de processos, tendo como objetivo fazer bem à primeira com a máxima qualidade. (Kokudai, 2012).

Para a criação dessa estabilidade económica, era imperativo conquistar o mercado americano. Para isso revelava-se necessário que os produtos satisfizessem este mercado à primeira, uma vez que estes não poderiam voltar à fábrica para serem reparados devido à distância. Sendo assim a Indústria nipónica teria que fabricar produtos de qualidade, sem defeitos e sem desperdícios, sob pena da sua estratégia nacional fracassar. (Barry, Murcko & Brubaker, 2002).

De toda a Indústria nipónica uma empresa destacou-se pelo seu rigor e padronização de produção. A Toyota, que ainda hoje é tida como referencia em todo o mundo, pois desenvolveu uma filosofia organizacional, ferramentas e metodologia que a ajudaram a atingir esses objetivos.

A família Toyoda, especializada no fabrico de maquinaria têxtil desde os finais do século XIX, fundou a Toyota Motors em 1937 que se centraria no fabrico de automóveis. Em 1950, devido à guerra e a algumas apostas fracassadas de gestão, a empresa encontrava-se perto da falência.

Eiji Toyoda, executivo e membro da família fundadora da Toyota Motors e Taiichi Ohno, engenheiro da produção, iniciaram alterações revolucionárias ao processo produtivo da Toyota, após uma visita em 1950 as instalações da Ford Motor Company em Rouge, nos EUA.

Esse sistema é hoje denominado de Toyota Production System (TPS). Na época considerado “o maior e mais eficiente complexo fabril do mundo” (Womack, Jones & Roos, 1990).

A produção das instalações da Ford motor Company rondava os 7,000 carros num só dia, contra os 2,685 produzidos pela Toyota até o ano de 1950. Este sistema inovador, TPS, iria acabar por conquistar o mundo na década de 1970 pelos méritos e resultados obtidos através de uma gestão bastante eficiente. (Correia, 2007). A Toyota era considerada, durante a década de 90, a marca “mais eficiente e a que produz veículos motorizados da melhor qualidade em todo o mundo” (Womack Jones & Roos, 1990). Hoje, a marca é a número 1 da indústria automóvel e, segundo Teixeira (2007), além de “revolucionar a indústria, a Toyota ultrapassa a General Motors como a maior marca a nível de produção de carros do planeta”. Eiji Toyoda usava a expressão “before cars, make people” (Business Through People, 2013), tentando evidenciar que na origem do automóvel estão as pessoas. Referia-se não só às pessoas que os fabricavam que são a origem do automóvel, mas também aos que se fazem servir dos automóveis no sentido que estes são feitos para nos servirem e não no sentido contrário.

Foi com a publicação do artigo “Triumph of the Lean Production” de John Krafcik em 1988, que o termo Lean foi utilizado pela primeira vez, utilizando o TPS como base desta filosofia de produção. O termo Lean faz referência a uma utilização de menos material, tempo, esforço, capital, *stock* e espaço, quando comparado com os sistemas de produção em massa. (Womack Jones & Roos, 1990).

Os princípios, metodologias e ferramentas implementadas pela Toyota, com o passar do tempo, evoluíram e foram integradas na nova abordagem aos sistemas operacionais, conhecido hoje como Lean Manufacturing.

Depois de aplicada a filosofia Lean nas áreas da produção, surgiu a extensão do Lean às empresas do sector dos serviços, sector terciário. Surgiu então um novo conceito. O Lean Office. Este novo conceito tem na introdução/implementação e aceitação o seu principal obstáculo uma vez que é muito complicado avaliar o “desperdício de um escritório”. De igual forma, é complicado medir resultados e saber se estes são consequência direta das medidas tomadas para reduzir o desperdício. Para contornar este obstáculo algumas ferramentas e metodologias do Lean Manufacturing tiveram que ser adaptadas à realidade dos escritórios. Desta forma o Lean Office assume-se como uma adaptação do Lean Manufacturing, (França, 2013).

Keyte e Locher, no livro *The Complete Lean Enterprise*, defendem uma aplicação geral do Lean a qualquer área empresarial, seja esta produtiva ou de prestação de serviços, integrando o Lean Manufacturing e o Lean Office no termo geral Lean.

Surge assim uma filosofia cujo seu ideal era “*the right information, materials and resources, to the right place, at the right time, every time*”.

## 2.1 Definição Lean.

O National Institute of Standards and Technology (NIST) definiu o Lean como uma série de filosofias e metodologias para gerir processos de qualquer organização. Mais especificamente, este foca-se na eliminação de processos ou atividades que não acrescentem valor e de desperdícios recorrentes de processos. O NIST defende ainda que, embora as filosofias ou metodologias Lean sejam diferentes de aplicação para aplicação, o objetivo é sempre acrescentar valor e melhorar de forma contínua. Os processos Lean concentram-se em eliminar ou reduzir qualquer atividade ou operação que não acrescente valor para o cliente final e que, desta forma, este não esteja disposto a pagar por esse processo. Estas atividades podem ser: excesso de produção retrabalho ou sobre processamento, inspeções, existências, tempos de espera ou de preparação, transporte de materiais ou produtos ou outros passos que não acrescentem valor (Alves, Kahlen, Flumerfelt & Manalang, 2014).

Segundo Drew, MacCallum, e Roggenhofer (2004), “Lean é um conjunto de princípios, práticas, ferramentas e técnicas projetadas para combater as causas da baixa performance operacional. É uma abordagem sistemática para eliminar perdas de toda a cadeia de valor de uma empresa, de forma a aproximar a performance atual aos requisitos dos clientes.”. Tal como referido pelo NIST, estes voltam a definir como objetivo principal do Lean, a eliminação de tudo o que não acrescenta valor para o produto final. Este objetivo é alcançado tentando minimizar custos, tempo de entrega e aumentando a qualidade do produto. Segundo esta definição, o Lean pretende otimizar todo o processo produtivo, desde a gestão e planeamento até à entrega do produto final ao cliente.

Na filosofia Lean, o valor de um produto é sempre determinado pelo cliente final, e pelo que este está disposto a pagar, de forma a reconhecer que tal investimento acrescenta valor para si. (Vieira, 2010)

A cadeia de valor que representa todos os processos e atividades que contribuem para a produção de um bem é caracterizada pela passagem do material de uma secção para outra sem que exista tempo de espera entre ambos. Em suma deverá ser criada uma cultura de responsabilização que aumenta quando os produtos se deslocam pela linha de montagem. Por consequência, o operador do sector a jusante terá sempre que sentir mais responsabilidade que o anterior, exigindo assim que, este cumpra as obrigações para ele definida. Este facto faz com que cada secção/cliente puxe o produto o que leva a uma redução de *stock*.

A incansável busca da perfeição é muito importante na filosofia Lean. Esta busca leva a que surjam novos conceitos como o da melhoria contínua ou Kaizen. (Vieira, 2010) e (Lian, 2002).

Ainda segundo a filosofia Lean existem apenas dois tipos de operações. Aquelas que “Acrescentam Valor” e as que “Não Acrescentam Valor” ao produto. As operações que não acrescentam valor podem ainda ser caracterizadas como “Necessárias” e “Não Necessárias”. As operações que não acrescentam valor e não são necessárias devem ser eliminadas de forma a aumentar o tempo de valor acrescentado evitando assim *stocks* ou caos na linha de produção.

## 2.2 Princípios do Lean.

Como já foi referido, o termo Lean foi introduzido, para descrever o TPS ou Toyota Production System que era uma filosofia que se traduzia num conjunto de práticas de trabalho do fabricante automóvel Japonês. Já na altura, o TPS estava orientado para uma melhoria contínua dos processos e obtenção dos meios e métodos para promover esta melhoria. Sendo assim, pode-se dizer que esta filosofia tem como objetivo a eliminação de desperdícios e consequentemente aumentar o valor do produto.

Nos dias de hoje o Lean estende-se para além do conceito original (TPS), sendo um dos pontos centrais o respeito pela pessoa humana (Wickramasinghe et al., 2014). Como já foi referido, Eiji Toyoda utilizava a expressão “before cars, make people” de forma a evidenciar a importância daqueles que fazem os carros e daqueles que se fazem servir por eles. O Respeito pela pessoa humana não fica por aí uma vez que na Toyota os funcionários têm o «poder» de parar a produção fabril, a qualquer momento, caso seja detetada algum defeito, deficiência, erro ou qualidade abaixo do padrão. Isto leva a que todos participem na identificação de problemas e na busca de soluções sem que as culpas sejam atribuídas a alguém.

Desde 1990, com a publicação do livro “The Machine That Changed the World” que várias empresas ficaram interessadas nesta filosofia mas não sabiam como implementar as ferramentas e metodologias Lean pois não existiam conceitos de implementação. Foi apenas em 1996 que Womack e Jones, quando publicaram o livro “Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in your Corporation”, que formalizaram estes conceitos, de forma mais extensa ficando definido pelos seus cinco princípios-chave sendo mais tarde corroboradas por Pinto em 2009. Estes introduziram os Cinco Princípios da filosofia Lean:

### 1. Identificar o Valor

Conhecer, na perspetiva do cliente, o que é Valor. Torna-se necessário fazer ruma análise ao tipo de cliente alvo de forma a poder identificar o que este procura e ir de encontro às suas expectativas. Esta perspetiva defende que o que gera valor é a necessidade do cliente. Quanto maior for a necessidade e a sua importância, mais valioso é para o cliente o produto. Perceber o que o cliente valoriza ajuda qualquer organização a ir de encontro ao que o cliente necessita de forma a valorizar o seu produto ou serviço.

### 2. Identificar a Cadeia de Valor

Identificar a sequência de eventos e as diferentes atividades necessárias para a fabricação de um produto, que acrescentam valor. Após ser feito a caracterização das atividades, deve ser eliminado de imediato as que não acrescentam valor e que não são necessárias para a conceção do produto.

### 3. Estabelecer o Fluxo contínuo

Definir um fluxo contínuo de produção de forma a não existirem paragens e inventários, para desta forma, eliminar o que não acrescenta valor. Esta é uma etapa difícil e exige muita mudança, principalmente de mentalidades. A redução dos tempos de produção, processamento de pedidos e inventários é um efeito imediato da introdução deste princípio, ficando as empresas com uma resposta mais eficaz e rápida às necessidades do mercado (Pinto, 2008).

#### 4. Produção Puxada

Planear a produção para produzir um produto apenas quando o cliente o pretende. Esta etapa induz a eliminação de *stocks* de produtos fabricados e, sendo assim, elimina a necessidade de investimento em materiais para produzir algo ainda não necessário e os custos de manter algo em armazém. Isto significa que o cliente é que pede/«puxa» o produto e não a empresa que «empurra».

#### 5. Busca da Perfeição

Focalizar todo o esforço da empresa na busca pela perfeição, tentando eliminar os desperdícios e criando valor, ou seja, utilizando a melhoria contínua, mais conhecida como Kaizen. Cada processo de melhoria contínua implica um aperfeiçoamento do processo e lança a base para a melhoria seguinte. Todos os processos de melhoria contínua devem ser transparentes a todos os níveis de forma a poder integrar todos os colaboradores da cadeia de valor de forma a aumentar o diálogo e de continuar a procurar formas de acrescentar valor.

### 2.3 Os sete tipos de desperdícios

De acordo com Ohno (1988), o desperdício é qualquer atividade que consome recursos, adicionando custos e que não acrescenta valor ao produto vendido ao cliente. Os desperdícios são uma realidade em qualquer tipo de organização, e podem fazer com que o cliente pague mais sem acrescentar valor ao produto (Carreira, 2005).

Para identificar os tipos de desperdício é necessário conhecer bem todos os processos e atividades e definir quais são aqueles que acrescentam valor. Para Ohno (1988) existem sete tipos de desperdícios nos sistemas de produção. Estes são:

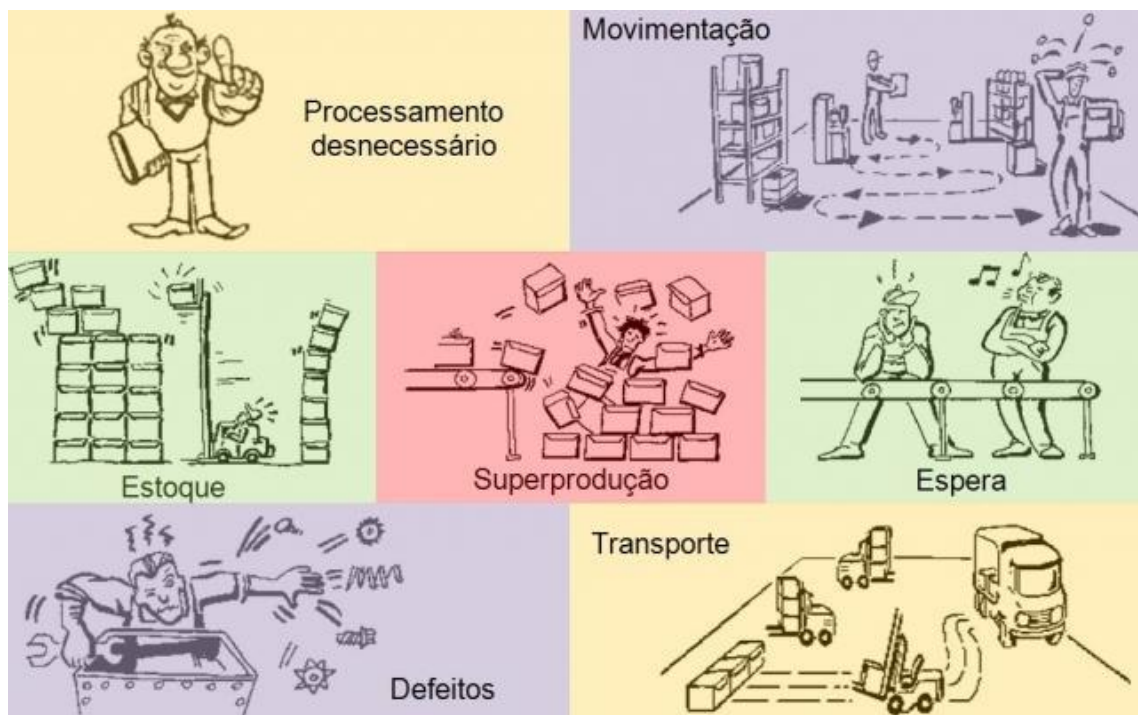


Figura 1. Os 7 tipos de desperdícios (Lima, 2009)

**Superprodução** - Produzir em quantidades superiores às que o cliente necessita ou ao programado e antes do tempo desejado, gerando um *stock* de produtos;

**Esperas** - Intervalos de tempo em que os operadores ou as máquinas estão à espera de algo estando a produção parada. Estas esperas podem ser originadas por falta de matéria-prima, avarias e mau planeamento das operações;

**Transporte** - Movimentos desnecessários de matéria-prima, produtos semi-acabados, produtos finalizados ou produtos defeituosos;

**Sobreprocessamento** - operações adicionais, reprocessamento devido a defeitos e excesso de produção;

**Inventário** - Todo o tipo de *stocks* existentes quer sejam de material acabado, material em processamento ou matéria-prima. Quanto maior for os inventários, maior será o investimento para o manter. Muitas vezes a elevada quantidade de *stocks* pode camuflar problemas de organização como elevados tempos de *setup*, incumprimento recorrente dos prazos de entrega e avarias de equipamentos;

**Movimentação** - Movimentos desnecessários de peças dentro das instalações que podem ser originadas devido ao Layout das empresas mal estruturados, defeitos, reprocessamento e excesso de produção;

**Defeitos** - Produtos acabados ou semi-acabados que não estão de acordo com as especificações estabelecidas pelo cliente. Este é o desperdício mais facilmente identificado como desperdício.

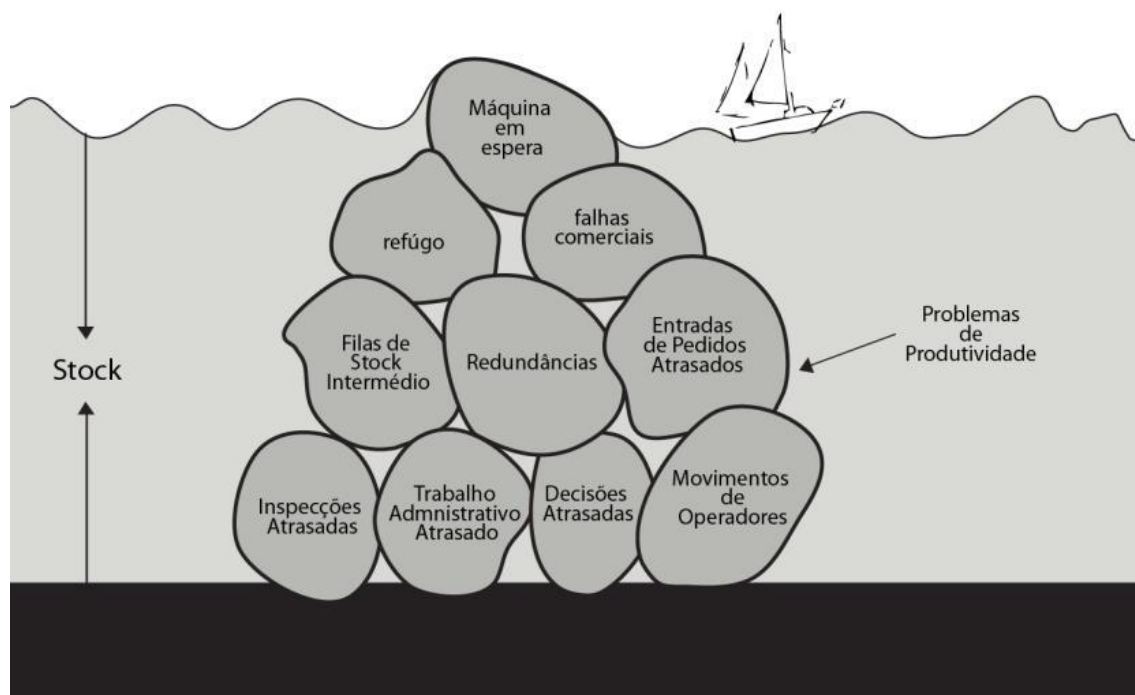


Figura 2. Efeitos negativos causados pelo excesso de *stock* numa linha produtiva.

Alguns autores, como o Womack e Jones, identificaram um outro tipo de desperdício. Este é designado por subutilização de pessoas, especificamente a sua formação, ideias e criatividade, ou seja o mau aproveitamento dos recursos humanos existentes nas organizações (Hicks, 2007).

Existem três expressões que são utilizadas na implementação da filosofia Lean nas empresas:

- Muda - todas as atividades do processo produtivo ou administrativo que não acrescentam valor ao produto sendo classificado como desperdício;

- Mura - variações no processo que dificultam o controle. A variações nos processos devem ser graduais de forma a que os resultados sejam previsíveis. A existência destas variações pode indicar falta de equilíbrio ou falta de padronização;
- Muri - significa sobrecarga no sistema. Em equipamentos significa exigir um desempenho para o qual não foram concebidos. Em pessoas significa sobrecarga física ou mental.

Normalmente, estas três palavras são inseparáveis nas empresas. Quando um processo está desequilibrado (Mura), verifica-se uma sobrecarga dos equipamentos e/ou pessoas (Muri) e, como consequência surgem desperdícios (Muda). O sucesso de um programa de melhoria está na redução de variações, garantindo a estabilidade, controle e previsibilidade evitando sobrecargas no sistema diminuindo a existência de desperdícios.



Muri = Sobrecarregado



Mura = desequilibrado, flutuações, variações



Muda = Desperdício



Sem Muri, Mura ou Muda

Figura 3. Os 3 desperdícios segundo Womack. Retirado e adaptado de: <http://www.lean.org/lexicon/muda-mura-muri> em 12/12/2015.

A Implementação da filosofia Lean no sistema produtivo de qualquer empresa contribui para um forte e sustentado acréscimo da eficiência de uma fábrica, aumentando a capacidade produtiva e a velocidade de respostas às encomendas, com uma enorme capacidade de responder a alterações de produção, mantendo sempre *stocks* mínimos, sem defeitos e com excelente qualidade. Contudo nem tudo são vantagens pelo que, a filosofia Lean também apresenta algumas desvantagens. A principal é a “resistência à mudança” que impera em grande parte das empresas que estão habituadas a trabalhar de acordo com outros sistemas de produção concebidos há alguns anos ficando assim presos aos, tão tradicionais «velhos hábitos».

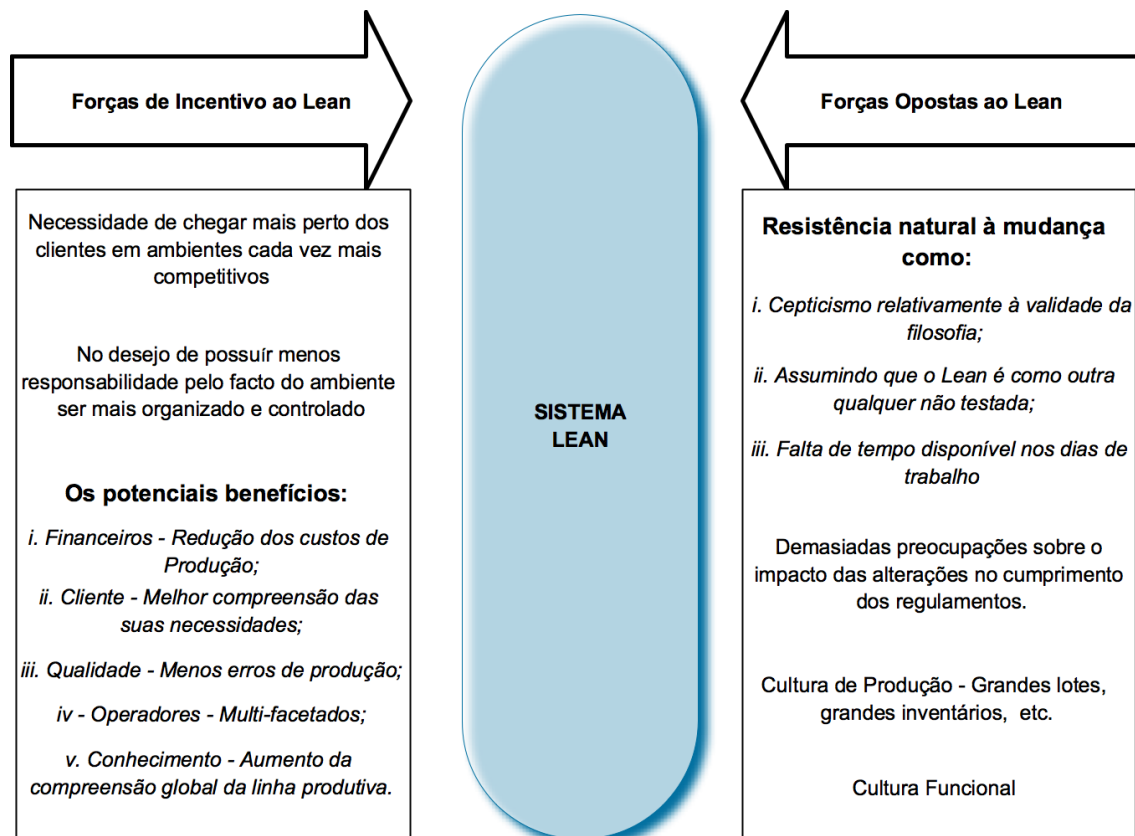


Figura 4. Esquema ilustrativo das forças a favor e contra a implementação da filosofia Lean (Adaptado Melton, 2005).

