



Estudo Da Implementação De Um Sistema De Monitorização E Análise De Dados Na Indústria Metalomecânica

JOÃO MIGUEL SOARES CARNEIRO

novembro de 2022

ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS NA INDÚSTRIA METALOMECÂNICA

João Miguel Soares Carneiro

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS NA INDÚSTRIA METALOMECÂNICA

João Miguel Soares Carneiro

Estudante n.º 1171088

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Doutor João Augusto de Sousa Bastos.

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

A dissertação por mim apresentada apenas foi possível com o apoio e colaboração de algumas pessoas, às quais deixo o meu agradecimento.

No que se concerne diretamente a este trabalho, agradeço ao meu orientador, o Professor João Bastos, por toda a disponibilidade e apoio no desenvolvimento do trabalho. Agradeço ainda à Socitrel pela oportunidade que me foi concedida, em particular ao Eng.º José Morais e ao Dr. Paulo Ermida.

Quanto ao meu percurso académico, os meus agradecimentos são endereçados aos meus colegas de curso, pela colaboração e ajuda, e aos docentes pelos ensinamentos transmitidos.

Por último, mas não menos importante, deixo os meus agradecimentos à minha família e amigos por todo o incentivo e suporte proporcionado ao longo do meu percurso académico, em especial aos meus pais, Jorge Carneiro e Teresa Pinheiro.

página propositadamente em branco

RESUMO

O presente trabalho incide sobre a realização de um estudo quanto à aplicação e implementação de um sistema de informação capaz de efetuar a monitorização e análise de dados de produção numa empresa da indústria metalomecânica.

Atualmente, não é efetuada a monitorização dos dados, sendo apenas registada manualmente alguma informação, numa frequência reduzida. Quanto às ordens e registos de produção, estes são efetuados através do ERP utilizado na empresa. No entanto as operações de produção não são controladas. Neste sentido, acresce o problema dos dados serem adicionados no ERP de modo manual, não sendo possível garantir a sua fiabilidade, e podendo decorrer um considerável intervalo de tempo entre um acontecimento e o seu registo.

Procedeu-se à avaliação da situação atual, de modo a compreender os problemas e as necessidades da gestão de informação no chão de fábrica. Tendo em conta esta análise, definiu-se a visão para o sistema de gestão da informação, tendo-se decidido que a solução indicada era um *Manufacturing Execution System* (MES). Assim, foram definidos os requisitos e as funcionalidades que o sistema deve cumprir. Posto isto, efetuou-se o redesenho dos processos analisados, para que refletissem a visão e os requisitos estipulados.

Estas ideias foram depois aplicadas na avaliação de soluções MES disponíveis no mercado. Para cada uma das soluções avaliaram-se o cumprimento de requisitos e o desempenho face a critérios de avaliação. Através da atribuição de ponderações aos critérios, obteve-se uma pontuação para cada uma das opções, resultando na seleção da solução com melhor pontuação.

Este resultado permitiu concluir que o cumprimento de requisitos do sistema é o critério de avaliação com mais preponderância. Dessa forma, globalmente, as características e funcionalidades particulares da solução são mais importantes para a tomada de decisão que outras variáveis mais associadas à empresa desenvolvedora.

PALAVRAS-CHAVE

Gestão de Informação; Monitorização e Análise de Dados; MES; Chão de Fábrica; Sistemas de Informação Empresariais

página propositadamente em branco

ABSTRACT

The present report focuses on conducting a study on the application and implementation of an information system capable of monitoring and analysing production data in an enterprise of the metal-mechanical industry.

Currently, the monitoring of data is not carried out, with only some information being recorded manually, in a reduced frequency. As for the production orders and records, these are made through the ERP used in the enterprise. However, the production operations are not controlled. In this regard, there is also the problem of data being added manually in the ERP, not being possible to guarantee its reliability, and a considerable time gap may occur between an event and its record.

The current status was evaluated, in order to understand the problems and needs of information management on the shop floor. Taking into account this analysis, the vision for the information management system was defined, and it was decided that the indicated solution was a Manufacturing Execution System (MES). Thus, the requirements and features that the system should fulfil were defined. That being said, the processes analysed were redesigned, so that they reflected the vision and the stipulated requirements.

These ideas were then applied to the evaluation of MES solutions available on the market. For each of the solutions, compliance with requirements and performance against evaluation criteria were evaluated. By assigning weightings to the criteria, a score was obtained for each of the options, resulting in the selection of the solution with the best score.

This result made it possible to conclude that compliance with system requirements is the most significant evaluation criterion. Therefore, overall, the particular features and characteristics of the solution are more important for the decision making than other variables more associated with the developer company.

KEYWORDS

Information Management; Data Monitoring and Analysis; MES; Shop Floor; Enterprise Information Systems

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
LISTA DE SIGLAS	XI
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Enquadramento e Pertinência	13
1.2. Questão e Objetivos de Investigação	14
1.3. Opções Metodológicas	14
1.4. Apresentação da Empresa	15
1.5. Estrutura do Trabalho.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. Sistemas de Informação Empresariais	17
2.2. <i>Enterprise Resource Planning</i> (ERP)	19
2.2.1. Funções	20
2.2.2. Limitações	21
2.3. <i>Manufacturing Execution System</i> (MES).....	22
2.3.1. Funcionalidades.....	24
2.3.2. Interação com Chão de Fábrica	25
2.3.3. Notas sobre os Sistemas MES.....	26
3. CASO DE ESTUDO – ESTADO INICIAL	29
3.1. Descrição	29
3.1.1. Sistema Produtivo	29
3.1.2. Fluxo de Informação.....	30
3.1.3. Automação no Chão de Fábrica.....	38
3.1.4. Dados de Consumo de Energia.....	39
3.2. Diagnóstico e Identificação de Problemas	39
4. ESTUDO DO ESTADO FUTURO	43
4.1. Visão	43
4.2. Análise Requisitos.....	44
4.3. Redesenho dos Processos com Base nos Requisitos Especificados	46
4.3.1. Comunicação ERP	46
4.3.2. Operações Adicionais	47
4.3.3. Detalhe do Processo Redesenhado	47
4.3.4. Intervenção na Automação	52
4.3.5. Integração com o Chão de Fábrica	53
5. AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES MES DISPONÍVEIS NO MERCADO	55
5.1. Descrição das Soluções MES.....	55

5.1.1. Critical Manufacturing MES.....	56
5.1.2. AVEVA MES.....	57
5.1.3. Proficy Smart Factory MES	57
5.1.4. Siemens Opcenter Execution Process.....	58
5.1.5. Plex Smart Manufacturing Platform	59
5.2. Análise do Cumprimento de Requisitos.....	59
5.3. Desempenho nos Critérios de Avaliação	60
5.4. Comentários Finais	62
6. CONCLUSÃO	63
6.1. Conclusões Finais.....	63
6.2. Limitações e Investigação Futura.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
APÊNDICE A – DESCRIÇÃO DETALHADA DE OPERAÇÕES ENCORDOAMENTO	71
APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DETALHADA DE OPERAÇÕES PARAGEM.....	72
APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DETALHADA DE OPERAÇÕES ENCORDOAMENTO REDESENHADO	73
APÊNDICE D – DESCRIÇÃO DETALHADA DE OPERAÇÕES PARAGEM REDESENHADA	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Arquitetura de Sistemas de Informação Empresariais (Fonte: Bouafia & Molnár, 2019)	17
Figura 2 - Arquitetura Funcional de um ERP (Fonte: Brinkkemper & Pachidi, 2010)	20
Figura 3 – Hierarquia Funcional de um Sistema MES (Fonte: Shidu, 2019)	23
Figura 4 - Funcionalidades Sistema MES por Tipo Operações (Fonte: Williamson, 2018)	24
Figura 5 - Integração Vertical e Horizontal dos Sistemas MES (Fonte: Gehrke et al., 2015)	25
Figura 6 - Diagrama de Fluxo Sistema Produtivo	29
Figura 7 - Descrição de Operações Receção Matéria-Prima	31
Figura 8 - Descrição de Operações Lançamento de Ordem de Produção	32
Figura 9 - Descrição de Operações Decapagem Química	33
Figura 10 - Descrição de Operações Trefilagem	33
Figura 11 - Descrição de Operações Estabilização	34
Figura 12 - Descrição de Operações Encordoamento	35
Figura 13 - Descrição de Operações Controlo Qualidade Produto Acabado	35
Figura 14 - Descrição de Operações Registo de Paragem	36
Figura 15 - Registos no ERP durante o Processo Produtivo	37
Figura 16 - Registos Manuais durante o Processo Produtivo	38
Figura 17 - Visão para a Solução do Problema	43
Figura 18 - Descrição de Operações Receção Matéria-Prima Redesenhada	48
Figura 19 - Descrição de Operações Lançamento Ordem de Produção Redesenhado	48
Figura 20 - Descrição de Operações Decapagem Química Redesenhada	49
Figura 21 - Descrição de Operações Trefilagem Redesenhada	49
Figura 22 - Descrição de Operações Estabilização Redesenhada	50
Figura 23 - Descrição de Operações Encordoamento Redesenhado	50
Figura 24 - Descrição de Operações Paragem Redesenhada	51
Figura 25 - Registos no ERP durante o Processo Produtivo com Sistema MES	51
Figura 26 - Registos Manuais durante o Processo Produtivo com Sistema MES	52
Figura 27 - Quadrante para Soluções MES (Fonte: Franzosa & Hestermann, 2022)	55
Figura 28 - Critical Manufacturing MES (Fonte: Critical Manufacturing, 2022a)	56
Figura 29 - AVEVA MES (Fonte: AVEVA, 2022b)	57
Figura 30 - Proficy Smart Factory MES (Fonte: GE Digital, 2022b)	58
Figura 31 - Siemens Opcenter Execution Process (Fonte: Siemens, 2022b)	58
Figura 32 - Plex Smart Manufacturing Platform (Fonte: Rockwell Automation, 2022b)	59

