



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharia

# Interligação dos Sistemas de Execução da Produção (MES) com as tecnologias da Indústria 4.0

**Pedro dos Santos Pinto**

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, Junho de 2019

Folha em branco

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos por ter aceite em ser Orientador desta Dissertação, por toda a disponibilidade e ajuda que deu ao longo do desenvolvimento da mesma, tornando possível a concretização da mesma.

Um agradecimento também à empresa Costa Verde, que se disponibilizou a receber-me nas suas instalações, permitindo assim a realização de uma visita no âmbito do tema da dissertação. Também quero agradecer aos senhores Júlio Senos, responsável da Produção, e Carlos Paiva e Néilson Fernandes, responsáveis pela orientação do sistema MES, por me terem acompanhado durante a visita e por terem esclarecido e respondido a todas as dúvidas e questões que foram colocadas.

E por fim, agradecer a todos os que me acompanharam ao longo desta etapa.

Um obrigado a todos.

Folha em branco

# Resumo

Quando se olha para a Indústria, este olhar pode ser feito de diversas maneiras, de uma maneira mais teórica ou de uma mais técnica. Em qualquer uma delas, uma observação que é óbvia, é que a Indústria tem evoluído de uma forma rápida e sofrido diversas alterações, como exemplo têm-se a introdução de tecnologias de informação no processo de produção. Esta e outras alterações que ocorreram e que irão continuar a ocorrer, maioritariamente delas são novas tecnologias, são feitas com o objetivo de a Indústria tirar o melhor proveito das mesmas.

Com todo este avanço surgem então novos conceitos, um deles é o conceito da Indústria 4.0. A ideia central da Indústria 4.0 é implementar e fazer uso das tecnologias de informação e serviços, com o objetivo de que a produção opere de maneira flexível, eficiente e ecológica com alta qualidade e baixo custo. Estes avanços e melhorias, trazem mais complexidade para o sistema, pelo que é necessária alta flexibilidade ao nível dos recursos da produção, planeamento e controlo dos mesmos. Consequentemente surgem sistemas para compensar tal complexidade, um desses sistemas é o MES sobre o qual este trabalho se irá focar.

Sendo assim, esta dissertação tem como objetivo estudar a interligação dos MES com a Indústria 4.0, através da perceção e compreensão do funcionamento de ambos. É feita então uma revisão bibliográfica relativa ao conceito MES, analisando e filtrando todos os dados considerados relevantes para o objetivo. Na sequência deste passo e com o objetivo de completar o trabalho é feita uma comparação entre esses dados da revisão bibliográfica e os dados recolhidos numa visita à empresa Costa Verde, com intuito de analisar, observar e recolher dados relativos ao MES implementado.

Desta maneira, a comparação feita fornecerá ao leitor uma visão da realidade do sistema MES em ambiente Industrial e se os dados, sobretudo vantagens e desvantagens apontadas na literatura, se encontram de acordo com os dados recolhidos durante a visita.

## Palavras-chave

MES, Indústria 4.0, PMEs, IoT, Tecnologias 4.0, CPS

Folha em branco

# Abstract

When looking at the industry, this look can be done in several ways, in a more theoretical or a more technical way. In any of them, an observation that is obvious, is that the Industry has evolved of a fast form and undergone diverse changes, like example have the introduction of technologies of information in the process of production. This and other changes that have occurred and will continue to occur, mostly of them are new technologies, are made with the purpose of the industry to make the best use of them.

With all this advancement, new concepts emerge, one of them is the concept of Industry 4.0. The core idea of Industry 4.0 is to implement and make use of information and service technologies so that production operates in a flexible, efficient and ecological way with high quality and low cost. These advances and improvements bring more complexity to the system, so high flexibility is required in the production resources, planning and control of them. Consequently, systems emerge to compensate for such complexity, one such system is the MES upon which this work will focus.

Thus, this dissertation aims to study the interconnection of MES with Industry 4.0, through the perception and understanding of the functioning of both. A bibliographic review of the MES concept is done, analyzing and filtering all data considered relevant to the objective. Following this step and with the aim of completing the work, a comparison between these bibliographic review data and the data collected during a visit to the Costa Verde company is carried out, in order to analyze, observe and collect data related to the implemented MES.

In this way, the comparison made will provide the reader with a view of the reality of the MES system in an Industrial environment and if the data, especially advantages and disadvantages pointed out in the literature, are in agreement with the data collected during the visit.

## Keywords

MES, Industry 4.0, SMEs, IoT, Technologies 4.0, CPS

Folha em branco

# Índice

Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	v
Abstract .....	vii
Lista de Figuras .....	xi
Lista de Acrónimos e Siglas.....	xiii
Capítulo 1 .....	1
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Motivação e Definição do Problema .....	3
1.3. Objetivos .....	3
1.4. Metodologia .....	3
1.5. Estrutura da Dissertação .....	4
Capítulo 2 .....	7
2. Enquadramento Teórico .....	7
2.1. Enquadramento .....	8
2.2. Evolução dos MES .....	21
2.3. Exemplos de aplicações práticas .....	21
Capítulo 3 .....	29
3. Contextualização do Caso Prático .....	29
3.1. Análise comparativa de Sistemas .....	31
3.2. Interligação e dependência dos MES com a Tecnologia 4.0.....	34
3.3. Vantagens e Desvantagens.....	36
3.4. Futuro do MES .....	38
Capítulo 4 .....	41
4. Discussão dos Resultados.....	41
Capítulo 5 .....	45
5. Considerações finais .....	45
5.1. Principais conclusões .....	45
5.2. Propostas de trabalhos futuros.....	46
5.3. Contribuições da Dissertação.....	48
Referências Bibliográficas .....	51

Folha em branco

# Lista de Figuras

Figura 1 - Manufacturing Execution Systems.....	8
Figura 2 -Ilustração correspondente à definição do conceito MES.....	9
Figura 3 - Posição dos MES na Estrutura de uma empresa .....	10
Figura 4 - Funções chave de um MES.....	11
Figura 5 - Posição do MES na Hierarquia Funcional da ISA-95 .....	13
Figura 6 - Ilustração Exemplo de um Digital Twin .....	14
Figura 7 - Ilustração da Internet of Things .....	15
Figura 8 - Ilustração Exemplo de interfaces de análise e de apresentação de dados.	20
Figura 9 - Fotografia Aérea da Empresa Costa Verde.....	29
Figura 10 - Peças de Porcelana .....	31
Figura 11 - Ilustração exemplo de uma interface parecida com a desenvolvida pela Costa Verde.....	35
Figura 12 - Ilustração exemplo do Controlo da Produtividade através de um software MES.....	36
Figura 13 - Ilustração exemplo das interfaces onde se pode controlar todo o sistema MES.....	38

Folha em branco

# Lista de Acrónimos e Siglas

IoT	Internet of Things
CPS	Cyber Physical Systems
ERP	Enterprise Resource Planning
MES	Manufacturing Execution System
I4.0	Indústria 4.0
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
IA	Inteligência Artificial
IS	Information Systems
TQM	Total Quality Management
IT	Information Technology
KPIs	Key Performance Indicators
MESA	Manufacturing Enterprise Solutions Association
ISA	Instrumentation Systems & Automation
MRP II	Manufacturing Resource Planning II
API	Application Programming Interface
SOA	Service-Oriented Architecture
GUI	Interface Gráfica do Utilizador
SQL	Structure Query Language
OEE	Overall Equipment Effectiveness
ICT	Information and Communication Technologies
MDE	Model-driven Engineering
CNC	Computer Numerical Control
HMS	Holonic Manufacturing System
AGP	American Glass Product
RFID	Radio-Frequency Identification
PHP	Hypertext Preprocessor
UE	União Europeia
QR	Quick Response
SC	Supply Chain

Folha em branco

# Capítulo 1

## 1. Introdução

Quando se fala em tecnologia no âmbito da indústria, surge o conceito de Indústria 4.0. Para se conseguir perceber este conceito é necessário recuar no tempo e conhecer quais os eventos que permitiram o seu surgimento. Daí que, neste capítulo será feito um enquadramento relativamente a este tema e apresentado o tema da dissertação.

### 1.1. Enquadramento

A indústria é a parte de uma economia, que produz bens materiais com recurso, normalmente, a equipamentos altamente mecanizados e automatizados. Desde o início da industrialização, saltos tecnológicos levaram a mudanças de paradigmas, que atualmente são chamadas de Revoluções Industriais: no campo da mecanização surge a 1ª Revolução Industrial, do intensivo uso de energia elétrica surge a 2ª Revolução Industrial e da digitalização generalizada acontece a 3ª Revolução Industrial. Com base numa digitalização avançada dentro das fábricas, a combinação de tecnologias da Internet e tecnologias orientadas para o futuro no campo dos objetos inteligentes parece resultar numa nova mudança fundamental de paradigma. Tentado por esta expectativa futura surge o termo de Indústria 4.0, estabelecendo a 4ª Revolução Industrial. (Lasi *et al.*, 2014) Cada uma destas revoluções ocorreram nas seguintes datas, respetivamente, finais do séc. XVIII, início do séc. XX e em 1970. (Lu, 2017)

Segundo Wang *et al.*, (2015), a ideia central da Indústria 4.0 é usar as tecnologias de informação emergentes para implementar a IoT (*Internet of Things*) e serviços, de modo a que o processo de negócios e de engenharia sejam profundamente integrados, fazendo com que a produção opere de maneira flexível, eficiente e ecológica com alta qualidade e baixo custo constantemente.

Mais especificamente, Lu, (2017) refere que, o conceito de Indústria 4.0 foi proposto inicialmente para desenvolver a economia Alemã em 2011. Sendo que a mesma surge com o objetivo de alcançar um maior nível de eficiência operacional, assim como um maior nível de automatização. As 5 principais características deste conceito são: digitalização, otimização e customização da produção, automação e adaptação, interação homem-máquina, serviços de valor acrescentado e negócios, e troca automática de dados e comunicação.

Estas características que são atribuídas à Indústria 4.0 provêm de todos os conceitos que são fundamentais para a mesma. Lasi *et al.*, (2014) identifica esses conceitos fundamentais sob a forma de lista e explica alguns:

- **Smart factory:** Surge com a fusão do mundo físico e virtual. Trata-se de uma fábrica que reconhece o seu contexto e auxilia pessoas e máquinas na execução das suas tarefas, sendo obtido através de aplicações que trabalham em segundo plano chamados de *Calm-Systems* e aplicações *Context-aware*. A diferença entre estes sistemas é a habilidade para comunicar e interagir com o seu meio ambiente. Este conceito permite a recolha, distribuição e acesso em tempo real de informações relevantes da produção a qualquer hora e em qualquer lugar. (Lucke, Constantinescu e Westkämper, 2008)
- **Cyber Physical Systems:** Sistemas definidos como tecnologias para a gestão de sistemas interligados entre ativos físicos e capacidades computacionais. Um desenvolvimento dos mesmos permite que estes realizem a gestão do *Big Data* e impulsionem a interligação de máquinas para alcançar a meta das máquinas inteligentes, resilientes e auto adaptáveis. A integração dos CPS na produção, logística e serviços, são fundamentais no conceito I4.0. (Lee, Bagheri e Kao, 2014)
- **Auto-Organização:** Sistemas mais descentralizados, devido a uma mudança para uma organização automática.
- **Novos sistemas de distribuição e aquisição:** Cada vez mais individualizados. Uso de vários canais para o tratamento dos processos conectados.
- **Novos sistemas no desenvolvimento de produtos e serviços:** Desenvolvimento de produtos e serviços mais individualizados Evolução na inovação e inteligência dos produtos.
- **Adaptação às necessidades humanas:** Desenvolvimento de sistemas adaptados às necessidades humanas.
- **Responsabilidade Social Corporativa:** Foco na sustentabilidade e eficiência dos recursos.

Para além dos conceitos mencionados, quando os ambientes industriais são mais complexos, ocorrem mudanças dinâmicas, com maior exigência para as empresas. Como resposta a estes desafios as empresas procuram recursos da produção mais flexíveis para melhor planeamento e controlo dos mesmos. Para tal, diversas aplicações e softwares especializados são usados para o controlo de gestão dos processos complexos dentro e fora da fábrica, Sistemas de Gestão de Recursos como os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) e MES (*Manufacturing Execution Systems*). Os sistemas MES planeiam e controlam o nível de produção e os ERP planeiam e controlam a sincronização das entidades de planeamento subsidiárias. (Lucke, Constantinescu e Westkämper, 2008)

São estes sistemas denominados de MES e que emergem com o desenvolvimento do conceito de Indústria 4.0 que serão estudados no decorrer desta dissertação.

## **1.2. Motivação e Definição do Problema**

O desenvolvimento tecnológico dos últimos anos parece conduzir a mudanças acentuadas nos modelos organizacionais das empresas. Acredita-se que toda esta dinâmica conduzirá à 4ª revolução industrial em linha com a nova temática da Indústria 4.0. O curso de Engenharia e Gestão Industrial está fortemente associado ao conceito de produtividade e parece que o desenvolvimento de todas estas tecnologias induzirá a um maior valor acrescentado para as empresas. Em termos muito sintéticos a Indústria 4.0 centra-se na recolha, tratamento e disseminação de informação. Parece particularmente interessante perceber de que forma essa informação vai chegar às pessoas, nomeadamente através de sistemas integrados, “*Manufacturing Execution Systems*”. Esta é a grande motivação para a escolha deste tema, entender como é a informação recolhida, tratada e em especial de que forma chega aos operadores dos sistemas ou diretamente às máquinas, por forma a permitir uma maior eficiência produtiva.

## **1.3. Objetivos**

Com a introdução do conceito de Indústria 4.0, diversas alterações ocorreram ao nível industrial, diversas melhorias, mas por outro lado também surgiu uma maior complexidade. Para combater essas complexidades foram criados softwares e aplicações capazes de solucionar os problemas criados. Um dos softwares desenvolvidos são o MES.

Valckenaers e Brussel, Van, (2005) define os MES, como sistemas que lidam com as operações da fábrica, mais especificamente, supervisionam sistemas de controlo de processos, decidem as rotas dos produtos no sistema de produção, e onde e quando começam as operações dos produtos. Para além disto devem também tratar todos os resultados do processamento possíveis, alguns dos quais perturbam as operações de produção significativamente.

Uma vez que estes sistemas são importantes, o principal objetivo desta dissertação será estudar a interligação dos MES com a Indústria 4.0. Tal objetivo será alcançado através da perceção e compreensão do funcionamento dos mesmos e da realização de um estudo para estudar o impacto dos mesmos nos modelos organizacionais.

## **1.4. Metodologia**

Na metodologia são apresentadas as principais técnicas utilizadas para a realização da investigação.

O conceito de investigação é variável, depende dos autores que são tidos como referência. Segundo Gil (2002), a investigação é um conjunto de ações, que têm como base procedimentos racionais e sistemáticos, com intuito de solucionar um problema. Já Bhattacharjee (2012) identifica como investigação científica apenas uma investigação que contribua para o corpo da ciência e siga métodos científicos, sendo que a mesma opera em dois níveis: nível teórico e nível empírico.

Relativamente ao nível teórico, este preocupa-se com o desenvolvimento de conceitos abstratos sobre fenômenos sociais ou naturais e a relação entre estes. O nível empírico preocupa-se com o teste dos conceitos e relacionamentos teóricos o quão refletem as observações da realidade, com o objetivo de construir melhores teorias, permitindo desta maneira, com o tempo, que as teorias se tornem cada vez mais refinadas e a ciência mais madura.

Bhattacharjee (2012), divide a investigação científica em duas formas: indutiva e dedutiva. Na investigação indutiva o investigador tem como objetivo inferir conceitos teóricos e padrões a partir de dados observados. Na dedutiva, o investigador tem como objetivo testar os conceitos e padrões conhecidos da teoria usando novos dados empíricos. Estas duas formas podem ser denominadas também de *theory-building research* e *theory-testing research*, respetivamente.

O mesmo autor, refere ainda que ambas as teorias são críticas para o avanço da ciência, mas apesar disso a investigação indutiva é mais valiosa quando existem poucas teorias anteriores ou explicações, enquanto a dedutiva é mais produtiva quando existem muitas teorias concorrentes do mesmo fenómeno e os pesquisadores procuram saber qual teoria funciona melhor e sob que circunstâncias.