## 2.4 Ferramentas e metodologia Lean

À medida que a filosofia Lean vai sendo investigada e implementada em áreas distintas, vão surgindo novas ferramentas e metodologias em diferentes sistemas produtivos ou administrativos. Neste subcapítulo, o objetivo é fazer uma descrição das ferramentas e metodologias mais relevantes e que podem ser em hipótese integradas em ferramentas de Realidade Aumentada

### 2.4.1 Just in time

O *Just In Time* (JIT) significa “no momento certo” sendo o ideal do Lean “o produto certo no lugar certo na altura certa pelo preço certo”. Não é de estranhar que esta ferramenta seja uma das pedras basilares de toda a filosofia Lean.

Este sistema de produção refere-se às entregas aos clientes, no tempo certo e nas quantidades desejadas eliminando a existência de *stocks* ou atrasos (Ohno, 1997). O JIT pode ser implementado em qualquer organização uma vez que, com este sistema, os produtos ou matérias-primas chegam ao local onde são utilizados exatamente quando são necessários.

Esta ferramenta está associada ao conceito de produção Pull ou seja a produção é dirigida/planeada pelas encomendas dos clientes.

## 2.4.2 5's

A ferramenta 5S é um conjunto de cinco práticas que têm como objetivo a padronização e organização do espaço de trabalho e a manutenção das condições ideais do local de trabalho (Womack & Jones, 2004)

A Sigla 5's deriva das cinco palavras japonesas: Seiri, Seiton, Seison, Seiketsu e Shitsuke.

- **Seiri ou Triar/separar** - Inicialmente é necessário identificar qual o material necessário para a realização das operações referentes a cada posto de trabalho e, conseqüentemente, o material considerado desnecessário deve ser eliminado do posto de trabalho.
- **Seiton ou Organizar** o material que é necessário. Esta organização consiste em definir um lugar específico para este, de forma a que se encontre sempre no mesmo local sendo que os materiais mais utilizados deverão estar mais próximos do utilizador de forma a evitar movimentações desnecessárias.
- **Seiso ou Limpar** a área de trabalho. Esta operação tem como objectivo a manutenção de um local de trabalho sempre limpo e agradável para os utilizadores. Para esta limpeza ser eficiente é necessário dotar os postos de trabalho com os equipamentos de limpeza necessários. Esta limpeza deve ser alargada às máquinas, ferramentas e o próprio chão.
- **Seiketsu ou Padronizar/normalizar** os procedimentos de limpeza, práticas de limpeza e organização do espaço.
- **Shitsuke ou Disciplinar** os operadores de forma a manter os quatro anteriores S's de forma a garantir que eles são cumpridos. Esta é uma das etapas mais difíceis de implementar uma vez que as pessoas tendem a resistir à mudança e neste caso trata-se de criar ou mudar uma rotina ou seja mudar algo que estão habituados a fazer. Para isso pode-se recorrer a auditorias periódicas aos locais de trabalho para incutir o gosto e orgulho dos operadores pelo seu local de trabalho.

Uma vez aplicada, esta ferramenta permite sistematizar normas de limpeza, controle, segurança e organização, eliminando ou reduzindo a produção de produtos com defeitos e eliminando assim desperdícios e material em excesso. Permite ainda reduzir movimentações de colaboradores e produtos. Outra vantagem desta metodologia é aumentar a facilidade de acesso a ferramenta uma vez que a localização não muda e sendo assim reduz os tempos de *setup* e tempos de produção.

### 2.4.3 Single Minute Exchange of Dies

A metodologia SMED, ou *Single Minute Exchange of Dies*, é uma técnica de análise e redução dos tempos de *setup* que partilha o objetivo de toda a filosofia Lean, reduzir desperdícios. Esta metodologia permite modificar um produto durante a fase de produção na linha, de forma rápida e eficaz. Também conhecido como *Quick Changeover*, esta técnica permite uma maior flexibilidade por parte das empresas, pois consegue dar resposta de forma eficaz às alterações das necessidades de produção que a empresa possa sofrer. Estas alterações podem ser originadas por alterações nos mercados.

Shigeo Shingo (Shingo, 1985) foi quem desenvolveu inicialmente o SMED. Este estabeleceu duas categorias de operações de *Setup*. O *Setup* Interno e o *Setup* Externo.

- **Setup Interno** - Todas as operações que apenas podem ser efectuadas com a máquina parada (ex.: montagem ou desmontagem de ferramentas)
- **Setup Externo** - Todas as operações que podem ser executadas com a máquina em pleno funcionamento (ex.: transporte de ferramentas para junto da máquina, e desta para o armazenamento).

Shingo defende que esta metodologia deve ser aplicada de forma faseada.

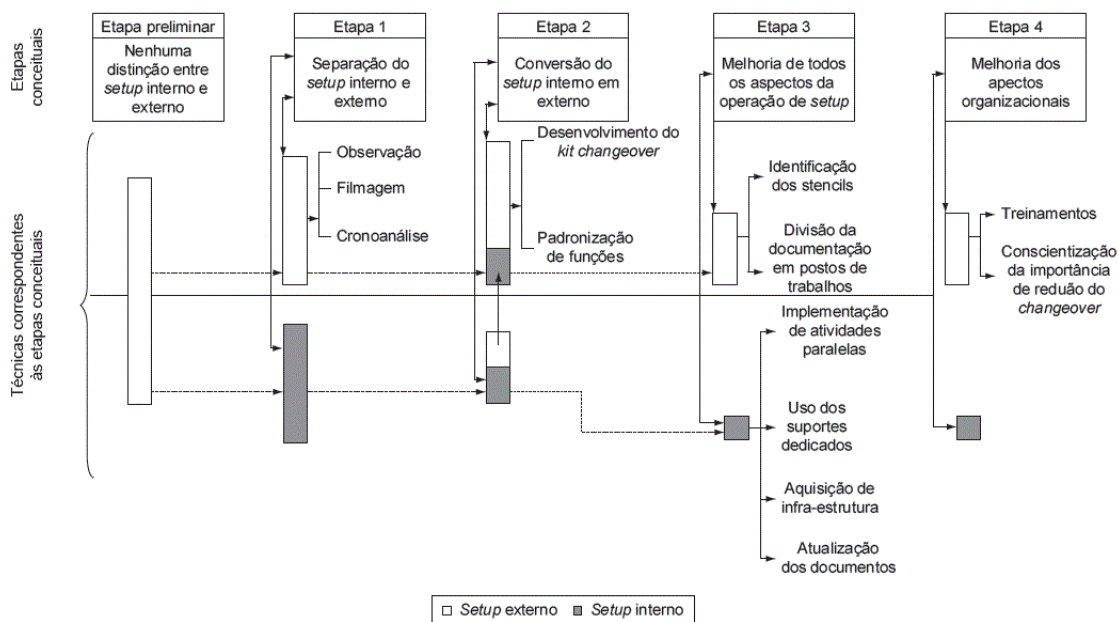


Figura 5. Ilustração das diferentes fases da aplicação do método SMED (Cakmakci, 2009)

- **Etapa preliminar** - Nesta etapa é apenas feita uma observação às alterações de *setup*'s que são feitas de forma desorganizada;
- **Etapa 1** - Análise das observações registadas na etapa anterior e separa as actividades em *Setup* interno e *setup* externo;
- **Etapa 2** - Análise crítica de todas as actividades, com o objectivo de identificar actividades que possam ser realizadas como *setup* externo;
- **Etapa 3** - Simplificar e racionalizar;
- **Etapa 4** - Criar procedimentos de forma a padronizar as actividades.

O que é pretendido é a transferência de *setup's* internos para *setup's* externos de forma a ser feito um maior número de atividades com a máquina em funcionamento e, assim, diminuir ao máximo os tempos de paragem ou seja reduzir os tempos de *setup*.

## 2.4.4 Kanban

Kanban é uma metodologia de gestão visual desenvolvido pela TPS cujo objetivo é controlar a quantidade de produtos em inventário, a produção e o abastecimento de componentes à linha de produção, utilizando o a metodologia JIT (Júnior, 2010). A palavra “Kanban” é japonesa e significa “cartão”, “sinal” ou “etiqueta”.

A metodologia Kanban foi desenvolvida por Taiichi Ohno, na década de 50. Este, depois de uma visita aos EUA, utilizou o exemplo dos supermercados norte-americanos, pois permitia-lhe reduzir o material em processamento e os *stocks* intermédios, e desta forma, os custos associados a estas operações, (Oliveira, 2012).

No Lean Manufacturing, o kanban assume-se como uma metodologia específica de controlo de informação e de movimentações de matérias entre diferentes estágios do processo produtivo, (Ohno, 1988).

Esta técnica deriva do sistema de produção pull ou permite que o operador a jusante dê «autorização» para que o operador a montante produza as peças na quantidade necessária. A autorização é dada através de um sinal. Este pode ser um cartão, sinalética luminosa ou sonora, espaços vazios, etc. (Moura, 1989).

O Kanban tem como objetivo a minimização de *stock's* intermédios. Para alcançar esse objetivo, o Kanban utiliza uma produção em lotes reduzidos e cada lote é armazenado em recipientes normalizados com capacidade para um número específico de peças. É atribuído a cada lote um cartão ou etiqueta ou outro sinal ou dispositivo identificativo.

Moura, 1989, defende que este sistema assenta em cinco regras fundamentais:

1. O processo a jusante retira ao processo a montante os produtos necessários acompanhados pelo seu Kanban;
2. O processo a montante produz a quantidade requisitada pelo processo a jusante sem que a produção ultrapasse o autorizado;
3. Os produtos defeituosos não podem ser entregues ao processo a jusante. A causa do defeito deve ser detectada de imediato e resolvida sem que a produção necessite parar;
4. Este sistema é utilizado por ser de fácil adaptação a variações da procura. Estas variações são facilmente detetadas com as acumulações ou faltas de kanbans;
5. O numero de Kanbans deve ser gradualmente reduzido ao máximo de forma a reduzir a quantidade de *stocks* intermédios.

O Cartão ou etiqueta Kanban é uma ordem de produção. Quando o posto de trabalho a jusante consome as peças de um lote envia o respetivo kanban desse lote para o posto de trabalho a montante para que este produza outro lote de peças. A ordem de produção é armazenada no processo a montante até que este produza o novo lote. Por fim é enviada com

o novo lote. Cria-se assim um ciclo de produção fechado. Os postos de trabalho têm sempre kanbans de peças e matérias a entrar e kanbans de saída de peças.

Segundo Bruno Oliveira, 2012, o Kanban funciona como uma ferramenta de gestão e planeamento e sincronização das atividades de produção entre os processos a montante e a jusante. Para isso o Kanban controla a produção de um fluxo de valor, controlando o fluxo de materiais e informação.

Se algum posto ficar sem kanbans isto significa que não é necessário produzir pois o posto que deveria receber as peças está devidamente aprovisionado.

Para que esta metodologia funcione é necessário que os postos de trabalho estejam relativamente próximos para que exista apenas um local de armazenamento intermédio de peças semiacabadas.

<b>Processo</b>		<b>Centro de trabalho</b>										
<b>Cod. do item</b>		<b>No. prateleira estocagem</b>										
<b>Nome do item</b>												
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Materiais necessários</th> </tr> <tr> <td>codigo</td> <td>locação</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>		Materiais necessários		codigo	locação					<b>Tamanho do lote</b>	<b>No. de emissão</b>	<b>Tipo de contenedor</b>
Materiais necessários												
codigo	locação											
												

Figura 6. Cartão Kanban (adaptado de <http://www.sequor.com.br/Mes.aspx?modulo=Andon&seq=8> em 08/12/2015)

Womack, 2004, defende que o Kanban é um simples cartão, tradicionalmente em papel, com informações básicas referente ao lote. Normalmente essas informações são o nome da peça, código da peça, fornecedor interno ou externo, tamanho do lote, código de armazenamento, localização do processo de consume e um código de barras. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, foram surgindo Kanbans tecnologicamente mais desenvolvidos como Kanbans por RFID.

Ainda Segundo Ohno existem dois tipos de Kanbans: O Kanban de produção e o Kanban de transporte. O Kanban de produção, como o nome indica, «autoriza» a produção de um produto ou lote de produtos. O Kanban de transporte é uma lista de indica ao operador que peças e em que quantidade devem ser movimentadas e transferidas.

## 2.4.5 Poka Yoke

O termo “Poka-Yoke” é uma palavra do calão japonês que significa “à prova de erros”. Individualmente “Poka” quer dizer “erros inadvertidos” e “Yoke” evitar.

A metodologia Poka Yoke identifica e previne erros ou defeitos que possam surgir durante o processo produtivo. Assim que o defeito for detetado o processo é suspenso e o defeito é reparado, de modo a que este não se propague ao processo seguinte. Desta forma é feito um isolamento dos erros para que as consequências não se alastrem na linha de produção.

Segundo Shigeo Shingo (Shingo, 1985), os defeitos seriam evitáveis se os erros fossem detetados com antecedência. O Poka-Yoke pretende dar resposta ao problema detetado por Shingo. Para isso utiliza sistemas e dispositivos automatizados de prevenção de defeitos e erros. Estes erros podem ter várias causas como por exemplo, erro humano, falha de equipamentos, etc., (Vieira 2010).

Nos dias que correm a qualidade do produto é essencial para as organizações. As empresas investem elevadas quantias monetárias para garantir ou aumentar os níveis de qualidade dos seus produtos.

Esta ferramenta pretende colmatar os erros que sucedem com maior frequência ou aqueles que causam um maior impacto negativo. Contudo, os erros que ocorrem de forma ocasional, apenas geram um aviso para o operador.

Este sistema sugere a implementação de um conjunto de práticas, durante o decorrer de um processo produtivo, com o objetivo de obrigar a que as operações decorram de forma correta.

Segundo Shingo (1996), o Poka Yoke permite a inspeção de 100% da produção recorrendo a meios humanos ou a meios mecânicos. Este defende ainda que existem duas funções de regulação diferentes no Poka Yoke que podem ser utilizadas para corrigir erros:

- Método de controlo - Esta função, assim que algum erro é detectado, pára a máquina ou linha de produção, para que o problema possa ser corrigido ou eliminado. Este é um método mais pró-ativo e automatizado;
- Método de advertência - Assim que algum erro ou defeito é detetado é acionado alguma espécie de sinalética, sonora ou visual, de forma a alertar o operador. Este é um método mais passivo pois cabe ao operador a responsabilidade de parar a produção se assim o achar necessário.

Shingo afirma ainda que o Poka Yoke é um método para detetar defeitos ou erros e não um sistema de inspeção. A inspeção dos produtos é o objetivo e o Poka Yoke é apenas o método

## 2.4.6 Heijunka

De um modo geral, as organizações dão preferência ao planeamento de lotes de grande dimensão de forma a evitar *setups* pois isso cria problemas para o resto da cadeia de valor. A existência destes *stocks* significa um aumento do custo sem que seja acrescentado valor ao produto.

A metodologia Heijunka pode ser descrita como um conceito de nivelamento de produção ao longo de um período de tempo. O objetivo desta metodologia é evitar os excessos de *stock*, gerar estabilidade na produção e evitar flutuações na quantidade a produzir.

“A tartaruga é mais lenta, mas consistente. Causa menos desperdício e é muito mais desejável do que a lebre veloz que corre à frente e depois paralisa, ocasionalmente, a cochilar. O *Toyota Production System* pode ser realizado apenas quando todos os trabalhadores se tornam tartarugas” Taiichi Ohno, 1988.

O Heijunka é caracterizado por ser um método que defende a alteração da produção de vários produtos para que exista uma produção nivelada e consequentemente o *stock* de produtos seja reduzido. Este método pretende ainda reduzir os riscos de superprodução. É errado pensar que com este método são eliminados *stocks*. Para aplicar corretamente esta filosofia é essencial a existência de *stocks* para reagira a flutuações de encomendas. Este caracteriza-se também por ser um sistema pull uma vez que, apesar da produção estar nivelada e planeada, esta depende sempre se existe nota de encomenda por parte do cliente.

Este define:

- qual o volume de produção adequado para cada dia da semana;
- qual a ordem a produzir e que produtos a produzir;
- o tempo de produção para cada tipo de produto.

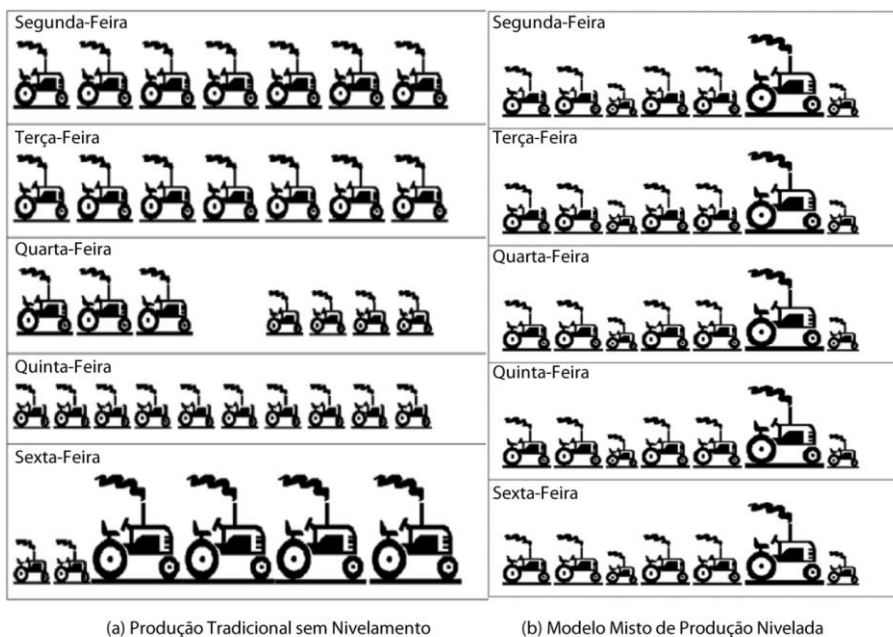


Figura 7. Heijunka (retirado de <http://www.citisystems.com.br/heijunka/> em 08/12/2016)

Na figura 7 podemos comparar um sistema de produção normal com um sistema de produção nivelado.

Por melhores que sejam os resultados da implementação deste método, este não é infalível. Este método está sujeito às flutuações das encomendas dos clientes de curto prazo, pelo que é aconselhável a existência de um *stock* mínimo de produtos acabados, de forma a satisfazer a essas flutuações.

Os modelos mistos de produção nivelada apresentam as seguintes vantagens:

- Maior flexibilidade para satisfazer encomendas a médio e longo prazo;
- Redução dos riscos de superprodução;
- Redução dos riscos de existência de *stocks* de produtos não vendidos;
- Uso nivelado dos equipamentos da linha de produção.

Para implementar este método é necessário haver um histórico da produção, uma boa previsão das encomendas e um histórico das vendas. Através da análise destas informações, esta filosofia, defende que a produção deve ser distribuída e o mais uniforme possível. Muitas vezes correndo o risco de não satisfazer as encomendas caso não exista *stock* suficiente. Contudo também o risco de sobreprodução é menor.

## 2.4.7 Kaizen

Kaizen é uma palavra japonesa que significa “melhoria contínua”. O termo Kaizen é usado para transmitir a noção de melhoria contínua em todos os aspetos da vida quotidiana. A metodologia Kaizen é um dos pilares de base da filosofia Lean, (Green, 2010). Esta metodologia está diretamente ligada à busca pela perfeição que é um dos cinco princípios do Lean. O objetivo do Kaizen é eliminar desperdícios de forma contínua para alcançar a perfeição e conseqüentemente aumentar a produtividade.

A implementação desta filosofia requer o envolvimento de todos os colaboradores da empresa. Esta é uma técnica que agrega todas as ferramentas de melhoria e faz a ligação entre elas. Imai (1996) defende que “Kaizen é um guarda-chuva que abrange todas as técnicas de melhoria, unindo-as de maneira harmoniosa para tirar o máximo proveito do que cada uma oferece.



Figura 8. O guarda-chuva do Kaizen. (adaptado de Imai, 1986 figura 1.1 página 4).

A filosofia Kaizen defende que devemos estar constantemente a melhorar o nosso modo de vida, tanto no trabalho como em casa.

“Hoje melhor do que ontem, amanhã melhor do que hoje!” De Letícia Bade.

Em suma, o Kaizen pode ser caracterizado por oito princípios base, sendo eles:

- Rejeitar o estado atual das coisas. Mudar mentalidades pode ser o passo mais difícil que qualquer organização pode tentar alcançar;
- Não perder tempo a tentar explicar algo que não pode ser feito e partir logo para uma reflexão de como o fazer;
- Implementar imediatamente todas as propostas que acrescentem uma melhoria;
- Não procurar alcançar uma solução que conduza à perfeição. Utilizar objetivos mais reduzidos, mas de forma gradual e continua;

- Corrigir erros no local assim que estes sejam detetados;
- Procurar ideias em alturas de grande stress e dificuldade; Procurar a origem da ocorrência dos erros. Utilizar os “5 porquês?” e procurar alcançar uma possível solução;
- Considerar a ideia de 10 pessoas em vez de ficar à espera de uma ideia genial de uma pessoa; Experimentar e depois validar;
- A melhoria é infinita.