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Ordens de Produção Utilizadas por Produto	31
Tabela 2 - Autômatos Existentes por Máquina	39
Tabela 3 - Diagnóstico de Problemas da Situação Atual.....	41
Tabela 4 - Correspondência entre os Problemas e as Funcionalidades a Desenvolver	44
Tabela 5 - Requisitos do Sistema de Informação.....	45
Tabela 6 - Movimentos de Interação entre ERP e Sistema MES.....	46
Tabela 7 - Operações de Registo Criadas no Sistema MES	47
Tabela 8 - Descrição Intervenção por Tipo de Autômato	53
Tabela 9 - Desempenho das Soluções MES por Requisito	60
Tabela 10 - Critérios de Avaliação das Soluções MES.....	61
Tabela 11 - Desempenho das Soluções MES por Critério de Avaliação	61
Tabela 12 - Pontuação Ponderada de cada Solução MES.....	62

página propositadamente em branco

LISTA DE SIGLAS

Lista de Siglas

BOM	<i>Bills-Of-Materials</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MESA	<i>Manufacturing Enterprise Solutions Association</i>
MOM	<i>Manufacturing Operations Management</i>
MRP	<i>Material Requirements Planning</i>
MRP/II	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
MTO	<i>Make to Order</i>
OP	Ordem de Produção
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
SaaS	<i>Software as a Service</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
WIP	<i>Work in Progress</i>

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo procede-se à descrição da proposta de investigação que será desenvolvida ao longo do trabalho, de modo a que seja apresentada a situação que a origina, as principais metas a cumprir e a abordagem metodológica. No primeiro subcapítulo explica-se o problema de investigação, bem como a sua contextualização e importância na atualidade. De seguida, o segundo subcapítulo é constituído pela questão e pelos objetivos da investigação, que especificam as metas que devem ser atingidas através da proposta de investigação. No terceiro subcapítulo são abordadas e justificadas as opções metodológicas definidas. O quarto subcapítulo é constituído por uma apresentação da empresa. Por fim, no quinto e último subcapítulo, é apresentada a estrutura na qual se encontra dividido o trabalho.

1.1. Enquadramento e Pertinência

No contexto atual de indústria 4.0, a automação surge com grande relevo para a melhoria contínua dos processos, nomeadamente nos sistemas produtivos. Posto isto, tem-se verificado um crescimento da procura de soluções para garantir que o desempenho de equipamentos e processos é verificado e avaliado automaticamente por sistemas adequados (Xu, 2011), permitindo a análise de todo o processo em tempo real e com maior detalhe, contribuindo para uma tomada de decisão mais fundamentada. Também se visa um aumento do controlo do sistema. Estas características possibilitam a melhoria do desempenho dos processos, podendo contribuir para o aumento da eficiência e produtividade (Gorkhali & Xu, 2019).

Deste modo, foi identificada na empresa a necessidade de desenvolver um sistema para efetuar o controlo dos processos produtivos, visto que atualmente não existe nenhum sistema implementado que permita recolher os dados dos equipamentos, sendo que a informação apenas é registada manualmente pelos operadores, por exemplo após a ocorrência de paragens ou avarias, contribuindo para informação desatualizada. Os dados encontram-se, então, incompletos, não sendo possível ter uma perceção do desempenho real de todos os processos. A recolha dos dados atual está sujeita ao erro, devido à dependência da informação disponibilizada pelos operadores. Também é relevante o facto da informação em tempo real de equipamentos, processos e produtos não ser monitorizada ou partilhada com os decisores, o que causa um incremento dos tempos de resposta às situações, potenciando o escalar das suas consequências. A empresa utiliza um *Enterprise Resource Planning* (ERP), que permite a integração da gestão dos diversos departamentos da empresa (Gorkhali & Xu, 2019), contudo a produção não se encontra conectada de forma automática ao mesmo, porque não existe um sistema capaz de obter informação dos equipamentos e enviar para o ERP. Desses equipamentos, existem ainda alguns sem mecanismos de medição e recolha de dados incorporados, dos quais não é possível obter informação diretamente, enquanto que noutros esses mecanismos existem, mas não são utilizados. Adicionalmente, existem ainda outras fontes de dados na fábrica, sejam elas de bases de dados, ou de registos manuais em papel, que não são integrados com a restante informação disponível. Esta situação contribui para a descentralização da informação associada ao chão de fábrica, o que dificulta a análise e atuação dos supervisores.

Posto isto, a solução para este problema passará pela implementação de um sistema de monitorização e recolha de dados em equipamentos produtivos, assente num *Manufacturing*

Execution System (MES), responsável pelo controlo e documentação do fabrico dos produtos. Este tipo de sistema incide sobre a produção, podendo ser aplicado como elo de ligação entre a informação disponibilizada acerca dos equipamentos produtivos e o ERP (Jaskó et al., 2020). Os dados recolhidos junto dos equipamentos em tempo real são transformados e transmitidos para o MES, que depois envia essa informação para o ERP, sendo também capaz de analisar o desempenho, gerando alertas e relatórios para os gestores. O sistema é uma ferramenta útil e eficaz para o controlo e gestão dos processos na fábrica, tais como ordens de produção. Um MES pode ser utilizado também para apoiar outras operações no chão de fábrica que não as produtivas, tais como processos associados à manutenção, ao controlo de qualidade ou à logística (Berić et al., 2018).

1.2. Questão e Objetivos de Investigação

Tendo em conta o problema de investigação descrito e a solução proposta, enuncia-se a seguinte questão de investigação: como se deve proceder à seleção de um sistema automático de monitorização e análise de dados em equipamentos produtivos, de modo a que, aliado ao ERP instalado, permita uma gestão integrada de toda a informação do chão de fábrica?

Para dar resposta à questão de investigação, é estipulado o seguinte objetivo geral: identificar as necessidades e os requisitos da informação no chão de fábrica, e definir uma solução com as capacidades e funcionalidades necessárias para efetuar a gestão da informação fabril.

Com o intuito de atingir o objetivo geral desta investigação, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- Descrever o sistema produtivo em questão, desde os processos realizados aos produtos fabricados;
- Caracterizar a situação atual relativamente ao fluxo, recolha e análise de informação;
- Reportar as dificuldades associadas à situação atual da informação fabril;
- Definir a visão estratégica e os requisitos associados à gestão da informação no chão de fábrica;
- Redesenhar os processos na fábrica face aos requisitos definidos;
- Enunciar e analisar as diferentes alternativas existentes para sistemas automáticos de recolha e análise de dados no chão de fábrica;
- Avaliar as soluções disponíveis e escolher a mais adequada à resolução do problema proposto.

1.3. Opções Metodológicas

Segundo Fernandes et al. (2020), as opções metodológicas devem ser divididas em abordagem à investigação, natureza da investigação e estratégia de investigação, tendo sido essa a organização seguida no trabalho.

Relativamente à abordagem, para Sousa & Sales Baptista (2014), esta pode ser do tipo dedutivo ou indutivo, dependendo do nível de conhecimento científico atual na área em que a proposta de investigação incide. Nesse sentido, decidiu-se classificar a abordagem como dedutiva, uma vez que se terá por base o conhecimento existente no que diz respeito aos sistemas de recolha e análise de dados produtivos, para executar a implementação do mesmo. Assim, a investigação inicia-se

considerando definições e conceitos que constituem o corpo de conhecimento, partindo-se dessa teoria geral para o caso particular (Sousa & Sales Baptista, 2014).

Quanto à natureza da investigação, esta será analítica (Oliveira, 2011) ou explicativa (Fernandes et al., 2020), pois proceder-se-á à avaliação de todos os processos onde o sistema pode ser implementado, analisando-se todas as variáveis que podem ter impacto no sistema, para compreender de que modo influenciam a sua implementação e estruturação (Oliveira, 2011). Este problema depende não só do departamento de produção, como também dos casos particulares de cada processo e equipamento, pelo que se deve dividir a análise pelos diferentes fatores associados. Dado que a investigação depende da avaliação da situação, pode ser, também, necessário realizar atividades descritivas e exploratórias (Fernandes et al., 2020).

No que diz respeito à estratégia, optou-se pela utilização do estudo de caso, visto que o problema incide sobre o caso específico de aplicação de um sistema de recolha e análise de dados no contexto produtivo da empresa, com o intuito de desenvolver a descrição da situação, juntamente com a exploração e investigação acerca dos MES (Fernandes et al., 2020). Procura-se examinar o caso associado aos processos produtivos da organização, de forma detalhada e aprofundada, avaliando o problema na sua totalidade, mas tendo em conta as suas particularidades (Coutinho, 2011).

1.4. Apresentação da Empresa

A Socitrel, Sociedade Industrial de Trefilaria S.A., é uma empresa inserida na indústria metalomecânica transformadora, de referência no setor de atividade, “a única a produzir arame zincado em Portugal, sendo uma das mais modernas da Europa” (Socitrel, 2018). Já contabiliza mais de 50 anos desde a sua fundação, tendo-se dedicado inicialmente à produção de arames de aço macio, transitando depois para produtos mais complexos com alto teor de carbono, como é o caso do arame de aço para pré-esforço. Atualmente a organização fabrica e comercializa arames com diversas utilidades finais, disponibilizando produtos para as atividades de agricultura, construção e indústria (Socitrel, 2018).