Através destas características a metodologia a ser utilizada nesta dissertação, é uma abordagem indutiva. Trata-se de uma abordagem indutiva pois o desenvolvimento da dissertação tem como objetivo conseguir recolher conclusões dos dados observados, serão inferidos conceitos e percepções do problema imposto inicialmente.

Relativamente à recolha de dados, esta foi feita através de uma revisão bibliográfica assim como análise de outros dados para uma melhor percepção do funcionamento dos sistemas em estudo. Sendo então realizada, uma consulta de artigos científicos, livros, documentos de sites corporativos e a observação de um sistema MES em ambiente fabril.

## **1.5. Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos. No Capítulo 1 é apresentado uma introdução ao tema da dissertação, é apresentado também um enquadramento histórico, a motivação e a definição do problema, os objetivos da dissertação, a metodologia de

investigação utilizada e a estrutura da tese. No Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica relativa aos MES. É apresentada toda a história, definições, conceitos, aplicações e demais, sendo apresentado também o estado de arte desta temática. Relativamente ao Capítulo 3, e tendo em consideração que existem diversos tipos de MES, é apresentado neste uma contextualização dos mesmos. É feita uma análise comparativa entre os sistemas, as vantagens e desvantagens que estes trazem para a Indústria 4.0 e por fim, a interligação e dependência dos MES com a Tecnologia 4.0. No Capítulo 4 e 5 são apresentados todos os resultados do caso prático e feita a discussão dos mesmos, respetivamente. Para terminar encontra-se o Capítulo 6 onde são apresentadas as conclusões, propostas de trabalhos futuros relativos ao tema da dissertação e as contribuições desta dissertação para uma melhor compreensão dos MES.



# Capítulo 2

## 2. Enquadramento Teórico

O avanço das tecnologias e conceitos dentro da indústria é algo que já acontece há muitos anos, atualmente esse avanço parece ter um incremento significativo com um impacto acentuado no futuro das organizações. Esta mudança rápida do ambiente que ocorre requer rápidas alterações no sistema de produção. A indústria deve adaptar os seus sistemas de produção para maximizar a sua produtividade e rentabilidade. (Cupek *et al.*, 2016)

As tecnologias de informação e comunicação sofrem um rápido desenvolvimento assente em computação em nuvem, IoT, Análise Big Data e Inteligência Artificial. Estas tecnologias permitem o desenvolvimento da indústria de produção tornando-a mais “inteligente” e capaz de fazer face aos desafios atuais, como requisitos cada vez mais personalizados, melhor qualidade e menor tempo de produção. (Zheng *et al.*, 2018) Os sistemas de produção são desafiados então por um ambiente exigente de rápidas mudanças. (Pascal *et al.*, 2007)

Em 2009, Ugarte, De, Artiba e Pellerin, indicaram que por mais de 25 anos, as companhias haviam investido em sistemas de informação para alcançar ganhos de produtividade, o que causou um aumento no mercado de sistemas corporativos de informação.

Passados 10 anos, este investimento continua a ser feito pelas companhias, e o mercado deste tipo de sistemas continua em constante evolução.

O mesmo autor refere que durante esse crescimento do mercado, alguns desses sistemas ganharam uma posição competitiva privilegiada, como é o caso dos Sistemas ERP, também chamados de sistemas de *back office* que gerem funções genéricas comuns tais como receção, inventário, faturação, expedição, contabilidade, lista de material e determinação da produção (Pascal *et al.*, 2007). Os sistemas ERP são usados em cerca de 80% das 500 principais empresas dos Estados Unidos e ainda tinham as PMEs a adotar a mesma estratégia. Mas apesar disso, durante este tempo os especialistas não tiveram em atenção o chão de fábrica. O que acabaria por trazer problemas depois para as empresas na manutenção de software e consolidação dos dados, pelo que foram desenvolvidos então softwares capazes de integrar múltiplos pontos dos sistemas., ou seja, softwares capazes de compactar múltiplos componentes de gestão da execução em soluções simples e integradas.

Como resultado surgiram os sistemas MES, sistemas que asseguram o controlo dos processos. (Pascal *et al.*, 2007)

## 2.1. Enquadramento

As exigências de mercado estão em constante evolução e impõem às empresas a necessidade de procurarem novas técnicas e soluções para construir IS (*Information Systems*) em linha com as suas necessidades e estratégias. Esses IS são compostos por várias aplicações de negócios, sendo uma delas os MES. (Arab-Mansour, Millet e Botta-Genoulaz, 2017) Também as operações de produção modernas enfrentam numerosos desafios, tais como, customização em massa, crescente procura, sistemas de produção preditivos, capacidade de resposta da produção. A resposta para esses desafios parece residir na avaliação dos dados, o que é possível devido ao aumento da digitalização do chão de fábrica alcançada com o uso dos MES. (Urbina Coronado *et al.*, 2018)

Uma vez que MES significa *Manufacturing Execution Systems*, em português Sistemas de Execução da Produção, o que são então Sistemas da Produção? Sistemas da produção podem ser considerados como um conjunto de recursos usados para transformar matéria-prima em produtos acabados a fim de satisfazer uma procura. Estes sistemas são divididos normalmente em 3 subsistemas: físico, informativo, decisivo. O subsistema físico é composto por um conjunto de dispositivos físicos: máquinas, dispositivos de transporte e trabalhadores. O subsistema informativo reúne toda a informação existente no sistema de produção, tal como, listas de material, direcionamento da fabricação, duração da operação padrão ou dinâmica tal como, estado corrente do recurso e localização de um item. O subsistema decisivo desempenha a gestão de todo o funcionamento do sistema de produção. (Pascal *et al.*, 2007)



Figura 1 - Manufacturing Execution Systems. (Trunovate, 2019)

O conceito MES nasce em meados dos anos 90, a partir da procura numa empresa de produção para responder aos requisitos dos mercados de um ponto de vista da reatividade, qualidade, respeito dos padrões, redução no custo e prazos. Ao longo dos anos os sistemas MES foram sofrendo significativas mudanças e conseguem agora fornecer um sistema simples e comum para suportar a maior parte dos processos de execução da produção desde a libertação de ordens de produção até à entrega dos produtos finais. (Ugarte, De, Artiba e Pellerin, 2009)

Deuel (1994), aponta também causas para a necessidade da implementação dos MES, pois o crescente esforço por parte dos fabricantes para se tornarem mais competitivos e capazes de fornecer serviços de classe mundial aos seus clientes e ainda o ênfase colocada nos TQM (*Total Quality Management*), requeria uma solução de um sistema de produção de qualidade, e como também as funções dos MES eram consistentes com os objetivos do TQM aplicados à empresa, estavam reunidos os requisitos para se aprovar a implementação dos MES.

Os avanços na tecnologia resolvem muitos dos problemas que os fabricantes enfrentam ao colocar informações, ferramentas e soluções nas mãos dos seus trabalhadores para ajudar a gerir os seus negócios com eficiência. O MES aproveita a tecnologia para ajudar os fabricantes nesse objetivo. (Deuel, 1994) Apesar do ano em que o autor escreveu a frase apresentada, esta ainda hoje se encontra atualizada e manter-se-á durante longos anos, sendo a mesma uma explicação para uso dos MES atualmente.

Uma definição mais simples deste conceito é dada por McClellan (2001), este diz que, os MES são sistemas que preenchem a lacuna entre o sistema de planeamento e o sistema de controlo, usando informações online para gerir a aplicação atual de recursos de produção: pessoas, equipamentos e stock.



*Figura 2 - Ilustração correspondente à definição do conceito MES. (AimTecGlobal, 2019)*

Num ponto de vista mais específico os MES conectam a camada da automação e da empresa nos processos industriais. Por um lado, são sistemas IT que gerem e analisam informação no processo de produção e guiam a implementação de planos de produção bruta dos sistemas da empresa em operações detalhadas, por outro lado, fornecem à empresa importantes indicadores chave, os chamados KPIs. (Chen *et al.*, 2018)

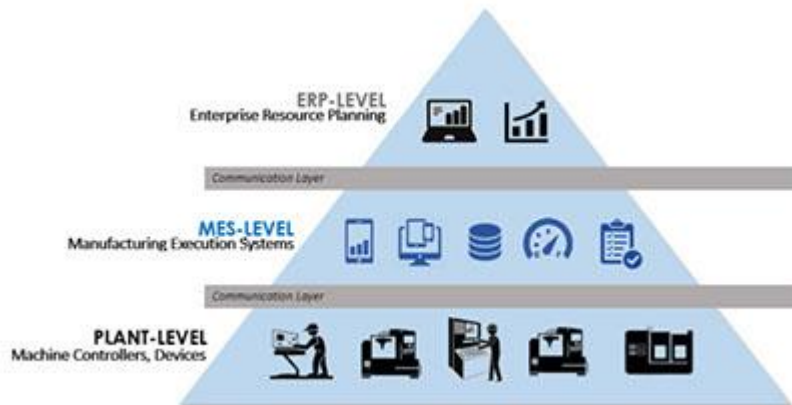


Figura 3 - Posição dos MES na Estrutura de uma empresa. (Solveit, 2019)

Numa visão mais atual, Besutti, Campos e Cecconello, (2019) indica que os MES reúnem o planejamento e produção da empresa, dando acesso a informação exibida em gráficos, que permite monitorizar e analisar a produção, tal como o estado dos produtos e equipamentos, possibilitando acompanhar o seu uso, minimizando assim a ociosidade. Os mesmos também permitem que seja configurada uma hiperligação para dispositivos de controlo em tempo real, embora eles devam operar em conjunto com outros sistemas. Adicionalmente, estes sistemas têm uma grande sobreposição na funcionalidade que é realizada através de agendamento detalhado. (Cupek *et al.*, 2016)

Com a introdução do conceito MES na indústria surge assim uma solução para diversos problemas, sendo um desses casos a produção de séries curtas, onde a tecnologia de produção está sempre em constante mudança, as ferramentas de produção tem de ser ajustadas para produtos específicos e a organização do processo deve seguir essas mudanças de maneira a evitar ou reduzir perdas resultantes de intervalos de tempo de não produção. (Cupek *et al.*, 2016)

É possível também verificar que a literatura apresenta diversos sistemas onde os MES fazem utilização de outros sistemas ou tecnologias que possam existir. A customização em massa, volume pequeno/gestão de pedidos de alta variedade e maximização da rentabilidade das empresas são objetivos a longo termo que requerem novas abordagens, sendo que estas abordagens são suportadas pelo uso de unidades cooperativas e autónomas que se “organizam a elas próprias” e são capazes de oferecer um elevado nível estrutural e operacional de flexibilidade. (Pascal *et al.*, 2007) Juntamente com a produção de séries curtas, estes são dois exemplos onde essa cooperação entre sistemas ocorre, sendo que ao longo da literatura existem muitas mais ocorrências de cooperação.

Tal como em qualquer outro novo sistema, historicamente cada um dos fabricantes dos mesmos define as suas características, sendo que ao fim de algum tempo esses sistemas são padronizados de maneira a que seja atribuída apenas uma definição aos mesmos, permitindo

que todos tenham acesso a esses sistemas de forma igual (Ugarte, De, Artiba e Pellerin, 2009). O mesmo aconteceu com os MES, segundo Ugarte, De, Artiba e Pellerin, (2009) o primeiro passo dado na padronização destes sistemas foi dado pela MESA através da recolha dos atores chave do mercado e propondo uma definição formal dos MES, a MESA 1997c:

“O MES fornece informações que permitem a otimização das atividades de produção desde o lançamento do pedido até aos produtos acabados. Usando dados atuais e precisos, um MES orienta, inicia, responde e relata as atividades da planta à medida que elas ocorrem. A resposta rápida resultante das mudanças nas condições, associada ao foco na redução de atividades sem valor agregado, impulsiona operações e processos eficazes da fábrica. O MES melhora o retorno dos ativos operacionais, bem como a entrega no prazo, gestão de armazém, margem bruta e desempenho do fluxo de caixa. Um MES fornece informações críticas sobre as atividades de produção em toda a empresa e na cadeia de abastecimento por meio de comunicações bidirecionais.”

O mesmo autor refere também que a mesma organização identifica também as funções principais dos MES, e com o objetivo de atender às necessidades de uma variedade de ambientes de fabricação é realizada também uma padronização. Estas funções encontram-se identificadas no MESA 1997b e são as seguintes:



Figura 4 - Funções chave de um MES (TechTarget, 2019)

- **Operações/detalhes de planeamento:** Atividades sequenciadas e cronometradas para o desempenho otimizado da fábrica com base em capacidades finitas dos recursos

- **Alocação de recursos e Estado:** o que pessoas, máquinas, ferramentas e materiais devem fazer, e monitorização do que eles estão a fazer no momento ou do que fizeram.
- **Despacho de Unidades de Produção:** Dar o comando para enviar materiais e ordens para certas partes da fábrica para começar um processo ou passo.
- **Controlo Documental:** gestão e distribuição dos produtos, processos, designs e ordens, bem como reunião de declarações de certificação do trabalho e condições.
- **Localização do Produto e Genealogia:** monitorização do progresso das unidades, lotes ou lotes de saída para criar um histórico completo do produto.
- **Análise do Desempenho:** comparação de resultados medidos na fábrica com objetivos e métricas estabelecidas pela empresa, clientes ou órgão reguladores.
- **Gestão do Trabalho:** seguimento e direcionamento do uso de pessoal durante um turno baseado em classificações, modelos de trabalho e necessidades do negócio.
- **Gestão da Manutenção:** planear e executar atividades apropriadas para manter o equipamento e outros bens na fábrica a funcionar de acordo com o objetivo.
- **Gestão dos Processos:** direcionar o fluxo de trabalho na fábrica com base nas atividades de produção atuais e planeadas.
- **Gestão da Qualidade:** registo, seguimento e análise de características de produto e processos contra os ideais da engenharia.
- **Coleção/Aquisição de Dados:** monitorização, recolha e organização de dados acerca de processos, materiais e operações de pessoas, máquinas ou controlos.

Todas as funções apresentadas não estão ligadas ao mesmo processo, algumas estão ligadas à programação, outras ao controlo da qualidade, entre outros, pelo que isto torna difícil classificar as funções MES o que traz duas consequências. A primeira, o conceito MES muitas vezes é difícil de perceber claramente pelos produtores em causa. Segunda, há a tendência de trazer tudo o que ainda não está atribuído a outras áreas, como o ERP.

Devido a estas consequências, para além dos padrões estabelecidos pela MESA, também a ISA (*Instrumentation, Systems & Automation*) definiu um padrão essencial para estes sistemas abordados, o S95, permitindo assim que as soluções desenvolvidas sigam as necessidades em constante mudança da indústria e ainda uma resposta eficaz a um problema. Mais concretamente o S95 lida com a formalização do intercâmbio em torno dos sistemas de produção para outras áreas da empresa e desenvolvido para ser aplicado a todas as estratégias de produção, sem impor qualquer modelo organizacional ou arquitetura de sistema de produção. Na posição central deste modelo encontra-se a função controlo da produção. E o MES é um intermediário entre os vários departamentos da empresa. (Ugarte, De, Artiba e Pellerin, 2009) Com todas as padronizações implementadas nestes sistemas a procura por estes sistemas aumenta, pois tornam-se de fácil perceção para todos os utilizadores e devidamente identificado em todas as suas características e capacidades.