A implementação desta filosofia é feita a todos os níveis das empresas uma vez que o seu objetivo é envolver todos os elementos para tentar melhorar sempre. Para adotar esta filosofia é usual instaurar-se a reunião Kaizen. Estas podem ter uma periodicidade e duração variável. Estas reuniões costumam ter o seu sítio certo, as posições dos funcionários definidas e sempre à mesma hora de forma a ser visto pelos funcionários como parte das suas atividades produtivas.

Para uma implementação eficaz, utiliza-se outras ferramentas Lean como a gestão visual e o ciclo *Plan, Do, Check and Act*, PDCA, onde os funcionários levantam questões a serem tratadas pelas diferentes secções das empresas.

O Ciclo PDCA é considerado por alguns autores como um método científico facilitador das soluções Lean. (Pinto, 2013). O PDCA é utilizado amplamente na implementação da filosofia Kaizen. Este foi promovido por Deming sendo muitas vezes também conhecido como ciclo de Deming. Este método passa por quatro fases:

1. Plan - Planear a mudança, o projeto ou a intervenção;
2. Do - Executar de acordo com o planeado;
3. Check - Verificar se o que foi implementado corresponde ao que foi planeado;
4. Act - Ajustar as mudanças, aprender e reportar os resultados.

A figura 9 e 10 representa um exemplo de utilização do ciclo PDCA para projetos de melhoria continua. Na figura 9 temos o cartão que cada funcionário deve preencher quando deteta uma oportunidade de melhoria. O próximo passo é dado pelo responsável das secções chamadas a intervir. Este deve decidir o plano de Ação e atualizar o quadro (figura 10) de forma a manter todos os funcionários informados sobre o que está a ser feito para resolver o problema.

<b>Manutenção</b>	<b>Pedido/Problema:</b>
	<b>Data Pedido:</b>
	<b>Acção:</b>
<b>Data conclusão:</b>	

Manutenção
Produção
Administração
Logística

Figura 9. Cartão PDCA.

Pedidos em espera	P Planear	D Executar	C Verificar	A Ajustar

Figura 10. Quadro PDCA.

## 2.4.8 Total Productive Maintenance

A manutenção produtiva teve origem nos Estados Unidos da América entre os finais da década de quarenta e início da década de 50. Nessa altura executava maioritariamente tarefas de manutenção preventiva. Este foi o conceito inicial daquilo que viria a ser o *Total Productive Maintenance*.

O TPM foi mais tarde desenvolvido por uma empresa que fornecia componentes para a Toyota Motors Company, durante a década de 60. A Nippondenso. O seu objetivo era apoiar o já referido TPS mas especificamente a produção Just-In-Time uma vez que a paragem de um equipamento numa linha de produção podia provocar um efeito em cadeia e fazer com que toda a produção parasse.

Existem diferentes formas de interpretar o que significa *Total Productive Maintenance*. Manutenção para a Total Produção é a tradução textual. A partir desta tradução podemos dizer que o objetivo desta filosofia é desenvolver um modelo de manutenção para que se possa garantir a produção total. Por outras palavras, aumentar a disponibilidade dos equipamentos, a eficiência do processo produtivo e a qualidade dos produtos. Este é o objetivo do TPM. Ainda assim outras leituras são feitas por diferentes autores. Uma que se destaca é feita por Ribeiro, H. (2007). Este autor defende que:

- Total - Significa todos os colaboradores são envolvidos em todas as atividades com o objetivo de eliminar todos os defeitos, acidentes e falhas;
- Productive - as ações são realizadas enquanto a produção é contínua, para que não hajam paragens no processo produtivo;
- Maintenance - Manter os equipamentos em boas condições.

Tal como na filosofia Lean, objetivo central do TPM é desenvolver uma estratégia para cada organização que permita atingir os zero defeitos, zero paragens e zero acidentes. Para atingir esta meta, é dada especial atenção a seis tipos de desperdício que podem ocorrer no *gemba* ou chão-de-fábrica

1. Falha de equipamentos (falhas naturais ou aleatórias);
2. Tempos de *setup* (troca de componentes);
3. Redução de velocidade do processo
4. Defeitos no processo (defeitos de qualidade);
5. Tempos de paragem (todos os tempos em que não se produz);
6. Redução da taxa de produção.

O TPM segue oito pilares essenciais para a sua implementação e conservação. Estes oito pilares são a melhoria específica, manutenção planeada, autónoma, e para a qualidade, gestão inicial de equipamentos, processos administrativos, formação contínua e, por fim higiene, segurança e ambiente. Estes oito pilares estão assentes numa sólida utilização de processos de melhoria contínua e dos 5'S.

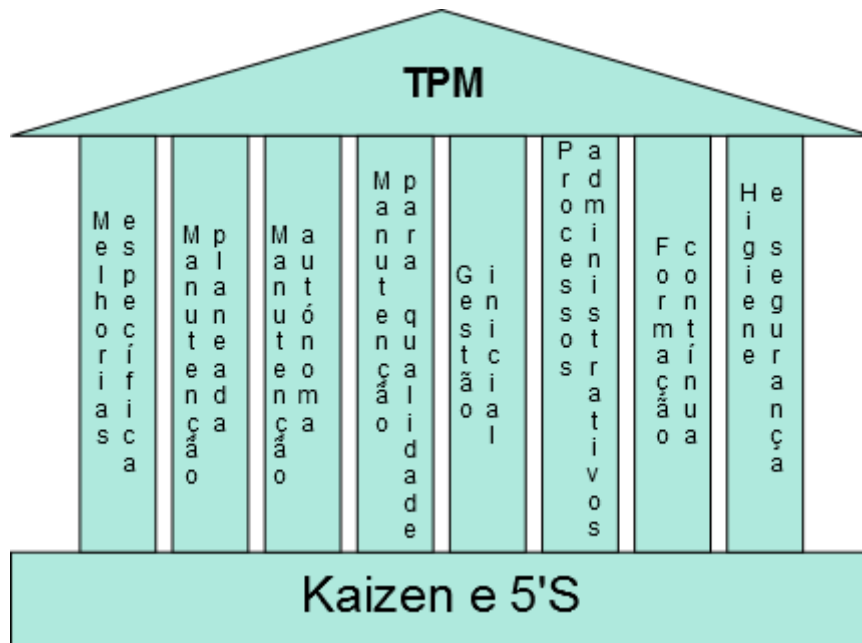


Figura 11. Oito pilares do TPM.

O pilar que diz respeito às melhorias específicas, Kobetsu Kai-zen, refere-se a eventos específicos de melhoria dos equipamentos. Este pilar é a principal ligação entre o TPM e o Kaizen e muitas vezes os eventos ligados a este pilar são chamados de eventos de melhoria contínua. Para isso é identificado um equipamento ou instalação onde a melhoria seja mais significativa e a razão custo/benefício seja mais reduzida. Para fazer essa identificação, muitas vezes, é feita uma análise utilizando métodos de diagnóstico para revelarem as causas raízes dos problemas para que depois possam surgir medidas para as eliminar.

Cabe à manutenção planeada garantir a ausência de falhas nos equipamentos que se traduzam em paragens ou abrandamentos dos ciclos produtivos ou que produzam defeitos de qualidade. Este pilar é o principal responsável por manter os níveis de disponibilidade dos equipamentos no seu máximo. O objetivo final deste pilar e de toda esta filosofia é fazer com que gradualmente sejam realizadas mais manutenções preventivas em detrimento das corretivas.

A Manutenção autónoma envolve todos os funcionários na manutenção dos equipamentos. É pretendido que os operadores dos equipamentos sejam capazes de conduzir pequenas tarefas de manutenção preventiva nos equipamentos que operam. Atividades como inspeções de desgastes o folgas, lubrificação e pequenas intervenções nos equipamentos. Para

que isso possa acontecer é necessário dar formação e as ferramentas adequadas aos operadores. Nesta fase é feita a passagem da responsabilidade do bom funcionamento das máquinas para os operadores.

A Manutenção para a qualidade, hinshitsu hoze, pretende que as linhas de produção não produzam produtos com defeito. O objetivo é garantir que um produto com defeito não chegue ao cliente. Para isso são adotados diferentes sistemas ao longo das diferentes etapas da linha de produção. Sistemas como Poka-Yoke e Jidoka são adotados para evitar a produção de tais produtos.

O objetivo da gestão inicial é, desde o primeiro momento, realçar a importância da manutibilidade e fiabilidade dos equipamentos. A gestão inicial pode ter duas vertentes. Quando é pretendido adquirir um equipamento e quando o projetamos. Ambas as visões devem ter em conta, tanto na escolha final como no projeto, critérios de fiabilidade, robustez, facilidade de manutenção e também produtivos. Estas questões, se não forem asseguradas podem acarretar custos inesperados.

O pilar que trata dos processos administrativos pretende fazer com que a administração da manutenção acompanhe também a mudança e comece a adotar metodologias Lean Thinking de forma a reduzir desperdícios. Estes desperdícios nesta fase são essencialmente o excesso de burocracia ou a falta de registo.

O pilar da formação contínua deve dar resposta às necessidades de formação que possam surgir durante a implementação dos anteriores pilares. Estas formações devem ser constantes de forma assegurar que os operadores têm o conhecimento necessário e para desempenhar as suas funções.

A higiene e segurança deve assegurar que todas as alterações implementadas não reduzem as condições de segurança dos operadores e que não prejudicam o ambiente.

A implementação do TPM e o seu plano varia de empresa para empresa. O plano de implementação pode variar consoante as necessidades das organizações e as suas áreas de trabalho. Traçar um plano de implementação para as instalações de uma empresa no ramo da cerâmica ou no ramo alimentar é completamente diferente. Outro fator que pode fazer com que o plano seja bastante diferente é a atitude perante a mudança. Se, numa empresa, já existem ferramentas Lean aplicadas, essa resistência provavelmente será menor em comparação com uma empresa onde esteja tudo por implementar.

De um modo geral existem cinco razões preponderantes para a implementação do TPM. A melhoria da eficiência de todos os componentes dos equipamentos eliminando os desperdícios referidos em cima. Implementar um plano de manutenção autónoma para promover o sentido de pertença dos equipamentos por parte dos colaboradores. Planear as

intervenções de manutenção com a produção de forma a não interferir com o ciclo produtivo. Formar e treinar as equipas de manutenção nas diferentes técnicas essenciais para o bom desempenho das atividades. Por fim, Manutenção inicial, ou seja, ter em conta a fiabilidade e manutibilidade dos equipamentos a quando da aquisição dos equipamentos.

Os resultados da implementação do TPM serão traduzidos nos indicadores de desempenho das organizações. Indicadores como o OEE ou *Overall Equipment Efficiency*, *MTBF* ou *Mean Time Between Failures* e *MTTR* ou *Mean Time To Repair*, irão sofrer alterações significativas com a implementação do TPM.

$$OEE = Disponibilidade \times Eficiencia \times Qualidade$$

$$MTBF = \frac{\text{tempo total de funcionamento}}{\text{numero de falhas}}$$

$$MTTR = \frac{\text{tempo total de reparação}}{\text{total de reparações}}$$

O indicador *Overall Equipment Efficiency* traduz o panorama geral da eficiência da empresa. Traduzindo, este indicador representa a eficiência global dos equipamentos. Calcula-se multiplicando outros três indicadores, onde: a disponibilidade dos equipamentos é o quociente entre tempo que os equipamentos estiveram disponíveis e o tempo que deveriam estar disponíveis; a eficiência do processo é o quociente entre a produção real e a produção estimada e a qualidade do processo é o quociente entre o total de peças produzidas subtraindo o número de peças com defeito e o número total de peças produzidas.

O MTBF indica os tempos médios entre reparações, ou seja, de quanto em quanto tempo surgem falhas nos equipamentos.

O MTTR traduz os tempos médios de reparações. Este indicador é a média dos tempos de reparação.

# Capítulo 3

## 3 Revisão bibliográfica - Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada é um ramo tecnológico relativamente recente que integra informação digital no mundo físico. Esta tecnologia sobrepõe, de forma regrada, a informação digital sobre um ambiente real de forma a criar um espaço interativo para os utilizadores, (Craig, 2013).

A Realidade Aumentada é descrita por Milgram e Kishino (1994), como um espaço temporal onde é exibido um ambiente real em que são sobreposto objetos ou imagens virtuais de forma a aumentar a perceção do utilizador.

Na década de 70 os computadores eram grandes estruturas que ocupavam divisões e tinham uma capacidade de processamento bastante limitada. A tecnologia evoluiu e nos anos 80 tornou-se possível a utilização mais alargada, ainda que com algumas limitações, com o surgimento dos *Desktops*. Com estes a velocidade de processamento estava a aumentar devido aos novos métodos de produção dos processadores. Foi durante a década de 90 que se deu a massificação dos computadores com o surgimento dos computadores portáteis. Estes surgiram após o desenvolvimento de tecnologias como as baterias de Lítio e os Displays LCD, (Baird, 1999). Hoje em dia temos dispositivos, como os telemóveis, smartphones e Tablets, em que a sua velocidade de processamento é equivalente aos computadores de à 5 anos tornando possível a utilização da Realidade aumentada no quotidiano.

A Realidade Aumentada existe dentro do domínio da realidade mista, pois, só é possível enquanto existir uma mistura equilibrada, de dois ambientes. O ambiente físico e o virtual. É no domínio da realidade mista que surge, entre outras a Realidade Aumentada. Num dos extremos da Realidade Mista temos a o objetivo final da Realidade Virtual que é um ambiente totalmente virtual, onde tudo o que é visualizado é um conjunto de informações e ambientes digitais. Por outro lado, no outro extremo, temos aquele que todos conhecemos, o Ambiente Real.

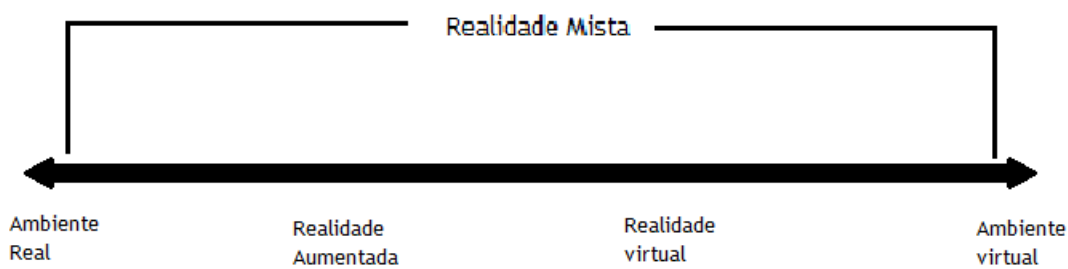


Figura 12. Realidade Mista de Milgram e Kishino. Adaptado de McMahon 2014.

A Realidade Virtual caracteriza-se por um ambiente completamente digital em que os utilizadores navegam por uma realidade paralela através de um avatar para completar tarefas ou para passar por experiências. Estas aplicações, em que o utilizador fica alheio à realidade, são utilizadas na formação, educação e principalmente em jogos. O que distingue a Realidade Aumentada da Realidade Virtual é a natureza do ambiente. A Realidade Aumentada incorpora informação digital ou virtual na visualização de um ambiente real, enquanto a Realidade Virtual utiliza, exclusivamente, um ambiente digital artificial.

Tanto a Realidade Virtual como a Realidade Aumentada partilham a interatividade e capacidade de projeção de conteúdos em três dimensões.

Com a utilização de um ambiente físico real e informação digital a RA permite fornecer aos utilizadores, novas experiências interagindo e recebendo informação que de outra forma seriam demasiado dispendiosas, (Fisher & Baird, 2007).

Esta tecnologia tem vindo a ser introduzida em vários sectores, destacando-se a indústria, comércio, saúde e ciência e educação. A Realidade Aumentada fornece uma ajuda importante em cirurgias assistidas por computador, em reparações complexas como é o caso de alguns exemplos aeronáuticos, etc. (Schall, 2011). Esta tem vindo a ser implementada devido às vantagens que apresenta para as organizações:

- A RA permite que o trabalho seja feito sem que seja necessário perder tempo a verificar se as tarefas foram cumpridas. Elimina assim a necessidade de verificação através de check-list em manuais físicos.
- Permite o visionamento de objetos 3D de forma mais realista. Melhora a compreensão espacial dos utilizadores.

Mas então a RA amplifica ou falsifica a perceção sensorial do ambiente que nos rodeia? À medida que a tecnologia foi evoluindo começaram a surgir céticos. “Seeing no longer believing” (Ma e Choi, 2007). Esta questão do ceticismo, nos dias de hoje não se coloca uma vez que, cada vez mais, estamos familiarizados com manipulação sensorial. Hoje, é

possível estimular todos os sentidos humanos através de impulsos digitais ou virtuais, criando uma nova dimensão de experiências, (Ma e Choi, 2007).

### 3.1 Evolução histórica

Foi no decorrer da década de 60 que a realidade aumentada começou a dar os seus primeiros passos. Para isso ser possível foi preciso a contribuição de três pioneiros. Mort Heileg, Ivan Sutherland e Tom Furness. Os primeiros desenvolvimentos da Realidade Aumentada ocorreram no campo militar.

Mort Heileg pretendia desenvolver um equipamento que permitisse ao utilizador entrar no filme. O objetivo era que o utilizador utilizasse todos os sentido enquanto estava a ver um filme, fazendo com que este pudesse experienciar o que a personagem estaria também a sentir. Este equipamento, *Sensorama*, foi desenvolvido em 1962 e estabeleceu os primeiros passos da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. A *Sensorama* era um interface de imersão total, ou seja, o utilizador, para assistir ao filme, utiliza quase todos os seus sentidos ficando sem contacto com a realidade externa, (Thomas Furness, “*Being the future*” at Augmented World Expo USA, 2015).

A realidade aumentada deu os seus primeiros passos em 1963 quando Ivan Sutherland se evidenciou com a sua tese de Doutoramento, “*Sketchpad, a Man-Machine Graphical Communication System*”. Sutherland teorizava então a utilização da computação gráfica interativa.

A combinação de dados gráficos digitais e ambientes reais surgiu pela primeira vez em 1968 com a utilização de *Helmet Mounted Video Screens (HMD)*, ou seja, dispositivos de transmissão vídeo acoplados em capacetes. Ivan Sutherland estabeleceu as bases teóricas chegando a defender que “a derradeira experiência seria uma sala em que o computador pudesse controlar a existência de matéria, de modo a que uma cadeira virtual fosse criada naquela sala e fosse boa o suficiente para que o utilizador se possa sentar nela. Ou que uma bala, também criada naquela sala e a partir de um elemento digital controlado pelo utilizador, pudesse ser fatal”, (Sutherland, 1968).

O primeiro Hardware a utilizar a Realidade Aumentada como hoje a conhecemos foi o “*Sword of Damocles*” e foi desenvolvido por Ivan Sutherland em 1968. Este *hardware* ficou conhecido como Head Mounted Display. Nesse mesmo ano, Sutherland, publicou um artigo que descrevia detalhadamente o funcionamento do HMD, (Berryman, 2012). O “*Sword Damocles*” utilizava sensores de captação de movimento mecânico e acústicos para detetar os movimentos do equipamento e por sua vez do utilizador. Com este trabalho, Ivan Suntheland deu os primeiros passo não só da realidade virtual como da Realidade Aumentada.

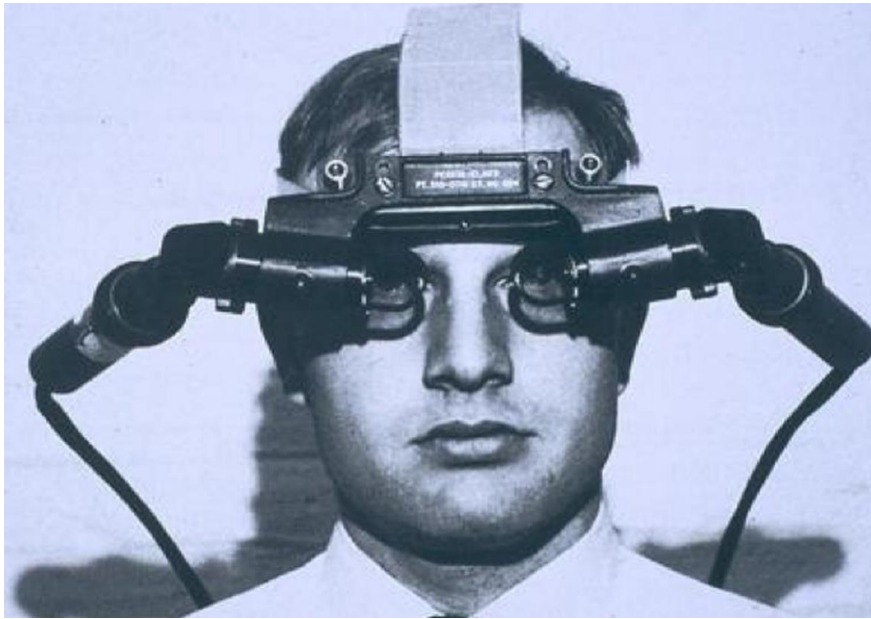


Figura 13 - “1968: Ivan Sutherland’s Sword of Damocles” - Head-mounted-display Retirado de: <http://www.cnet.com/pictures/google-glass-ancestors-45-years-of-digital-eyewear-photos/>.