A empresa sempre revelou preocupação com a qualidade dos produtos fabricados, aliando os equipamentos e tecnologias indicados à procura pelo melhor custo. A modernização contínua da empresa é efetuada visando a aplicação de novas tecnologias para incrementar os índices de desempenho, bem como identificar oportunidades para novos produtos e mercados (Socitrel, 2018).

1.5. Estrutura do Trabalho

Este trabalho contém o presente capítulo da Introdução, bem como os capítulos da Revisão Bibliográfica, do Caso de Estudo – Estado Inicial, do Estudo do Estado Futuro, da Avaliação das Soluções MES Disponíveis no Mercado e da Conclusão.

Na Revisão Bibliográfica é realizado um enquadramento dos temas mais relevantes para a compreensão do trabalho desenvolvido. Primeiramente é abordado o conceito de Sistemas de Informação Empresariais. Segue-se depois a descrição dos sistemas deste tipo mais importantes para o problema em estudo, isto é, o *Enterprise Resource Planning* (ERP) e o *Manufacturing Execution System* (MES).

Quanto ao Caso de Estudo – Estado Inicial, este centra-se na caracterização da situação atual no chão de fábrica da organização, para que seja possível compreender e enumerar as dificuldades associadas à monitorização e análise dos dados fabris. Começa-se por uma descrição do sistema produtivo, fluxo de informação, automação no chão de fábrica e dados de consumo de energia. Seguidamente, é efetuado o diagnóstico da situação, e consequente identificação dos problemas.

Em relação ao Estudo do Estado Futuro, este visa definir a estratégia a seguir para a gestão da informação fabril. Assim, numa primeira fase, é caracterizada e justificada a visão. Desta resulta a identificação dos requisitos do sistema. Com base nos requisitos estipulados, efetua-se o redesenho dos processos.

Na Avaliação das Soluções MES Disponíveis no Mercado, procura-se selecionar, de entre as várias opções possíveis, qual a melhor solução para o caso em estudo. Para tal, são descritas algumas das soluções disponíveis. De seguida, analisa-se a capacidade destas cumprirem os requisitos definidos, e classificam-se as soluções tendo em conta alguns critérios de avaliação. Finalmente, os resultados são analisados, efetuando-se alguns comentários finais.

A Conclusão é realizada com o propósito de sintetizar as ideias e dados apresentados no trabalho, e enumerar as conclusões retiradas. Em primeiro lugar, efetuam-se as conclusões finais do trabalho. Por fim, são indicadas e justificadas as limitações do estudo, bem como as possibilidades de investigação futura.

Estes capítulos são complementados pelo Resumo e Palavras-chave, os índices e listas, e, por fim, as Referências Bibliográficas e Apêndices.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este segundo capítulo consiste na revisão bibliográfica, que visa enquadrar o trabalho através da apresentação e explicação de alguns conceitos, abordando-se os Sistemas de Informação Empresarial, o *Enterprise Resource Planning* (ERP) e o *Manufacturing Execution System* (MES). Estes temas foram selecionados dado que se encontram diretamente relacionados com o problema de investigação, assim como com uma possível solução.

2.1. Sistemas de Informação Empresariais

Um sistema de informação empresarial é utilizado para suprir as necessidades de toda a organização, através de uma estrutura de interações entre colaboradores. Adicionalmente, podem também estar incluídos alguns dos *stakeholders* da organização, como fornecedores, clientes ou entidades governamentais. Estes sistemas partilham informação com outras aplicações empresariais, responsáveis por processos de *marketing*, gestão de *stocks*, produção, logística, entre outras. Frequentemente, a implementação destes sistemas requer o redesenho e a automação dos processos, e conseqüente formação aos operadores (Stair & Reynolds, 2020).

Para Xu (2011), os sistemas de informação empresarial são componentes essenciais para a integração de processos organizacionais, para interação interna e externa, com crescente importância na economia mundial, devido ao aumento das operações empresariais. Estes constituem sistemas complexos, ao juntarem processos, pessoas, dados, computadores e *software*. No sentido de clarificar as funcionalidades disponíveis aos colaboradores, são desenvolvidas e implementadas novas metodologias ou tecnologias (Romero & Vernadat, 2016). Assim sendo, o desenvolvimento tecnológico destes sistemas, agregado aos avanços nas tecnologias de informação e comunicação, como a Indústria 4.0, permitem suprir as crescentes necessidades quer da indústria transformadora, quer da de serviços, ao nível da integração da informação (Xu, 2011).

Na Figura 1 é apresentada a arquitetura de um sistema de informação empresarial, tendo em consideração a interação de todos os seus constituintes.

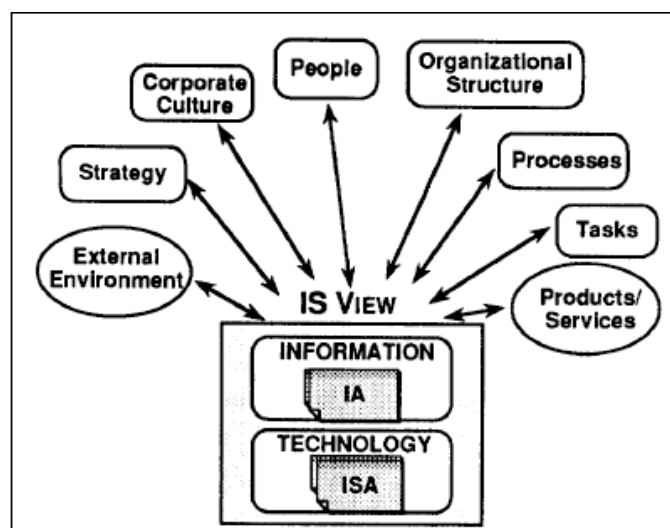


Figura 1 - Arquitetura de Sistemas de Informação Empresariais (Fonte: Bouafia & Molnár, 2019)

Segundo Gorkhali & Xu (2019), grandes organizações utilizam os sistemas de informação para o suporte integrado da tomada de decisão. Presentemente, os sistemas de informação empresariais são responsáveis pela seleção e processamento da informação, de modo a obter dados com aplicação no contexto empresarial em que se inserem, e que suportem os intervenientes no processo (Panetto & Cecil, 2013).

A principal função para a qual os sistemas são concebidos é o suporte dos utilizadores na realização das operações, de modo a garantir que os objetivos definidos pela gestão são cumpridos. Deste modo, pode-se assumir que o controlo das operações e ações efetuadas pelos colaboradores é o elemento de maior relevância no desenvolvimento e implementação do sistema (Gorkhali & Xu, 2019).

De acordo com Romero & Vernadat (2016), podem ser desenvolvidos a partir de bases de dados, *software* adquirido ou plataformas partilhadas com parceiros ou entidades. Em função do tamanho da empresa, o seu ecossistema de sistemas pode incluir dezenas ou centenas de sistemas de informação, que podem ir desde a integração total entre si, ou sistemas totalmente independentes. Este resulta da formação de um sistema de sistemas, através da colaboração dos vários sistemas da empresa, com tarefas e processos específicos e únicos. A comunicação e troca de informação, do ponto de vista do sistema, são atividades proativas (Gorkhali & Xu, 2019).

Segundo Romero & Vernadat (2016), a introdução de computadores na indústria, no início dos anos 60, e a sua aplicação na automação de operações manuais e na substituição de processos em papel, representa o início da utilização de sistemas de informação empresarial. Inicialmente, consistiam em sistemas de informação funcionais, como sistemas de processamento de dados, para contabilidade, recursos humanos ou faturação. Com o desenvolvimento das tecnologias associadas a sistemas de bases de dados, rede informática e computadores, o suporte de fluxos de informação, análise de dados e processos de negócio começaram a ser responsabilidade dos sistemas de informação empresariais das organizações (Romero & Vernadat, 2016).

No final dos anos 60, os sistemas aumentaram o seu alcance, passando a atuar na gestão de *stocks*, no processamento de *Bills-Of-Materials* (BOM) e em ferramentas de previsão. Posteriormente, nos anos 70 e 80, respetivamente, o *Material Requirements Planning* (MRP) e o *Manufacturing Resources Planning* (MRP/II) começaram a ser suportados por estes sistemas (Abdullah, 2017). Na década seguinte, surgiram os sistemas ERP com capacidade de integração de bases de dados e a automatização de operações, em áreas como o controlo de qualidade. Já no século XXI, os sistemas de ERP progrediram para soluções que sustentam colaboração entre organizações (Romero & Vernadat, 2016).

O desenvolvimento de novas tecnologias ao longo dos últimos anos, como *Internet of Things* (IoT), computação em *Cloud* e *Big Data*, influencia que as funcionalidades dos sistemas de informação empresarial estejam em constante mudança. O ambiente dos sistemas de informação tem sido altamente impactado pelo surgimento e evolução da computação em *Cloud* (Gorkhali & Xu, 2019). Para Romero & Vernadat (2016), a tendência para as empresas transformadoras passa pela distribuição de dados e informação por sistemas locais nas suas instalações e *Cloud*, para utilização de *software* desenvolvido sobre a lógica de *Software as a Service* (SaaS) ou disponibilizado por parceiros.

De acordo com Zdravković & Panetto (2017), os novos desafios da modelação, desenho, implementação e utilização destes sistemas são criados pela transformação do ambiente em que

estes atuam. Este ambiente tem-se tornado cada vez mais mutável, tanto pela disponibilidade dos dados, como pela colaboração com outros sistemas. A busca crescente pela flexibilidade na colaboração empresarial, resultante da remoção dos limites tradicionais dos sistemas, incentiva a pesquisa científica de ferramentas e abordagens para a integração e adaptação destes sistemas ao ambiente em evolução. Segundo Gorkhali & Xu (2019), um dos maiores desafios colocados a estes sistemas é a enorme dimensão de dados gerados que têm de analisar.