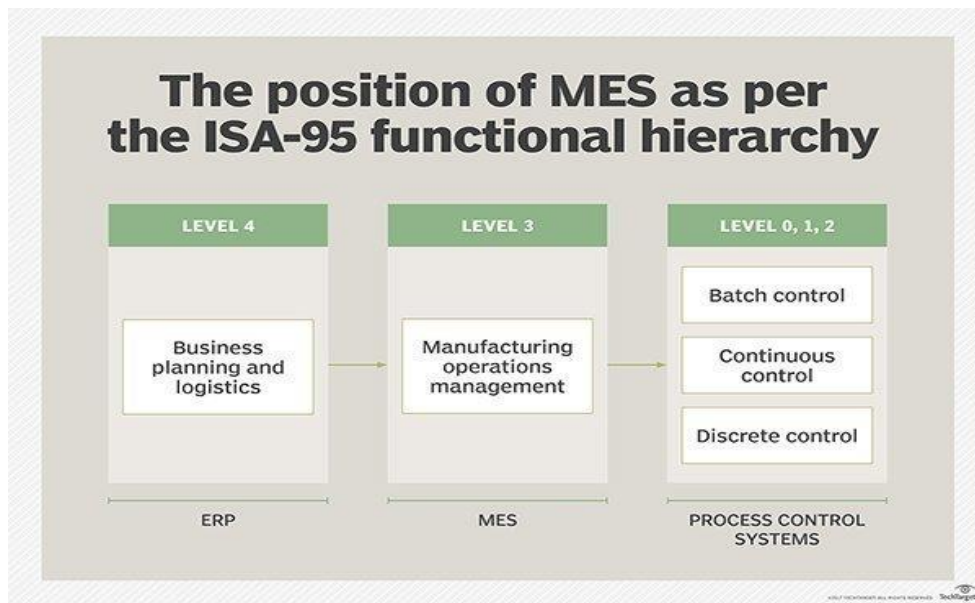


Figura 5 - Posição do MES na Hierarquia Funcional da ISA-95 (TechTarget, 2019)

Para além de todas as características, conceitos e capacidades dos MES apresentadas até agora, estes também apresentam promessas para quem pretende saber mais e até mesmo implementar estes sistemas. De acordo com, Naedele *et al.* (2015), estas promessas incluem, melhor planeamento e precisão de estimativa, suporte de melhoria de processo através de métricas, melhor gestão de staff e talento, menor custos de produção, melhor gestão da conformidade requerida nas indústrias aeroespacial, alimentar e farmacêutica, melhor gestão dos fornecedores, menor tempo para o mercado, alinhamento dos objetivos de produção local com os objetivos globais da empresa, e redução da entrada de dados manuais (para propósitos de registo de tempo e faturação). Sendo que para se realizar tais promessas a funcionalidade MES abrange a recolha e análise de dados de 3 aspetos da produção:

- **Passado:** Armazenamento e análise de dados históricos de execuções de processos anteriores.
- **Presente:** controlo do ciclo fechado e aberto em tempo real do processo.
- **Futuro:** Prognósticos e planeamento de execuções de processos assim como avisos prévios de desvios de processo ou de qualidade.

Uma vez que a base principal dos MES são os dados recolhidos, a informação contida nestes sistemas depende fortemente do utilizador que informa os dados, uma vez que o sistema não controla ou altera as operações de produção, mas através dos dados gera índices que permitem à empresa tomar decisões. (Besutti, Campos e Cecconello, 2019)

Por exemplo, a monitorização dos dados da produção é essencial para um alto nível de controlo do processo de produção, com o uso dos MES consegue-se alcançar essa monitorização, pois estes recolhem a entrada de material, o uso de consumíveis e fluxo de produto. Conseguindo

fornecer ao produtor tendências de longo prazo na eficiência da produção através do consumo de material bruto e número de partes produzidas, como também outros dados recolhidos das máquinas. (Urbina Coronado *et al.*, 2018)

Portanto, os dados e tudo o que se encontra em seu redor são o núcleo da efetividade de um sistema MES, e neste sentido as tecnologias correntes podem assegurar a disponibilidade da informação, mas não podem assegurar que essa informação é precisa e significativa. Pelo que a significância dessa informação depende exclusivamente da análise que lhe fazemos. Uma possibilidade para reunir dados para análise, é extrair dados diretamente a partir de uma ou mais base de dados. (Ugarte, De, Artiba e Pellerin, 2009)

Estes dados que se podem encontrar nas diversas bases de dados podem ser recolhidos de diversas maneiras e através de diferentes ferramentas, tudo graças ao elevado crescimento da digitalização do chão de fábrica. Um sistema de produção físico pode ser representado quase em tempo real no mundo digital usando *feedback* de sensores no sistema para mudar o modelo digital. Este modelo digital permite uma simulação *offline* e análise que pode ser utilizada para controlar o processo de produção. Esse modelo digital do sistema é referido como um *Digital Twin*. (Urbina Coronado *et al.*, 2018)



Figura 6 - Ilustração Exemplo de um Digital Twin. (Critical Manufacturing, 2019)

A recolha de dados poder ser feito de diversas maneiras, através dos atores que podem ser utilizadores humanos, máquinas e equipamentos, os próprios produtos também são participantes ativos no sistema uma vez que recolhem informação valiosa acerca do parâmetro atual da produção que podem afetar a utilização do produto e o seu desenvolvimento futuro, e o mais usual das maneiras de recolha de dados, os CPS, que se encontram ligados através de serviços web disponíveis através da Internet. Estes CPS têm a habilidade de interagir e expandir as capacidades do mundo físico através da computação, comunicação e controlo. São a principal chave do desenvolvimento das tecnologias futuras.

Neste âmbito da recolha de dados a IoT, também têm a sua importância. A IoT é benéficamente usada em muitos setores pois fornece uma visão dentro das operações da empresa através da

utilização de sensores, hardware, software e até mesmo a rede em Nuvem. Os dados recolhidos com a rede IoT pode ser depois usada para otimizar o desempenho da empresa que, eventualmente leva a um aumento dos lucros. Isto faz com que se gerem grandes quantidades de dados a partir de uma simples ferramenta, sendo que esses mesmos dados serão inúteis se não forem processados em tempo real, devido a isto é feito o uso de computação em nuvem para processar os dados, em vez de um server local ou um computador pessoal. A computação em nuvem permite comunicações mais rápidas, permitindo a tomada de decisões em tempo real. (Menezes, Creado e Zhong, 2018) Com a ajuda da IoT é então possível recolher informação em tempo real em diferentes partes da corrente de valor, e assim a coleção de dados torna-se mais eficiente, rápida e flexível. (Besutti, Campos e Cecconello, 2019)



Figura 7 - Ilustração da Internet of Things (SegInfo, 2019)

Só através de uma recolha de dados organizada e armazenamento dos mesmo em bases de dados e depois um tratamento cuidadoso dos mesmos, é que se consegue tomar as decisões nas partes *cyber* e físicas do sistema. É necessário então que todos os agentes recebam informação apropriada e a tempo.

Pois segundo Besutti, Campos e Cecconello, (2019), a eficiência da informação contida num MES depende fortemente do utilizador que informa os dados, uma vez que o sistema não faz o controlo ou mudança de operações de produção, mas através dos dados são gerados índices que permitem à empresa tomar decisões.

Os agentes e também os hólons (parte *cyber* física da aplicação e que recolhe informação do sistema de produção real), são conceitos usados em alguns sistemas MES, apesar de existirem outras abordagens, que aumentam a adaptabilidade e robustez dos sistemas. São caracterizados por determinados conceitos, tais como autonomia, proatividade, coordenação e comunicação a fim de se adaptar ao meio envolvente. Os hólons podem ser usados como interfaces entre plataforma de software e ferramentas de produção existentes, permitindo assim que a informação de vários aspetos do sistema de produção possa ser obtida. Os sistemas multiagentes

permitem o uso de algoritmos de mineração de dados para explorar informação que está disponível no sistema de produção.

Desta maneira num MES, os agentes de software conseguem desempenhar as suas tarefas para suporte de planeamento de produção. O sistema autónomo é capaz de preparar os pedidos de material planeado e mapas de produção examinando várias alternativas. Consegue também dar suporte à preocupação acerca da redução de custos energéticos tendo em conta os fusos horários da eletricidade para uma planta e carga de trabalho da fábrica. Tornando-se possível também apresentar aos clientes o tempo de produção programado. Esta arquitetura MES integrando um sistema de produção holónico tem como referência o projeto PROSA, e requer mais esforço para ser configurado, mas substancialmente menos esforço para ser reconfigurado, sendo que todos os atores (designers de produto, supervisores de ordens, equipamento de produção usado, etc.) são suportados por agentes que fornecem as funcionalidades pedidas ao nível do MES. (Cupek *et al.*, 2016)

É possível perceber-se então que existem várias soluções dos MES, sendo que isso é possível pois estes sistemas são tradicionalmente desenhados numa base modular. Se os conjuntos das funções MES são teoricamente invariáveis, a prioridade entre elas e a configuração pode variar e ser adaptada de acordo com os objetivos da empresa. De uma maneira geral os módulos MES podem ser classificados em 3 camadas:

- **Camada da aplicação Cliente/servidor:** Esta é a camada que é visível para os utilizadores. É também onde outros sistemas podem ser ligados, permitindo que estes comuniquem num ambiente de mensagens distribuídas.
- **Camada da Estrutura de Integração:** Esta camada é considerada o coração da arquitetura. É constituída por componentes padronizados e reutilizáveis que fornecem à aplicação a infraestrutura da aplicação através da qual informação flui entre as aplicações. Esta infraestrutura é geralmente construída em ferramentas de objeto padrão distribuídas tais como a CORBA ou COM/DCOM/OLE.
- **Camada de armazenamento/gestão de dados:** Esta camada fornece serviços essenciais para a aplicação e camadas da Estrutura de Integração, tais como comunicação em rede, serviços de gestão de objetos e serviços de objetos persistente. Estes serviços e facilidades devem ser construídos em sistemas de operação e tecnologias de base de dados robustos e padronizados, para fornecerem uma base sólida e a longo termo para todo o sistema.

Para além dos módulos se encontrarem classificados, as principais empresas de MES focam-se em melhorar ainda mais os mesmos, focando-se nos vários problemas que podem ser aperfeiçoados nos MES. Sendo que no conjunto das mesmas onde se encontram a heterogeneidade, conexão padronizada, desempenho em tempo real, arquitetura baseada na rede, configurabilidade e escalabilidade destaca-se a integração, que também faz parte dessa

mesma lista. Sendo que a mesma é a chave para a implementação de um sistema de informação corporativo, onde um MES faz a ponte entre os sistemas de controlo de chão de fábrica e de planeamento de escritório. (Ugarte, De, Artiba e Pellerin, 2009)

Relativamente a esta integração, referida anteriormente, Ugarte, De, Artiba e Pellerin, (2009) indicam que primeiro que tudo, é necessário estabelecer uma hierarquia de tarefas de produção, que foi sempre o único esquema organizacional e que tem sido substituído por outras formas de gestão. Por exemplo, os sistemas convencionais MRPII, apresentam uma estrutura *top-down*, o que dificulta a integração de diferentes formas de produção e exige uma mudança no processamento de ordens. Outra dificuldade surge da heterogeneidade dos softwares do ambiente de produção. Não é raro dentro da mesma solução MES ter de implementar módulos de diferentes fornecedores, cada um com o seu modelo de dados, mecanismos de comunicação ou até mesmo a sua base de dados. Para ter todos a funcionar como um todo, mecanismos proprietários são comumente aplicados para integração de sistemas. Além disso, porque as aplicações MES são muitas vezes de missão crítica, embora não tenham adaptabilidade adequada às novas tecnologias, elas não podem ser substituídas ou atualizadas à medida que a tecnologia avança. Também a adoção de formatos próprios e API (*Application Programming Interface*) por parte dos fornecedores continua a ser, e provavelmente continuará a ser, a principal razão limitadora da integração dessas ferramentas. Esta é uma das razões para que a implementação, a integração e a manutenção de um MES seja tão cara.

Por natureza e definição os MES estão preparados para ser integrados. O problema é que cada um dos sistemas de informação tem as suas próprias interfaces, e em particular o equipamento de produção é muitas vezes único. Para combater esta dificuldade, existem sistemas direcionados para a integração, como é o caso da tecnologia SOA (*Service-Oriented Architecture*), desenvolvida com a capacidade de ligar recursos computacionais sobre procura para alcançar os resultados desejados pelo consumidor do serviço. A única desvantagem encontrada nesta solução é que esta exige a gravação completa de todas as aplicações correntes. (Ugarte, De, Artiba e Pellerin, 2009)

Já Arab-Mansour, Millet e Botta-Genoulaz, (2017) afirmam que a integração pode ser vista como um processo que consiste em elevados níveis de interação entre pessoas, máquinas e aplicações, a qual aperfeiçoa a sinergia dentro de uma empresa. Graças aos IS, a integração envolve essencialmente componentes das aplicações. Em certos casos, os componentes estão fracamente acoplados para preservar a sua heterogeneidade e autonomia. Chama-se a isto, interoperabilidade das aplicações, sendo esta uma maneira de facilitar a integração. Para assegurar então a interoperabilidade de sistemas ao nível técnico e semântico, é essencial que aplicações de negócio permaneçam capazes duma interpretação consistente dos dados trocados e das funções usadas. Os conflitos semânticos podem surgir durante a troca entre aplicações, podendo envolver dados ou a lógica de negócio das aplicações. Pelo que é vital identificar esses conflitos e proceder à sua resolução tão cedo quanto possível, de preferência nos estágios

iniciais de um projeto de integração. Sendo que para resolver estes problemas é necessário o uso de mecanismos capazes de determinar as áreas correspondentes e/ou conflitos semânticos entre aplicações.

O mesmo autor identifica, que também o alinhamento semântico entre aplicações permanece um problema por resolver no contexto da integração e interoperabilidade de sistemas, e que requer processos de alinhamento. Daí que o papel de especialistas nos projetos de integração é crítico.

Deuel, (1994) afirma então que a integração de um MES com as funções de negócio das companhias de produção é a chave de uma gestão efetiva da produção e atividades associadas.

Tendo então esta integração MES com outros IS, tornar-se-á possível para as organizações adotar estratégias de produção adaptáveis, podendo assim responder rapidamente a eventos perturbadores que possam acontecer no chão de fábrica. (Ugarte, De, Artiba e Pellerin, 2009)

Com o avanço dos níveis de integração e tecnologias de computação, a ferramenta MES está a evoluir com um pacote de software poderoso. Espera-se que corresponda às necessidades do cliente para uma resposta em tempo real mais rápida e gerencie complexidades na produção com funcionalidades expandidas. (Mantravadi e Møller, 2019)

Para além do tipo de integração dos próprios MES com outros sistemas, também o MES pode ser usado para ajuda na integração ou implementação entre sistemas, como é o caso da implementação ou integração das estratégias de produção Lean. Os MES são capazes de resolver os problemas que surgem durante a implementação dessas estratégias, pois estes encaixam-se numa integração vertical da informação que ajuda a controlar e melhorar durante a redução de processos de atividades de valor não acrescentado. Os MES preenchem a lacuna na integração entre a Indústria 4.0 e a produção Lean, isto é, ao implementar a Indústria 4.0 as empresas tornar-se-ão Lean por causa da necessidade ter processos bem definidos. Daí existir também a necessidade de desenvolver um software MES livre, com tendência de ter custo reduzido, especialmente para pequenas e médias empresas que não têm condições financeiras para adquirir sistemas fechados. (Besutti, Campos e Cecconello, 2019)

É necessário ter em atenção que apesar de todos os conceitos, características e pormenores relativos aos MES apresentados ao longo desta Dissertação, será necessário também falar naquilo que uma empresa tem de possuir para que se possa usufruir dos MES, como falar também acerca do estado de desenvolvimento em que se encontram tais sistemas.