Em 1967 o Segundo Tenente Thomas Furness começou a desenvolver, para a Força Aérea dos Estados Unidos, um HMD que lhe permitia ver alguma informação durante o voo. Foi em 1969 que Tom Furness conseguiu captar os movimentos da cabeça, associando o sistema de mira eletrônica e os sistemas direcionais de radar. Através deste sistema Furness desenvolveu o primeiro *Helmet Mounted Sights*. O *Visually Coupled System* foi apresentado em 1971 como o primeiro sistema que permitia ao piloto receber informações de voo, direcionar todos os sistemas de armamento dos aviões de combate Norte-Americanos e receber imagens dos sensores de visão noturna. Com a introdução da 2ª geração de aviões de interceção, como o F-15 Eagle em 1972 e F-16 *Falcon* em 1974, surgiu um problema de uma elevada complexidade. Nestes modelos existiam 50 computadores uma vez que tudo era controlado por computador. Esta tecnologia tornou-se conhecida como *Fly-By-Wire*. A desvantagem desta tecnologia era a grande quantidade de dados para analisar e apenas uma pessoa para o fazer e, em algumas situações, apenas alguns segundos para o fazer. Para resolver Tom Furness começou a trabalhar no *Super-Cockpit* que deveria ser um computador “incorporado” no piloto, que fornecia informação do ambiente em 360°. O *Visually Coupled Airborne Systems Simulator* foi desenvolvido em 1981 e tinha um campo de visão de 120°, binóculos, reconhecimento de voz e *eye-tracking*. Foi durante a fase de desenvolvimento que Furness começou a desenvolver a utilização de visualização exocêntrica, que é a visualização de informação do exterior no interior tentando desenvolver um mapa virtual onde o piloto aponta com o dedo uma localização e, de seguida, é sinalizado no ambiente real a localização pretendida, (Thomas Furness, “Being the future” at Augmented World Expo USA, 2015).

O termo Realidade Aumentada foi, pela primeira vez utilizado em 1992 para descrever um avanço no processo produtivo da Boeing, onde eram projetados os prazos ou metas de cada etapa e o tempo real decorrido desde o início do processo. Este avanço ajudava os operadores a completar as suas tarefas na linha de produção de forma a cumprir a meta estabelecida, (Caudel & Mizell, 1992).

Em 1994, Tom Furness começou a projetar um pequeno laser de baixa energia e já modulado de forma a eliminar a imagem intermédia, (*Virtual Retinal Display*). Para Furness este dispositivo podia ser caracterizado tanto como de Realidade Virtual como Realidade Aumentada uma vez que as imagens projetadas pelo laser podem-se sobrepor ao ambiente real, (Thomas Furness, “Being the future” at Augmentes World Expo USA, 2015).

Foi a partir de 2008 que a primeira aplicação de Realidade Aumentada para smartphones foi utilizada, tornando esta tecnologia revolucionária acessível a grande parte da população com aplicações como o *Wikitude* e *Layar*. Subitamente, o ambiente físico à volta dos utilizadores tornou-se um “pano de fundo” onde diversas atividades digitais podiam ser realizadas em simultâneo. Estas podem ir desde a realização de jogos *outdoor* até ao acompanhamento turístico em zonas históricas fornecendo informação detalhada se assim o utilizador o entender. Estas aplicações podem ser utilizadas em smartphones, Tablet ou GPS.

No início do processo de desenvolvimento, as organizações, para implementarem esta tecnologia, tinham que recorrer a grandes computadores fixos. Devido aos avanços tecnológicos, hoje em dia é possível utilizarmos a Realidade Aumentada em dispositivo móveis do nosso quotidiano como telemóvel, Tablet, etc. Estes dispositivos móveis, hoje em dia, estão dotados dos meios necessários de forma a tornar o seu uso possível, (Pence, 2010).

“We can no longer look to a future... we have to be it” Thomas Furness.

### **3.2 Diferentes tipologias de RA**

Existem diferentes abordagens para a criação de aplicações de Realidade Aumentada. Para fazer essa distinção, Hayes, (2010), sugere a distinção em cinco tipos diferentes de aplicações.

1. Superficiais ou táteis - Onde os displays, paredes ou pavimentos servem como realidade que é aumentada. Estes são acionados depois de um toque e fornecem aos utilizadores informações em tempo real.

2. Reconhecimento de padrões ou Marcadores (*Marker*) - Nesta tipo de aplicações, o sistema usa marcadores de forma, *QR Code*, para fazer um reconhecimento do padrão e compara-lo numa base de dados e substitui-lo por um objeto virtual estático ou em movimento. Estes objetos podem ser modelos 3D, peças áudio, informação, vídeos, ou qualquer coisa que exista no mundo digital.
3. Contorno - Neste tipo de aplicações é permitido, ao utilizador, manusear objetos 3D digitais. Isto é possível porque o sistema está a analisar de forma contínua o contorno de um objeto real e o sobrepõe de acordo com o programado. Este objeto real pode ser a mão de um designer durante a conceção de um projeto ou então uma folha de projeto de um arquiteto.
4. Localização, Geo-localização, orientação - Com este tipo de sistemas, a Realidade Aumentada é assistida por um conjunto de sensores que fornecem a posição do utilizador e/ou do dispositivo. Este sistema recorre normalmente a um posicionamento por GPS ou então por triangulação de sinais ou informação.
5. Holograma - Os hologramas são imagens projetadas numa superfície física (exemplo: recorrendo a fumo e a espelhos giratórios). Através dos hologramas é possível criar um ambiente interativo com os utilizadores integrando os hologramas com reconhecimento de imagem ou de voz.

Esta distinção destina-se a diferenciar o objetivo final das aplicações.

### 3.3 RA e sua envolvência tecnológica

A Realidade Aumentada é uma tecnologia ainda em desenvolvimento à medida que outras tecnologias vão surgindo. Com o passar dos tempos vão surgindo novos problemas que necessitam soluções e novos sistemas de Realidade Aumentada vão surgindo adaptando-se aos ambientes e aos utilizadores.

Como já foi referido, podemos definir 5 diferentes abordagens para as aplicações de Realidade Aumentada. Estes vão desde as aplicações superficiais, reconhecimento de padrões, contorno, localização e holograma. Esta distinção é feita por Hayes, em 2010, para diferenciar os objetivos finais das aplicações.

Posto isto, torna-se necessário diferenciar os Sistemas de Realidade Aumentada quanto ao tipo de interface entre a aplicação e o utilizador e o tipo de sensores utilizados.

### 3.3.1 Interface Máquina utilizador

As pessoas têm cada vez mais a necessidade de estar conectadas a qualquer momento e em qualquer lugar. Os utilizadores assumem um perfil nómada no que diz respeito à procura pela informação, abandonando os PC's (*Personal Computers*), e as conexões fixas para aceder à rede em busca de informação. Com esta migração do perfil dos utilizadores surgiram novas oportunidades no que diz respeito ao desenvolvimento de interfaces, (Schall, 2011).

Da mesma maneira que o perfil dos utilizadores mudou, também mudou a tecnologia da Realidade Aumentada deixando esta de ser para uso exclusivamente industrial. A Realidade Mista, especificamente a Realidade Aumentada, assumem um papel preponderante no que toca a satisfazer a necessidade de estarmos permanentemente conectados. O objetivo desta tecnologia é utilizar ou reproduzir um ambiente real integrando informações estabelecendo uma conexão com a esfera digital.

Desde a década de 60, vários tem sido os desenvolvimentos no que diz respeito aos interfaces destinados à utilização da Realidade Aumentada e Realidade Virtual. O mais comum é o *Head Mounted Display*. Tem surgido inúmeras aplicações para o uso quotidiano com recurso a este interface. Torna-se necessário fazer uma análise dos diferentes tipos de interfaces e das variações existentes em cada um.

#### 3.3.1.1 Head Mounted Display

Ivan E. Sutherland, em 1968, com a publicação do seu artigo, "*A head three dimensional display*" deu a conhecer o primeiro HMD. Este chamava-se "*Sword of democles*" e ainda dependia de um gigante computador fixo para o processamento gráfico. O objetivo, segundo Sutherland, era oferecer aos utilizadores imagens que iam alterando à medida que estes se moviam de forma a recriar um objeto 3D. Era essencial que as imagens se alterassem à medida que o utilizador mudava de perspetiva e para isso era necessário interligar a posição do utilizador com as imagens correspondentes.

Um *Head Mounted Display* é um gama de dispositivo utilizados na cabeça. Estes podem ser utilizados em óculos, capacetes, monóculos ou através de *displays* do género dos LCD's. Estas aplicações podem variar muito uma vez que existem diferentes tecnologias que abordam a transmissão de dados digitais, de diferentes dispositivos, para o utilizador.

Importa, portanto, analisar os diferentes tipos de dispositivos mais relevantes utilizados em aplicações de RA.

- Sistema de visão ótica

Os sistemas de visão ótica são dispositivos que, além de permitir que os utilizadores visualizem o ambiente real, tem a capacidade de transmitir imagens projetadas. Este sistema é o mais conhecido tanto em aplicações industriais como para o uso quotidiano. O sistema de visão ótica utiliza a sobreposição de imagens digitais com o ambiente físico em tempo real. Este sistema tem no seu reduzido tamanho, no design apelativo e na possibilidade de visualização do ambiente real de forma direta, as suas principais vantagens, (Ferreira, 2014).

Uma vez que o utilizador tem a capacidade de visualizar o ambiente físico de forma direta, caso exista alguma avaria no sistema, o utilizador não fica impedido de continuar a visualizar o ambiente em seu redor. Os utilizadores têm a perceção visual e respondem sensorialmente às imagens renderizadas através do HMD, e isto torna estas aplicações sistemas óticos com propriedades não só visuais como anatómicas assumindo um papel crítico na avaliação visual dos HMD's, (Rolland, 2005).

Dentro do âmbito dos sistemas de visão ótica surgiu uma inovadora tecnologia. A projeção retinal é uma tecnologia recente, desenvolvida no *Human Interface Technology Laboratory* (HITLab) pelo Dr. Thomas A, Furness III, (Rajeshwari e Srilatha, 2013).

Os sistemas de projeção retinal reproduzem imagens projetando um feixe laser de baixa potencia diretamente na retina. Este sistema produz imagens claras, brilhantes, de elevado contraste e de grande resolução e definição. Uma vez que este sistema projeta a imagem diretamente na retina dos utilizadores, este não necessita de nenhuma superfície ou displays para refletir a imagem. Este sistema surgiu da necessidade de solucionar alguns defeitos do HMD's tradicionais. Este sistema é mais leve, económico e tem melhor qualidade de definição de imagem, (Rajeshwari e Srilatha, 2013).

A projeção retinal ou *Virtual Retinal Display* processa outputs gráficos gerados por computador gerando imagens idênticas às exibidas nos monitores. Estes convertem os outputs VGA, (*Video graphics array*), num sinal que faz a modulação do díodo emissor do laser. O laser é depois modulado em dois espelhos e depois passa por um sistema de lentes que faz o laser convergir num feixe de 0.8mm. Assim que o utilizador alinha o seu olho com o display de saída o feixe de laser modulado criam uma imagem virtual que aparece à distância, (Furness, 2001).

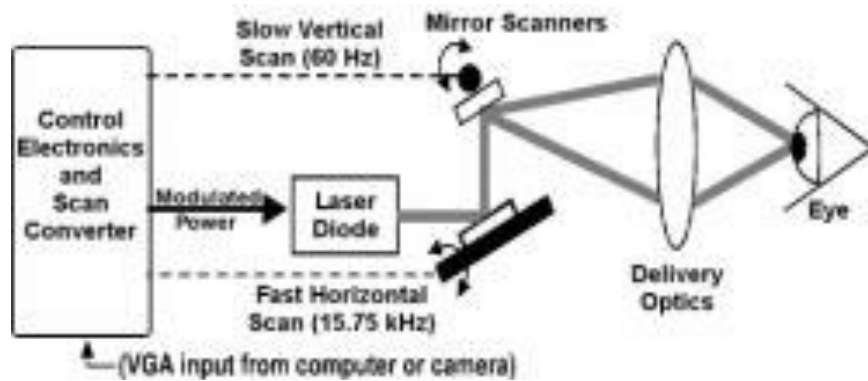


Figura 14. Diagrama esquemático de um dispositivo VRD portátil. Retirado de: Conor P. K., Eric J. S., Erik S. V., John P. K., & Thomas A. Furness III, (2001).

Existe vários aparelhos já completamente desenvolvidos e disponíveis no mercado tanto para uso pessoal, comercial e industrial.

Desde a sua apresentação a 20 de fevereiro de 2013 que o *Google's Glass* se tornaram numa referência do que melhor se fazia. Em 2013 o *New York Times* dizia que as pessoas que utilizavam o *Google's Glass* eram transportadas para um novo mundo em que a internet está sempre ao seu dispor e no seu campo de visão. Estes óculos têm um design apelativo, minimalista e de fácil utilização.

Este projeto de investigação e desenvolvimento da Google, especificamente do *Google X Lab*, tinha o objetivo de desenvolver um HMD utilizando tecnologias «futuristas». Este equipamento tem como principais características a disponibilidade da informação sem mãos, disponível para grande parte dos *smart-phones*. O utilizador poder navegar na internet utilizando comandos vocais e é leve e bastante discreto. Este equipamento pode comunicar com outros dispositivos através da conexão por Wi-Fi ou Bluetooth, (Chaudhani, 2013).

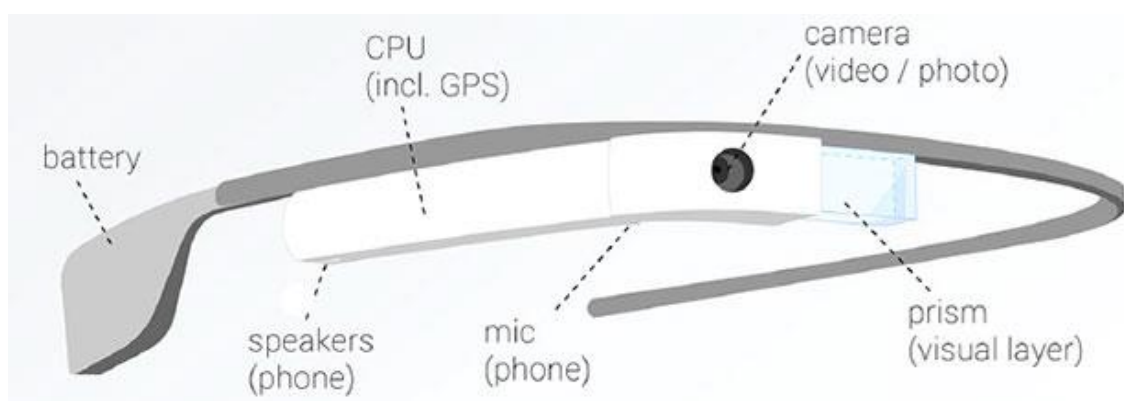


Figura 15. Composição do Google's Glass. Retirado de "Google Glass", Dr. D.N. Chaudhari, 2013

O Google Glass é um sistema de visão ótica de projeção retinal. Este tem um pequeno projetor e um prisma que reflete um pequeno feixe de luz diretamente para a retina do utilizador. Este sistema aumenta a qualidade da imagem ligeiramente transparente, (Chaudhani, 2013).

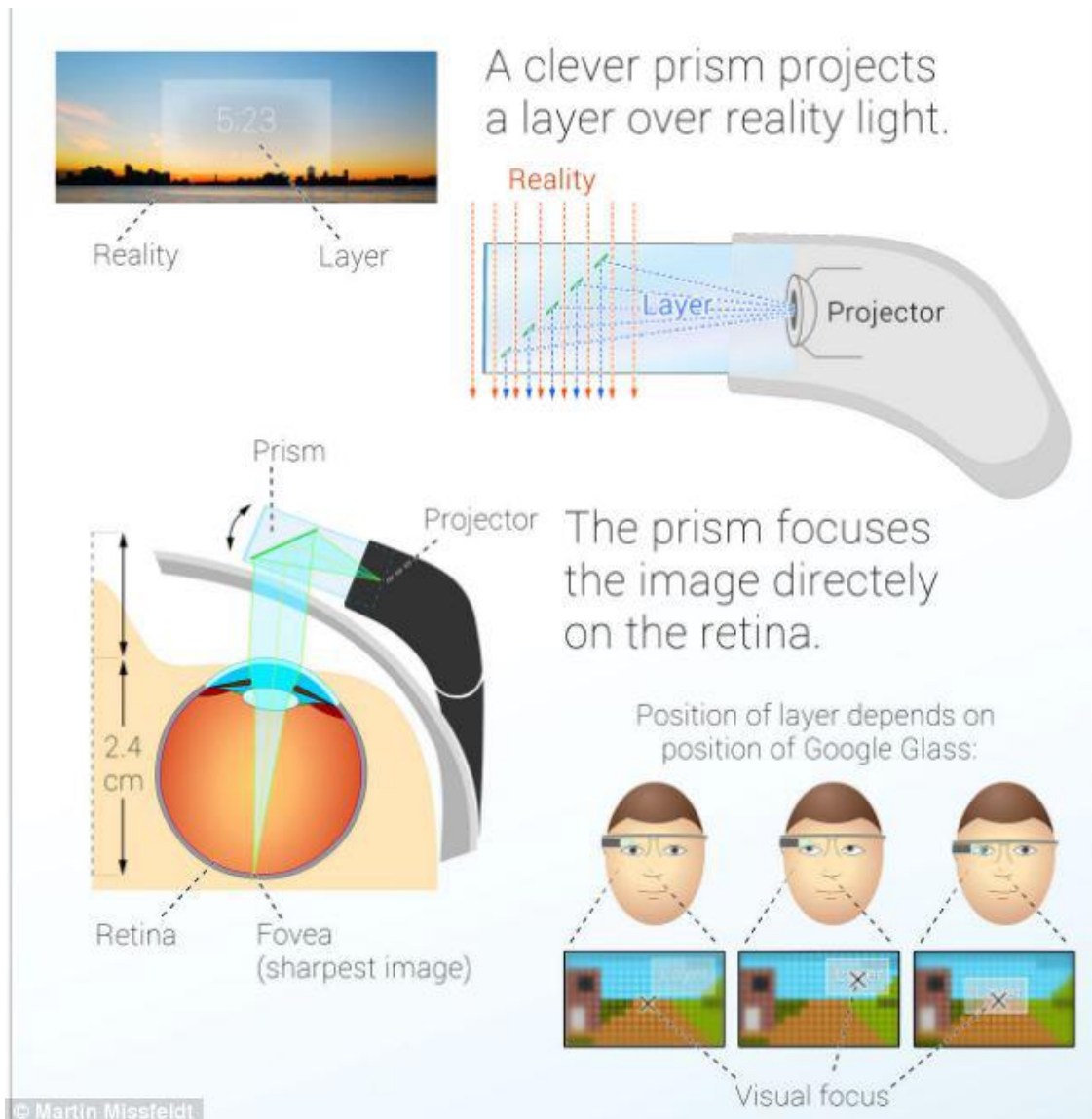


Figura 16. Funcionamento do Google's Glass. Retirado de "Google Glass", Dr. D.N. Chaudhari, 2013

Hoje, existem várias opções no mercado que conseguem competir com o Google's Glass ainda assim este foram o primeiro equipamento completo a definir o que era aceitável para os futuros produtos a desenvolver.

Para suprimir as necessidades do mercado a Epson lançou a gama Moverio. Estes equipamentos destinam-se aplicações industriais. Esta gama de produtos vai desde o Moverio BT200 ao Moverio Pro BT-2000, sendo este último o ultimo produto apresentado até à data. O Epson Moverio Pro BT-2000 tem um sistema duplo de projeção, GPS para fornecer a localização exterior e *Inertial Measurement Unit* - Unidade de medição por inércia (giroscópio e acelerómetro), para o posicionamento interior, camara de 5 megapixel com sensor de profundidade, Bluetooth, Wi-Fi, *KeyBoard*, duas baterias e controlo de voz.



Figura 17. Epson Moverio Pro BT-2000, adaptado de <https://www.epson.pt/pt/pt/viewcon/corporatesite/products/mainunits/overview/16149>

A Microsoft lançou em 2015 o seu equipamento. O *Hololens* é a resposta da Microsoft ao Google's Glass. Este equipamento é compatível com o *Windows 10*. A Microsoft utiliza os sensores já desenvolvidos para sua consola Xbox, o CNET. A utilização destes sensores, que atualmente já são produzidos em larga escala, vai fazer com que os preços do *Hololens* sejam bastante reduzido.

Existem ainda bastantes aplicações a ser desenvolvidas para utilizações específicas. Já em 2016, a *Daqri* anunciou o seu primeiro dispositivo de Realidade Aumentada para aplicações industriais. O *Daqri Smart Helmet* utiliza um uma lógica de realidade aumentada a 4D sendo a nova dimensão a informação. O *Daqri Smart Helmet* utiliza um processador de ultima geração Intel® Core™ m7-6Y75 Processo, utilizam ainda tecnologia *RealSense* da Intel para, segundo a mesma, ver “como o olho humano para detetar profundidade e acompanhar o movimento humano”, *Daqri Intellitrack* para a localização e navegação, Sensores em 360° com vídeo de alta definição, Sensores de visão térmica para manutenção preventiva e reforçar a segurança do utilizador, com um design ergonómico e possível de integrar com o software *Daqri 4D studio augmented work*.



Figura 18. Daqri Smart Helmet, adaptado de <http://daqri.com/home/product/daqri-smart-helmet/>

- Sistema de visão por vídeo

Esta tecnologia é mais conhecida no meio académico como *Video See-through display* ou que traduzido quer dizer visão de vídeo através de um display. Este sistema utiliza a tecnologia da realidade virtual na medida que isola completamente o utilizador do ambiente exterior. Este sistema diferencia-se da realidade virtual na parte de “ver através de” uma vez que o utilizador tem acesso às imagens digitais do ambiente em seu redor enquanto que na realidade virtual é apenas fornecido imagens virtuais estando este privado do contacto com o exterior, (Vallino; 1998).

O sistema de visão por vídeo, tratando-se de uma variação da realidade aumentada, partilha uma semelhança com o sistema ótico. Ambos tem origem em duas fontes de imagens. A real e a gerada por computador. A diferença está na abordagem que ambas fazem. O sistema de visão ótico adota uma abordagem menos invasiva. Já o sistema de visão por vídeo digitaliza todas as imagens, quer do ambiente real quer as gerados por computador, (Rolland, 1994).

Uma vez que o utilizador está isolado do ambiente exterior, este sistema utiliza um conjunto de câmaras alinhadas ou não com os displays, para obter as perspetivas a exibir nos displays.