2.2. Enterprise Resource Planning (ERP)

Sistemas ERP são programas baseados em *software* que visam a integração e coordenação de todas as áreas de negócio das organizações. Utilizando ferramentas de relatórios de gestão partilhada e uma base de dados comum aos vários processos empresariais, este tipo de sistema apoia a gestão destes processos. A eficiência dos processos é potenciada pela integração das operações relativas a produção, logística, vendas, *marketing* e contabilidade. O ERP suporta não só a integração entre funções empresariais, que são o seu foco principal, como também a ligação direta com fornecedores e clientes (Monk & Wagner, 2012).

Um ERP consiste num *software* que realiza a interligação e monitorização de fluxos de informação complexos, por toda a organização. Este permite aos gestores ter conhecimento de informação do estado real da empresa, o que melhora a tomada de decisões (Aslan et al., 2012).

O *Enterprise Resource Planning* (ERP) não se restringe a um departamento, possuindo uma abrangência maior, através de uma perspectiva de integração (Gorkhali & Xu, 2019).

Os processos internos, tais como a automatização de operações e o planeamento, são aliados aos processos externos e coletivos, no crescimento contínuo das capacidades dos sistemas ERP. A transição do ERP de sistemas orientados para processos, para sistemas mais analíticos, juntamente com a adição de funcionalidades nucleares aos sistemas ERP, provocou a tendência de denominação de ERP estendido ou ERP-II (Aslan et al., 2012).

A utilização do ERP resulta na simplificação da gestão diária, redução de custos operacionais e na possibilidade de planeamento estratégico das operações. Quando aplicado em colaboradores com formação adequada em ERP, promove a correta realização de processos empresariais e o aumento dos lucros (Madanhire & Mbohwa, 2016). Um ERP, quando devidamente implementado, possibilita vantagens à organização, tais como disponibilidade de dados em tempo real, melhor visibilidade e aumento da automação de tarefas (Aslan et al., 2012).

Segundo Jacobs & Weston Jr (2006), os sistemas ERP estão neste momento num estado em que tanto os distribuidores de *software*, como os utilizadores compreendem quais os recursos humanos, financeiros e técnicos necessários para a sua implementação e utilização. Assim, prevê-se que a configuração dos mesmos seja mais simples e rápida, demorando desde algumas semanas até um máximo de 3 meses. Contudo dificuldades no planeamento e gestão dos projetos podem continuar a existir para organizações de larga escala. Módulos pré-configurados simplificam a implementação futura, por já possuírem processos empresariais *standard* (Jacobs & Weston Jr, 2006).

Muitos nichos de mercado já começam a ser abrangidos por soluções ERP especificamente desenvolvidas nesse sentido, como montagem automóvel, refinarias ou hospitais (Jacobs & Weston Jr, 2006).

De acordo com Jacobs & Weston Jr (2006), a disponibilização de informação empresarial para utilizadores externos e internos tornar-se-á comum. As arquiteturas de *hardware* e *software* das organizações serão editadas de modo a se adaptarem às ferramentas de modelação de dados e à capacidade de mover qualquer quantidade de informação, em qualquer formato, com uma latência bastante reduzida. A implementação de informação distribuída de forma automática pelo sistema será uma parte essencial de qualquer arquitetura de um ERP. As decisões empresariais vão ser sugeridas por parte de sistemas de exploração de dados e de sistemas de planeamento avançado. A simulação também será um elemento de maior importância no sistema integrado de planeamento e execução. Esta é benéfica para várias áreas relevantes, tais como o custeio, planeamento de capacidades ou previsão (Jacobs & Weston Jr, 2006).

2.2.1. Funções

A evolução das infraestruturas de tecnologias de informação é a base da implementação de sistemas ERP em qualquer operação empresarial. Assume-se que a implementação de uma solução ERP tenha várias localizações para controlos e operações. Assim, devem ser transferidos dados de várias localizações ao longo da empresa. Deste modo, o *software* ERP é constituído por um conjunto de funções, seleccionados face às necessidades e restrições técnicas e económicas da organização (Madanhire & Mbohwa, 2016).

A integração num só sistema de várias funções permite ao ERP controlar todos os departamentos, desde a produção à logística. Estas funções possibilitam fluxos contínuos de informação entre si (Madanhire & Mbohwa, 2016). A Figura 2 representa as interações entre diferentes funções de um ERP, demonstrando o fluxo de informação ocorrido.

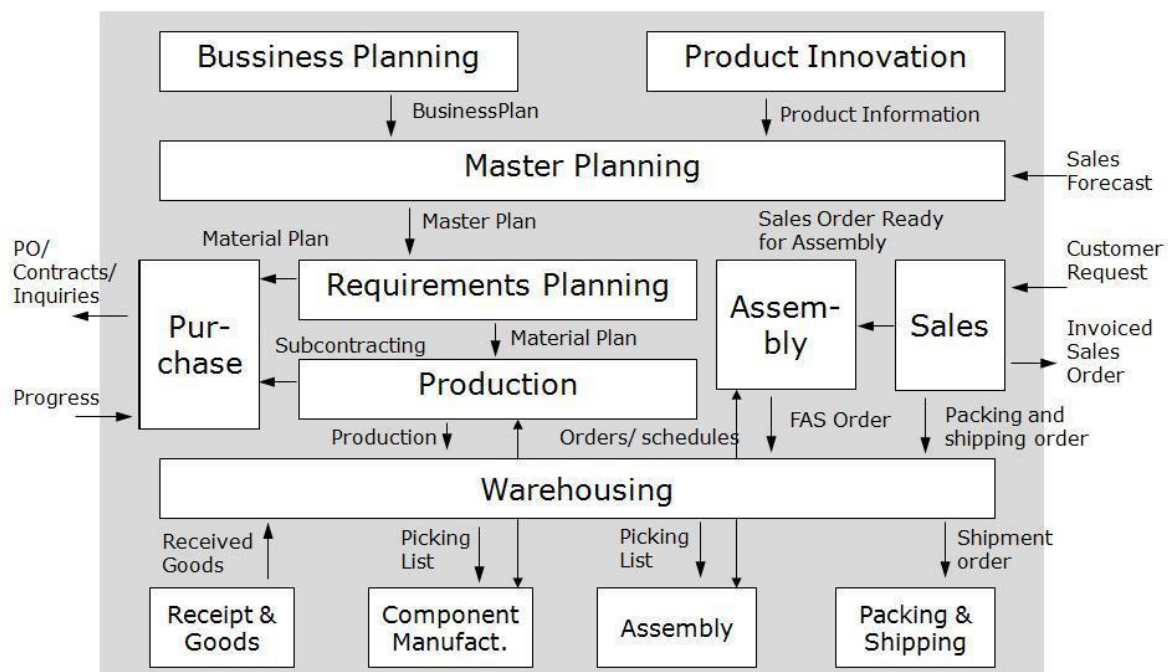


Figura 2 - Arquitetura Funcional de um ERP (Fonte: Brinkkemper & Pachidi, 2010)

De acordo com Aslan et al. (2012), as funções habitualmente implementadas na estrutura principal do sistema ERP são: gestão de materiais, planeamento da produção, vendas e distribuição, controlo

de qualidade, contabilidade financeira e compras. Podem também ser consideradas outras funções, como as de recursos humanos e marketing (Abdullah, 2017).

A função relacionada com a parte financeira é o módulo principal dos sistemas ERP, dado que agrega dados financeiros de vários departamentos (Madanhire & Mbohwa, 2016). É responsável pela gestão de todas as entradas e saídas de capital e dinheiro. Permite controlar a informação e realizar vários tipos de relatórios específicos, como balanços e recibos de pagamento (Abdullah, 2017).

A gestão do inventário de materiais é garantida no ERP por uma função que permite a rastreabilidade do *stock* de itens, com funcionalidades como o controlo de inventário. Através de números ou códigos representativos de lotes unitários, é possível identificar o percurso e a localização de qualquer artigo (Abdullah, 2017). Os níveis de *stocks* apropriados são mantidos, através de operações como a identificação de necessidades de material, ou a monitorização da utilização de artigos (Madanhire & Mbohwa, 2016).

Relativamente à produção, as funcionalidades do ERP visam otimizar a utilização da capacidade das máquinas e outros recursos, através do histórico dos dados de produção e de previsões de vendas (Madanhire & Mbohwa, 2016). Estas incluem planeamento da produção, agendamento das máquinas, consumo de matéria prima, preparação da BOM, controlo do progresso e relatórios da produção (Abdullah, 2017).

A gestão das vendas é uma função essencial, dado que são as suas receitas que possibilitam a atividade da organização. As principais ações associadas às vendas são agendamento e colocação de encomendas, expedição e faturação (Madanhire & Mbohwa, 2016). Podem ainda ser realizadas outras operações, como a seleção das encomendas, realização de faturas de venda, envio de material ou serviço e controlo de uma ordem de venda (Abdullah, 2017).

Quanto à gestão de recursos humanos, esta apoia a gestão dos salários, através da realização de folhas de pagamento, e gestão eficiente de recursos humanos. A informação do trabalhador também é guardada, tal como registos de desempenho, designações, descrições do trabalho e registo de presenças (Abdullah, 2017). O objetivo é otimizar a utilização dos conhecimentos de todos os seus trabalhadores (Madanhire & Mbohwa, 2016).