Neste sentido, Besutti, Campos e Cecconello, (2019) identifica quais os materiais e métodos necessários para se conseguir alcançar o desenvolvimento de um MES de baixo custo, podendo

mudar-se ou acrescentar alguns equipamentos, mas a base principal para se conseguir ter um MES funcional é a apresentada. Para tal, é necessário:

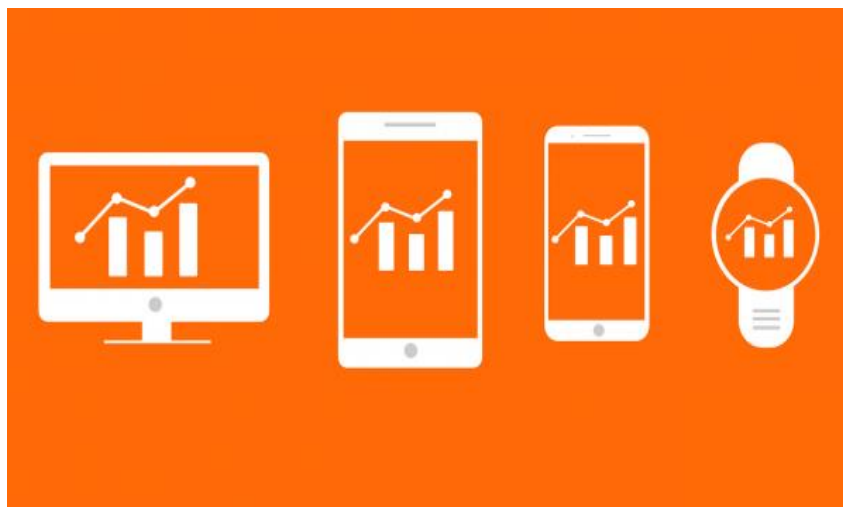
- **Coletores de dados:** Um coletor de dados é uma aplicação que recolhe e liberta dados que serão analisados e apresentados no GUI (Interface Gráfica do Utilizador). (IBM, 2019)
- **Interfaces web e servers encriptados:** Software que grava e reporta as ordens de produção, juntamente com scripts que realizam a inclusão e atualização dos dados na base de dados.
- **Servidor Web e Base de dados:** No servidor Web são recebidos os pedidos e o servidor irá buscar o que é pedido à base de dados. Na base de dados é onde todos os dados são armazenados, neste contexto a base de dados mais popular em todo o Mundo é a MySQL, que funciona em acesso aberto, e fornece uma interface SQL (*Structure Query Language*) para aceder aos dados.
- **Relatórios de Montagem:** Para a compilação e análise de dados, algumas folhas de cálculo são construídas no Microsoft Excel, o qual contém gráficos e tabelas pivot que conectam diretamente com a base de dados para gerar relatórios em formato de painel de controlo. Alguns relatórios são criados para realizar o cálculo da disponibilidade, desempenho e OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), esses cálculos são baseados em equações.

Relativamente ao avanço destes sistemas, Almada-Lobo, (2015) identifica que uma geração completamente nova é necessária para lidar com os novos desafios da Indústria 4.0. Onde se deve ter em consideração 4 princípios:

- **Descentralização:** Não precisa de ser física, mas sim lógica. O que isto significa é que um produto inteligente ou CPS, enquanto tiver a capacidade de se autoidentificar e conectar com um sistema físico centralizado, fornecer a sua posição e estado, o poder da computação pode estar noutra lugar. Os MES continuam a ser uma aplicação, mas atuam descentralizados com agentes/objetos representando as entidades de chão de fábrica.
- **Integração Vertical:** Os MES devem ser verdadeiramente modulares e interoperáveis, logicamente descentralizados, de modo a que todas as funções ou serviços possam ser consumidos pelos materiais inteligentes, equipamentos inteligentes ou outras entidades do chão de fábrica.
- **Conectividade e Mobilidade:** Atualmente, a Indústria 4.0 tem criado uma verdadeira democratização em tal conectividade, permitindo que seja difundido em instalações de fabricação de diferentes níveis de sofisticação. Na frente MES mais operacional, conectividade e mobilidade combinadas deverão permitir mais interfaces adaptáveis. Os MES serão compostos por diferentes aplicativos. Pelo que se tornará uma realidade

a possibilidade de chegar a uma máquina, descarregar um aplicativo construído especificamente para a mesma, e este aplicativo ter a capacidade para operar toda a máquina.

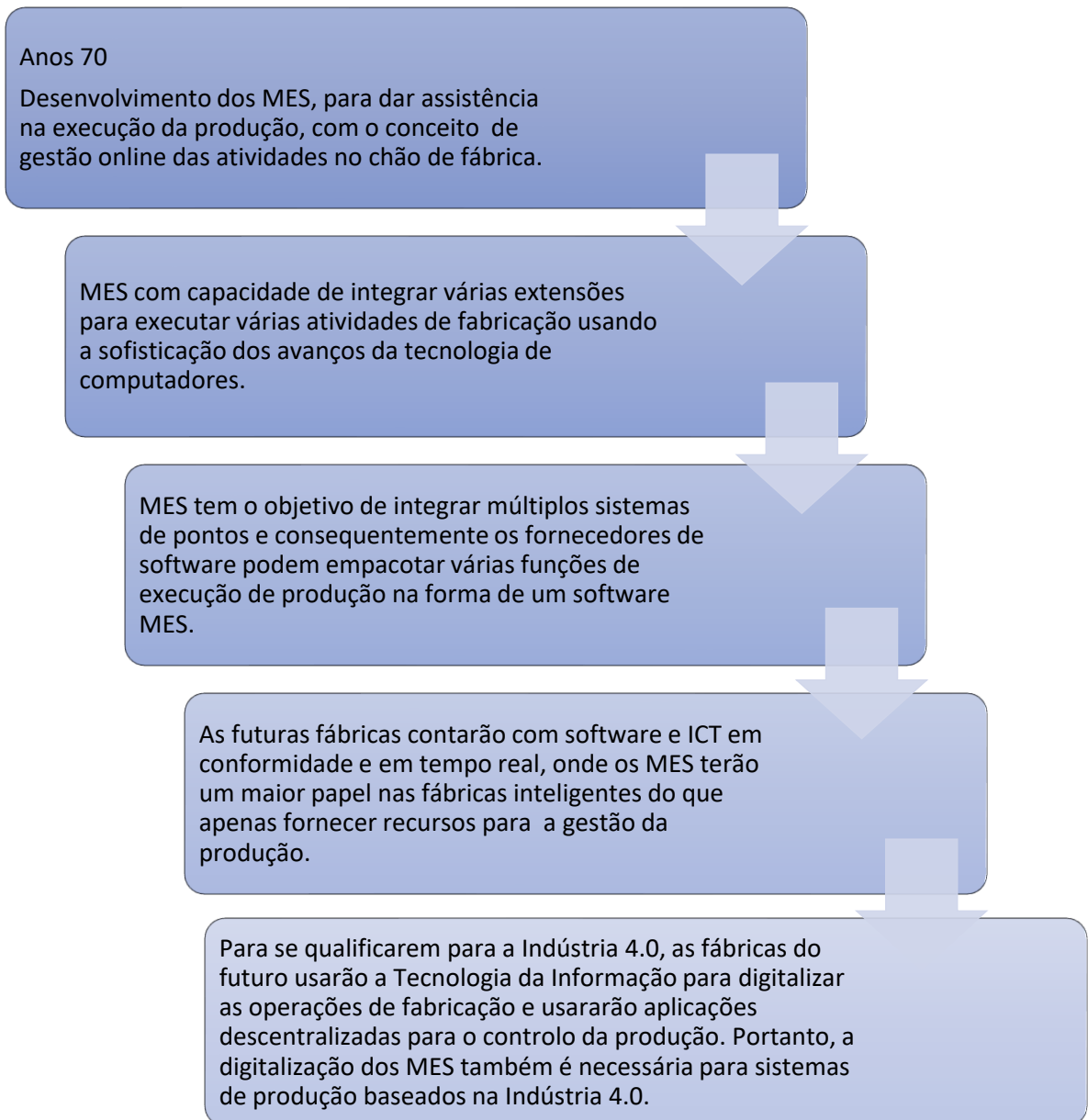
- **Computação em Nuvem e Análise Avançada:** A visão de Fábricas Inteligentes da Indústria 4.0 requer uma visão holística das operações de fabricação. Claramente isto consegue apenas ocorrer através da integração de dados de diversas fontes. A análise avançada é depois necessária para se compreender perfeitamente o desempenho dos processos de fabricação, qualidade dos produtos e otimização da cadeia de abastecimento. A análise também ajudará na identificação de ineficiências com base em dados históricos e permitindo que ações corretivas ou preventivas sejam executadas.



*Figura 8 - Ilustração Exemplo de interfaces de análise e de apresentação de dados. (InformEtica Consulting, 2019)*

Com todos estes avanços futuros os MES acabam por entrar numa nova fase, entram na fase dos MES inteligentes. Onde um dos principais objetivos se concentra em criar sistemas deste tipo de baixo custo capazes de poderem ser usados por pequenas e médias empresas. Nesta fase existem 3 fatores que desempenham um papel importante no desenvolvimento de um MES, são eles a transparência, capacidade de resposta e eficiência de custos. Para aumentar a transparência deve haver um impulso para melhorar a integração do negócio dentro do sistema. Isto deve levar a uma melhoria na comunicação entre o departamento das finanças e o departamento da produção. A capacidade de resposta do sistema geralmente denota a taxa de fluxo de dados. O aumento do tempo de resposta ajuda a detetar problemas e eventos inesperados mais rapidamente, ajudando a localizar e a resolver o problema antes que o mesmo se espalhe. Por último o MES deve oferecer a otimização como uma ferramenta subjacente para todas as funções MES. Esta otimização economiza recursos e tempo, eventualmente redução de custos, ou seja, proporciona uma eficiência de custos. (Menezes, Creado e Zhong, 2018)

## 2.2. Evolução dos MES



## 2.3. Exemplos de aplicações práticas

Para se perceber então como os MES estão a ser implementados dentro das empresas, assim como algumas soluções de menor custo destes sistemas que têm vindo a ser desenvolvidas para que as Pequenas e Médias Empresas, ou empresas com menos capacidade financeira, possam ter acesso aos benefícios que estes sistemas trazem para as empresas, serão apresentados alguns exemplos de aplicações práticas relatados em artigos. Desta maneira será possível perceber como a indústria tem vindo a aplicar os MES, bem como quais as necessidades que as mesmas tiveram para conseguir alcançar um sistema funcional.

Oman *et al.*, (2017) apresenta uma implementação MES numa Cadeia de Abastecimento, com o objetivo de alcançar uma partilha de informação mais rápida e de melhor qualidade, sendo que é realizada também uma integração entre o MES e o ERP, neste caso os autores tiveram a necessidade de adaptar o sistema às suas necessidades. Para se conseguir a integração entre os sistemas foi necessário recorrer a outros sistemas ou aplicações, como o caso do IDoc que permite a troca de mensagens entre os sistemas, sendo que este funciona dentro de um modelo desenvolvido, o GUI, tem como função conectar o MES ao sistema ERP líder ou orientador. A informação base é gerada com o sistema ERP e é depois enviada para o MES, o MES é o sistema recetor e segue as ordens do ERP. Em termos de resultados, foi necessário desenvolver um GUI incorporado no sistema ERP Microsoft Dynamics NAV com base nos seguintes procedimentos principais da integração MES-ERP: troca de mensagens entre o ERP e MES (NAV para HYDRA); troca de mensagens entre o MES e ERP (HYDRA para NAV). Inicialmente, a interface ERP incorporada pega em meta-dados da base de dados do sistema ERP Microsoft Dynamics NAV, depois da conversação de dados (interpretação) em mensagens IDoc e tradução de dados de acordo com o esquema IDoc, a mensagem é recebida pelo MES que a trata como ponto de partida e converte-a numa forma que a aplicação MES HYDRA consiga processar. O sistema MES HYDRA fornece depois a aquisição de dados sobre o controlo de produção através de um terminal de coleta de dados e transfere esses dados para o sistema ERP e são arranjados no sistema de acordo com o tipo de produção, que são depois sumarizados numa ficha de saída. A aprovação dos dados recebidos no ERP e a sua gravação na base dados é feita no fim de todo o processo. Os autores conseguiram concluir desta aplicação que os sistemas MES e ERP foram integrados com sucesso através da abordagem utilizada. Este estudo fornece uma solução representativa da possibilidade de implementar e integração entre o processo de fabricação e o domínio do negócio, mostra também que a integração de um MES-ERP pode ser implemento num ambiente industrial sem a necessidade de bibliotecas especializadas de fornecedores de softwares. E por fim os dados apresentados no artigo são uma prova útil para quem procura justificar projetos de integração MES-ERP.

No mesmo conceito de desenvolvimento de soluções MES, surge Chen *et al.*, (2018) com a apresentação de uma solução barata dos MES, um MDE (*Model-Driven Engineering*), uma solução para reduzir os custos de implementação envolvidos num sistema comum, sendo o mesmo dirigido para a área da Indústria de Bebidas e Alimentar pois não existe uma abordagem concreta deste tipo nesta área. Os elevados custos de implementação de um MES central, é o que leva as PMEs a optarem pelo uso de outros tipos de sistemas IT, juntamente com o elevado número de funções que controlam os processos de produção no chão de fábrica e a sua necessidade para comunicar com sistemas de alto nível, aumentando a complexidade de implementação dum MES. Daí que o artigo apresenta uma abordagem para geração automática dum MES de acordo com o conceito MDE onde o seu foco está na primeira etapa definindo elementos de modelagem, que é considerada como a base desta abordagem. Um MDE é uma metodologia de desenvolvimento de software que usa a abstração para sistematicamente

utilizar modelos como artefactos primários durante o processo de desenvolvimento de software. Este tem como objetivo mover o foco da engenharia de software da codificação para solução de modelagem introduzindo geração automática de código. Este artigo teve como objetivo a construção das bases de uma abordagem orientada por modelo definindo os elementos de modelagem na etapa de modelagem. Foi integrada a linguagem de modelagem estendida MES-ML, onde os elementos de modelagem podem ser definidos em 4 bibliotecas para cada modelo que for necessário descrever uma solução MES, são elas, modelo da planta, modelo do processo, modelo função MES e modelo de relatório. Os 2 principais objetivos desta abordagem são a gestão da energia e o cálculo de KPIs. Após a implementação da abordagem descrita e analisados os dados recolhidos, o autor apresenta algumas conclusões, ficou demonstrado a viabilidade de usar os elementos para a modelagem de uma solução MES para analisar o consumo de energia, pelo que alguns peritos MES definem esses elementos de modelagem como a base de uma abordagem na direção da geração de um MES automático. Em comparação com a implementação habitual de soluções MES, esta implementação torna-se mais fácil, e são também retiradas conclusões: primeira, devido ao uso de uma linguagem de modelagem gráfica, os requisitos do ponto de vista de diferentes trabalhadores envolvidos numa solução MES podem ser acomodados e comunicados facilmente; segunda, os elementos de modelagem para criação de modelos estão já definidos e podem ser reutilizados diretamente de bibliotecas relacionadas, ajudando a reduzir a complexidade durante a fase de modelagem; terceira, como os Padrões Weihenstephaner estão integrados na abordagem, não existe uma interface extra para a comunicação entre a máquina e o MES; por fim, usando elementos de modelagem juntamente com a abordagem apresentada, a solução MES consegue ser gerada automaticamente sem mais esforço de programação. Consegue-se desta maneira então ter uma empresa a funcionar totalmente sozinha e gerando o seu próprio MES consoante as suas necessidades.

Ainda dentro desta área da Engenharia de Software, onde os MES podem ser usados com função de se gerarem automaticamente, ou mesmo para ajudar no desenvolvimento de outros softwares, surge o nome também de Naedele *et al.*, (2015) num trabalho desenvolvido em que analisam como os conceitos e princípios MES podem ser aproveitados para endereçar as preocupações do desenvolvimento de software na prática. Segunda a autora as contribuições deste trabalho são duas: primeira, analisam e adaptam os profissionais de desenvolvimento de software de visão MES a um quadro de referência para aumentar a previsão e qualidade do desenvolvimento de software. Sendo que foram identificados também 4 lacunas entre a prática corrente no sistema de desenvolvimento de software e a visão MES para o desenvolvimento de software. Segundo, foi desenvolvido um protótipo, MDM-DSS que demonstra novos tipos de análise possibilitado pela visão MES para tomada de decisão de desenvolvimento de software. A aplicação dos princípios MES, demonstrou através do protótipo MDM-DSS, a viabilidade e benefícios do uso de uma infraestrutura unificada para automaticamente recolher, fundir e analisar dados de diferentes ferramentas e através de projetos de software diferentes. No

futuro o objetivo deste protótipo será expandi-lo para que possa usar dados históricos de esforço, mudança e erro para seguir e inferir os custos de alterações de código e correção de erros. Por fim tem como expectativa que o quadro de referência baseado na visão MES ajudará a apoiar a decisão e muitas outras áreas de desenvolvimento de software. De forma simplificada, o autor desenvolveu um MES com a capacidade para analisar e ajudar os peritos no desenvolvimento de softwares, tornando mais fácil o desenvolvimento do mesmo com menos erros e mais completo.