Uma característica essencial deste sistema é a capacidade de registar o ambiente em redor do utilizador e as suas características. De forma a fornecer uma perspetiva mais realista, é necessário que as camaras estejam muito bem posicionadas para que não surjam falhas na imagem e para que seja otimizando a visão periférica do utilizador. O maior obstáculo para a implementação destes sistemas é o tempo de reação, *lag*, entre o momento em que é medido a posição do HMD e o momento em que a imagem correspondente é exibida. O *lag* nestes sistemas varia entre os 60ms e 180ms, (Rolland, 2000). Este obstáculo é o responsável por grande parte dos erros que ocorrem neste tipo de sistemas.

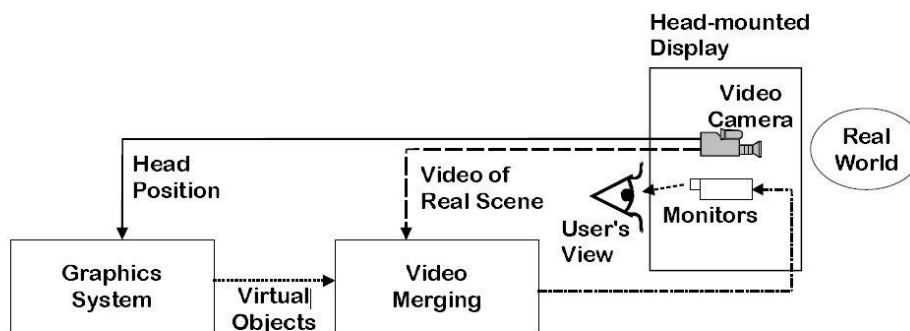


Figura 19. Desenho esquemático do sistema de visão direta por vídeo (adaptado de VALLINO; 1998)

O objetivo em digitalizar todas as imagens é poder tratar cada pixel da imagem e se necessário sobrepor os objetos virtuais, de uma forma mais realista, nítida e com maior contraste, (Rolland, 1994).

Este sistema pode variar dependendo da utilização pretendida. Este pode ser caracterizado como um sistema Binocular, tem um display para cada olho, ou Biocular, tem apenas um display para os dois olhos. Este sistema pode utilizar uma camara apenas desde que acompanhado por um sensor de profundidade ou duas camaras ou mais.

Hoje em dia, com o aumento da capacidade de processamento, tem vindo a ser desenvolvidos sistemas de visão por vídeo para utilizações onde a precisão e a qualidade de imagem são essenciais em detrimento da mobilidade.



Figura 20. Augmented Intervention Assistant (retirado de: <http://kiliankreiser.com/AugmentedInterventionAssistant>).

### 3.3.1.2 Head's up Display

Os sistemas de *Head's up Display*, HUD, são todos os sistemas em que a informação é apresentada ao utilizador. Consequentemente os HMD's são um tipo específico de HUD's, (Mann, 1997 e Asai, 2008).

Este sistema caracteriza-se por um sistema de visão ótico passivo, uma vez que a informação é exibida num display transparente sem que exista a obrigatoriedade dos utilizadores estejam a olhar para ele. Este sistema é fixo e para o utilizador tomar conhecimento da informação transmitida tem que, obrigatoriamente olhar para o dispositivo. O posicionamento deste equipamento é fundamental uma vez que a informação deve estar acessível onde ela é mais necessária.

Os HUD's começaram a ser desenvolvidos nos anos 40 por engenheiros britânicos para a Royal Air Force. Nos dias de hoje, este equipamento é, não só utilizado na aeronáutica militar como na aeronáutica civil.



Figura 21. Mark II Gyro Sights (retirado de: <http://www.spitfiresite.com>).



Figura 22. HUD do Lockheed Martin F-22 Raptor (retirado de: <https://forums.robertspaceindustries.com>).

### 3.3.1.3 Hand Held Display

Os sistemas *Hand Held Displays*, HHD, caracterizam-se pela sua portabilidade e fácil utilização. Este sistema tem várias aplicações que vão desde a Indústria, a Logística até ao Turismo.

O primeiro sistema HHD a usar uma aplicação de Realidade Aumentada foi desenvolvido em 2004. Möhring (2004) desenvolveu uma aplicação de reconhecimento de

marcadores 3D para telemóveis. Estas aplicações apresentavam o primeiro sistema de visão por vídeo para dispositivos acessíveis pelo consumidor. Esta aplicação além de reconhecer os marcadores, fazia também a renderização dos objetos 3D durante uma transmissão de vídeo, (Bieszke,2011).

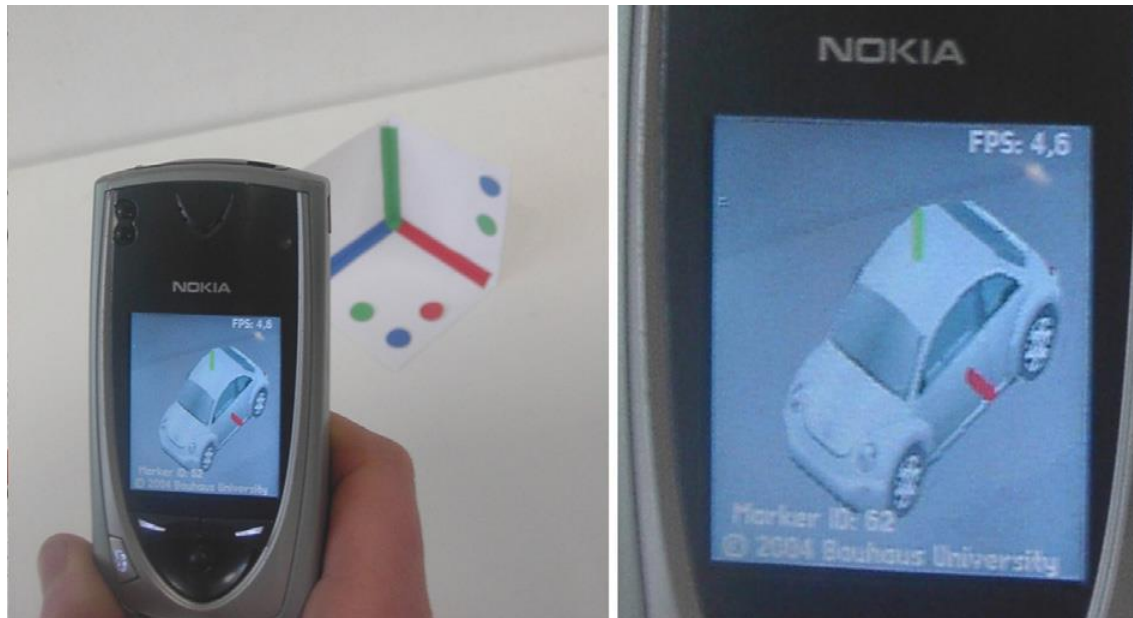


Figura 23. Video see-through através de um telemóvel (Möhring et al. 2004).

Gerhard Schall, em 2011, defendia que existem apenas três tipos de plataformas comerciais disponíveis no mercado, capazes de suportar aplicações que utilizem a Realidade Aumentada. Telemóveis, *Personal Digital Assistant* ou PDAs e Tablet PCs. As três plataformas ofereciam características diferentes no que diz respeito ao tamanho, peso, capacidade de processamento e custo.

O *Wikitude World Browser* foi lançado em 20 de outubro de 2008 e, na versão inicial, permitia aos utilizadores aceder ou criar as suas aplicações. Este *software* dependia do posicionamento dos equipamentos uma vez que não dispunha de nenhum *software* de reconhecimento. O *Wikitude World Browser* veio seguir os passos do *ARToolKit*, sendo este último uma livreria para produzir todo tipo de aplicações de RA, desenvolvido em 1999 por Kato e Billinghurst. O *ARToolKit* adotava inicialmente o sistema de marcas fiduciárias, (Bieszke, 2011).

Estes dispositivos são, na sua maioria, sistemas de visão por vídeo uma vez que, tradicionalmente, captam as imagens do ambiente real e reproduzem-nas acrescentando a componente virtual. Estes dispositivos podem ser apenas leitores de marcas como o *QR Code* ou código de barras, podem transmitir imagens e/ou áudio consoante a posição utilizando assim um sistema integrado de posicionamento ou podem apenas ter um *software* de

reconhecimento de imagem ou comandos vocais. Na maioria das utilizações é sempre essencial a conexão com redes internas ou externas de comunicações.

Hoje em dia, podemos considerar que vivemos uma nova revolução tecnológica. Uma revolução que leva a que exista um computador sempre presente no nosso quotidiano. Os seus efeitos já se fazem sentir, e, novos desafios vão surgindo todos os dias, e os dispositivos móveis e portáteis vão sendo cada vez mais utilizados por cada vez mais pessoas. Esta tendência de uma utilização progressiva e contínua, faz com que a investigação de formas cada vez mais naturais de interfaces entre o utilizador e o dispositivo, seja bastante pertinente, (Schall, 2011).

### 3.3.2 Sensores de posição/orientação

A Realidade Aumentada, como já foi referido, utiliza um input real e aumenta-o com um output digital de forma a criar uma saída combinada de um ambiente real com o digital. Torna-se assim importante compreender de que forma é obtido o output digital.

Uma das formas de obter os conteúdos digitais na altura e no local correto é utilizando sistemas de forma a detetar quer o movimento quer a posição espacial do utilizador. É essencial para grande maioria das aplicações de RA detetarem com o máximo rigor a posição do utilizador, o seu movimento e a posição relativa da cabeça ou dos olhos.

Quando Ivan Sutherland desenvolveu o “Sword Damocles” utilizou um sistema de deteção de posição do utilizador também desenvolvido por ele. Este era um sistema de posicionamento mecânico onde mais tarde desenvolveu e incorporou os sensores acústicos. Thomas Furness utilizou no *Helmet Mounted Sights* um sistema de posicionamento eletro-ótico. Estavam assim criadas as bases dos sistemas de posicionamento.

Hoje em dia podemos verificar que existem 6 tipos principais de sensores de posicionamento.

- Mecânico

Os primeiros sensores mecânicos utilizavam polias em conjunto com cabos ou fios para detetar e, mais tarde, passaram a utilizar braços mecânicos. Estes sensores conseguiam não só fornecer a posição do utilizador como a orientação do HMD.

O giroscópio também pode ser utilizado para fornecer a orientação do utilizador, ou seja a sua posição angular que em conjunto com outros sensores pode fornecer a posição.

- Acústico

Os sensores acústicos têm como principal função captar um sinal acústico e transformá-lo num correspondente elétrico. Estes têm várias utilizações mas a que se aplica a este caso é a captação de sinais mecânico-acústicos e a sua conversão em sinais eletromecânicos. A captação de sinais varia com a natureza do próprio sinal, contudo, esta geralmente é feita por transdutores eletroacústico. Os sensores sonoros podem ser capacitivos, piezoelétricos ou eletrodinâmicos.

Os mais utilizados no desenvolvimento de aplicações RA são sensores que captam sons através de impulsos ultrassónicos de forma a calcular a distancia entre o emissor e o recetor dos impulsos. Utilizando a técnica de triangulação conseguimos saber a posição do utilizador.

Alguns dos sensores acústicos podem ser também eletromagnéticos uma vez que utilizam a variação da intensidade dos campos magnéticos para captar os sinais sonoros.

- Eletromagnético/Eletro-óticos

Existem diferentes tipos de sensores eletromagnéticos, contudo, neste contexto, são utilizados os sensores que funcionam aplicando Infravermelhos. Estes sensores de infravermelhos podem ser ativos ou passivos. Os ativos têm um emissor e um recetor, já os passivos apenas tem um recetor. É mais correto dizer que o sensor de infravermelhos é apenas o recetor.

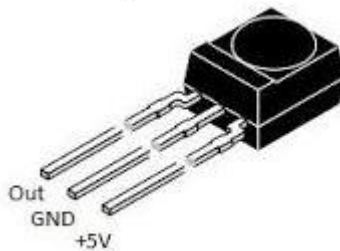


Figura 24. Sensor de infravermelhos. (Retirado de: <http://robolivre.org/conteudo/sensor-de-infravermelho>).

Utilizando um sensor passivo conseguimos por exemplo detetar movimento uma vez que todos os corpos emitem radiação infravermelha.

Com a conjugação de um emissor/recetor, sensor ativo, conseguimos detetar variações de posição.

Nas aplicações de RA é tão comum serem utilizados sensores ativos em que o utilizador transporta um ou mais emissores e os recetores estão fixos pelas instalações, como o inverso.

- Sistemas de posicionamento por satélite

O sistema de posicionamento e navegação mais conhecido é o *Global Positioning System* e é um sistema que consiste na troca constante de informações entre o recetor e pelo menos quatro satélites. Através da posição conhecida dos satélites e da hora recebida é feito um cálculo da distância relativa do recetor a cada satélite para, posteriormente, se fazer uma triangulação e obter a posição com uma margem de erro mínima. Os recetores estão constantemente a processar dados de vários satélites que enviam a sua posição e a hora de forma contínua. Os satélites contêm um relógio atómico e encontram-se todos sincronizados. Utilizando a Hora da Transmissão (HT) e a Hora da Recessão (HR) é calculada a (Hora de Voo) e é esta última que é utilizada para determinar a posição.

Este sistema foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa Norte Americano e ainda está sobre o seu domínio. Este sistema foi inaugurado em 1978 e foi a partir de 1996 que este adquiriu o estatuto de sistema de defesa e civil, passando também a ser operado de início pela aviação comercial e mais tarde difundido em inúmeras aplicações. Existem outros sistemas semelhantes de outros países como o Europeu Galileu, o russo GLONASS e o chinês BeiDou.

Na Realidade Aumentada este sistema é relativamente pouco utilizado uma vez que poucos dispositivos tem a capacidade de comunicar diretamente com os satélites em questão.

Contudo foi desenvolvido, para o uso em telemóveis e outros dispositivos móveis, o *enhanced Global Positioning System*, que utilizem redes GSM. A empresa responsável por este sistema é a Cambridge Silicon Radio em parceria com a Motorola. Este sistema, por utilizar as redes GSM, permite que virtualmente todos os telemóveis possam obter a sua localização em poucos segundos e com um grau de erro mínimo, geralmente na casa do centímetro. Tanto este sistema como a triangulação de sinais são bastante utilizados pelos dispositivos móveis e, consequentemente são uma ferramenta muito importante para a RA.

- Sistemas Híbridos

Nenhum dos sistemas apresentados produz um grau de eficácia satisfatório em todas as ocasiões pelo que geralmente se opta pela utilização de um sistema híbrido de posicionamento. Os sistemas híbridos utilizam pelo menos dois sistemas complementares de forma a colmatar lacunas como por exemplo os sistemas que deverão ser utilizados no exterior e interior. Exemplos destes sistemas híbridos são a utilização de GPS e sistemas de reconhecimento de imagem utilizados em aplicações turísticas.

### 3.3.3 Integração com softwares para a recolha de informação

A Realidade Aumentada e as suas diferentes aplicações, na sua maioria, necessitam de auxílio de outros *softwares* como sistemas operativos de equipamentos móveis ou de sistemas de reconhecimentos de imagem, voz ou gestos. Os métodos que são frequentemente utilizado para o utilizador trocar informações com o sistema são os *keyboard* analógicos ou digitais. Contudo, é possível utilizar equipamentos que não necessitem destes dispositivos, através da utilização de sistemas de reconhecimento, podendo estes reconhecer imagens, movimentos, voz ou texto.

Os sistemas de reconhecimento de imagens recorrem a algoritmos para mapear padrões nas imagens. Estes sistemas atribuem características específicas a cada imagem e, posteriormente, comparam-nas com uma base de dados. Estes *softwares*, tipicamente, só necessitam de uma camara. Estes sistemas podem ser utilizados em aplicações como a simples leitura de QRCodes até para identificar monumentos em aplicações turísticas.

Para o reconhecimento de movimento utilizam-se inúmeros tipos de sistemas para identificar o movimento de partes específicas ou da totalidade do corpo. Sistemas como o TrackIR 5 e TM5 Mini da Eyeteck detetam os movimentos da cabeça e dos olhos. A utilização de comandos gestuais na comunicação é bastante comum e quase tão utilizada como os comandos vocais. O reconhecimento de gestos é uma forma mais interativa e natural de realizar uma troca de informação do tipo utilizador/máquina. Já existem alguns sistemas desenvolvidos nesta área sendo que todos partilham do objetivo final que é reconhecer gestos apenas com uma camara e sem o auxílio de outros sensores, (Rivera et al, 2012).

O reconhecimento de voz permite ao utilizador enviar ordens e informações ao sistema apenas utilizando comandos vocais. Estes sistemas apenas necessitam de microfones.

Os sistemas de reconhecimento de texto permitem ao utilizador inserir texto sem a obrigatoriedade de ter um teclado físico uma vez que o teclado pode ser projetado numa superfície ou através de uma projeção de uma imagem virtual, e através do reconhecimento das mãos, é captado o texto pretendido pelo utilizador. Este sistema pode também fazer o reconhecimento dos movimentos da mão ou de uma caneta e associar esses movimentos com a escrita digitalizando esses movimentos.

### 3.4 Limitações

Mesmo sendo uma tecnologia que teve inicio nos anos 60 e 70, esta continua a ser, nos dias de hoje, bastante inovadora e atual. Contudo esta sofre, na maioria dos casos, das mesmas limitações desde a altura em que a RA foi apresentada. Hoje, qualquer pessoa pode ter acesso a esta tecnologia, basta que para isso utilize um telemóvel, Tablet ou dispositivos HMD ou HUD. Nos dias de hoje as limitações mais pertinente que se colocam na RA são a nível da utilização em espaços interiores e exteriores, perceção de profundidade, sobrecarga de processamento e velocidade de conexão com as redes.

A típica utilização destes equipamentos em espaços interiores e no exterior, devido à obtenção de um posicionamento preciso, constitui um problema que apenas pode ser solucionado com a integração de sistemas ou sensores. Esta integração de diferentes sensores ou sistemas resolve esta problemática, mas acrescenta outras como o peso, design, custo e, principalmente, aumenta a necessidade de processamento do equipamento. A integração de alguns sistemas como por exemplo o de reconhecimento de imagem pode ser problemático pois, no exterior, podem existir condições adversas como chuva ou fraca luminosidade. Estes sistemas requerem uma conexão à rede de dados móveis ou então o equipamento deve ter uma base de dados. Por estes motivos, geralmente estes sistemas são complementados com sistemas de posicionamento.

A Perceção de profundidade é uma das questões iniciais. Esta questão assume uma importância vital quando as aplicações são projetadas com o objetivo de o utilizador interagir com os objetos virtuais como, por exemplo, em cirurgias. Thomas Furness e resolveu esse problema utilizando duas camaras e dois displays. Desta forma era possível ter uma visão da realidade com a profundidade correta. Hoje em dia este método é ainda utilizado, contudo novas tecnologias vão surgindo e outras alternativas vão surgindo. A Epson na sua gama Moverio utiliza apenas uma camara e um sensor de profundidade.

A sobrecarga de processamento, em equipamentos de RA, dá origem a pequenos *delays* ou *lag* e, em último caso, perda de informação ou erro do sistema. Estas sobrecargas podem ocorrer devido à baixa capacidade de processamento ou excesso de dados a processar. É nesta área que se tem assistido aos maiores desenvolvimentos em parte devido aos esforços dos fabricantes de microcomponentes como a Intel, Nvidea, Samsung e Apple entre outros.

A velocidade da conexão com as redes de informação é essencial em todos os equipamentos exceto quando estes tem incorporados uma base de dados e apenas dependem desta. A troca de informação torna-se essencial numa altura em que vivemos a era da informação. Vivemos numa altura em que cada vez mais pessoas sentem a necessidade de estar a aceder a canais de comunicação ou informação 24 horas por dia. Esta informação ao ser trocada pode ter várias origens e fins. Desde a simples informação da metereologia ou

então informação vital como por exemplo os sinais vitais de um paciente durante uma operação. A velocidade com que a troca de informações é feita assume assim um grau de importância de relevo.

Outras limitações como o Peso e o design são cada vez menos pertinentes uma vez que, com a miniaturização dos componentes, os equipamentos estão mais leves e cada vez mais a questão do design é abordada desde a fase de desenvolvimento do produto como essencial para a sua comercialização.

A questão que, cada vez mais, é levantada às aplicações de RA é o seu custo. Quando temos aplicações para telemóveis ou Tablet esta questão é irrelevante uma vez que o equipamento muitas vezes já foi adquirido para outras finalidades. Contudo, a aquisição de um HMD's para uso industrial pode ser bastante dispendiosa uma vez que podem atingir valores na casa dos milhares de euros.

# Capítulo 4

## 4 Filosofia Lean e a Realidade Aumentada

No primeiro capítulo foi apresentado a filosofia Lean como um conjunto de ferramentas ou metodologias para a gestão de processos e atividades. Esta tem como objetivo reduzir o desperdício, de material, tempo, recursos humanos ou de atividades que não acrescentem valor. Foi também apresentado a Realidade aumentada como uma ferramenta que permite o acesso aos canais de informação de forma instantânea e praticamente em qualquer local. A RA permite que um utilizador esteja constantemente rodeado da informação que ache pertinente. Foi também apresentado diferentes tipologias de ferramentas e tecnologias associadas à realidade aumentada.

Este capítulo e os seguintes tem como objetivo fazer um breve estudo sobre a associação da Filosofia Lean com a Realidade Aumentada para demonstrar de que forma a RA pode influenciar a implementação e utilização de ferramentas e metodologias Lean.

Existem alguns pequenos exemplos de aplicações que utilizam a tecnologia da RA em conjunto com filosofias Lean. Contudo ainda são poucos os exemplos e ainda menos conhecidos os seus resultados. Na sua maioria ainda estão em fase experimental. Exemplos esses abordados mais à frente.