Por fim, as compras também são uma função suportada pelo ERP. O processo de identificação de fornecedores, negociação, realizar pedido e processo de faturação são automatizados, facilitando a procura de matéria prima (Madanhire & Mbohwa, 2016).

2.2.2. Limitações

De acordo com Alshawi et al. (2004), existem diversos problemas associados aos sistemas ERP, nomeadamente a não adequação e adaptação a todos os componentes da empresa, como é o caso da produção. Muitos desenvolvedores deste tipo de sistemas criam soluções dirigidas a áreas específicas das organizações, que não são tão completas em outras, o que sucede várias vezes para a produção. Parte deste problema advém do facto de que customizar um sistema ERP é uma tarefa complexa, principalmente em organizações de maior dimensão, onde é necessária uma enorme mudança nos processos empresariais. Assim, a avaliação da adequação dos processos e operações realizados pela empresa a um ERP *standard* deve ser um dos exercícios realizados pela organização (Alshawi et al., 2004).

Outro problema está relacionado com a recolha dos dados e consequentes falhas na sua precisão. Um sistema com informação que não é exata ou que não é rapidamente disponibilizada torna-se inútil. A recolha dos dados diretamente no sistema também não é uma opção viável, dado que uma simples tarefa de recolha implementada num ERP pode necessitar de 3 a 8 ecrãs de interface para o utilizador, para inserir apenas alguns campos de dados. Assim, a sua utilização direta no chão de fábrica não é possível (Alshawi et al., 2004).

Adicionalmente, a implementação de sistemas ERP apresenta um risco de falha associado, podendo não ser possível atingir os objetivos empresariais definidos pela empresa. As principais dificuldades estão na incorporação de alterações a processos empresariais, incremento do número de funcionalidades e atualização do *software* de produtos (Alshawi et al., 2004).

Um estudo de Berić et al. (2018), realizado em empresas industriais com um sistema ERP implementado, concluiu que a utilização independente deste sistema é insuficiente. De modo a melhorar todos os processos associados à produção, através do controlo sobre todos os seus elementos, deve ser implementado um sistema MES para complementar o ERP, para fornecer informação em tempo real do chão de fábrica, e apoiar a tomada de decisão.

Ainda segundo Berić et al. (2018), apesar de os sistemas ERP serem constituídos por módulos padronizados, cada organização industrial deve ter em consideração a sua realidade, e adaptar os sistemas. A empresa deve tomar as medidas necessárias para que todos os processos sejam monitorizados, seja adaptando o sistema, ou criando a sua própria solução de complemento ao mesmo.

Para Aslan et al. (2012), a capacidade de suporte à tomada de decisão do sistema ERP encontra-se desalinhada dos requisitos para a mesma nas empresas de produção sob encomenda, ou *Make to Order* (MTO), o que sucede também com outras áreas principais. No sentido de alinhar os sistemas ERP com as necessidades das empresas MTO, deve-se desenvolver ferramentas de apoio à decisão que reflitam atividades de gestão de clientes. A correção deste tipo de falhas aumenta a adequação e o alinhamento dos sistemas ERP com as empresas MTO, contribuindo para melhorias ao nível da gestão da informação, do planeamento e do controlo de decisões (Aslan et al., 2012).

2.3. Manufacturing Execution System (MES)

Segundo Meyer (2009), sistemas MES são ferramentas de tecnologia da informação que possibilitam a troca de informação entre o nível organizacional de uma empresa e os sistemas de controlo no chão de fábrica, suportados pelo ERP e por diversas aplicações de *software* diferentes. O MES é um sistema estratégico importante para o apoio à Indústria 4.0. Este é responsável por transformar os dados recolhidos no chão de fábrica em informação, que pode ser extraída e utilizada por outras plataformas ou modelos, por exemplo para fazer simulações (D'antonio et al., 2017).

O ciclo produtivo de um produto, desde a matéria-prima ao produto final, pode ser monitorizado e documentado através de um sistema MES. Permite o controlo sobre todos os elementos do processo produtivo e melhora os processos, com o apoio fornecido à tomada de decisão, como informação disponível em tempo real (Berić et al., 2018).

Para Jaskó et al. (2020), um *Manufacturing Execution System* (MES) permite que os processos produtivos sejam controlados, monitorizados e otimizados. A tomada de decisão é fundamentada

pela informação disponibilizada por este tipo de sistemas, pois permitem que os gestores tenham conhecimento do funcionamento e interligação dos vários processos, contribuindo para a melhoria contínua da produção (Jaskó et al., 2020).

Os sistemas MES podem ser considerados sistemas intermédios nos sistemas de informação empresariais (Berić et al., 2018). A grande vantagem do MES passa pela possibilidade de efetuar a ligação entre as operações empresariais presentes no ERP e processos de controlo dos equipamentos no chão de fábrica, que podem ser implementados utilizando automação, através de tecnologias como o *Programmable Logic Controller* (PLC) ou o sistema *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Os sistemas MES podem ainda ser utilizados em conjunto com sistemas *Manufacturing Operations Management* (MOM), com funcionalidades adicionais necessárias à garantia de excelência operacional, desde a gestão de capacidade à gestão da qualidade (Jaskó et al., 2020).

Na Figura 3 é apresentada a hierarquia funcional de um sistema MES, sendo possível compreender de que modo se conecta a outros sistemas de informação empresariais e qual o nível de gestão a que se encontra associado.

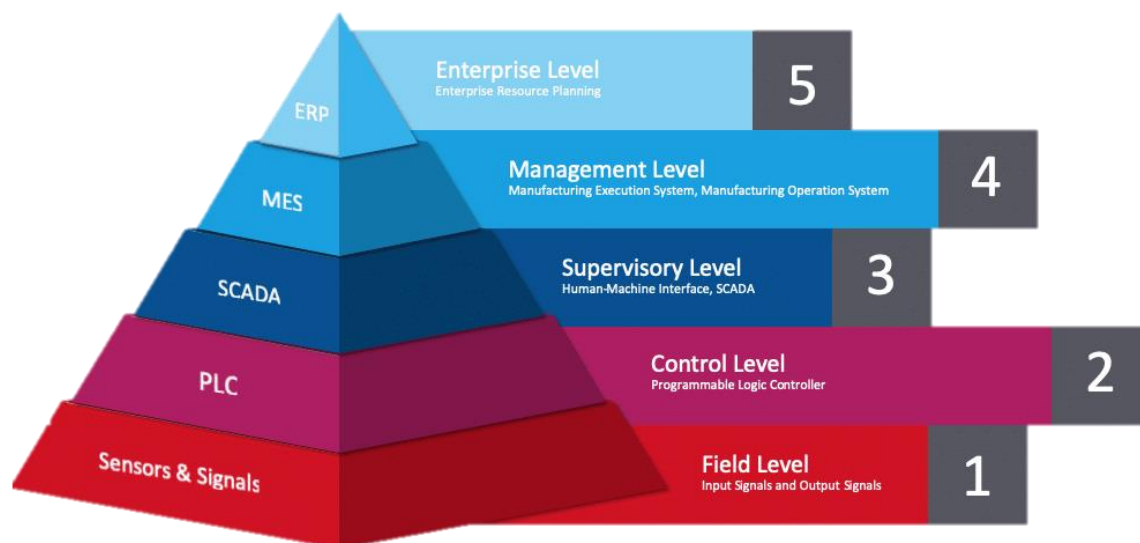


Figura 3 – Hierarquia Funcional de um Sistema MES (Fonte: Shidu, 2019)

De acordo com D'antonio et al. (2017), um sistema MES tem 2 propósitos principais: otimização da sequência de produção e gestão do fluxo de informação no sentido ascendente. Considerando as restrições da produção, como tempos de processamento e *setup*, capacidade dos centros de trabalho, e requisitos e necessidades da organização, o sistema efetua o planeamento da produção que minimiza os tempos e custos. A gestão e alocação de recursos, como materiais ou operadores, também pode ser responsabilidade do MES. Quanto ao segundo objetivo, esta assenta na recolha de dados, que tem sido facilitada pelo desenvolvimento de sensores pequenos e de baixo custo. Esses dados obtidos no chão de fábrica são depois analisados através das técnicas matemáticas indicadas, e a informação relevante para caracterizar o estado das operações é extraída. Este processo deve ser realizado em tempo real, de modo a que a tomada de decisão para controlo do processo seja mais rápida. (D'antonio et al., 2017).

2.3.1. Funcionalidades

A *Manufacturing Enterprise Solutions Association* (MESA), organização com o objetivo de melhorar a gestão de operações na produção, desenvolveu o modelo MESA-11, nos quais destaca 11 principais funções que um sistema MES deve cumprir, estas são (Kakade, 2017):

- 1) Sequenciamento detalhado de operações;
- 2) Alocação e estado de recursos;
- 3) Expedição de unidade de produção;
- 4) Análise de desempenho;
- 5) Gestão da manutenção;
- 6) Gestão de processos;
- 7) Gestão da qualidade;
- 8) Recolha de dados;
- 9) Rastreabilidade do produto;
- 10) Gestão da mão de obra;
- 11) Controlo documental.

O ISA-95 surgiu a partir do MESA-11, criando uma hierarquia funcional dos sistemas. O MES é incluído num nível entre o ERP e sistemas de controlo do processo, como é o caso do SCADA. A sua função passa pela gestão das operações de produção, enquanto que a do ERP é planeamento e logística empresariais. Já os sistemas de controlo do processo têm como funções controlo de lotes, controlo contínuo e controlo discreto (Kakade, 2017).

Para Williamson (2018), um Sistema MES é responsável pela gestão de informação relativa a: contagem de produção, tempo de paragem, parâmetros do processo, análise e avaliação supervisionada pelos intervenientes, para o período de tempo considerado.