Observando-se as aplicações até agora apresentadas, é possível perceber que os MES apresentam uma única aplicação, mas que essa aplicação pode ser utilizada em diversos setores e de formas diferentes. Para além destas, também no que toca ao Controlo da Produção este pode ser aplicado e utilizado consoante as necessidades da empresa.

Nesta área de Controlo da Produção têm-se então várias aplicações, uma delas feita pelo autor Urbina Coronado *et al.*, (2018), que apresenta o desenvolvimento e implementação de um novo MES, alimentado por dispositivos Android e ferramentas de computação em nuvem, que combinam dados MTConnect com dados de produção recolhidos dos operadores. Este sistema apresenta-se também como uma solução de baixo custo e de fácil implementação, bom para PMEs. Este trabalho apresenta um MES construído em ferramentas gratuitas e de código aberto, o MES faz uso de uma aplicação instalada num dispositivo móvel Android. O MES aproveita os serviços web para fornecer recursos de acessibilidade na nuvem, backup de dados e computação. Este sistema abordado também se integra com dados produzidos por ferramentas de uma Máquina de Controlo Numérico Computorizado (CNC) usando o padrão MTConnect. Este MTConnect recolhe uma grande variedade de dados relativamente à máquina e armazena-os numa base de dados, a recolha é feita através de adaptadores (interfaces físicas, sensores, CPS, etc.) e agentes que recolhem os dados lidos e armazenam os mesmos. Este MES torna-se então um facilitador de *Digital Twin* de Chão de Fábrica que representa peças, operadores, equipamento de capital e consumíveis. Ele captura informações sobre peças e ferramentas usando um dispositivo móvel e subsequentemente combina essa informação com dados MTConnect fornecidos por uma ferramenta mecânica usando uma plataforma em nuvem. Após a implementação do sistema os resultados observados pelo autor foram bastante positivos. A aplicação Android OS foi desenvolvida para interagir com o operador da máquina e recolher dados na produção de peças, inventário de material, e fornecimento de ferramentas. A mesma está conectada a uma base de dados em nuvem que armazena os dados históricos e foi usada para fornecer visualizações do estado de chão de fábrica usando uma aplicação web. A informação encontra-se disponível para qualquer dispositivo conectado à internet e atualizada em tempo real com nova informação. Para além da aplicação, também a simplicidade do MES permite o seguimento e documentação de aspetos dos produtos assim que começam a ser produzidos. Fotografias dos produtos durante as suas etapas de produção, sendo isto útil no controlo da qualidade, metrologia, treino do sistema de visão através de técnicas de

aprendizagem de máquina, ou detecção de recursos e defeitos. Os dados recolhidos pelo MTConnect podem ser ligados com os dados obtidos pela aplicação móvel para permitir a relação de aspetos importantes da operação de produtos, materiais, ferramentas, operadores e outros ativos físicos. A aplicação desbloqueia também a possibilidade de seguir o desempenho do operador, ela irá registar a atividade dos operadores e pode ser usada como uma ferramenta para construir um sistema de pontuação. Todo o sistema foi validado tendo sido implementado numa empresa de produção de ioiô de titânio.

Nesta área do Controlo da Produção o autor Pascal *et al.*, (2007) apresenta também uma solução MES, mas neste caso um MES HMS (*Holonic Manufacturing System*), ou seja, um MES à base de Hólons e Agentes. Esta solução tem como objetivo realizar o controlo de um sistema de produção industrial. O uso de uma estrutura holónica permite a construção de um controlo reativo e reconfigurável, ao considerar aspetos globais de um sistema de produção. Esta abordagem requer agregação de restrições e tempo, como todo o problema, que é um conjunto de sub problemas interconectados que não podem ser decentemente resolvidos com um único algoritmo. Este projeto MES/HMS foi parcialmente implementado num contexto real, dentro do sistema de decisão da empresa AGP (*American Glass Product*). Um programa chamado KD foi também desenvolvido a fim de executar a supervisão da produção. Este programa está interligado com o sistema ERP, o programa comercial de desenho de padrões de corte e uma máquina CNC. Computadores localizados em cada célula de produção permitem recuperar a lista de prioridades do item de produto em processamento. Os operadores estão encarregados de agendar a atividade de cada célula de produção de uma maneira reativa. Toda a documentação técnica dos itens de produto está disponível no KD, assim como os relatórios de produção e qualidade são capturados dentro deste programa. Estes relatórios estão disponíveis online e permitem avaliar uma data provável de entrega. O programa KD permite então reafectar o item do produto ao pedido de venda usando um fator de prioridade, de modo a propor alternativas para reduzir o impacto da perda de produto. A parte estática de funcionamento desta arquitetura é feita de holóns de recursos, e é responsável pelo controlo da execução dos recursos físicos do sistema de produção. Uma tipologia de hólons é também proposta, tendo esta as suas bases nas características das tarefas desempenhadas: fornecimento, desmontagem, transformação e montagem. Para cada tipo de hólons de recurso, uma heurística específica pode ser usada para resolver problemas de controlo de fabricação, tendo em conta cada micromodelo. Por exemplo, uma heurística específica gera uma solução para o problema de agendamento/embalamento no caso de uma máquina de corte de matéria-prima. Para esta arquitetura, é proposto o uso de mecanismos para sincronizar a execução de ordens de produção. Estes mecanismos garantem a disponibilidade dos componentes e permitem estabelecer restrições de limite de tempo no agendamento de tarefas. Estes mecanismos e algoritmos são implementados dentro de um sistema multiagente, o qual suporta o desenvolvimento do sistema de controlo da produção. Este MES está integrado no sistema de gestão da empresa, como uma interface entre o ERP e o sistema físico. Esta abordagem teve

como objetivo a integração de um MES juntamente com o uso de hólons e mecanismos dinâmicos para controlo de ordens de execução de produção, garantindo assim a disponibilidade dos componentes necessários para cada ordem e permitem impor restrições de tempo limite no agendamento de tarefas.

Menezes, Creado e Zhong, (2018) apresentam também uma abordagem MES mais dedicada às PMEs, apresentam um MES inteligente usando a tecnologia RFID (*Radio-Frequency Identification*) de maneira a conseguir um sistema de produção em tempo real. Tendo como objetivo da implementação deste MES a promoção da comunicação dentro da empresa, o aumento da qualidade do produto, otimização do armazenamento de dados e a redução de papel desperdiçado. Esta implementação foi feita numa empresa que produz joelheria usando recursos únicos e com tempos de entrega dos produtos curtos. Para além da implementação do MES, foi desenvolvida também uma aplicação Android como interface com a sua base em nuvem, permitindo que esta suporte muitos recursos principais do MES. Neste sentido a utilização da tecnologia RFID torna mais fácil a digitalização de recursos e armazenamento dos mesmo na base de dados. A aplicação Android permite que os trabalhadores acessem a uma lista de trabalhos organizada pela sua prioridade. Quando um trabalhador aceita um trabalho ele usa o RFID para saber que recursos deverá recolher. Quando um recurso é recolhido, a base de dados é atualizada em tempo real. Para proteger o trabalhador, também uma página de instruções surge para que o trabalhador saiba como completar o trabalho, que fica concluído quando o trabalhador faz a análise da qualidade do produto acabado, podendo fornecer também uma grande variedade de conteúdos, tais como fotografias, vídeos ou ficheiros áudio. Pelo que a interface tem então um design altamente modular, que permite à empresa apresentar toda a informação que eles acharem relevante. A aplicação é então um MES inteligente, ou um *Real Time MES*, que pode ser usado pelos trabalhadores, bem como pelos gestores para mitigar e responder com precisão à dinâmica do chão de fábrica. O uso de um server em nuvem descentralizado permite que a informação recolhida de múltiplos sistemas ERP, permitindo que a aplicação proposta seja na sua natureza modular e adaptável a qualquer negócio, quer usem parcialmente um sistema ERP ou não. Desta maneira consegue-se ter o controlo da produção bem como da ordem que devem ser feitas as produções, pois o MES organiza essas ordens da melhor maneira possível e fornece com ajuda do RFID todos os dados necessários aos trabalhadores e gestores da empresa, apresentando-se como uma alternativa MES de baixo custo.

Também o autor Sivam *et al.*, (2018) apresentam um exemplo de aplicação de um MES no controlo da produção, neste caso numa empresa de produção de caixas de velocidades para camiões, sendo que também fazem uso de algo semelhante ao RFID, neste caso Códigos de Barras, que são gerados antes de se iniciar a produção de uma peça e que acompanha o processo de produção todo da peça. Neste caso o sistema MES recebe os dados históricos e irá depois transferi-los para as máquinas. O dispositivo consegue depois converter essa informação

num sinal indicador de variância para o operador. Usando também um sistema Poke-Yoke desenvolvido para que possa suportar os dados do MES. O código de barras é gerado numa ficha de construção que acompanha todo o processo de produção da peça, contém toda a informação necessário para a produção da caixa de velocidades como todo o seu histórico, ao longo da linha de produção todas as vezes que ele for lido transfere informação para o sistema MES. Esta ficha de construção contém vária informação, tal como Número Variante, Descrição variante, Número de série da caixa de velocidades, data e tempo de produção e o código de barras. O funcionamento é simples, o operador digitaliza o cartão de construção, ou o número de série presente no mesmo, que corresponde a uma determinada caixa de velocidades, esta informação entra no MES e de seguida este irá fornecer à máquina os dados relativos a este número de série. Desta maneira a máquina através do Poke-Yoke e dos dados recebidos do MES pode confirmar a qualidade da peça em 100% ou não, avisando o operador caso haja variância.

Para terminar este subcapítulo é apresentado mais um artigo onde os autores Besutti, Campos e Cecconello, (2019) apresentam o desenvolvimento de um MES de baixo custo, o OpMES, para as PMEs. Este projeto teve como base então as PMEs, que não tem capacidade financeira para suportar os custos da implementação de um sistema MES, nesse sentido o autor desenvolve uma versão de baixo custo, procurando por componentes e tecnologias de software aberto, que permitem o seu desenvolvimento, mantendo o máximo possível das principais características de um MES. Para tal desenvolvimento foram selecionados inicialmente alguns parâmetros importantes presentes num MES, através da avaliação de dois sistemas MES disponíveis no mercado. Após a definição dos parâmetros, o desenvolvimento do sistema foi dividido em 4 partes. Primeira, o desenvolvimento de um coletor de dados assim como a preparação do mesmo para se conectar em rede e enviar dados. Segunda, desenvolvimento de uma interface web para registar e reportar ordens de produção e scripts de servidor para inclusão e atualização de dados. Terceira, implementação de um servidor web apache e uma base de dados MariaDB (equivalente ao MySQL), onde as tabelas são criadas para receber os dados dos coletores e interfaces web. Quarta, é feita a conexão com a base de dados para se conseguir obter depois a montagem de relatórios de resultados e dados. Este sistema foi então desenvolvido com base em entrada de dados digitais do utilizador, onde o utilizador usa o coletor de dados ligado à rede via hi-fi para abrir e fechar compromissos, os coletores enviam os dados para o servidor onde um script PHP (*Hypertext Preprocessor*) faz a inclusão ou atualização na base de dados. O utilizador faz uso também da interface web para informar a ordem de produção que se encontra em execução. Os gestores e supervisores realizam a análise dos dados disponíveis, desempenho, qualidade e OEE através da compilação de dados em esquemas realizados em Excel. Este sistema foi implementado numa indústria de mobiliário, que permitiu uma produção inteligente com tomada de decisão e controlo feito em tempo real. Pelo que os autores conseguiram alcançar o objetivo de desenvolver um MES barato e com as características de um MES.

Para finalizar, todos os autores mencionados acima são consensuais no que toca aos trabalhos futuros de melhorias a fazer nestes sistemas MES, pois todos conseguiram fazer face às necessidades que tinham através da implementação do sistema, pelo que consideram uma mais valia para todas as empresas.

# Capítulo 3

## 3. Contextualização do Caso Prático

Neste capítulo será apresentado um caso prático de um sistema MES em funcionamento numa empresa produtora de porcelana, o sistema foi observado pessoalmente, tendo sido realizada uma recolha de dados relativos ao funcionamento do sistema, quais as suas necessidades e mesmo qual o futuro para o sistema dentro da estrutura da empresa.

O estudo foi realizado na empresa Costa Verde. O estudo foi feito com o objetivo de compreender e observar um sistema MES, desenvolvido pela Critical Manufacturing, em funcionamento num ambiente industrial, para que se possa fazer uma comparação com a literatura, ter uma melhor perceção do sistema através do esclarecimento e explicação do funcionamento do mesmo por parte dos Engenheiros responsáveis pelo sistema como do Engenheiro de Produção, observar o funcionamento e como o sistema se encontra implementado ao longo da linha de produção e por fim todas as oportunidades que o sistema forneceu e poderá fornecer com a sua implementação e o seu continuo desenvolvimento no futuro.



*Figura 9 - Fotografia Aérea da Empresa Costa Verde. (Litoral Magazine, 2019)*

Segundo os dados apresentados no site da empresa (Costa Verde, 2019), a Costa Verde iniciou a sua atividade em 1992, sendo que na UE (União Europeia) é a empresa mais moderna dentro do seu setor de atividade. A mesma encontra-se situada no Distrito de Aveiro, com um complexo industrial de 30.000 m<sup>2</sup> e uma área disponível de mais de 60.000 m<sup>2</sup>. A posição que a empresa

detém dentro dos mercados onde se encontra e também a sua posição na UE, deve-se ao facto de apresentar algumas características bastante relevantes, tais como, apostar na permanente formação e atualização dos processos no que toca aos Recursos Humanos com especial atenção no serviço ao Cliente. Também o uso da mais avançada tecnologia e uma escolha rigorosa da matéria prima utilizada garantem que o produto oferecido pela empresa apresenta um elevado índice de qualidade. Este controlo e avaliação rigorosa da qualidade é realizado em conjunto com o Departamento Científico do Departamento de Cerâmica e Vidro da Universidade de Aveiro e o Centro Tecnológico de Cerâmica e Vidro - Coimbra. Em termos de vendas a empresa exporta cerca de 75% da sua produção. Com o seu mercado a estabelecer-se um pouco por todos os Continentes.

A visão que a empresa tem como base para a sua atualidade e para o seu futuro centra-se em ser a líder no Mercado da Hotelaria, assim como uma referência de empresa socialmente responsável e inovadora. Esta visão inovadora acabou por ser um dos motivos a impulsionar a implementação de um sistema MES na estrutura da empresa. A missão da empresa centra-se então na inovação, proatividade e flexibilidade na criação de produtos e serviços que excedam as expectativas internas e externas da organização.

Sendo esta uma empresa de produção de peças de porcelana e uma vez que o MES implementado se encontra envolvido com a produção, será melhor também explicar um pouco sobre esta matéria-prima, a porcelana, e também apresentar o processo produtivo pelo qual ela passa até se atingir o produto final. Sendo importante referir que todo este processo produtivo foi explicado e observado em funcionamento ao longo de toda a linha de produção.

Dentro dos diferentes tipos de cerâmica existe um em particular que se chama de porcelana, e que se distingue dos outros tipos, pois apresenta características específicas, dureza, brancura e translucidez. Para além destas ainda apresenta um alto nível de resistência mecânica, baixa porosidade e alta densidade, garantindo assim resistência, durabilidade, inocuidade, toque suave e beleza. A porcelana é constituída pelas seguintes matérias-primas: Quartzo, argila, feldspato e caulino.

Passando ao processo produtivo, este é constituído por várias etapas. Inicialmente tem de se obter a pasta de porcelana, sendo que neste caso a pasta é feita na empresa junto à linha de produção, após se ter a pasta passa-se para o processo fabríco, a grande variedade de produtos que a empresa fabrica implica que existam diferentes tipos de processos para se produzir cada um desses produtos, as peças podem ser então fabricadas através do Enchimento, Prensagem Isostática, Enchimento em Alta Pressão ou Contra Moldagem. Depois das peças estarem fabricadas terão de passar pelo primeiro processo de cozedura, pelo que as peças passarão por um forno a uma temperatura de 1000 °C e permanecerão no mesmo durante 18 horas. No fim destas 18 horas as peças saem do forno e seguem para a parte da linha de produção onde irão ser vidradas. Estando vidradas seguem então para a segunda cozedura que dura menos tempo

e que é feita noutro forno que se encontra a 1400 °C, é no fim deste processo que se obtém a Porcelana, uma peça impermeável, extremamente resistente, branca e translúcida, e que passará por um rigoroso controlo de Qualidade.