### 4.1 Metodologias e ferramentas Lean implementadas com o auxílio da Realidade Aumentada.

Hoje é possível encontrar alguns processos, puramente industriais, que são executados com o auxílio da Realidade Aumentada. Grande parte destes equipamentos foram projetados para secções específicas da linha de produção e oferecem um auxílio etapa por etapa. Como exemplo disso temos empresas como a Alcar Itália, que produz peças para máquinas agrícolas, construção civil e gruas telescópicas, utiliza dois tipos de equipamentos na linha de produção. Estes equipamentos dizem ao utilizador que peça a colocar, onde colocar e que ferramenta deve utilizar. Estes equipamentos foram desenvolvidos pela empresa italiana SIMULO. A empresa DHL é outro exemplo numa área diferente. Esta utiliza a RA na otimização das tarefas de picking utilizando o *Pick-by-Vision* onde o operador apenas necessita de olhar para a encomenda para a seleccionar. Estima-se que esta tarefa, com a utilização da RA, reduz os erros em 40%.

A RA, nas aplicações industriais conhecidas, tem como objetivo auxiliar os operadores a diminuir os tempos de transição entre as pequenas tarefas produtivas de forma a reduzir os tempos gerais da produção. A RA consegue acompanhar o operador em todo o processo produtivo e fornece informações em tempo real. É esta funcionalidade que lhe permite reduzir os tempos de *setup*, aumentando a eficiência geral da organização. A RA permite que a organização seja mais dinâmica na produção uma vez que esta ferramenta pode permitir que a mesma linha possa produzir vários produtos.

As aplicações de RA existentes hoje para a indústria ainda estão em fase de desenvolvimento.

Não existem ainda equipamentos de RA para a implementação de metodologias Lean. No entanto é possível teorizar sobre as melhorias que estes dois conceitos associados poderiam trazer às organizações uma vez que, separados, estes já deram e continuam a dar provas de que forma podem influenciar os kpi's das empresas.

## 4.2 Implementação tecnológica.

Para fazer o estudo sobre a influência da Realidade Aumentada na implementação e utilização de ferramentas Lean é necessário definir um equipamento modelo a utilizar nas aplicações para as diferentes ferramentas Lean. Para isso foram analisadas as características de diferentes equipamentos disponíveis no mercado que reuniam características essenciais. Todos os equipamentos analisados tem um sistema de recolha de imagem, um processador para que possam executar tarefas de modo independente, um sistema de troca de dados com a rede. Os diferentes equipamentos utilizam um sistema de visão ótica uma vez que estes sistemas são mais leves, mais baratos e, em caso de falha ou avaria, não impossibilitam o utilizador de continuar a desempenhar as suas atividades.

O equipamento ideal deverá ter uma autonomia de 8h de forma a conseguir completar um turno de trabalho, não deve condicionar os movimentos e deve ser leve o suficiente para não causar desconforto ao utilizador. Numa tentativa de satisfazer as características referidas foi elaborada uma matriz decisão para melhor compreender os dados dessa análise. **Tabela 1.**

Peso ponderado	2	1	3	2	2	2	3	3	3	3	2	Total ponderado	percentagem
Características	Capacidade de processamento	Capacidade gráfica	Peso	Mobilidade	ergonomia	Preço	Autonomia	Interface	Sensores	Robustez		66	83
Epson Moverio bt2000	3	3	3	3	2	1	2	3	3	3		66	83
Epson Moverio bt200	3	2	3	2	2	3	2	2	2	3		59	78,66666667
Google's Glass	2	2	3	3	3	2	3	1	2	1		57	76
Microsoft Hololens	3	3	2	2	3	1	1	3	3	2		56	74,66666667
Sony SmartEye/Glasses	2	2	2	2	3	3	1	2	2	1		49	65,33333333
Vuzix M100 Smart Glasses	2	2	2	3	1	3	3	2	2	2		57	76
Meta 1	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2		53	70,66666667
Recon Jet	2	2	3	3	2	3	2	3	3	2		65	86,66666667
Glass up	2	2	3	3	3	3	3	1	1	2		58	77,33333333
Ather Air Glasses One	2	3	2	2	2	3	2	1	2	3		52	69,33333333

Tabela 1. Matriz decisão

Os aparelhos foram avaliados segundo as seguintes características: capacidade de processamento, capacidade gráfica, peso, mobilidade, ergonomia, preço, autonomia, facilidade de utilização do interface, sensores e a robustez.

O peso ponderado foi atribuído de acordo com a relevância de cada característica para o resultado final. Este peso ponderado assume valores de 1 a 3 tal como as notas a atribuir na avaliação de cada componente. Antes de analisar os equipamentos definiu-se os requisitos para atribuir cada classificação em quase todas as características dos equipamentos. Ficaram de fora alguns requisitos em que a sua avaliação é um pouco subjetiva.

Legenda			
	1	2	3
Peso ponderado	pouco importante	importante	muito importante
Preço	superior a 3000	entre 3000 e 1500	menos que 1500
peso	mais de 0,7	0,7 e 0,4	menos que 0,4
Mobilidade conectividade	Não tem	tem 1 tipo	tem vários tipos
Autonomia	menos de 4h	entre 4h e 8h	mais de 8h
Sensores	não tem	posição	posição e outros
interface	não tem teclado	tem outro tipo	tem

Tabela 2. Legenda da Matriz decisão

O equipamento escolhido foi o Moverio BT2000 da Epson. Este equipamento foi projetado especificamente para aplicações industriais, possui uma boa autonomia e é possível trocar a bateria aumentando assim a autonomia dos mesmos. Estes equipamentos são robustos sem que isso signifique pesados. Podem ser utilizados tanto no exterior como no interior devido a um sistema híbrido de posicionamento. A gama Moverio BT2000 dispõe de um teclado auxiliar podendo este ser preso ao braço e a conexão com a rede é feita através de Bluetooth 3.0 e 4.0 ou wi-fi, A grande desvantagem deste equipamento é o seu preço uma vez que ronda os 3000 dólares. Contudo outra excelente escolha seria o Recon Jet que fica a apenas um ponto percentual do modelo escolhido.

A implementação de ferramentas que recorram à RA não está limitada aos HMD como já foi referido. Hoje em dia vivemos numa altura de desenvolvimento e de exploração das possibilidades dos *Wearable Computers* como os óculos de realidade aumentada ou mesmo os *Smart Watches*. Estes dispositivos podem ter aplicações tanto domésticas como industriais.

### 4.3 Limitações para a implementação.

Como já foi referido cada equipamento tem as suas limitações. Geralmente estas podem prender-se com a maior dificuldade dos equipamentos em fornecer ao sistema a sua posição exata quando se encontram em locais fechados, a exposição a condições climatéricas adversas, a utilização destes em ambientes industriais devido à fragilidade que tipicamente caracteriza equipamentos de elevada complexidade tecnológica. Estas são as limitações que têm origem nos equipamentos. Contudo existem outro tipo de limitações que dependem apenas do operador.

A necessidade de conexão aos canais de informação pode ser uma constatare dependendo da arquitetura da aplicação e da capacidade de armazenamento dos equipamentos. Grande parte dos equipamentos tem uma boa capacidade de processamento de informação mas uma limitada capacidade de armazenamento. Em alguns equipamentos isso é resolvido com a incorporação de cartões de memória. Outros, devido à impossibilidade de adotar soluções idênticas, essa necessidade é suprimida pela constante troca de informações com a base de dados central. Esta constante troca de informações pode levantar a questão da dependência de uma conexão com os canais de informação e, em caso de falha desta, os equipamentos perdem a sua utilidade. A velocidade com que a troca de informação é feita não depende dos equipamentos de realidade aumentada. Este facto influencia diretamente o desempenho e a utilidade das aplicações uma vez que estas só são uteis enquanto fornecerem informações atuais ao utilizador. Esta limitação torna-se relevante na conceção de aplicações que tenham como finalidade a sua utilização em locais de fraca cobertura de rede e a espaços confinados.

A adaptabilidade do operador é um fator de enorme importância. Os fabricantes de sistemas de projeção ocular advertem que a utilização prolongada destes tipos de equipamentos pode causar náuseas e tonturas nas primeiras utilizações. Os mesmos fabricantes também defendem que estes efeitos têm tendência a revelarem-se em utilizadores de uma faixa etária mais elevada. Apesar de estes sintomas serem passageiros, não é possível ignorar esta possível consequência. Outra consequência da adaptabilidade dos operadores é a facilidade de utilização de novas tecnologias. Sendo esta tecnologia relativamente recente, e avançada, é importante ponderar se os operadores tem conhecimentos e/ou capacidade para poder utilizar os equipamentos de forma correta. A filosofia Lean defende que o bem mais essencial e indispensável de qualquer organização são os seus funcionários. Para isso é importante que o seu bem-estar esteja devidamente defendido. Desta forma é importante ponderar nas limitações referidas uma vez que algumas delas podem ir contra este ideal ainda que apenas durante um período de habituação.

Outra limitação que em tempos foi relevante foi a questão da ergonomia dos equipamentos. Concretamente o seu peso e como este era distribuído. Reconhecendo esta

problemática, as empresas desenvolveram diferentes soluções. A Epson, nos seus equipamentos para uso profissional e prolongado, decidiu dividir o equipamento em duas partes repartindo o peso entre a cintura, braço e a cabeça. Na cabeça estão as unidades de recolha de dados e os displays. Devido à robustez do equipamento, a Epson optou por suportar os óculos com uma banda ajustável à cabeça do operador em detrimento da solução tradicional de dividir a carga entre o nariz e as orelhas. Na cintura está a unidade de processamento e as baterias. No braço está apenas o interface. Outras marcas decidiram-se por soluções idênticas. A Daqri é outro exemplo disso. Estes optaram por colocar o equipamento num capacete que tem dois objetivos. O primeiro é proteger o operador e o segundo é proteger os componentes essenciais do equipamento. O peso é dividido entre a parte da frente e a parte de trás para equilibrar. Contudo este encontra-se na sua maioria na cabeça. Ainda que este equipamento esteja em fase de desenvolvimento, a marca está a apostar em reduzir o peso da forma tradicional. Através da utilização de componentes com tamanhos reduzidos e leves. Nos dias de hoje, com a evolução tecnológica, quando falamos da questão do peso dos equipamentos, podemos abordar esta questão como uma questão de conforto. Contudo nem sempre foi assim. Há poucos anos a RA para uso quotidiano ou industrial era descartada por diversos motivos sendo este um dos principais. Desta forma é importante reconhecer o esforço feito pelos fabricantes nesta área. O grande exemplo disso são as dimensões reduzidas do *Google Glasses*.

Outra grande limitação é o custo do desenvolvimento e aquisição de aplicações profissionais de RA. As aplicações profissionais de RA e que tenham a necessidade de acesso a base de dados tem um grau de complexidade elevado. A arquitetura de tais aplicações a sua programação e teste necessitam de bastante tempo e meios. Isto faz com que se torne estas aplicações tenham um elevado custo. Ainda assim já existem empresas em Portugal a desenvolver tais aplicações. Em último caso tudo se resume a uma relação custo/benefício e à análise que as organizações devem fazer. Em suma é importante também ter noção das dificuldades em desenvolver tais aplicações.

# Capítulo 5

## 5 Modelos de Implementação

Conforme já foi referido, ainda existem poucas aplicações de Realidade Aumentada específicas para filosofias ou metodologias Lean. Ao longo deste capítulo vai ser sugerido um modelo de implementação para as ferramentas e metodologias anteriormente analisadas.

As propostas de modelos de implementação utilizam os óculos de realidade aumentada Epson Moverio BT2000. Estes foram selecionados no capítulo anterior através de uma matriz decisão.

As propostas de implementação são para aplicações industriais sem nenhuma área específica. Neste capítulo vão ser revistas as ferramentas Lean já analisadas mas oferecendo, para cada um delas, uma alternativa para a sua implementação ou utilização que utilize a tecnologia da Realidade Aumentada.

### 5.1 Just in Time.

A filosofia *Just In Time* é uma pedra fundamental de toda a filosofia Lean. Esta caracteriza-se por defender que todos os produtos ou equipamentos devem ser entregues apenas quando são efetivamente necessários. O JIT não só defende a entrega de materiais no momento certo mas também na quantidade certa de forma a eliminar a existência de *stocks*, (Ohno, 1988).

Já existem aplicações no mercado que utilizam esta filosofia. Geralmente estas aplicações utilizam o JIT e a metodologia Kanban em conjunto.

As aplicações de RA para a implementação e conservação do JIT tem sempre o mesmo objetivo principal: passar ao operador a informação necessária para que seja possível fazer uma gestão dos materiais ou equipamentos em tempo real. Para isso é necessária uma troca constante de informação. A RA neste caso serve como interface entre o operador no terreno e o programa para que esta troca de informação não afete significativamente a produtividade.

Existem dois tipos de aplicações de RA para aplicação da filosofia JIT.

No primeiro sistema a recolha das informações é feita por via de sensores que posteriormente envia um alerta para o operador para que tenha conhecimento do material

ainda disponível. O operador vai visualizar essa informação no display dos óculos sem interromper as suas atividades produtivas. Cabe ao operador, assim que o nível de material seja inferior a uma determinada quantidade, efetuar um *report* a requisitar abastecimento. Para isso basta utilizar o teclado dos óculos ou o reconhecimento de voz se existirem condições para utilizar essa função. Em suma, o sistema recolhe a informação e o operador analisa-a e toma a decisão.

Este sistema pode ser aplicado em fábricas que utilizem sistemas de kanbans. Um operador de um posto específico de uma linha de produção necessita de ser abastecido regularmente para que esta não pare. Se, esse posto de trabalho estiver implementado o sistema de kanbans com marcas fiduciais, a aplicação pode fazer a leitura e informar o operador dos níveis de *stock* disponíveis para que este possa tomar a decisão de requisitar abastecimento. Isto permite que seja feita uma gestão de *stocks* utilizando a filosofia JIT.

O segundo é o oposto do anterior. O operador insere no sistema informações sobre o nível de *stock* e o sistema faz a análise. Cabe ao sistema calcular o tempo que poderá continuar a trabalhar sem abastecimento e garantir que o abastecimento chega precisamente nessa altura.

Desta forma existe uma maior transferência de informação e um maior rigor na análise dos dados uma vez que estes são atualizados em tempo real.

## 5.2 5'S.

Tal como foi dito no capítulo 2, o método 5'S é apenas um conjunto de práticas para ter e manter o local de trabalho organizado e apenas com o material necessário para as suas tarefas diárias.

Através da utilização deste método em conjunto com a RA, é possível auxiliar o operador e indicar uma série de normas a cumprir de forma a manter o seu local de trabalho limpo, arrumado e com o essencial.

Utilizando o sistema de reconhecimento de imagens, o sistema pode reconhecer a ferramenta e indicar ao operador o local de arrumação dos equipamentos. Essa indicação tanto pode ser feita realçando o local onde deve ser arrumada como fornecer indicações escritas. Outras técnicas de reconhecimento como o QRcode podem ser utilizadas para fornecer indicações ao sistema. Um QRcode num equipamento pode dar informação de que equipamento se trata e cruzando os dados o local onde deve ser arrumado. Outro QRcode pode indicar qual a secção, fila, armário, quadro de ferramentas ou gaveta o operador está a

ver. A utilização destes QRcode pode ser uma alternativa para fornecer ao operador a posição ideal de arrumação das ferramentas.

No entanto isto não tira partido das capacidades do equipamento escolhido. Como este tem um sistema de reconhecimento de imagem, posicionamento e de profundidade, a aplicação pode ser feita sem utilizar QRcode ou outras marcas fiduciais.

No sector da manutenção, por exemplo, é possível imaginar um técnico a receber uma ordem de manutenção via RA. Antes de proceder à reparação este deve retirar os equipamentos/ferramentas sendo que o sistema lê e regista essa informação. Após completar a ordem de manutenção o utilizador é informado que deve proceder à arrumação das ferramentas previamente retiradas apresentando a lista. Pode ser possível seleccionar a ferramenta da lista e o sistema fornecerá então indicações para o técnico chegar ao local indicado e realçado através de imagens virtuais projetados nos óculos. Este sistema seria apenas para manter um local devidamente arrumado. Este já deve ter implementado os 5'S.

É possível que um sistema forneça informação passo a passo para que o sistema possa acompanhar a implementação desde a fase inicial.

Podemos imaginar um técnico de armazém a implementar os 5'S com o auxílio da RA. Como já foi referido os 5'S são i) Seiketsu, ii) Seiri, iii) Seiso, iv) Seiton e v) Shitsuke. Triar/separar, organizar, limpar, Padronizar e Disciplinar respetivamente.

É possível a aplicação pedir ao operador que defina os diferentes tipos de equipamentos existentes e um local provisório para os depositar sendo sempre possível acrescentar novos tipo ou novos locais. Esta informação é inserida por meio do reconhecimento de voz ou utilizando um teclado virtual em conjunto com o sensor de profundidade e a camara de filmar ou então um teclado real. Inserido os devidos locais, a aplicação irá pedir ao utilizador que inicie o registo dos artigos a arrumar e de que tipo estes são para que possa de seguida indicar a posição temporária a depositar.

Após a etapa anterior estar concluída, a aplicação pedirá ao operador para definir o local definitivo e informar de que forma deve ser feita uma arrumação para otimizar a organização do espaço. Por exemplo por rotatividade dos equipamentos ou por tipo de equipamentos. Esta informação pode ser fornecida através da exibição de uns tutoriais antes de iniciar a organização real.

Tendo o local arrumado e organizado é pedido ao técnico que proceda à limpeza do local removendo toda a sujidade e é pedido que identifique as fontes de sujidade para que estas sejam eliminadas.

Na fase seguinte é pedido ao utilizador que insira quais os objetos de trabalho que utiliza todos os dias e qual o local de trabalho onde estas devem estar. Contudo antes disso

deve ser dado, também sobre a forma de tutoriais, informação ao utilizador de como ter um local de trabalho organizado e com os objetos necessários sempre acessíveis.

A última etapa deve ser feita de maneira continuada de forma a manter o local de trabalho sempre arrumado. Deve ser criada a obrigatoriedade de todos os dias o utilizador fazer o “varrimento” do seu local de trabalho para que o sistema possa informar da falta ou excesso de materiais no seu local de trabalho. Para isso a aplicação utilizará as capacidades de reconhecimento de imagens dos óculos. Desta forma é pedido ao utilizador que retire os objetos que não devem estar naquele lugar e, estando esse objeto referenciado, forneça a localização correta de arrumação.

Nestas duas últimas sugestões de aplicações é possível utilizar o sistema de reconhecimento de voz e imagem, sensor de profundidade, posicionamento e camara de filmar. Os óculos escolhidos têm um sistema de auscultadores sendo possível ser transmitido informação por essa via. No entanto, a primeira aplicação destina-se a uma utilização em chão de fábrica pelo que é importante o técnico estar consciente do que se passa ao seu redor. Desta forma não é aconselhável a utilização de auscultadores

Com esta aplicação é possível implementar os 5’S de forma acompanhada. Isso poderá fazer com que a resistência à mudança seja menor.

### 5.3 Single Minute Exchange of Dies

Como já foi referido no capítulo 2, o SMED ou *single minute Exchange of dies*, tem como objetivo central executar as tarefas de trocas de *setup* no mais curto espaço de tempo possível. O *setup* é uma atividade de mudança de moldes, ferramentas ou consumíveis de uma máquina. Idealmente este método defende que essas atividades devem ser realizadas num espaço de tempo inferior a dez minutos. Para conseguir alcançar esse resultado faz-se uma distinção de tempos de *setup*. A troca de *setup* interno e externo. As primeiras apenas podem ser realizadas com o equipamento parado já as segundas podem ser feitas com o equipamento em funcionamento.

A realidade aumentada pode oferecer uma ajuda importante na busca constante da redução dos tempos de *setup*.

Quando temos equipamentos com capacidade para produzir diferentes produtos com uma simples troca de molde ou ferramenta torna-se essencial analisar as perdas devido a essas trocas de *setup*. Como exemplo disso temos a indústria da cerâmica que com a mesma prensa consegue produzir milhares de peças diferentes trocando apenas o molde.

Imaginemos uma fábrica em que a produção de peças alterna ou seja a mesma máquina, por dia, pode produzir mais do que um tipo de peças. Imaginemos ainda que nessa fábrica existe uma equipa de afinadores que a única tarefa é avaliar e trocar os moldes procedendo à sua afinação. O objetivo de qualquer aplicação de RA para esta filosofia é não só reduzir os tempos de *setup* mas também facilitar a tomada de decisão dos operadores fornecendo informação relevante em tempo real.

A aplicação deve fazer o acompanhamento das atividades de troca de *setup* interno e externo. Antes de iniciar o processo a aplicação deve pedir informação ao operador sobre a atividade a realizar. Qual o tipo de molde e em que equipamento deve ocorrer a substituição. Este pedido pode ser feito através do display em que o operador apenas tenha que selecionar o molde correto de uma lista predefinida e o mesmo com o equipamento. De seguida a aplicação deve informar o operador para se dirigir ao local correto para realizar as atividade de *setup* externo e que ferramentas deve levar consigo. Uma vez no local, o operador irá ver como realizar as atividades enquanto as está a realizar, ou seja, vai estar a ver o equipamento, ambiente real, e como deverá executar a tarefa seguinte. No fim das atividades de *setup* interno executar-se-ão as atividades de *setup* interno, caso estas sejam necessárias. Estas deverão ocorrer de forma semelhante. A aplicação cruzará a informação do ambiente real com a demonstração de como realizar a tarefa seguinte. Estas demonstrações virtuais podem incidir sobre como apertar o parafuso do “fixador”, quais os procedimentos a adotar para realizar a atividade em segurança, como alinhar o molde superior com o inferior ou até como alinhar o molde com a base do equipamento.

Utilizando esta aplicação não só será possível realizar esta tarefa com o auxílio de informação correta e pertinente, como medir os tempos de *setup* para que estes sejam uma constante conhecida para que posteriormente se possa tentar melhorá-los.

É ainda possível auxiliar o operador na tomada de decisão disponibilizando informação sobre o número de peças realizadas por aquele molde ou o número de horas de serviço daquela ferramenta.

Com esta aplicação não só se tenta combater a ocorrência de erros na substituição de moldes, ferramentas e consumíveis, como também os desvios nos tempos de troca de *setups*, tornando assim as empresas mais competitivas.