Esta informação é obtida através de diversas operações, as quais se encontram divididas em 4 tipos, produção, inventário, qualidade e manutenção. Cada tipo de operações tem depois funcionalidades às quais o Sistema MES deve dar resposta (Williamson, 2018). Na Figura 4 são apresentadas as várias funcionalidades, distribuídas em função das operações.



Figura 4 - Funcionalidades Sistema MES por Tipo Operações (Fonte: Williamson, 2018)

2.3.2. Interação com Chão de Fábrica

O MES constitui uma camada entre o ERP e os sistemas de controlo do processo no chão de fábrica, permitindo visualizar o fluxo de trabalho em tempo real, com uma perspetiva sobre melhorias às operações relacionadas com a produção (Kakade, 2017).

De acordo com Berić et al. (2018), um MES deve ser integrado no chão de fábrica vertical e horizontalmente. A integração vertical refere-se ao controlo de toda a produção em tempo real relativamente a:

- Capacidades dos recursos e sua utilização;
- Estado e progresso de processos produtivos;
- Atrasos na produção;
- Sequência de operações e tempo de ciclo;
- Resolução de dificuldades;
- Dados do desempenho da produção.

Ainda para Berić et al. (2018), a integração horizontal permite ao MES gerir toda a produção da empresa, sem a necessidade de utilizar outros sistemas. Está associada a:

- Aquisição de dados e ordens de produção;
- Recolha e processamento de informação sobre operadores e máquinas;
- Planeamento da produção real;
- Qualidade;
- Manutenção;
- Logística;
- Recursos humanos;
- Informação sobre outros processos.

A Figura 5 apresenta um esquema representativo da integração vertical e horizontal de um sistema MES numa fábrica.



Figura 5 - Integração Vertical e Horizontal dos Sistemas MES (Fonte: Gehrke et al., 2015)

Segundo Apilioğulları (2022), os sistemas de informação empresariais em níveis inferiores ao MES consistem em componentes físicos, como sensores e PLCs, podendo ainda incluir sistemas SCADA. A sua integração com outros sistemas como é o caso do MES é efetuada através de diferentes protocolos de comunicação. Inicialmente, a conectividade entre estes sistemas podia representar um problema na implementação de um MES, contudo, o desenvolvimento nos sistemas permitiu efetuar ligações mesmo que entre *software* e *hardware* com protocolos de comunicação distintos. Quaisquer dados recolhidos no chão de fábrica podem ser convertidos para um protocolo de comunicação *standard*, como é o caso do OPC|UA, sem necessidade de software adicional (Apilioğulları, 2022).

Esta componente constitui a camada de conectividade, que é responsável por recolher, transmitir, armazenar e analisar os dados gerados no chão de fábrica. O seu papel é essencial para a integração dos sistemas com o MES, quer este esteja nas instalações da fábrica ou na *Cloud*. Para tal são utilizadas algumas ferramentas, como portas de conexão, bases de dados e algoritmos. A conectividade permite o fluxo de dados de vários locais e em diferentes formatos, desde dados estatísticos de elevada dimensão sem ligação ao tempo, a dados de pequena dimensão analisados e lidos com uma frequência bastante elevada. Nestas situações os dados devem ser gerados em tempo real, pelo que a sua produção e recolha deve apresentar uma latência baixa (Apilioğulları, 2022).

Além de recolhida, a informação também precisa ser processada. Os dados do chão de fábrica permitem resultados relevantes quando são devidamente analisados, como é o caso da utilização de algoritmos de análise. Para isso é necessário que a integração tenha previsto um tratamento de dados, onde é primeiramente retirada a informação sem importância, para reduzir o seu tamanho. Os processos devem depois ser modelados em função das relações identificadas entre dados. Após este trabalho, pode-se obter análises da informação que fornecem outras perspetivas (Apilioğulları, 2022).

2.3.3. Notas sobre os Sistemas MES

Segundo Berić et al. (2018), para os utilizadores finais nas empresas, os benefícios da utilização de um sistema MES estão dependentes do nível de integração deste com o ERP. As melhorias causadas pelo sistema MES refletem-se principalmente na informação disponibilizada aos trabalhadores, desenho eficiente, planeamento de produção e garantia de qualidade. Isto permite ainda à organização atuar prontamente sobre alterações, a melhoria de produtividade, a competitividade e estabelecer uma vantagem estratégica. As melhorias são verificadas principalmente nos seguintes segmentos (Berić et al., 2018):

- Planeamento e monitorização da produção;
- Planeamento da capacidade da produção;
- Planeamento e formação da mão de obra;
- Melhoria dos processos da produção e da qualidade do produto;
- Melhoria da manutenção;
- Análise de desempenho e determinação de *Key Performance Indicators* (KPIs);
- Redução da documentação em papel;
- Comunicação com o ERP em tempo real;

- Melhoria na participação dos trabalhadores;
- Definição de uma estrutura clara de planeamento e capacidade da produção.

De acordo com Kakade (2017), a integração de um MES com sistemas de informação empresariais como o ERP, a gestão do tempo de ciclo de um produto ou a gestão da *Supply Chain*, garantem benefícios tais como:

- Aumento da satisfação dos clientes;
- Melhoria no cumprimento da regulamentação;
- Melhor agilidade e tempo para venda;
- Melhoria na visibilidade da *Supply Chain*;
- Redução do tempo de ciclo da produção;
- Eliminação de processos de registos de efetuados manualmente;
- Menor custo de mão de obra;
- Redução no *Lead Time* de ordens de produção;
- Diminuição do inventário de *Work in Progress* (WIP);
- Incremento na utilização da máquina.

Para Williamson (2018), as vantagens da implementação de um sistema MES estão sobretudo na disponibilização dos dados. Este sistema permite reunir todos os dados da fábrica num só local, acessível a todos os utilizadores, independentemente de onde se encontram. A informação estará disponível de forma imediata e precisa, com estados, desempenhos e problemas visíveis para todos. Os utilizadores podem ainda ser alertados para problemas por mensagens automáticas de diferentes formas, e guiados pelos processos empresariais (Williamson, 2018).

Grande parte dos sistemas MES, principalmente aqueles que seguem o modelo ISA-95, estão definidos para uma lógica de produção contínua, válida para indústrias como a vitrocerâmica ou a farmacêutica, onde o objetivo é a utilização constante do equipamento. O custo de paragens ou produção sem cumprir a qualidade é bastante elevado em equipamentos de maior dimensão. Neste tipo de situações a manutenção e o controlo de processo são essenciais, pelo que a recolha de dados no chão de fábrica é mais avançada nesses casos. Pelo contrário, noutras empresas haverá um menor desenvolvimento nos sistemas de recolha de dados ao nível do chão de fábrica, seja pela tecnologia utilizada, pelo baixo nível de digitalização ou pela utilização de equipamento antigo. Estes problemas afetam a correta implementação de um sistema MES numa organização (Apilioğulları, 2022).

Segundo Saenz de Ugarte et al. (2009), os sistemas MES apresentam limitações relacionadas com arquitetura, processamento em tempo real, integração e implementação na indústria.

Relativamente à arquitetura, não existem técnicas de avaliação eficazes para efetuar uma testagem e validação realista de novos desenvolvimentos num sistema MES. Assim, estes apenas podem ser avaliados no contexto real (Saenz de Ugarte et al., 2009).

Apesar do tempo de resposta e processamento de informação por parte do MES ser inferior ao de outros sistemas como o ERP, este pode ainda ser considerável, criando um desfasamento com as situações em tempo real nos equipamentos. Este tempo depende de variáveis como a quantidade de dados recolhidos ou a sua localização. Quanto maior a quantidade de informação a monitorizar e o número de pontos de recolha, nomeadamente em diferentes instalações fabris, maior será o

desfasamento entre os dados em tempo real e os dados disponibilizados no MES (Saenz de Ugarte et al., 2009).

A produção segue diferentes processos e operações consoante a empresa em questão, pelo que a integração de um sistema MES nos processos existentes pode criar a necessidade de desenvolvimentos e serviços adicionais, que aumentam o prazo e o custo de instalação. Pode ainda requerer a integração de diversos módulos e sistemas de *softwares* distintos, que nem sempre é possível efetuar de forma direta (Saenz de Ugarte et al., 2009).

A implementação de sistemas MES na indústria apresenta benefícios que são, na sua maioria, intangíveis, sendo que envolve riscos e custos consideráveis. Nesse sentido a determinação do retorno associado ao investimento não representa o real valor do sistema na melhoria da produtividade e eficiência da produção. Este problema pode ser um entrave à tomada de decisão da organização quanto a projetos deste tipo (Saenz de Ugarte et al., 2009).

3. CASO DE ESTUDO – ESTADO INICIAL

Neste capítulo é abordado o estado atual do tratamento de informação no caso de estudo. A sua análise é fundamental de modo a compreender qual o melhor método para solucionar o principal problema tratado no presente trabalho. Além de uma descrição detalhada do processo de produção, incluindo a informação partilhada durante os procedimentos, são ainda destacados os dados disponíveis em termos de automação e energia. Finalizada a descrição do caso, são retiradas as devidas ilações, efetuando-se um diagnóstico e apontando os problemas.

3.1. Descrição

O foco do estudo é um dos setores de produção da Socitrel, tal como já havia sido mencionado. Importante salientar que a empresa se trata de uma trefilaria, pelo que se ocupa da fabricação de arames de aço. Esses são comercializados sobre a forma de bobines ou travessas, variando a sua denominação em função do formato final.