*Figura 10 - Peças de Porcelana. (Costa Verde, 2019)*

As peças de porcelana, consoante a encomenda que foi feita poderão passar por mais um processo ou não, a Decoração. É o processo onde se aplica a decoração pretendida pelo cliente na peça, que passa novamente por uma cozedura num forno a 1250 °C (Alto Fogo) permitindo que a decoração fique no vidrado, este método tem o nome de Inglaze, passando no fim também por um processo de controlo de qualidade.

No fim de todos estes processos é feita a recolha das várias peças produzidas, organizando-as todas nas devidas encomendas, empacotando-as e depois enviados para o Cliente.

A implementação do MES, permitiu à empresa identificar oportunidades de melhoria em todo o processo produtivo, desde a receção das encomendas até ao despacho das mesmas, tornando-se um processo mais rápido e com menos falhas. Mas toda esta implementação e oportunidades que se abrem para a empresa serão apresentadas no subcapítulo seguinte, através da comparação do sistema antigo com o sistema atual.

### **3.1. Análise comparativa de Sistemas**

Dentro dos ambientes industriais são vários os sistemas que existem, sistemas que têm como objetivo ajudar toda a estrutura da empresa, desde a parte comercial, ao controlo da produção ou até mesmo armazenamento. Ou seja, cada sistema contribui para a melhoria da empresa na área e objetivo para o qual foi desenvolvido.

Neste caso o sistema MES encontra-se implementado num ambiente industrial como uma interface de apoio à produção e ao controlo da mesma, com o objetivo de melhorar a comunicação dentro da empresa e fornecer respostas relativamente aos seus processos de

produção e controlo. Mas apesar de tudo isto, já foi possível observar que os MES não conseguem atuar sozinhos, necessitam de outros sistemas que possam ser completos.

No caso da Costa Verde foi feita a mesma observação. Para além da implementação do MES, ainda recente, a empresa usa também o sistema AS400, um sistema ERP, sendo este a base principal da empresa. Um sistema ERP é um software que visa integrar todas as unidades funcionais da empresa de forma cooperativa, pode também incluir partes de fora da empresa como fornecedores ou clientes, envolvendo-os no processo de integração. O ERP é então um elemento chave de uma infraestrutura que fornece uma solução para os negócios, apresentando uma visão holística do negócio a partir de uma única informação e arquitetura de IT. (Abd Elmonem, Nasr e Geith, 2016)

No caso de estudo, o sistema AS400 serve de base para todas as decisões que são tomadas diariamente na empresa no que toca à produção e controlo a produção, pois todos os dados da empresa passam por este sistema. E é sobretudo este pormenor que levou a empresa a inovar e implementar um sistema MES.

Ambos os sistemas funcionam através do uso de dados, que foram recolhidos seja do departamento de vendas ou mesmo durante o processo produtivo. No caso do AS400 estes dados apenas chegam ao sistema no dia seguinte à sua recolha, pois são introduzidos de forma manual, enquanto que no sistema MES os dados são recolhidos e armazenados em tempo real, podendo ser recolhidos de forma manual ou automática.

Do ponto de vista dos Engenheiros responsáveis pelo MES na empresa, um MES é uma plataforma que permite obter os dados em tempo real, ajudando assim na tomada de decisão em tempo útil, com o objetivo de melhorar a eficiência, produtividade e a redução de custos. O sistema na empresa atualmente só se encontra implementado na produção, mas com o objetivo de o alargar a toda a empresa, tendo como objetivo conseguirem alcançar uma empresa totalmente automatizada, obtendo os dados automaticamente sem necessidade de se realizarem várias reuniões diariamente para se tomarem decisões.

Como já foi dito a empresa é uma das mais inovadoras no mercado em que se encontra, pelo que a necessidade de crescimento, a obtenção de dados em tempo real para atuar e a possibilidade do cliente ter acesso a todos os dados relativamente ao seu produto, foram os fatores que levaram a empresa a implementar um MES. A implementação do sistema foi conseguida com sucesso e atualmente é uma mais valia para a empresa. Um dos fatores que facilitou a implementação do sistema foi o facto da empresa ser centralizada, todos os processos estão dependentes uns dos outros, pelo que todos os dados relativamente a estes processos já estavam todos bem organizados e a empresa apenas necessitou de pegar nos dados que tinha no sistema e integrar no MES, mover os dados de um sistema para o outro.

Tal como noutros trabalhos, neste também existe a cooperação entre sistemas, neste caso entre o AS400 e o MES, esta cooperação é feita através da integração do AS400 no MES e do MES no AS400, mas os sistemas não se encontram totalmente integrados um com o outro, sendo esse um dos objetivos da empresa, integrar os dois sistemas num só. Para além da integração com o AS400, este MES tem também influência na estratégia Lean adotada pela empresa o Kaizen, adotado em 2007, uma vez que este serve como complemento de estratégia da empresa tendo como foco a obtenção de um tempo de reação mais rápido e consequentemente uma melhor eficiência de todos os processos.

Para se conseguir perceber como funciona o MES dentro da empresa, importa perceber todo o processo que está envolvido, de forma simplificada para se ter um bom funcionamento do sistema. O início de todo o processo é no departamento comercial com a entrada das encomendas, o cliente faz então a encomenda que pretende e os trabalhadores do departamento comercial colocam essa encomenda dentro do MES, ficando assim gravado no sistema os tipos e quantidades de peças que serão necessárias produzir.

Após esta etapa segue-se o planeamento da produção, este planeamento ainda é feito pelos responsáveis do Planeamento e do Comercial, pois o MES ainda não está completamente adaptado para fazer este passo de forma autónoma. Nas reuniões de planeamento são usados dados relativos a produções anteriores do mesmo tipo de peças, dados estes fornecidos pelo MES, permitindo que os responsáveis consigam planear de forma mais rápida, escolher melhor as máquinas onde será feita cada produção e ao mesmo tempo dar uma resposta mais precisa ao cliente de quando a sua encomenda estará pronta. Estando então o planeamento decidido, essa informação será colocada e organizada no MES, ficando o sistema com conhecimento de quando será iniciada a produção. Caso uma produção se atrase por algum problema o próprio MES irá compensar esse tempo no sistema de planeamento, ou seja, caso haja numa máquina com um atraso de 1 hora, o sistema automaticamente identificando que a máquina está parada irá depois reorganizar o planeamento avançando-o todo em 1 hora.

Estando o planeamento organizado passa-se ao processo seguinte, a Produção. O processo de produção inicia-se logo quando a encomenda é colocada no MES, pois esta quando é colocada no sistema automaticamente vai criar as fichas de produção, fichas estas que possuem alguns parâmetros relativo à encomenda, o número de peças necessárias produzir e ainda um código QR (Quick Response). O número de peças a produzir já tem em atenção a eficiência da máquina onde as peças irão ser feitas, sendo que este arranjo da encomenda é feito pelo MES, ou seja, se uma máquina tiver uma rejeição de qualidade de 50% e houver uma encomenda de 50 peças, o MES automaticamente na ficha de produção irá indicar à produção que são necessárias 100 peças para se obterem 50 peças com a qualidade desejada. Este código QR faz a ligação entre a linha de produção e o MES. A produção é iniciada com a leitura do código QR, no momento que a ficha é lida automaticamente o MES reconhece que aquela encomenda entrou em processamento. A ficha de produto acompanha o produto em todo o seu processo produtivo,

sendo que no início de cada processo produtivo essa ficha tem de ser lida para dar continuidade à produção, e sempre que ela é lida automaticamente o sistema é atualizado. Desta maneira a empresa consegue saber a sua produção em tempo real e estar sempre a par de como está o estado de cada encomenda.

Apesar de a produção trabalhar com este sistema eletrónico automatizado existe uma necessidade de mão de obra humana no controlo da produção. Isto é, a leitura das fichas é feita através de um scanner usado pelos trabalhadores em determinados pontos da produção e para além disto, também os dados relativos ao número de peças rejeitados pelo controlo da qualidade ao longo da produção é inserido no sistema manualmente, para o efeito o operador tem disponível no seu posto de trabalho um monitor tátil com uma aplicação que serve de interface entre o MES e o trabalhador. Esta aplicação foi desenvolvida pela empresa. Os dados recolhidos são utilizados no cálculo da eficiência.

Após o término da produção o sistema é automaticamente atualizado com a quantidade que peças que deram entrada no armazém, isto é, se no fim da produção foram produzidas 100 peças boas apesar, de elas não se encontrarem no armazém ainda, automaticamente elas dão entrada no sistema como já estando no armazém. Isto permite à empresa um melhor controlo do stock. Sobretudo porque uma encomenda não é feita toda de uma vez só. As encomendas podem ser feitas de forma dividida, e no armazém as peças são organizadas para completar a encomenda que se encontra em primeiro lugar para expedição.

De referir que o MES apenas se encontra implementado na produção cru, ou seja, os processos produtivos até ao Decorado. A produção do Decorado já é feita através do AS400, sendo possível concluir que apesar da implementação do MES, a empresa ainda necessita dos outros sistemas, mas integra-os no MES de maneira a que possa retirar o melhor proveito de todos os sistemas. O planeamento é um desses exemplos, o MES está dependente de outros sistemas, como o AS400 relativamente aos parâmetros que cada produto possui e que se encontram registados neste sistema, que depois são colocados no MES e que complementa com o resto dos parâmetros necessários.

De forma simples, pode-se ter sistemas a trabalhar sem um MES, mas não se consegue ter um MES a trabalhar sem outros sistemas.

### **3.2. Interligação e dependência dos MES com a Tecnologia 4.0**

Quando a área em estudo se relaciona com os MES logo à partida será necessário ter em vista a Tecnologia 4.0. O conceito Tecnologia 4.0 como é possível perceber encontra-se ligado ao conceito de Indústria 4.0. O conceito de Indústria 4.0 é proposto com o objetivo de permitir que as companhias apresentem processos de produção mais flexíveis e ainda uma análise de

grandes quantidades de dados em tempo real, melhorando o processo de decisão estratégico e operacional. (Dalenogare *et al.*, 2018)

Tendo-se então a Indústria 4.0 é necessário lembrar que este conceito faz uso das Tecnologias 4.0. Dentro destas Tecnologias 4.0 podemos encontrar a Inteligência Artificial, análise de Big Data, Computação em Nuvem, CPS, Tecnologias de Informação e Comunicação, e por fim a IoT. (Annosi *et al.*, 2019)

Neste sentido e tendo em atenção o sistema MES implementado na empresa, pode-se concluir que o MES é um complemento da Indústria 4.0, ou seja, o mesmo encontra-se interligado com a Indústria 4.0, mais concretamente está interligado com as Tecnologias 4.0 e ao mesmo tempo dependente destas, uma vez que, todo o sistema para funcionar necessita de dados, para se conseguir obter os pontos de informação ou indicadores que irão influenciar as tomadas de decisão na empresa. Estes dados são então recolhidos e tratados através das Tecnologias 4.0.

A recolha de dados neste sistema é feita através de sensores ligados online, leitores de códigos QR e através de uma interface desenvolvida pela empresa que permite ao trabalhador colocar dados no MES. Os dados recolhidos são sobretudo inícios de produção, quando é lida a ficha de produção; a encomenda com o produto pretendido e as suas indicações, sendo necessário completar a ficha do produto que é fornecida pelo AS400 com parametrizações extra; dados relativos às máquinas, recolhidos através dos sensores; o estado da produção, através dos dados informados pelos trabalhadores; de forma geral são recolhidos todos os dados que permitem e garantem a atualização em tempo real do sistema.



*Figura 11 - Ilustração exemplo de uma interface parecida com a desenvolvida pela Costa Verde. (Siemens, 2019)*

Após serem recolhidos, todos os dados de sensores, máquinas e fichas seguem para uma base de dados onde ficam armazenados e estão sempre disponíveis para o que a empresa precisar. A base de dados é da empresa, a empresa tem o controlo total da mesma, sendo que apenas a empresa consegue aceder aos dados. Desta maneira a empresa garante a proteção dos seus dados, e sempre que precisar de aceder à base de dados não precisa de autorização de outras entidades para poder entrar nela. A linguagem usada na base de dados é a SQL, o que permite

à empresa organizar e apresentar os dados que pretende através do Excel, utilizando queries entre a base de dados e o Excel.

Como foi dito tendo os dados, a empresa consegue aceder aos mesmos e gerar as saídas do sistema MES. Algumas das saídas do MES são a produtividade, eficiência, estado do equipamento, produtividade do operador, tempo de produção e as quebras ciclos de máquinas. Todas estas saídas fornecem as informações necessárias para uma maior eficiência produtiva, controlada e em tempo real.

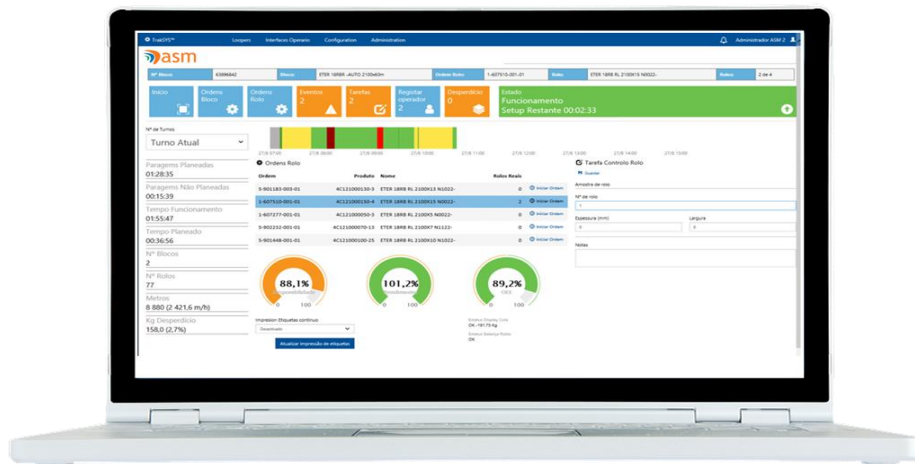


Figura 12 - Ilustração exemplo do Controlo da Produtividade através de um software MES. (asm, 2019)

A empresa através do MES consegue ter um controlo online da empresa. Têm a possibilidade, através de uma aplicação, de aceder através de um computador ou telemóvel, a toda a informação, podendo o utilizador visualizar todo o esquema do chão de fábrica em tempo real, perceber o estado em que se encontra a produção.

Este sistema é possível, fazendo uso das Tecnologias 4.0 usadas pela empresa e das quais o MES está dependente e se encontra interligado, como é o caso, dos CPS, Computação em Nuvem, Big Data e as Tecnologias de Informação e Comunicação. Se estas não existirem e não houver esta interligação ente tecnologias e o MES, muito dificilmente uma empresa consegue tirar um proveito significativo do uso de um MES.

### 3.3. Vantagens e Desvantagens

Relativamente a vantagens e desvantagens os responsáveis pelo MES da empresa e o responsável pela produção mencionaram algumas que irão ser apresentadas. É necessário ter em atenção que apesar de ser um sistema com diversas mais valias para as empresas também apresenta algumas dificuldades aquando da sua implementação. Apesar da capacidade de se conseguir uma fábrica mais eficiente a partir de um MES, segundo implementações referidas em artigos, no caso estudado, devido às características do processo, de mão de obra intensiva e de difícil automatização o objetivo de aumento de eficiência parece mais difícil de atingir.

Os engenheiros que lidam diariamente com o sistema consideram que não existe desvantagens na implementação e uso de um MES, existem sim dificuldades, mas que com o tempo são ultrapassadas. Pelo que a abordagem relativamente às desvantagens não será feita no sentido puro da palavra, mas sim com o sentido de dificuldades.

A componente de mão de obra, importante dentro da empresa por não haver a tecnologia que possibilite automatizar o trabalho faz com que não haja um controlo total a partir do MES, não se consegue controlar um trabalhador como se consegue controlar uma máquina, pelo que através do MES não se consegue ter o controlo total do sistema, consegue-se minimizar esta falta deste controlo através de outras aplicações, como o caso da interface na linha de produção que liga o trabalhador e o MES, mas o controlo total não existe até ao momento.