## 5.4 Kanban

A palavra japonesa Kanban significa “cartão”, “etiqueta” ou “sinal”. Esta é uma ferramenta de controlo de informação e de movimentações de matérias entre diferentes etapas do processo produtivo. É uma ferramenta de gestão visual que controla a quantidade de produtos em armazém, em produção e o abastecimento e movimentações de componentes.

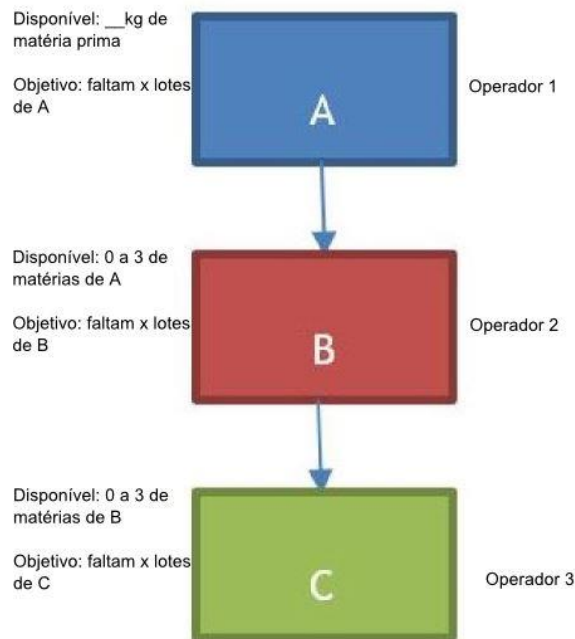
Regra geral, as empresas recorrem à utilização de kanbans para manter sobre controlo o que produzem, quando produzem, em quanto tempo, com que qualidade e em que quantidade. Este tipo de gestão visual permite que se adotem outras ferramentas de gestão de *stocks* como o *Just In Time*. A utilização destas duas ferramentas permite às empresa produzir no tempo certo e na quantidade certa.

Do ponto de vista teórico, esta metodologia assenta num sistema pull em que o operador no posto posterior utiliza os materiais produzidos no posto anterior. Quando os materiais acabam, é enviado um Kanban, ou ordem de produção, para o posto anterior para que este produza outro lote de materiais.

A Realidade Aumentada permite aumentar o controlo informático sobre estes processos. Nos dias de hoje as empresas tem um sistema de gestão da produção informatizado. Muitas delas têm um sistema integrado de gestão que permite controlar diferentes áreas das empresas dentro do mesmo software (produção, manutenção, qualidade, logística, etc.). A ligação entre a RA e estes softwares torna-se assim uma ferramenta útil para inserir informações no sistema e para implementar os processos de gestão referidos.

Utilizando algumas das valências dos óculos Epson Moverio BT2000, é possível idealizar uma aplicação para a implementação de ferramentas como o Kanban e a filosofia JIT. Uma empresa que invista num software de gestão integrada é com o objetivo de reduzir ao mínimo as transações de informação em papel e como tal a aplicação também partirá desse princípio.

Imaginemos uma linha e produção com 3 etapas e 4 funcionários em que 3 dos funcionários estão em postos de produção e um deles tem como missão abastecer os postos. O posto C depende de B e o posto B depende de A. O posto A depende do abastecimento de matéria-prima. O posto A produz o lote A e assim respetivamente.



**Figura 25. Diagrama de uma linha de produção**

Admitindo que o abastecimento de matéria-prima é feito de forma automática então apenas existem 3 tipos de kanbans a ter em conta. Na linha de produção podem existir um número mínimo de 3 kanbans para cada produto ou seja três tipos de kanbans diferentes cada um com 3 kanbans disponíveis.

Antes iniciar o processo, os operadores devem informar o programa qual a sua tarefa ou posto de trabalho. Este pode ler um QRcode que descarrega as permissões de operador da linha ou de operador abastecedor. Neste caso só temos estas duas funcionalidades.

No caso do operador 3, no fim de linha (posto C), tem disponível nos seu display informação de quantos kanbans de matérias B tem disponível e de qual a quantidade de produtos C que ainda têm que produzir. No melhor caso este terá 3 kanbans de produtos B por produzir e a quantidade de produtos C a produzir. À medida que este vai esgotando os lotes de produtos B, vai dando baixa através do teclado existente.

O operador 2, que tem como objetivo produzir B, tem no seu display informação do número de lotes B a produzir e o número de lotes de A disponíveis. Este, no melhor caso tem 3 kanbans de A em *stock* e 0 Kanbans de B para produzir. Neste caso não produz porque não existe necessidade de produzir o lote B. Em oposto, Se tiver 0 lotes de A e 3 de B também não produz mas porque não tem matéria apesar de existir a necessidade de produção. Para manter o sistema em funcionamento este só tem que informar o sistema que produziu B e

gastou A. O sistema envia o Kanban digital B para o operador abastecedor e envia o Kanban A para o posto A para informar da necessidade de produzir mais um lote.

O operador 1, apenas tem informação no display da quantidade de matéria-prima disponível e o número de kanbans A que tem para produzir.

O sistema pode mostrar a um operador de linha que um determinado lote está em movimento a caminho do seu posto metendo-o por exemplo a piscar.

Cabe ao operador abastecedor a tarefa de manter todas as estações abastecidas. Para isso este tem no display assinalado o kanban que deve transportar e para onde. Por exemplo, este pode ter uma ordem de transporte de B para C. Cabe ao sistema definir quais os transportes a priorizar. Uma abordagem para isso é definir que o posto em que tenha menor número de kanbans de matéria terá prioridade e assim sucessivamente. Por exemplo se o posto C tiver 2 kanbans de B e o posto B tiver apenas 1 Kanban de A, então o transporte prioritário seria o lote A para B em detrimento do transporte do lote B para C.

Existem algumas soluções gráficas que ajudam na percepção da urgência das operações como a utilização de um esquema de cores RGB ou RYG.

Outras ferramentas podem ser utilizadas em conjunto com esta para analisar a produtividade dos operadores como a medição dos tempos de produção e a gravação dos melhores tempos para futura análise.

## 5.5 Poka Yoke

O método Poka Yoke defende um processo produtivo “à prova de erros”. Para isso este defende que a toda a linha produtiva de uma empresa deve ser constantemente verificada com o objetivo de detetar erros de conformidade na produção.

Podemos imaginar duas situações distintas que podem ser implementadas. Suponhamos uma empresa que na sua linha de produção faça um controlo de qualidade total dos seus produtos acabados. Este controlo tanto pode ser visual realizado por um operador ou por um sistema automático constituído por sensores que detetam as características dos produtos e comparam com os valores desejados. Supondo ainda que o sistema implementado é capaz de detetar erros em tempo real.

A primeira aplicação destina-se a aplicar o método de controlo. Esta aplicação, assim que deteta um erro grave suspende a produção e envia uma notificação para o display do operador. Esta notificação pode conter informações sobre as características de não conformidade e qual a posição exata do produto.

A segunda aplicação utiliza o método da advertência. A aplicação apenas imitará uma advertência para o display do utilizador assim que identificar uma não conformidade de baixo grau de gravidade. Esta advertência terá informação sobre qual a não conformidade e a posição atualizada do produto. É dado ao operador a responsabilidade de prosseguir com a operação de forma normal ou parar a produção de imediato e proceder à análise das causas da não conformidade.

Os óculos Epson Moverio BT2000 são capazes de detetar falhas de qualidade utilizando a sua camera. Desta forma pode ainda existir uma outra aplicação que permite ao operador ser parte ativa na deteção de produtos não conforme no decorrer do processo produtivo. Podemos imaginar um operador com uma função específica de produzir um determinado equipamento. O seu posto de trabalho dispõe de um equipamento como os BT2000 para implementação de outras ferramentas Lean como Kanban, etc. Seria possível que o mesmo equipamento, enquanto utiliza outras ferramentas Lean, utilize também parte das suas capacidades em simultâneo para implementar a metodologia Poka Yoke e desta forma verificar toda a produção realizada naquele posto.

## 5.6 Heijunka

A produção nivelada também conhecida como filosofia Heijunka, é um método em que o mesmo produto é feito todos os dias nas mesmas quantidades para que a produção seja contínua. Numa empresa onde esteja implementado alguns conceitos da filosofia Lean Manufacturing, este tipo de normalização é muito importante. Para isso é vulgar utilizar-se um sistema pull juntamente com o uso de Kanbans para implementar corretamente esta filosofia. Um ponto essencial para a aplicação desta filosofia é o conhecimento dos tempos de ciclo produtivos, baseado na procura do cliente, conhecidos na filosofia Lean como *Takt Time*. É essencial saber quanto tempo é necessário para produzir um item antes de planear a sua produção.

Muitas são as empresas que não possuem um fluxo contínuo e regular de encomendas. O mesmo cliente pode variar bastante as quantidades nas encomendas e os prazos de entrega.

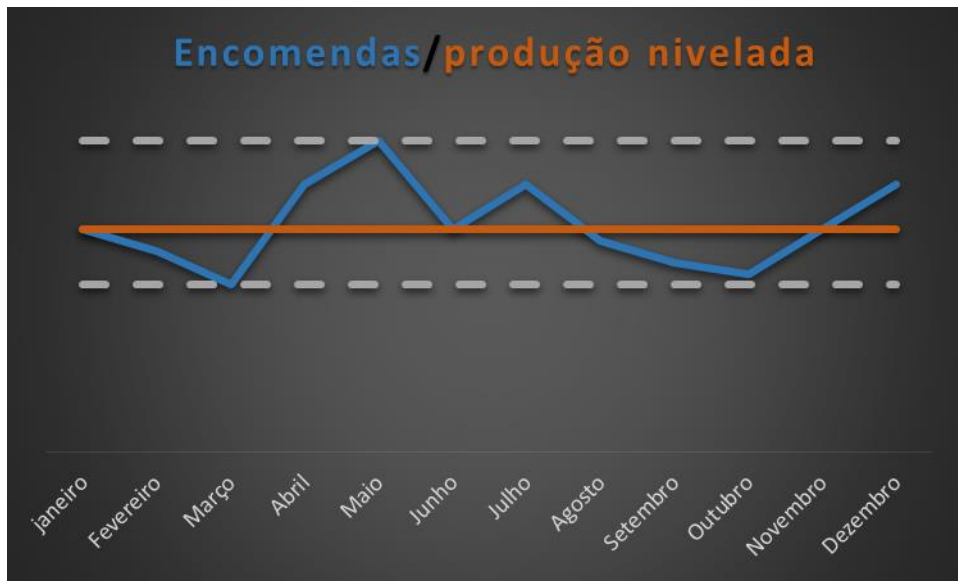


Figura 26. Evolução das encomendas e da produção nivelada. Caso hipotético para demonstrar uma possível evolução.

A figura 26 traduz uma possível evolução das encomendas em relação à produção nivelada. Como se pode ver, poderão existir meses em que parte da produção será para responder a encomendas e outra parte para *stock*. Segundo esta filosofia a produção, deve ser nivelada para que a longo prazo não exista desperdícios. Isso implica que durante alguns períodos se tenha que produzir para armazém para mais tarde responder a encomendas que excedam a capacidade produtiva. Existem opções que permitem às empresas trabalhar sem *stocks*. Estas passam pela subcontratação ou a mais utilizada, o recurso às horas extraordinárias.

O objetivo desta filosofia é nivelar a produção para que os limites máximos e mínimos se aproximem da produção nivelada. Para isso é feito uma análise do histórico de produção e encomendas e é feito uma previsão das encomendas e da produção.

A Realidade aumentada pode interagir com este método de forma indireta. Ou seja, no acompanhamento diário da produção para garantir que os níveis de produção diária são atingidos. Esta pode também servir para acompanhar a produção nas horas extraordinárias de forma a garantir que apenas é produzido o estritamente necessário de forma a evitar excesso de produção e de tempo em regime especial.

Sabendo que a produção diária por operador é por exemplo 90 unidades em turnos de 8h com 30 minutos de pausa, então é possível estimar que a cada 5 minutos um operador deve estar a libertar um item. A RA pode fornecer esta informação através de um display mostrando quanto tempo tem ainda disponível para produzir e qual a média do operador. Isto faz com que o operador possa acompanhar o seu ritmo produtivo. Esta análise tanto pode ser

feito por cada item, no caso de produções em pequenas quantidades, ou a lotes de itens em produções de grandes quantidades.

Esta aplicação pode ser feita utilizando um HMD ou um HUD. Apenas é necessário haver uma troca de informação entre o sistema e o operador para que este possa estar informado. Para isso basta um pequeno display LCD para transmitir essa informação.

Em linhas de produção em que é esperado que um operador produza mais do que um tipo de itens, esta aplicação pode fornecer o tempo estimado de produção de cada item, o tempo decorrido, médias das últimas produções e informações gerais sobre a produção. Tal aplicação necessita de mínima interação entre o operador e o sistema, podendo ser necessário apenas iniciar, desligar, identificar o tipo de produto e fazer o *reset* ao tempo de produção.

## 5.7 Kaizen

Kaizen é uma filosofia que transmite a noção de melhoria contínua e o objetivo dos zero defeitos. Tal como já foi referido é um dos pilares da filosofia Lean e é o principal instigador da “busca da Perfeição” da filosofia Lean Manufacturing.

Tal como a filosofia Lean defende, as empresas devem adotar uma gestão mais visual e mais aberta a todos os níveis. Para isso é sugerido que todas as secções disponham de um quadro com os indicadores da produção passada e o que vão produzir. Muitas vezes esses quadros acumulam informações relativas às reuniões “Kaizen Diário”, onde os/as funcionárias discutem o que se passou no dia anterior, questões a melhorar utilizando o ciclo PDCA e quais os defeitos mais graves do dia anterior. A atualização ou análise desses quadros é apenas feita uma vez por dia.

Em algumas empresas a comunicação dos erros de secção para secção é feita apenas diariamente. Isso faz com que se esteja apenas a analisar os erros para melhorar na próxima produção, podendo esta ser no dia seguinte ou em 6 meses. Isto pode fazer com que esta análise seja um pouco tardia e assim correndo o risco de ser inútil.

Com a utilização da RA podemos acelerar a comunicação entre as secções. Isso é possível se a for feita a análise da produção em tempo real e a identificação de quais os produtos com maiores taxas de rejeição. É aí que a RA pode assumir um papel importante. Depois da análise feita, é enviada uma nota informativa aos chefes de secção anteriores para que se tente identificar qual a origem e causa desses produtos rejeitados na secção seguinte. Isso iria fazer com que a rejeição por motivos de qualidade dos produtos diminuísse e se evitasse perder tempo e material para produzir peças que não atingem os níveis de qualidade

desejados. Reduzia-se o desperdício e melhorava-se o processo produtivo aumentando a competitividade.

Outro exemplo é utilizar a metodologia *Plan, Do, Check, Act* para a melhoria específica de locais ou equipamentos.

Imaginemos que numa dada altura um operador identifica um aspeto a melhorar levando à aplicação do PDCA sobre esse ponto específico. O responsável que estiver a dirigir a reunião poderá deslocar-se ao local e assinalar virtualmente a localização e informações. Estando registado a localização e quais as sugestões de aspetos a melhorar, o responsável da área a melhorar pode dar de imediato seguimento a esse evento se assim o entender.

Desta forma o responsável pode planear a execução sem ter que se deslocar ao local. Contudo se o tiver que fazer tem a sua localização exata. Se tiver dúvidas é ainda possível deixar um pedido para que na reunião seguinte o responsável deixe uma nota em forma de texto ou vídeo a explicar melhor o que pretende. Assim não existem paragens durante o período de trabalho.

## 5.8 Total Productive Maintenance

Para implementar com sucesso o *Total Productive Maintenance* (TPM) muitas são as metodologias que se deve aplicar. Como já foi referido, essas metodologias tem objetivos diferentes. Desde os 5'S, a manutenção autónoma ou a gestão inicial de equipamentos. Sendo o TPM uma filosofia que abrange várias metodologias, também as aplicações de RA serão variadas dependendo das metodologias a aplicar. O TPM e a sua aplicação não se destina apenas a melhorar a manutenção dos equipamentos. Este visa aumentar a disponibilidade dos equipamentos melhorando a organização tanto da secção da manutenção como da organização no geral. Além disso o TPM também supõe a mudança de mentalidades dentro das empresas. A ideia de existir apenas uma secção com a responsabilidade de executar tarefas de manutenção vai contra o que o TPM defende. Para isso é sugerido a implementação de processos de manutenção autónoma. O objetivo é colocar os operadores a realizar pequenas tarefas de manutenção.

A manutenção planeada ou preventiva é um dos pilares do TPM. Esta tem como objetivo aumentar a disponibilidade dos equipamentos transferindo gradualmente as atividades de manutenção corretiva para atividades de manutenção preventiva. Para isso é importante existirem planos de manutenção para os equipamentos. Tradicionalmente é o departamento da manutenção que assume a execução destes planos. Contudo, algumas atividades de manutenção autónoma podem ser executadas pelos operadores dos equipamentos passando a fazer parte da manutenção autónoma.

Muitas são as aplicações de RA que se podem desenvolver no âmbito do TPM. Ainda assim serão dados exemplos de duas aplicações referentes aos pilares referidos anteriormente. Estes exemplos demonstram de que forma a utilização da RA pode auxiliar na implementação do TPM.

O primeiro exemplo destina-se à aplicação da manutenção autónoma. Imaginemos um operador equipado com os Epson Moverio bt2000. Imaginemos ainda um operador que manobre diariamente um empilhado. No início do turno, o operador deve realizar algumas verificações para assegurar que o empilhador está nas perfeitas condições de segurança e operação. Verificações como o nível da água, óleo, combustível, óleo do hidráulico, pneus, etc.

Ao chegar ao equipamento o operador poderá ler um QRcode e descarregar a lista de verificações e tarefas que devem ser executadas naquele instante. De seguida os óculos irão exibir uma lista virtual a executar. No caso das verificações, o operador ao seleccionar cada item terá três opções. Ou assinala que a verificação foi cumprida e está “OK”, ou abre uma janela com informações de como proceder à verificação ou, por fim, assinala em como a verificação foi cumprida que está “NOK”, não ok. Nesta ultima a secção de manutenção é chamada e o equipamento permanece inativo.

As tarefas de manutenção autónoma pressupõem que o operador tem todos os conhecimentos para a executar. Sendo assim a aplicação permite três opções. A primeira é assinalar “concluída”, a segunda será a ajuda de um tutorial e por fim terá a opção de pedir assistência à manutenção.

Finalizadas as verificações, a aplicação passa a exibir as ordens de produção ao operador ou então fica inativo. A lista de tarefas pode ser sempre a mesma ou variar de acordo com a base de dados. Se for definido diferentes tarefas para diferentes ciclos, então a aplicação, ao descarregar a lista, fará sempre a que estiver destinada ao dia corrente.

Esta aplicação, não só garante que tarefas de manutenção preventiva são feitas de acordo com o seu ciclo, como também existe um registo de quem a executou, quando foi executada e como foi executada. A aplicação também fornece ajuda na forma de vídeos de tutoriais e em último caso assistência direta por parte de alguém da manutenção. Esta assistência ainda pode ser realizada de duas formas. A forma mais direta é lançar o alerta na secção e alguém se desloca ao local. A outra forma indireta é através de uma chamada de videoconferência. O operador que está a realizar as tarefas de manutenção pode ver o técnico de manutenção e este pode ver o que o operador tem à sua frente e dar indicações de como resolver o problema.

Todas estas pequenas ajudas vão reduzir a resistência a aplicar novas filosofias uma vez que os operadores estarão sempre acompanhados e vão sentir que gradualmente vão ser

capazes de realizar as manutenções nos seus equipamentos. Estas atividades a serem realizadas irão diminuir as paragens para manutenções corretivas e desta forma acrescentar valor às organizações.

A segunda aplicação destina-se à utilização da realidade aumentada na realização de tarefas de manutenção preventiva.

Hoje em dia os planos de manutenção podem ser facilmente gerados através de softwares relativamente simples como o Microsoft Access ou então através de softwares especializados. Softwares como o SAP PM permite que sejam criados os planos de manutenção e que estes gerem ordens de trabalho a saírem de acordo com o ciclo pretendidos. Este software permite definir que ferramentas são necessárias para cada ordem ou operação e qual o material necessário e quantidade prevista.

Um técnico de manutenção de uma empresa está equipado com os Epson Moverio bt2000. Diariamente a aplicação troca informações com a base de dados sobre quais as manutenções preventivas a realizar nesse dia ou nessa semana. O display dos óculos irá mostrar ao técnico um conjunto de menus sendo um deles dedicado à manutenção preventiva. Nesse menu o técnico poderá selecionar a ordem de manutenção a realizar. Nesta ordem tem a informação de qual o equipamento, quais as operações, quais as ferramentas necessárias para desempenhar a tarefa. Terá também acesso ao material necessário.

Ao deslocar-se ao armazém e ao levantar os materiais, a aplicação vai ler o código de barras ou o QRcode e vai dar consumo de imediato desses materiais.

Já no equipamento a aplicação vai pedir ao técnico que faça a leitura de uma marca para se assegurar que está no local correto. Após esta leitura, este dá início à tarefa. Em todas as etapas será realizado um procedimento semelhante ao das manutenções autónomas. Para cada tarefa será exibido no display indicações passo a passo. Em caso de dúvida existem duas opções. A primeira é um vídeo tutorial em que é explicado como executar a tarefa em que se encontra. Na segunda, o técnico tem a opção de pedir assistência ao departamento que lhe poderá fornecer indicações da mesma forma como na aplicação anterior.

Ao finalizar a ordem é pedido ao técnico para confirmar os materiais que consumiu e se a tarefa foi concluída com sucesso. É de referir que enquanto o técnico estiver a realizar tarefas de manutenção preventiva irá receber ordens de manutenção corretivas com um grau de urgência elevado se essa for a vontade do responsável da manutenção.

No fim do dia a aplicação envia a informação para a base de dados para dar início à programação e agendamento da data para essas tarefas de forma a cumprir o plano de manutenção.