3.1.1. Sistema Produtivo

A atividade da fábrica consiste na transformação da matéria-prima adquirida, denominada Fio Máquina, num produto final, que pode ser de 4 tipos: Fio, Vareta, Cordão 3 Fios ou Cordão 7 Fios. Na Figura 6 é apresentada a sequência de operações realizada para se obter cada um dos produtos acabados referidos.

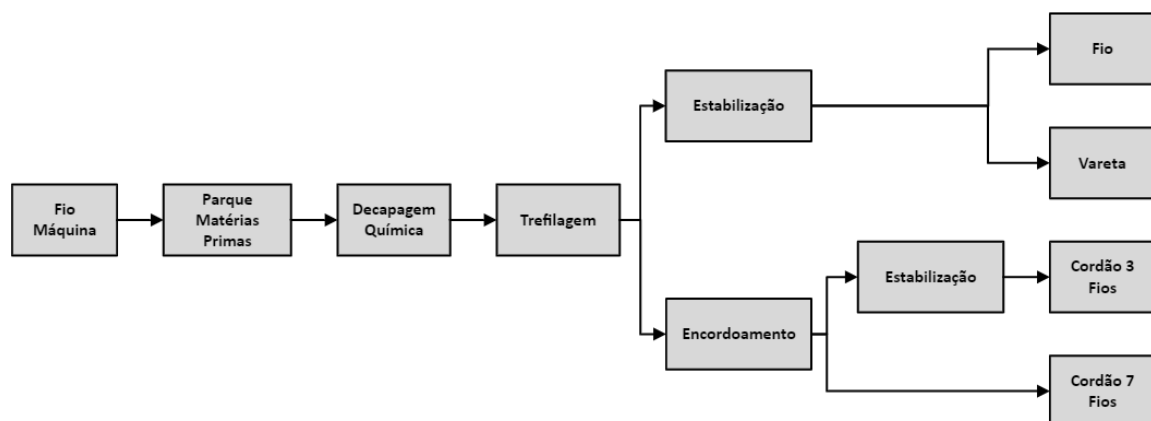


Figura 6 - Diagrama de Fluxo Sistema Produtivo

O procedimento inicial é semelhante, dado que são produzidos com base no mesmo tipo de material, o Fio Máquina. Este corresponde a um arame de aço, com diferentes teores de carbono, em função das características mecânicas necessárias para o produto final. O fio é transportado e armazenado em bobines, que são alocadas no Parque de Matérias-Primas após serem rececionadas.

Posteriormente, as bobines de matéria-prima são carregadas para a Decapagem Química, de modo a que seja atingido o peso total requisitado na ordem de produção lançada. A operação de decapagem corresponde a um tratamento químico efetuado ao material. Este passa por uma

sequência de 10 tinas que contêm diferentes substâncias líquidas, como água ou ácido. Este processo permite remover uma camada de óxido que se forma na superfície do arame.

A próxima operação realizada é a Trefilagem do Fio Máquina decapado. Neste procedimento o diâmetro do arame é diminuído, através de uma sucessão de blocos e rolamentos com velocidade de rotação crescente. O diâmetro final, bem como o valor de saída de cada bloco, são ditados não só pelas velocidades, como também por estruturas cilíndricas com um furo de diâmetro igual ao pretendido, denominadas fieiras.

Após trefilar o material, a sequência de processos deixa de ser comum para todos os produtos. No caso do Fio e da Vareta, é realizado um tratamento final para preparar o arame para a sua utilidade, designado Estabilização. A diferença entre estes 2 artigos está no seu comprimento, visto que uma Vareta consiste numa travessa, obtida de um corte no arame. Quanto ao Cordão, este é produzido através do encordoamento de arames, sendo a quantidade de arames utilizados identificada nos nomes dos produtos, ou seja, 3 e 7 para o Cordão 3 Fios e o Cordão 7 Fios, respetivamente. Os diferentes fios passam a constituir um só arame, sendo que os produtos com menor número de fios necessitam ainda de ser transportados para outra máquina onde é efetuada uma operação adicional de Estabilização similar à que ocorre com Fio e Vareta.

3.1.2. Fluxo de Informação

Uma parte considerável da informação trocada na empresa é registada no ERP implementado, o SAP. Este sistema de informação empresarial visa apoiar as funções do planeamento, contudo todos os outros departamentos interagem direta ou indiretamente com o mesmo. No chão de fábrica este sistema também é utilizado por parte dos operadores, sendo que está implementado na fábrica um terminal com acesso ao SAP por secção, servindo todos os operadores alocados à mesma.

Ao longo do fluxo de materiais no chão de fábrica existem comunicações entre vários agentes, quer manual quer automaticamente. Um exemplo deste último caso são as tarefas alocadas ao Planeamento, visto que as mesmas são realizadas pelo SAP, contando apenas com a supervisão do departamento em questão. Os agentes identificados são Planeamento, Produção, Controlo de Qualidade, Manutenção e Operador do Centro de Trabalho.

O fluxo de informação associada à matéria-prima inicia-se com a sua receção por parte da Produção. O lote é caracterizado por um código de barras do fornecedor, que contém os dados necessários para a empresa, que é lido através de um *scanner*, sendo os dados utilizados para efetuar o registo em SAP. O Planeamento gere os *stocks* do material, com o sistema de informação empresarial.

Após o devido armazenamento, é necessário avaliar as características do material, de modo a compreender se o mesmo se encontra em conformidade com a encomenda efetuada. Esse procedimento é responsabilidade do Controlo de Qualidade, visando catalogar o lote como bloqueado ou de utilização livre. Este último garante que a matéria-prima pode ser utilizada pela produção, enquanto a outra categoria impede o uso e exige o preenchimento de uma ficha de não conformidade. Na Figura 7 pode ser consultado um esquema representativo do fluxo de informação descrito.

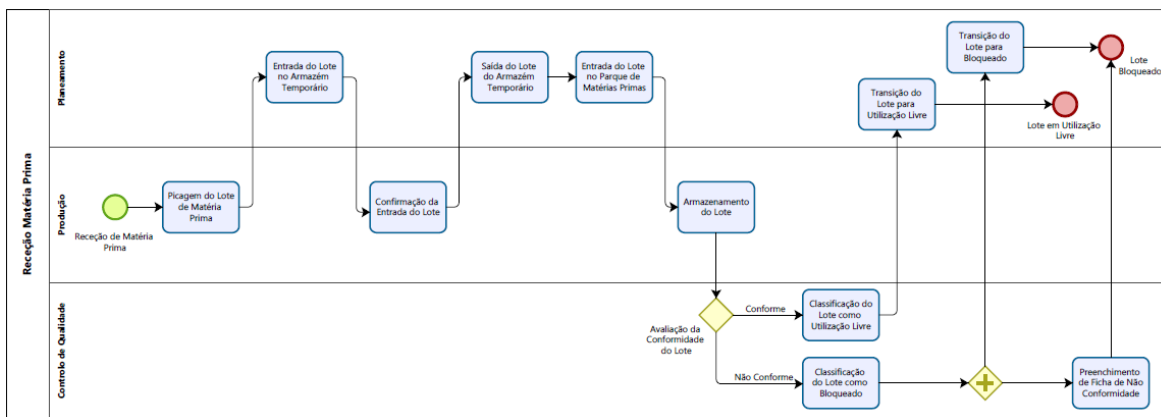


Figura 7 - Descrição de Operações Recepção Matéria-Prima

As operações que se seguem são orientadas por ordens de produção, pelo que primeiramente estas serão analisadas. No total existem 5 tipos diferentes de ordens na fábrica, todavia, cada produto final é obtido após a realização de apenas 2 ordens de produção. A primeira é comum a todos os produtos fabricados no setor, resultando no Fio Trefilado que é o único produto semiacabado registado. As etapas de Decapagem Química e Trefilagem estão ambas contidas nesta ordem de produção, não sendo distinguidas.

Relativamente às restantes ordens, cada uma está associada a um produto acabado diferente, tendo como material inicial o Fio Trefilado. O único caso em que se repete a incorporação de mais de uma etapa numa só ordem de produção é no Cordão 3 Fios, visto que os procedimentos de acabamento de Encordoamento e Estabilização são ambos efetuados. As ordens de produção de Fio e Vareta apenas contabilizam a operação de Estabilização, enquanto a do Cordão 7 Fios contem o Encordoamento. A informação contida nas diferentes ordens divide-se em categorias semelhantes, pois todas as ordens de produção seguem o mesmo *template*. Estes dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de Ordens de Produção Utilizadas por Produto

Produto	Materiais	Operações	Informações
Fio Trefilado	Fio Máquina	Decapagem Química e Trefilagem	Número de Ordem e Material, Quantidade (Materiais e Produtos), Diâmetro, Centros de Trabalho, Parâmetros Decapagem, Parâmetros Trefilagem
Fio	Fio Trefilado	Estabilização	Número de Ordem e Material, Quantidade (Materiais e Produtos), Diâmetro, Centro de Trabalho, Classe, Superfície, Dimensão e Unidades Bobines, Parâmetros Estabilização
Vareta	Fio Trefilado	Estabilização	Número de Ordem e Material, Quantidade (Materiais e Produtos), Diâmetro, Centro de Trabalho, Classe, Superfície, Comprimento, Parâmetros Estabilização
Cordão 3 Fios	Fio Trefilado	Encordoamento e Estabilização	Número de Ordem e Material, Quantidade (Materiais e Produtos), Diâmetro, Centros de Trabalho, Classe, Superfície, Dimensão e Unidades Bobines, Parâmetros Encordoamento, Parâmetros Estabilização
Cordão 7 Fios	Fio Trefilado	Encordoamento	Número de Ordem e Material, Quantidade (Materiais e Produtos), Diâmetro, Centro de Trabalho, Classe, Superfície, Dimensão e Unidades Bobines, Parâmetros Encordoamento

As diferentes ordens de produção têm particularidades em função do produto a que se destinam, mas o seu processo de lançamento e distribuição é semelhante. Na Figura 8 está representado este procedimento. Inicialmente, a ordem é criada pelo Planeamento através do SAP, devido ao surgimento de uma necessidade do produto em questão. A geração da ordem de produção ocorre com devida antecedência em relação à data agendada para o seu início, pelo que antes de ser transmitida ao chão de fábrica é consultada quer pelo Planeamento, quer pela Produção, no sistema de informação empresarial. Após esta verificação, é avaliada a necessidade de efetuar correções, para que possa ser lançada a ordem de produção final. A mesma é enviada por *email* à Produção, que procede à sua impressão em papel, e posterior entrega ao operador do respetivo centro de trabalho, que aguarda novas indicações da Produção para lhe dar início. No caso da ordem de produção ser realizada em mais que um centro de trabalho, o documento é transmitido aos operadores de cada uma delas.