A própria relutância dos trabalhadores ao nível de chão de fábrica em trabalhar com o sistema, é uma dificuldade, sobretudo relativamente à leitura das fichas de produção, que atrasam o tempo de produção, pois em comparação a antes da implementação do sistema, o trabalhador tinha a ficha e rapidamente passava à produção, enquanto que assim necessita de ler as fichas em cada posto de referência. O seu tempo de produção é maior, mas ao mesmo tempo outros processos tornam-se mais rápidos e com menos falhas compensando este tempo perdido. Sendo que houve a necessidade de explicar bem o sistema aos trabalhadores de chão de fábrica para que eles se sentissem à vontade com o sistema e o aceitassem, percebendo que o mesmo seria uma mais valia para todos. Inicialmente foi uma das maiores dificuldades na implementação no sistema foi os trabalhadores ao nível de chão de fábrica.

Com esta relutância, vem por acréscimo a necessidade de formação, será necessário explicar todo o sistema aos trabalhadores e ensiná-los a trabalhar com o novo sistema. Tornando-se uma dificuldade, pois o tempo de adaptação é elevado sobretudo para os trabalhadores com mais idade, pelo que a empresa durante esse tempo vê a sua produção reduzida.

Outra das dificuldades que os responsáveis encontram e que ainda atualmente talvez provoque o não aproveitamento na totalidade do sistema implementado, é as encomendas e folhas de serviço serem introduzidas de forma manual. O sistema não está integrado com o AS400 de maneira que todos os dados que entram neste automaticamente sejam colocados no MES e vice-versa. Este processo atrasa assim a tomada de decisão. Provocando que todos os dados acabem por ter de ser comparados antes de entrarem em algum dos sistemas, para que não haja erros que possam prejudicar o funcionamento da produção.

Relativamente às vantagens, são várias as que são identificadas pelos responsáveis. Uma que talvez seja a mais significativa é a questão de o sistema MES não necessitar de uma estrutura específica de empresa para poder ser implementado, é um sistema flexível que pode ser adaptado às necessidades assim como à estrutura da própria empresa. Qualquer empresa

poderá então implementar um MES sem a necessidade de alterar a sua estrutura. Poderá haver a necessidade de adaptações apenas.

Também todos os que fazem parte da estrutura da empresa têm acesso ao MES, uns com acesso mais reservado, outros não, mas no geral todos têm acesso ao sistema. Sendo esta uma maneira de demonstrar que todos são importantes para o sistema e para o bom funcionamento da empresa.

Com o MES implementado torna-se possível para a empresa controlar o fluxo de produção e fazer a triagem do produto, evitando assim excesso de produção e desperdício de recursos. O MES permite controlar encomendas e planear as mesmas segundo a sua prioridade, conseguindo também dar uma previsão mais precisa ao cliente de quando a sua entrega estará pronta.

Por fim e talvez o que mais importa para a empresa quando implementa um sistema destes, há um controlo do produto e do chão de fábrica, em tempo real, permitindo que se intervenha logo que algo de errado se identifique. Conseguem-se controlar o produto desde que é feita a sua encomenda até que o mesmo sai da empresa.



Figura 13 - Ilustração exemplo das interfaces onde se pode controlar todo o sistema MES. (asm, 2019)

### 3.4. Futuro do MES

Apesar da implementação do MES e do funcionamento do mesmo ter sido um sucesso, a empresa vê com bons olhos o futuro do sistema, tendo como objetivo a melhoria contínua do mesmo, e alargá-lo a outros lugares ou processos da empresa em que atualmente não está presente.

A empresa apresenta como propostas para o futuro as seguintes alterações: aplicação de um módulo manutenção no MES. Os MES são constituídos por módulos e a manutenção é um desses módulos. A empresa encontra-se interessada em adquiri-lo e implementá-lo, com o objetivo de

integrar os custos da manutenção, de maneira a ter um controlo sobre esse custo. Isto é alcançável pois com esse módulo implementado torna-se possível controlar melhor as avarias, ou seja, aplicar uma manutenção preditiva e preventiva e fazendo uma melhor gestão. O sistema recebe os dados relativos às manutenções que são feitas assim como dos componentes que compõe a máquina, sempre que for altura de realizar manutenção à máquina o próprio sistema indicará e faz-se a manutenção da mesma. Evita-se assim que a máquina tenha de parar por completo devido à quebra ou falha de algum componente, prevenindo-se estes eventos, diminui-se o número de falhas e paragens, aumenta-se o tempo de funcionamento das máquinas.

Para além deste objetivo, também a integração do MES com a máquina é algo que a empresa tem projetado para o futuro do sistema, esta integração sendo conseguida com sucesso permitirá que o MES comande automaticamente a máquina e recolha os dados da mesma, sem a necessidade de um trabalhador a desempenhar essa função. Também a utilização do MES como controlador de Matérias Primas é algo que merece especial atenção, pois a empresa conseguirá controlar tanto o número de matéria prima existente como reduzir o desperdício da mesma. O uso de matéria prima será mais preciso na sua quantidade para realizar determinada produção, assim como fornecerá à empresa os valores de quantidade existente de matéria prima permitindo que a empresa tome decisões relativamente à necessidade de aquisição de mais matéria prima.

Em relação aos dados, pretende-se ter todos os dados disponíveis de forma automática, fiáveis e de forma rápida. Os dados são recebidos e trocados entre sistemas automaticamente, sem necessidade de serem colocados manualmente no sistema, conseguindo-se desta maneira obter todos os dados da empresa em tempo real, algo que ainda não é completamente possível em certos processos.

Para terminar este capítulo, o objetivo principal da empresa para o MES no futuro, será alargar todo este sistema a toda a empresa de maneira a que este se encontre em toda a estrutura e possa contribuir da melhor maneira para uma maior evolução da empresa e sobretudo aumentar ainda mais a satisfação do cliente relativamente aos produtos adquiridos.



# Capítulo 4

## 4. Discussão dos Resultados

Após o estudo efetuado foram bastante os dados recolhidos, os mesmos permitem fazer a discussão dos Resultados. A discussão dos Resultados baseia-se numa análise comparativa do sistema observado e nos sistemas ou aspetos relevantes apresentados no Capítulo 2 por vários autores. Este Capítulo 4 permitirá assim que se perceba se na realidade e num ambiente industrial o sistema será tão certo como a literatura refere.

De todos os aspetos observados, aquele que todos os autores referem e que também se verificou no caso em estudo, foi a necessidade do MES estar ligado com outros sistemas. Se isso não se verificar o sistema não consegue recolher todos os dados necessários ou até mesmo desempenhar todas as suas funções, pelo que todos os estudos referem esta necessidade de integração de sistemas.

Também a implementação do sistema é um aspeto relevante a ter em atenção, sobre esta matéria não há consenso entre os investigadores. Os autores não se encontram em sintonia pois a implementação do sistema é algo complexa, apesar de que alguns autores dão a ideia nos seus trabalhos de que esta implementação é fácil e rápida. Esta rapidez e facilidade depende um pouco do sistema com que estamos a lidar assim como da empresa que o pretende implementar. No caso de sistemas desenvolvidos para as PME's estes são relativamente mais fáceis de implementar, pois não têm tanta complexidade como um sistema desenvolvido de raiz, mas o seu objetivo também não é tão profundo. Enquanto que um mais complexo permite que haja uma evolução continua do sistema e que se consiga ter um controlo total da empresa através dele, pois o mesmo está integrado com todos os sistemas presentes na empresa. Neste sentido, esta diferença foi também possível de observar, relativamente ao sistema que se encontrou na Costa Verde é um sistema complexo com pretensão de evolução continua até se conseguir alcançar toda a integração da empresa no MES, e neste sentido e segundo o que os responsáveis referiram, o sistema não é de tão fácil implementação existe a necessidade de adaptar o sistema ao que a empresa pretende e recorrer a empresas específicas em desenvolver soluções de softwares. Portanto, consoante o que se pretende do sistema a implementação do mesmo poderá ser mais simples ou não, daí haver perceções diferentes entre investigadores, pois uns fazem a implementação de um sistema mais complexo mas com perspectivas de vantagens futuras maiores, e outros, sistemas mais básicos mas com um objetivo também mais simples. O observado na empresa enquadra-se nos mais complexos e com perspectivas de obter mais valias num médio ou longo prazo.

A perspetiva que as empresas têm do MES coincide também com a perspetiva que se encontra na literatura, que considera os MES como uma interface entre o chão de fábrica e a parte de negócio, considerando os mesmos sistemas como um complemento à Indústria 4.0, conseguindo recolher dados em tempo real. A Costa Verde apresentou a mesma perspetiva, pois usa o MES como uma interface e complemento à sua Indústria 4.0.

Em termos da utilização dos MES, depende tudo da maneira como a empresa o pretende utilizar. Qual o seu objetivo. No que toca às utilizações a nível de controlo da produção, planeamento e gestão, as principais funções que o MES desempenhava na empresa com sucesso, permite dizer que coincide com os casos reportados na literatura, ou seja, os resultados reportados são comparáveis aos alcançados na empresa em estudo. Esta observação parece comprovar a flexibilidade do sistema, pois pode ser implementado em diferentes tipos de indústria, alcançando-se mais valias semelhantes.

A tecnologia associada à recolha de dados parece consolidada de fácil utilização, da análise da bibliografia e estudo de caso ressalta que existem diferentes formas de tratar a informação recolhida, no caso da Costa Verde utiliza-se uma base de dados SQL sendo parte da informação tratada com recurso ao Excel. Em síntese as diferentes tecnologias reportadas pela literatura foram as identificadas em relação ao estudo de caso.

Para além dos temas que têm sido apresentados também a integração do MES com outros sistemas ou vice-versa é um tema bastante discutido. Alguns autores indicam que é necessária a integração enquanto outros defendem que a integração é uma mais valia, mas não completamente necessária. O mesmo foi possível observar na Costa Verde, ainda não existia uma integração de certos sistemas no MES ou vice-versa, os sistemas continuavam a trabalhar em paralelo havendo a necessidade de se fazer introdução manual de alguma informação para complementar a recolhida através de integração. Face ao estudo efetuado considera-se que a integração do MES com outros sistemas é uma mais valia, pois os sistemas comunicam automaticamente entre si, sem a possibilidade de perdas de dados ou mesmo comunicação de dados errados. Considera-se, contudo, que a integração entre sistemas não é algo obrigatória, mas com custos adicionais e tempos de resposta mais lentos.

Alguns autores identificam também o MES como um sistema dividido em módulos e que funcionam à base de agentes. Isto também foi possível observar no MES da empresa, que se encontra dividido por módulos, sendo que no futuro a empresa pretende até completar o seu MES com o módulo da manutenção, e funciona também através de agentes, sobretudo sensores.

No que toca às vantagens e desvantagens do sistema, nem todos os autores apresentam desvantagens, mas todos apresentam vantagens. Todas as vantagens que foram recolhidas na empresa, estão de acordo com as vantagens que os autores apresentam, sistemas variações que se encontram resultam de diferentes processos industriais. Quando se trata de analisar

vantagens importa fazer esta análise à luz dos processos industriais pois resultados aparentemente diferentes podem responder aos mesmos objetivos.

Relativamente às desvantagens, as reportadas pela bibliografia foram analisadas no capítulo 3, identificadas como dificuldades. Todos os autores encontraram estas dificuldades, fosse durante a implementação ou após a mesma. Algumas das dificuldades encontradas no MES da empresa visitada são iguais às que a literatura refere, sobretudo nas dificuldades ao nível de chão de fábrica. Esta é a principal dificuldade de todo o sistema, e pode-se dizer que é transversal à introdução de outros tipos de sistemas e metodologias. Na generalidade existe uma forte resistência por parte dos colaboradores à introdução de novas metodologias. O sucesso da implementação destes sistemas passa sempre por um processo de formação e de envolvimento de todos os colaboradores. Para além desta resistência inicial por parte dos colaboradores é preciso referir ainda que a implementação destes sistemas novos, neste caso o MES, exige sempre um tempo de estabilização. É possível que na fase inicial o sistema não responda da forma esperada ou respondendo os colaboradores não consigam interpretar corretamente a informação. Como resultado do exposto a bibliografia estudada centra-se muito na análise de possíveis dificuldades na implementação do MES por forma a minimizar estes impactos negativos que podem conduzir a uma menor aceitação do mesmo e uma crescida resistência à sua implementação.

O futuro é algo também importante e discutido e as empresas olham para o futuro do MES de forma positiva. Tanto empresas como investigadores estão de acordo em relação às vantagens decorrentes da implementação de um sistema MES. Os investigadores centram os seus estudos na necessidade de melhorar o sistema de maneira a oferecer uma maior quantidade de soluções e torná-lo acessível a todas as empresas. A diferença que se encontra entre um e outro refere-se ao local onde são feitas as melhorias. Ou seja, a literatura fundamenta o futuro do MES com a necessidade de melhorias do próprio sistema, pretendem um software MES mais completo e em certos casos mais acessível às capacidades financeiras das empresas. A empresa Costa Verde, perspetiva um futuro para o seu próprio sistema, assente em melhorias que tragam maior valor acrescentado e numa expansão do mesmo através da aquisição de módulos que complementem os existentes. Talvez num estudo mais aprofundado e relativo ao sistema em si, eles pudessem dar a sua ideia relativa a melhorias que pudessem ser feitas num MES. No âmbito deste estudo a intenção era apenas conhecer o sistema e perceber de que forma a empresa perspetiva a sua utilização no futuro. Não foram exploradas as sugestões de melhoria quanto ao sistema existente muito explorado.

Em síntese, existe um alinhamento entre os estudos efetuados e reportados pela literatura referentes aos sistemas MES e o sistema encontrado na Costa verde. São evidentes as vantagens do sistema, a sua estabilidade e as metodologias de implementação. O estudo efetuado encoraja as empresas a optarem por sistemas integrados do tipo MES como um auxiliar fundamental na gestão dos seus negócios.



# Capítulo 5

## 5. Considerações finais

Este é o Capítulo final de todo o trabalho desenvolvido, desde o trabalho de pesquisa até ao trabalho de observação de um sistema no terreno. É neste capítulo que são apresentadas as conclusões de todo o trabalho realizado, como também as propostas de trabalhos futuros em relação ao MES. Terminando o Capítulo e o restante trabalho com as contribuições que esta dissertação tem para o tema dos MES.

### 5.1. Principais conclusões

De uma forma geral o MES é uma ferramenta bastante útil dentro de uma empresa, aparentemente esta utilidade varia em função do processo industrial, contudo os desenvolvimentos tecnológicos parecem perspetivar uma forte implementação do sistema com benefícios em todos os setores industriais.

Pode-se concluir que estes sistemas são uma mais valia, são capazes de oferecer às empresas algo que as irá ajudar a mostrarem-se no mercado e ao mesmo tempo manter-se sempre atualizadas em relação aos avanços tecnológicos. Atualmente trata-se de uma tecnologia com custos elevados, tanto de aquisição como de implementação. Nesse sentido vários autores têm desenvolvido consideráveis avanços em tentar alcançar um MES completo e de menor custo, de maneira a que todas as empresas consigam usufruir deste sistema.

No geral estes sistemas permitem às empresas ter um controlo total sobre os principais processos, através da recolha de dados durante todos os processos executados. Os MES apesar dos autores indicarem que serão capazes de fazer todo o controlo da empresa, isso ainda não se encontra totalmente comprovado, através dos resultados já alcançados. Esse será o objetivo principal, mas muitas melhorias e evoluções necessitam de ocorrer, e essa evolução tem sido realizada por autores, seja ao nível informático, estrutural ou até mesmo os próprios sistemas físicos que complementam os MES. Também os sistemas que se encontram interligados com o MES têm de evoluir para conseguirem acompanhar todo o sistema. Passo a passo a evolução vai acontecendo e se aproximando do objetivo traçado.