Desta forma a secção da manutenção fica com um registo oficial do cumprimento dos planos de manutenção, pode extrair custos diretos das atividades de manutenção preventiva e diminui os tempos de execução destas tarefas na vez que apenas é feito uma deslocação do técnico ao equipamento. A maior vantagem que a empresa retira da implementação desta aplicação é a facilidade com que estas tarefas são executadas desde que sejam bem planeadas. Isso faz com que estas tarefas sejam executadas de forma mais eficaz e desta forma os resultados dessas manutenções serão melhores. Esses resultados traduzem-se, entre outros, na redução dos tempos de paragem para ações corretivas aumentando a disponibilidade dos equipamentos. Por consequência, esses equipamentos poderão dedicar mais tempo a produzir e a acrescentar valor para a empresa aumentando a competitividade.

Ambas as aplicações têm como objetivo principal aumentar a disponibilidade dos equipamentos. Outra aplicação também utilizada pelo TPM é o 5'S como ferramenta para a organização de espaços.



# Capítulo 6

## 6 Conclusão

Hoje assistimos à busca incansável pela informação em qualquer lugar e a todo o instante. Esta busca não só se manifesta no quotidiano das pessoas, mas também nos diferentes sectores industriais. Foi no domínio militar que a Realidade Aumentada surgiu, contudo foi nas aplicações destinadas ao uso quotidiano que esta se tem popularizado. Talvez um dos passos mais importantes para o desenvolvimento desta tecnologia será quando esta for utilizada com sucesso para o desenvolvimento industrial.

A filosofia Lean e todas as suas metodologias já deram e continuam a dar provas do valor que acrescentam às empresas. Esta tem uma influência direta nos indicadores de competitividade das empresas. Historicamente podemos comprovar através do exemplo mais icónico. O caso Toyota Motors Company. Esta conseguiu evitar a falência num japão devastado e economicamente debilitado devido à Segunda Guerra Mundial. A Toyota, adotando filosofias, agora chamadas de filosofias Lean, conseguiu infiltrar-se em mercados internacionais altamente desenvolvidos. Consegui ainda, em poucos anos revelar-se um caso de sucesso de como produzir um bem rápido e com qualidade.

Foi realizada uma revisão bibliográfica para aprofundar os conhecimentos sobre a filosofia Lean, a sua história e relevância nos dias de hoje. Foram analisadas algumas filosofias e metodologias de forma a poder seleccionar aquelas que são mais suscetíveis de serem implementadas com o auxílio da Realidade Aumentada.

No decorrer desta dissertação foram aprofundados os conhecimentos da Realidade Aumentada. Foi feita uma análise dos diferentes sistemas de Realidade Aumentada desenvolvidos e conhecidos até à data. Foram apresentados alguns exemplos da aplicação prática desta tecnologia. Foi ainda feita uma análise da composição desses sistemas, vantagens e desvantagens. Uma grande desvantagem desta tecnologia ainda é o seu elevado custo para aplicações profissionais apesar das suas vantagens. Também o excesso de informação, tal como a falta de informação, pode ser uma desvantagem que deve ser equacionado Demasiada informação pode fazer com que não seja dada a devida atenção à informação pertinente. Assim, esta tecnologia perde a sua utilidade.

Apesar dos esforços civis para desenvolver esta tecnologia, a história diz-nos o contrário. O nascimento e os grandes desenvolvimentos desta tecnologia devem-se a projetos financiados pela indústria militar. É esperado que seja neste campo que venham a surgir novos avanços.

Tendo este trabalho o objetivo de demonstrar, do ponto de vista teórico, as vantagens que se podem obter utilizando a Realidade Aumentada como plataforma para a implementação de filosofias Lean, passou-se a formular exemplos de aplicações. Foi realizada a apresentação desses exemplos e analisado de que forma estes podem acrescentar valor às organizações.

Através da utilização da aplicação da metodologia *Just In Time*, as organizações podem beneficiar de um maior controlo dos níveis de *stock* uma vez que estará a adotar um sistema *pull*. Esta é uma característica da metodologia JIT. Contudo, utilizando a RA, a aplicação vai permitir uma gestão mais eficaz uma vez que a informação dos níveis de *stock* estará presente e serão apresentados alertas para que a produção não pare. Pelo facto de o operador não precisar de suspender as suas tarefas produtivas para encomendar um novo lote de peças. Esse facto faz com que os tempos disponíveis para a produção aumente. Assim, aumenta também a quantidade de bens produzidos para o mesmo período de trabalho.

A segunda aplicação destina-se à implementação da metodologia 5'S. Esta aplicação permite acompanhar o operador em todos os passos e etapas no decorrer da fase de implementação dos 5'S. Contudo não se destina apenas à implementação. Um dos 5'S diz respeito a manter. A aplicação assegura-se que os equipamentos e ferramentas estão no seu devido local. Desta forma é possível implementar e manter esta metodologia de forma assistida. É esperado que com esta aplicação a organização não só consiga os benefícios da tradicional aplicação deste método, mas também que a implementação seja o mais passiva e sem resistência possível.

A Realidade Aumentada pode fornecer uma ajuda importante na aplicação do método SMED. Esta fornece uma ajuda no combate aos desvios nos tempos de *setup*. A aplicação pode ainda combater os erros na substituição de moldes, ferramentas ou consumíveis fornecendo informações de como efetuar essas tarefas. Desta forma não só acrescenta valor diminuindo os tempos de *setup* ou pelo menos mantendo os desvios controlados, mas também evita a ocorrência de erros que se traduzem em mais paragem e possíveis custos extras com equipamentos danificados. No exemplo dado ficou demonstrado de que forma a Realidade Aumentada poderá ser uma mais-valia de um ponto de vista prático.

A utilização da Realidade Aumentada numa linha de produção, utilizando o sistema de kanban digital, como sugerido, aumenta a eficiência do processo. Esta aplicação faz com que o operador esteja sempre consciente dos níveis de *stock* disponíveis e da produção ainda por realizar. É ainda possível que o sistema gere ou requisite os kanbans de forma automática. Isso faz com que o operador não utilize pequenos tempos para isso e os dedique à produção. Na área da distribuição dos lotes de matérias esta aplicação também seria vantajosa uma vez que o operador teria sempre informação das deslocações a realizar e qual a mais urgente. A eficiência do processo sofre uma melhoria na medida que os tempos de produção aumentam e

o operador tem acesso constante a informação útil ao longo da produção. Além do operador estar informado a aplicação mantém o sistema atualizado. Através da gestão de *stock* e da análise dos dados recolhidos ao longo do tempo poderá ser possível aproximar o número de *kanbans* necessários para um bom desempenho da linha de produção Reduzindo a quantidade de *stocks* intermédios.

Na aplicação do método *Poka Yoke* o objetivo é fornecer informação ao operador de qual o produto que tem defeito para que este possa, de imediato, remover esse produto para que o erro não se propague. Isso permite que seja iniciado, mal o defeito seja detetado, processos para identificar a origem dos erros. Processos como os *5W's* ou o *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) ou ainda o *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA) são técnicas utilizadas na identificação das origens dos defeitos para se proceder à sua eliminação. Existe ainda a possibilidade de fazer com que a tecnologia da realidade aumentada, durante o processo produtivo, seja um elemento ativo na deteção de erros. Os *Epson Moverio BT2000* tem a capacidade de detetar falhas de qualidade através da sua camera. Através dos exemplos vistos ficou demonstrado que a RA pode ser uma mais-valia para as organizações quer esta assuma um papel ativo ou passivo na implementação do *Poka Yoke* e na deteção do erro. Esta aplicação permite detetar os produtos não conformes durante todo o processo produtivo fazendo um controlo de qualidade contínuo. A deteção dos erros o mais cedo possível é essencial para a identificação das causas raiz dos problemas permitindo a sua eliminação.

Na filosofia *Heijunka*, a Realidade Aumentada faz o acompanhamento direto da produção fornecendo ao operador os tempos de produção definidos conhecidos como *Takt Time*. A aplicação vai acompanhar a produção com o objetivo de fazer com que os objetivos sejam cumpridos. Fornecendo ao operador os tempos que deve cumprir e quanto tempo ainda lhe resta, faz com que este esteja consciente dos objetivos que deve alcançar. Em último caso a aplicação pode registar que aquele operador não está a cumprir os objetivos de forma continua e que vai ser preciso reagir à falta de produção que se vai registar no fim do dia. Mantendo a produção controlada e a base de dados atualizada é possível tomar decisões atempadas e bem fundamentadas. Através da análise dos tempos retirados do acompanhamento da produção ajusta-se os tempos de produção de forma mais realista. A aplicação fornece ainda uma ajuda em situações em que a produção ideal seja atingida. Esta emite um aviso para que não se produza mais do que o que é esperado. Reduzindo assim o desperdício de excesso de produção.

Na implementação da filosofia *Kaizen*, a Realidade Aumentada surge para colmatar algumas falhas que possam existir na comunicação. Esta aplicação, bem como algumas das aplicações já referidas, pode prestar uma ajuda importante na comunicação entre secções. Em algumas empresas onde esta filosofia está empregue, a transmissão de informações é feita de forma tardia. É neste ponto que a aplicação se centra. Ao acelerar a transmissão de

informações é possível reagir a tempo e assim diminuir a quantidade de produtos não conformes. Ainda na filosofia Kaizen, outra aplicação foi sugerida. Esta implementa a metodologia PDCA para implementar o Kaizen. Esta aplicação faz com que o seguimento dos problemas levantados seja mais rápido e eficiente. Assim, a resolução dos problemas é feita de forma mais eficiente e sem prejudicar os tempos de produção dos mesmos.

O *Total Productive Maintenance* possui diferentes pilares. Neste trabalho apenas foram sugeridas aplicações para dois dos pilares do TPM. A primeira aplicação tem como objetivo acompanhar o operador de um equipamento durante o decorrer das tarefas de manutenção autónoma. Exibindo uma lista de tarefas a realizar, fornecendo ajuda e obrigando o operador a completar as tarefas, a aplicação assegura que é feita uma correta manutenção ao equipamento. Desta forma é possível aumentar a disponibilidade do equipamento acrescentado valor para a empresa na medida que existe mais tempo disponível para a produção. A segunda aplicação tem como objetivo acompanhar o técnico de manutenção durante as atividades de manutenção preventivas ou planeadas. Fornecendo informação sobre a tarefa e o que é necessário para a realizar, a aplicação diminui as movimentações entre o equipamento e a oficina ou o armazém. Esta permite ainda que o técnico peça assistência em casos de dúvidas fazendo com que este tenha sempre a possibilidade de ser acompanhado. Todas estas ajudas são valiosas na medida que permitem poupar tempo de manutenção e ajudar os técnicos a completar as tarefas de forma correta sem que haja erros de manutenção ou que fique algo por fazer. É aumentado a disponibilidade dos equipamentos, reduzindo os tempos de intervenções, prestando assistência em caso de dúvidas e evitando erros de manutenção que se acrescenta valor para as empresas.

Como se demonstrou nas aplicações sugeridas, a Realidade Aumentada vai fazer com que haja um maior acompanhamento dos operadores. Como resultado disso vamos ter uma maior eficiência do processo produtivo. Por outro lado, diminuindo o erro ou reduzindo os produtos com defeito e eliminando as suas causas vamos aumentar a qualidade dos produtos. Por último, transferindo os tempos de manutenção corretivas para tempos de manutenção preventivas ou planeadas, vamos aumentar a disponibilidade dos equipamentos. Com as aplicações descritas, é possível aumentar a disponibilidade dos equipamentos, a eficiência do processo produtivo e a qualidade dos produtos. Através do aumento destes três indicadores, é possível aumentar o desempenho das empresas e torna-las mais competitivas.

# Bibliografia

- Allen, T. T. (2010). Introduction to Engineering Statistics and Lean Sigma: statistical quality control and design of experiments and systems (2ª Edição ed.). New York: Springer.
- Alves, A. C. (2007). Projecto dinâmico de Sistemas de Produção Orientados ao Produto. Tese de Doutoramento em Engenharia e Produção de Sistemas. Escola de Engenharia. Universidade do Minho.
- Alves, A. C., Franz-Josef Kahlen, S. Flumerfelt and A-B Siriban Manalang (2007). THE Lean Production Multidisciplinary: From operations to education.
- Asai, k. (2008). The role of head-up display in computer assisted instruction. National institute of multimedia education, Japan.
- Asai, K., Kobayashi, H., & Kondo, T. (2005). Augmented instructions - a fusion of augmented reality and printed learning materials.
- Azuma, R.T, (1997). A Survey of Augmented Reality. Hughes Research Laboratories, Malibu.
- Baird, M. K. (1999). Evaluating the effectiveness of augmented reality and wearable computers for a manufacturing assembly task. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Barret, A. R. (2012). Toyota Production System: Lean Manufacturing Implementation and application to an automotive parts industry.
- Barryman, Donna R. (2012). Augmented Reality: A review. Medical Reference services quarterly journal, volume 31, 4 de Maio de 2012.
- Bieszke, E. (2011). What is the future of augmented reality technology on smartphones. The media school. Bournemouth University.
- Brubaker, C. Murcko A. & Barry R. (2002). The Six Sigma book for healthcare: Improving outcomes by reducing errors. Health Administration Press.
- Cakmkci, M. (2009). Process improvement: performance analysis of the setup time reduction-SMED in the automobile industry. The international journal of advancer manufacturing technology. Março de 2009.

- Carreira, B. (2005). *Lean Manufacturing That Works: Powerful Tools for Dramatically Reducing Waste and Maximizing Profits*. New York: AMACOM.
- Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *System Sciences*, 1992.
- Chan, F.T.S. (2001). "Effect of kanban size on just-in-time manufacturing systems". *Journal of Materials Processing Technology* 116 146-160.
- Chaudhari, D. N., Uplenchwar, G. e Deshpande, S. (2013). Google Glass. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 4, Issue 12, December-2013 ISSN 2229-55180.
- Conor P. K., Eric J. S., Erik S. V., John P. K., & Thomas A. Furness III, (2001). "The virtual retinal display as a low-vision computer interface. HIT Lab, Washington University.
- CORREIA, C. (2007). *Por dentro da maior montadora do mundo*. Exame, São Paulo: Editora Abril, Maio 2007.
- Craig, A. B. (2013). *Understanding augmented reality: Concepts and applications*.
- Cruz, N. M. P. C., (2013). *Implementação de ferramentas no processo de injeção de plásticos*. Dissertação em Engenharia e Gestão Industrial pela Universidade do Minho.
- FERREIRA, F. P. (2004). *Análise da implantação de um sistema de manufatura enxuta em uma empresa de autopeças*. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Taubaté, SP, 2004.
- Fisher, M., & Baird, D. E. (2007). *Making mLearning Work: Utilizing Mobile Technology for Active Exploration, Collaboration, Assessment, and Reflection in Higher Education*.
- Sara Valente de Sá França, (2013). *Implementação de Ferramentas de Lean Manufacturing e Lean Office*. Dissertação em Engenharia e Gestão Industrial pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Furness, T. A. (1986). The super cockpit and its human factors challenges. *Proceedings of the Human Factors Society*.
- Furness, T. A. (2015). *Being the future*. Em *Augmented World Expo U.S.A.*
- Furness, T. A., Billingham, M., Weghorst, S. e Kato, H. (2001). *A Mixed Reality 3d Conferencing application*. Humam Interface Technology Laboratory, University of Washington.

- Gerhard Schall, (2011). *Mobile Augmented Reality for Human Scale Interaction with Geospatial Models*. Graz University of Technology.
- Goldsby, T., & Martichenko, R. (2005). *Lean Six Sigma Logistics: Strategic Development to Operational Success*. Florida: J. Ross Publishing, Inc.
- Gomes, M. (2007). “Diagnóstico e desenvolvimento de soluções para melhoria da produtividade: um caso de estudo”. *Dissertação (Mestrado)*, IST/UTL, Lisboa.
- Hicks, D. & Holden, C. (2007). *Teaching the Global Dimension: Key principles & effective practice*, London: Routledge.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The key to Japan’s Competitive Success*. McGraw-Hill.
- Imai, M. (1996). *Gemba Kaizen: Estratégias e Técnicas do Kaizen no Piso de Fábrica*. São Paulo: IMAM.
- Joana R. S. Ferreira, (2014). *Realidade Aumentada - Conceito, Tecnologia e Aplicações*. Universidade da Beira Interior.
- Lian, Y., Landeghem, H.V. (2002). “An application of simulation and value stream mapping in lean manufacturing”. Department of Industrial Management, Ghent University, Technologiepark, 903, B-9052, Ghent, Belgium.
- LIMA, F. (2009). *As sete categorias de desperdício (MUDA)*. Data de acesso: 14 de Dezembro de 2015, de Expresso GQ: <http://expressogq.blogspot.com/2009/11/as-sete-categoriasde-desperdicio-muda.html>.
- Ma, J.Y. & Choi, J.S., (2007). *The Virtuality and Reality of Augmented Reality*.
- Mann, S. (1997). *Wearable computing: a first step toward personal imaging*, IEEE Computer.
- Marconi, M. A., Lakatos, E.M (1995). *Fundamentos de metodologia científica*. 3. Edição. São Paulo: Atlas, 1995.
- McMahon, D. D. (2014). *Augmented Reality on Mobile Devices to Improve the Academic Achievement and Independence of Students with Disabilities*. University of Tennessee.
- Melton T. (2005). *The Benefits of lean Manufacturing: What lean thinking has to offer the process Industries*. Mine Solutions Ltd, Chester, UK.
- Melton, P.M. (2003). *Agile project management for API projects: get agile—deliver faster*, Proceedings of the ISPE European Conference, Brussels, Belgium.

- Milgram, P. e Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays.
- Möhring, M. (2004). Video See-through AR on Consumer Cell-Phones. Mathias Möhring, Christian Lessig e Oliver Bimber. Bauhaus University.
- Moura, R. A. (1989). Kanban A Simplicidade do Controle da Produção. São Paulo: Instituto IMAM.
- NIST - The National Institute of Standards and Technology, "Lean, ISO, Six Sigma" [Online]. Retirado de: [http://www.nist.gov/baldrige/lean\\_iso\\_sixsigma.cf](http://www.nist.gov/baldrige/lean_iso_sixsigma.cf).
- Nogueira, M. A. (2010). Implementação da gestão da produção Lean: estudo de caso. Dissertação de mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Ohno, T. (1988). Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. New York: Productivity Press.
- Oliveira, B. D. M (2012). Aplicação de Metodologias Lean ao Fabrico de Elevadores. Dissertação em Engenharia Mecânica pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Paulo J. B. Santos Gil, (2014). Impacto Tecnológico da Realidade Aumentada na Filosofia Lean Manufacturing. Universidade da Beira Interior.
- Pence, H. E. (2010). Smartphones, smart objects and augmented reality.
- Pengfei, H. & GangZhao, (2015). CAD-based 3Dobjectsrecognitioninmonocularimagesformobile augmented reality.
- Pinto, J. P. (2009). Pensamento Lean: A filosofia das organizações vencedoras. Lisboa: LIDEL.
- Pinto, J. P. (2013). Manutenção Lean. Lisboa: LIDEL.
- Pires, M. R., (2012). A implementação do Lean Manufacturing em pequenas empresas.
- Porter, M. E. (1985). Competitive Advantage. Nova York: Free Press.
- Porter, M. E. (2002). Portuguese Competitiveness. In I. f. Competitiveness (Ed.), Novos Desafios da Competitividade. Lisboa, Portugal: Harvard Business School.
- Rajeshwari, Y. e Srilatha, T. (2013). Virtual Retinal Display: A novel technology for creating visual Images. International Journal of research in electrical & electronics Engineering. ISSN 2347-5439.

- Rivera, L. S. e Henrique, P. (2012). Reconhecimento de gestos da mão para movimentação de objetos virtuais. LCMAT, Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- Rolland J. P. & Hua H. (2010). Head-Mounted Display Systems. College of Optics and Photonics, CREOL&FPCE, University of Central Florida.
- Rolland, J. P. & Hua, H. (2005). Head-Mounted Display Systems. University of Central Florida, Orlando, Florida. University of Arizona, Tucson, Arizona, U.S.A.
- Rolland, J. P. e Fuchs, H. (2001). Optical versus videos see-through head mounted displays. Department of computer science. University of North Carolina. Wearable computer and augmented reality. Chapel Hill.
- Rolland, J.P. (1994), Head-Mounted display for virtual environment: the optical interface. Em International optical design conference 94.
- Rolland, J.P. (2000). Wide angle, off-axis, see-through head-mounted display. Opt. Eng. (Special Issue on Pushing the Envelop in Optical Design Software) 2000, 39, 1760-1767.
- Rolland, J.P., Yoshida, A., Davis, L. (1998). High resolution inset head-mounted display.
- Shingo, S. (1985). A Revolution in Manufacturing: The SMED System. Productivity Press. Cambridge, MA, 1985.
- Shingo, S. (1989). A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint. Productivity Press: Nova York.
- Shingo, S. (1996). O Sistema Toyota de Produção: Do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Bookman.
- Siegel M, Donner TH, Oostenveld R, Fries P, Engel AK. (2007). High-frequency activity in human visual cortex is modulated by visual motion strength.
- Steven J. Henderson, (2011). Augmented Reality Interfaces for Procedural Tasks. Columbia University.
- Strak, A. (2005). Retinal Display technology for future Mobile Applications. Royal Institute of technology, Stockholm, Sweden.
- Sutherland, I. E. (1963). "Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System," In Proceedings of Spring Joint Computer Conference 1963.

- Sutherland, I. E. (1965). The ultimate display, Information Processing 1965: Proc. of IFIP Congress 65, 506-508.
- Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. 1968 fall joint conference. 33, 757-764.
- Vallino, J. R. (1998). Interactive Augmented Reality. University of Rochester, New York, U.S.A.
- Vieira, L. F. S. (2010). Aplicação de Lean Manufacturing na Linha Produtiva da Fedima Tyres. Dissertação em Engenharia Mecânica pelo Instituto Superior Técnico.
- Womack, J. P. & Jones, D. T. (1996). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York: Free Press.
- Womack, J., & Jones, D. (2004). A Mentalidade Enxuta nas Empresas - Lean Thinking. Rio de Janeiro: CAMPUS.
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). The Machine that Changes the World. New York: Rawson Associates.
- Womack, J., Jones, D., Shook, J. & Jose, F. (2004). Creating level Pull. Cambridge: The Lean Enterprise Institute.