O trabalho realizado tinha como objetivo compreender o que é um MES, como funcionam, a sua história e ainda a observação de um destes sistemas em funcionamento num ambiente industrial. Pode-se concluir que no geral tudo o que se encontra reportado na literatura reflete a realidade do estudo de caso efetuado, relativamente à implementação do sistema e às vantagens e desvantagens que o mesmo traz para a empresa. Também o elevado custo ainda

associado à aquisição e implementação do sistema foi referido pela empresa. O estudo centrou-se em aspetos de produção e controlo, pois estes são os principais aspetos a que o MES pretende responder desde o seu desenvolvimento.

Relativamente a estes aspetos, os mesmos foram observados durante o estudo de caso, conseguindo-se recolher dados bastante favoráveis para defender a opinião de outros autores relativamente às mais valias da implementação de um MES numa empresa. Apesar de ainda se encontrar em evolução o sistema observado já apresentava diversas melhorias ao nível do controlo de processos de produção. Existe um maior controlo de toda a produção e realizado em tempo real, que permite à empresa agir no momento que algum problema ocorre, evitando que o problema se alastre e garantindo uma maior fiabilidade de toda a empresa, assim como ajuda nas tomadas de decisões diariamente. Ao nível dos processos de produção, a implementação do MES trouxe também melhorias e novos processos foram implementados, como o uso de fichas de produção com códigos QR, todo o processo se tornou mais rápido, mais consistente, com menos falhas e mais controlado, e tudo se encontra online.

Uma vez que o sistema foi adquirido a uma empresa externa, a Critical Manufacturing, esta fornece o suporte necessário que a empresa precisar em relação ao sistema, problemas, atualizações, entre outros. Mas não é necessário adquirir o sistema a partir de uma empresa, estes sistemas podem ser desenvolvidos pela própria empresa, adequando-o às suas necessidades. Como se pode observar os sistemas são bastante flexíveis, portanto qualquer empresa conseguirá adequar o sistema à sua estrutura e necessidades, sem precisar de grandes alterações na própria empresa.

Para terminar, os MES são uma mais valia para todas as empresas que os pretendam implementar, todas as empresas que pretendam inovar, melhorar, automatizar, integrar e expandir todos os seus processos e o seu nome no mercado, deverão aproveitar tal oportunidade pois são sistemas que já apresentam vários resultados que comprovam mais valias. O sistema permite todo um controlo online da empresa e através de pequenas aplicações a própria visualização de todo o chão de fábrica. Tem as suas dificuldades de implementação, mas após as mesmas estarem resolvidas, poder-se-á começar a recolher as vantagens.

## **5.2. Propostas de trabalhos futuros**

Ao longo do trabalho foram apresentadas algumas implementações de MES, alguns desenvolvidos de forma mais rústica, outros mais complexos. Mas apesar de serem diferentes, em todos eles os autores apontam melhorias ou trabalhos que devam ocorrer no futuro de maneira a aperfeiçoar o sistema que eles desenvolveram ou até mesmo o desenvolvimento do conceito MES. É necessário ter em atenção e perceber que os MES já existem desde meados dos anos 70, pelo que algumas já terão sido desenvolvidas, assim como outras mais recentes. Neste

trabalho optou-se por considerar as propostas encontradas na literatura a partir de 2015, de maneira a selecionar estudos recentes que reportem desafios atuais.

Após feita a filtragem da literatura utilizada na dissertação e de maneira a corresponder aos parâmetros impostos, são então apresentados as várias.

Começando por Mantravadi e Møller, (2019) indicam que as pesquisas futuras poderão ser feitas no sentido de perceber como o MES pode aumentar o desempenho do processo (engenharia, execução e qualidade), resultando na otimização de operação de fabricação. Uma vez que existe a necessidade de as companhias melhorarem o seu desempenho de negócio usando técnicas de fabricação avançadas. Acreditando os autores que uma pesquisa feita neste tópico irá render soluções inovadoras de software habilitados a este tipo de indústria.

Também Zheng *et al.*, (2018) apresenta as suas propostas, neste caso propostas de pesquisas para preencher lacunas que raramente são estudadas na literatura existente. Para preencher tais lacunas o autor indica que a pesquisa deve então enfatizar a visibilidade em tempo real habilitada pela Realidade Aumentada, modelagem da virtualização cibernética e na tomada de decisão. Sendo que esta última deve-se focar em duas direções. Modelos de tomada de decisão guiados pela análise de Big Data, e fabricação em nuvem.

Para além de propostas futuras no que toca a melhorias do próprio conceito MES, também melhorias em sistemas MES que foram desenvolvidos por vários autores são apresentadas. Um desses casos é o de Oman *et al.*, (2017) que apresenta uma integração MES-ERP, um exemplo referido também no Capítulo 2, e em que o autor apresenta propostas futuras sendo elas importantes para a evolução na integração entre os MES e o ERP no caso da Cadeia de abastecimento, integração apoiada por vários autores. Neste sentido o autor indica que é necessária mais investigação neste contexto de integração MES-ERP com o objetivo de avaliar melhor os efeitos da integração. Usando então o VRM, capaz de fornecer uma visão interior dos benefícios da integração para a SC (Cadeia de Abastecimento) e o ambiente virtual da empresa, oferecendo assim novas oportunidades para uma inovação aberta e mais à frente a abertura de um espaço mais alargado para a integração de diversas soluções.

Parecido com o exemplo anterior, também Chen *et al.*, (2018) propõe melhorias para o seu modelo MDE, pretendendo então no futuro expandir a gama de elementos de modelagem para outros ramos na indústria alimentar e de bebidas. Um método para transformar especificações MES a partir de modelos gráficos e mais tarde o desenvolvimento de uma solução MES gerada automaticamente. E ainda realizar a validação da abordagem apresentada com dados reais de produção e aplicar esta abordagem em outras indústrias pela sua interoperabilidade.

Para além dos autores já mencionados também, Urbina Coronado *et al.*, (2018) apresenta algumas propostas no futuro dos MES, propostas que incluem a pesquisa sobre a criação de

produtos inteligentes através do aumento da digitalização dos seus ciclos de vida. A integração de tecnologias de design e análise com sistemas MES e ERP deverá fornecer um maior controlo no papel dos produtos na Indústria 4.0, sendo que esta integração poderá ser possível usando serviços web ou em nuvem, assim como computação descentralizada.

Ainda relativamente ao contexto de propostas futuras em sistemas MES desenvolvidos pelos autores, Menezes, Creado e Zhong, (2018) desenvolveram um MES para PMEs e para esse mesmo sistema apresentam propostas que permitam expandir o seu sistema. Para tal, esses trabalhos futuros deverão ser divididos em 2 caminhos distintos. O primeiro dever-se-á focar na modularidade ou adaptabilidade da aplicação que não se encontra totalmente implementada devido a restrições de tempo e custo, assim como conhecimento de codificação. O segundo caminho deve se focar na mudança de uma aplicação de interface única para uma aplicação MES mais autossuficiente. Sendo adicionalmente necessário a formulação de modelos matemáticos para o planeamento e agendamento em tempo real e a gestão de processos.

Uma vez que muitas das propostas futuras encontradas são relativas ao conceito MES ou então aplicações MES desenvolvidas pelos autores com o objetivo de ajudar as PMEs, Besutti, Campos e Cecconello, (2019) de forma sucinta apresentam os principais trabalhos futuros a desenvolver em tais sistemas, inicialmente é proposto que no futuro se desenvolva um programa que gere relatórios e gráficos em linguagem PHP, e que possa ser integrado com o que já foi desenvolvido. É sugerido também que se estude a possibilidade de conexão com uma máquina de maneira a se conseguir obter dados mais precisos e ainda a transmissão dos programas para as máquinas via software MES.

Verifica-se então que as propostas apresentadas ao longo deste capítulo no que toca ao conceito, tratam-se de propostas que proporcionem o desenvolvimento de um conceito mais concreto para todos os que pretendem utilizar os MES, como também a possibilidade de se ter um MES totalmente automatizado e autónomo. Outras propostas apresentadas relacionam-se com as abordagens desenvolvidas por vários autores, que apresentam propostas para que se alcance sistemas mais fiáveis e de fácil utilização, mas que desempenham todas as funções, o desenvolvimento de soluções MES simples, práticas, funcionais e de baixo custo para as PMEs.

### **5.3. Contribuições da Dissertação**

Esta dissertação pretendeu analisar os sistemas MES, assente em revisão bibliográfica e no estudo de um caso prático, permitindo ao autor perceber e compreender o funcionamento de um MES em ambiente industrial, sendo depois feita uma comparação entre o sistema observado e o encontrado na literatura acerca do tema discutido.

Esta dissertação pretende trazer um maior esclarecimento e compreensão dos MES para todos aqueles que se estão a iniciar neste tema e pretendem saber o que é um MES. Fez-se uma

abordagem relativamente à história dos sistemas e como são compostos, como os sistemas se integram num ambiente industrial e a função que é atribuída aos mesmos. Deixando uma ideia mais clara da diferença que ocorre entre o que é dito na literatura e o que se observa na realidade num ambiente industrial.

Este trabalho pretende ainda ser um ponto de partida para trabalhos futuros. Ajudar a identificar áreas de investigação para quem pretende conhecer quais os avanços que podem ser realizados neste tema, uma vez que são dadas algumas informações de propostas de vários autores no sentido de um contínuo desenvolvimento de tais sistemas.

É, em síntese, um documento de apoio para quem se está a iniciar no tema dos MES e que pretende obter uma rápida compreensão dos sistemas.



## Referências Bibliográficas

ABD ELMONEM, Mohamed A.; NASR, Eman S.; GEITH, Mervat H. - Benefits and challenges of cloud ERP systems - A systematic literature review. *Future Computing and Informatics Journal*. . ISSN 23147288. 1:1-2 (2016) 1-9. doi: 10.1016/j.fcij.2017.03.003.

AimTecGlobal - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://www.aimtecglobal.com/photo-pg-928---.png>.

ALMADA-LOBO, Francisco - The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*. . ISSN 2183-0606. 2015) 16-21.

ANNOSI, Maria Carmela *et al.* - Is the trend your friend? An analysis of technology 4.0 investment decisions in agricultural SMEs. *Computers in Industry*. . ISSN 01663615. 109:2019) 59-71. doi: 10.1016/j.compind.2019.04.003.

ARAB-MANSOUR, Ikbal; MILLET, Pierre Alain; BOTTA-GENOULAZ, Valérie - A business repository enrichment process: A case study for manufacturing execution systems. *Computers in Industry*. . ISSN 01663615. 89:2017) 13-22. doi: 10.1016/j.compind.2017.03.006.

asm - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://asm.es/pt-pt/mes-4-0/traksys/?gclid=Cj0KCQjwrpLoBRD\_ARIsAJd0BIXCSk8PX0A-ZMbJdTv7mBq0zZGO1YACqvnwAQ-chQWKEwL6uSrpvOUaAmYREALw\_wcB>.

BESUTTI, Rangel; CAMPOS, Vanessa De; CECCONELLO, Ivandro - Development of an open source-based manufacturing execution system ( MES ): industry 4 . 0 enabling technology for small and medium- sized enterprises. (2019).

BHATTACHERJEE, Anol - Introduction to Research, Social Science Research: Principles, Methods, and Practices

CHEN, Xinyu *et al.* - Basis for the model-driven engineering of manufacturing execution systems: Modeling elements in the domain of beer brewing. *Computers in Industry*. . ISSN 01663615. 101:July (2018) 127-137. doi: 10.1016/j.compind.2018.07.005.

Costa Verde - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://costa-verde.com/costaverde/>.

Critical Manufacturing - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://www.criticalmanufacturing.com/media/cache/posts\_thumbnail\_lg/uploads/blog/Exploring-Digital-Twin\_20180704100552.jpg?v67>.

CUPEK, Rafal *et al.* - Agent-based manufacturing execution systems for short-series production scheduling. *Computers in Industry*. . ISSN 01663615. 82:2016) 245-258. doi: 10.1016/j.compind.2016.07.009.

DALENOGARE, Lucas Santos *et al.* - The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*. . ISSN 09255273. 204:August (2018) 383-394. doi: 10.1016/j.ijpe.2018.08.019.

DEUEL, A. C. - The benefits of a manufacturing execution system for plantwide automation. *ISA Transactions*. . ISSN 00190578. 33:2 (1994) 113-124. doi: 10.1016/0019-0578(94)90042-6.

GIL, Antonio - Como Elaborar um projeto de pesquisa

IBM - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSQR88/com.ibm.spectrum.si.doc/si\_security\_what\_data\_collector\_does.html>.

InformEtica Consulting - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://www.informeticons.com/wp-content/uploads/2017/06/analytics-2156083\_1280-300x156@2x.png>.

LASI, Heiner *et al.* - Industry 4.0. Business and Information Systems Engineering. 6:4 (2014) 239-242.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung An - A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters. 3:2014) 18-23.

Litoral Magazine - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://litoralmagazine.com/wp-content/uploads/2017/12/costa-verde-fotovoltaica-litoral-magazine.jpg>.

LU, Yang - Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. Journal of Industrial Information Integration. 6:2017) 1-10.

LUCKE, Dominik; CONSTANTINESCU, Carmen; WESTKÄMPER, Engelbert - Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing. Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier. Sfb 627 (2008) 115-118.

MANTRAVADI, Soujanya; MØLLER, Charles - An Overview of Next-generation Manufacturing Execution Systems: How important is MES for Industry 4.0? Procedia Manufacturing. . ISSN 23519789. 30:2019) 588-595. doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.083.

MCCLELLAN, Michael - Introduction to manufacturing execution systems Baltimore , Maryland. MES conference & exposition. 2001) 1-12.

MENEZES, Sherwin; CREADO, Savio; ZHONG, Ray Y. - Smart Manufacturing Execution Systems for Small and Medium-sized Enterprises. Procedia CIRP. . ISSN 22128271. 72:2018) 1009-1014. doi: 10.1016/j.procir.2018.03.272.

NAEDELE, Martin *et al.* - Manufacturing execution systems: A vision for managing software development. Journal of Systems and Software. . ISSN 01641212. 101:2015) 59-68. doi: 10.1016/j.jss.2014.11.015.

OMAN, Simon *et al.* - Integration of MES and ERP in supply chains: effect assessment in the case of the automotive industry. Tehnicki vjesnik - Technical Gazette. . ISSN 13303651. 24:6 (2017) 1889-1896. doi: 10.17559/tv-20160426094449.

PASCAL, Blanc *et al.* - A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application. IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA. . ISSN 0952-1976. 21:2007) 1239-1246. doi: 10.1109/ETFA.2007.4416923.

SegInfo - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://sgnfo.files.wordpress.com/2019/02/iot-3337536.png?w=1024&h=706>.

Siemens - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/de/MES\_640x360\_tcm53-24738.jpg>.

SIVAM, S. P. Sunda. Singh *et al.* - Automatic variant selection of gearbox coupling flange - Manufacturing execution systems integration and intelligence. IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering, ICPCSI 2017. 2018) 905-911. doi: 10.1109/ICPCSI.2017.8391843.

Solveit - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:http://www.solveweb.it/en/wp-content/uploads/2017/09/immagine-incollata-681x357.jpg>.

TechTarget - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://cdn.ttgtmedia.com/rms/onlinelimages/erp-mesa\_11\_model\_desktop.jpg>.

Trunovate - [Em linha], atual. 2019. Disponível em WWW:<URL:https://trunovate.com/wp-content/uploads/2019/05/MES-blog-Post.jpg>.

UGARTE, B. Saenz DE; ARTIBA, A.; PELLERIN, R. - Manufacturing execution system - A literature review. *Production Planning and Control*. . ISSN 09537287. 20:6 (2009) 525-539. doi: 10.1080/09537280902938613.

URBINA CORONADO, Pedro Daniel *et al.* - Part data integration in the Shop Floor Digital Twin: Mobile and cloud technologies to enable a manufacturing execution system. *Journal of Manufacturing Systems*. . ISSN 02786125. 48:2018) 25-33. doi: 10.1016/j.jmsy.2018.02.002.

VALCKENAERS, P.; BRUSSEL, H. VAN - Holonic manufacturing execution systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 54:1 (2005) 427-432.

WANG, Shiyong *et al.* - Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2016:2015).

ZHENG, Pai *et al.* - Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*. . ISSN 20950241. 13:2 (2018) 137-150. doi: 10.1007/s11465-018-0499-5.