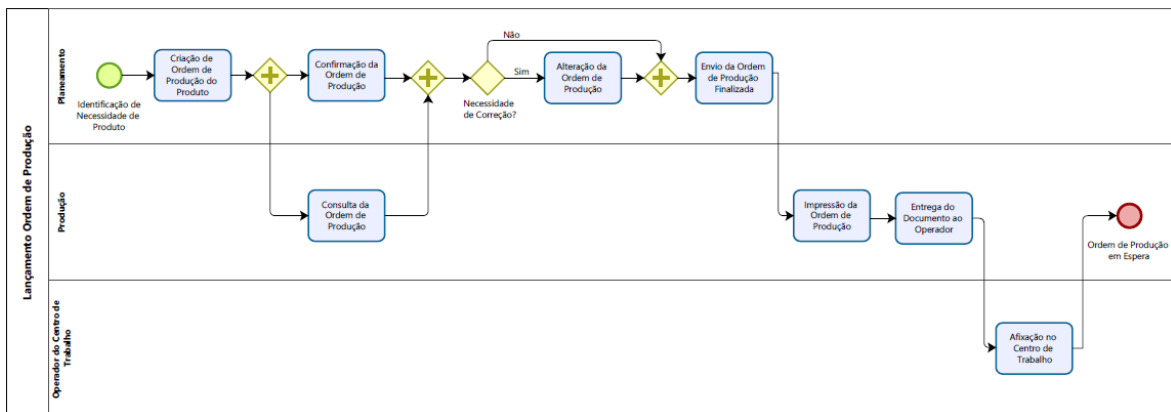


Figura 8 - Descrição de Operações Lançamento de Ordem de Produção

Segue-se a operação de Decapagem Química do Fio Máquina. Os lotes de Fio Máquina necessários para cumprir a quantidade especificada na ordem de produção são requisitados pela produção. Importante esclarecer que na ordem não são especificados os lotes a consumir, sendo identificado o peso total necessário. Tal deve-se ao facto da matéria-prima a utilizar ser caracterizada pela sua composição, sendo a mesma comum para diversos lotes.

Após transporte da bobine para a decapagem, o operador da Produção procede à leitura do código de barras presente no lote via *scanner*, o que permite enviar ao SAP a informação relativa, de modo a efetuar a movimentação em *stock* da bobine, bem como o consumo de amarras e calamina, e gerar uma etiqueta identificadora da ordem de produção. As primeiras são utilizadas para prender o arame, sendo retiradas pelo operador. Quanto à calamina, trata-se de um óxido de ferro formado na superfície do Fio Máquina, que é removida durante o processo de Decapagem Química. Referir ainda que o seu consumo é efetuado através de tabelas técnicas parametrizadas em SAP.

Paralelamente, a produção define o procedimento requerido para a correta Decapagem do Fio Máquina tendo em conta a informação contida na ordem de produção. Estes dados são depois transmitidos ao operador do centro de trabalho, que é o agente responsável por configurar o equipamento, através da seleção do programa correspondente ao procedimento. O encerramento da Decapagem é seguido de um alerta ao operador, que informa a Produção. A bobine é então retirada da máquina e carregada para a Trefilagem, sendo colocada à entrada do centro de trabalho a que se destina, para estar disponível assim que surgir necessidade de material para aquela ordem de produção. A informação é processada como mostra a Figura 9.

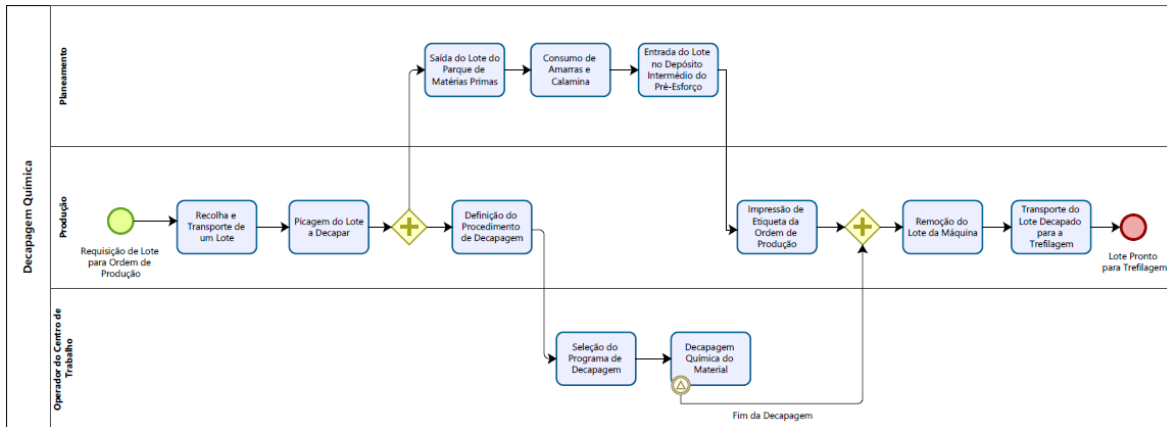


Figura 9 - Descrição de Operações Decapagem Química

De seguida, efetua-se a Trefilagem do Fio Máquina. É requisitado um lote para suprir a quantidade da ordem de produção, e a Produção procede à definição dos respetivos parâmetros, que são transmitidos ao operador. A máquina de Trefilagem gera um sinal de alerta quando termina a produção de uma bobine de Fio Trefilado, sendo o lote de arame removido do equipamento, e transportado para o armazém intermediário a montante das secções de acabamento dos produtos, Estabilização e Encordoamento.

O lote fabricado é registado, com o auxílio de um *scanner* para realizar a leitura do código de barras da etiqueta, o que origina do lado do SAP o consumo dos lotes de Fio Máquina aplicados na ordem, e do ácido clorídrico presente nas tinas da Decapagem Química. O operador necessita seleccionar os lotes aplicados na ordem de produção, bem como indicar o peso gasto para cada, e o diâmetro e comprimento do arame. O consumo do ácido é calculado através de tabelas técnicas em SAP, de forma semelhante ao consumo de calamina, com base na quantidade e peso dos lotes consumidos. Depois, dá-se a entrada da bobine no Armazém de Produtos Semicabados, e consequente impressão de etiqueta única para o lote, que será empregue na sua identificação em processos futuros. A Figura 10 apresenta um esquema com o fluxo de informação descrito.

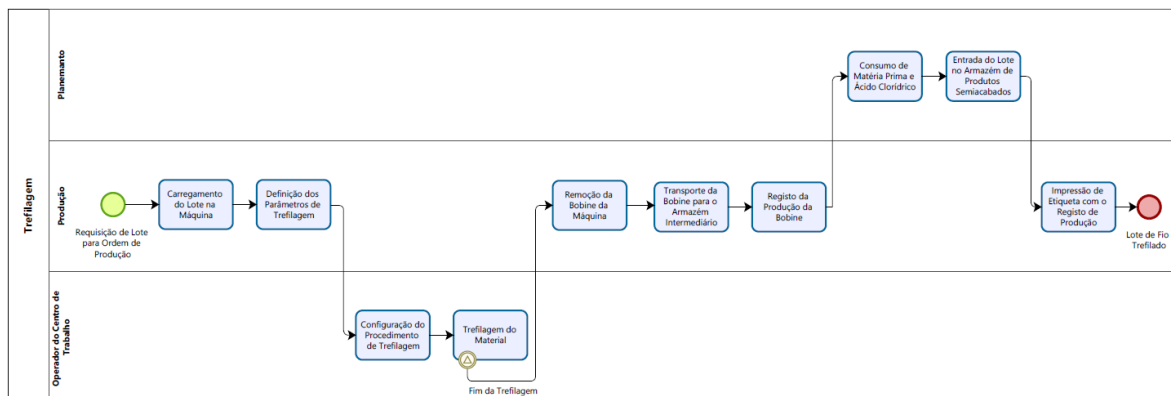


Figura 10 - Descrição de Operações Trefilagem

Nesta fase, o fluxo de materiais no chão de fábrica sofre uma bifurcação, com o produto semiacabado a dirigir-se para Encordoamento ou Estabilização. O procedimento é semelhante ao efetuado na Trefilagem, principalmente até à atividade a realizar na máquina. As principais diferenças surgem após o processo de Estabilização, visto que a bobine resultante é transportada para uma balança disposta a jusante da máquina, na qual a Produção efetua a pesagem do lote,

para efeitos de registo do produto acabado. O responsável pela Produção tem ainda de indicar a ordem de produção e os lotes de produto semiacabado aplicados, com respetiva quantidade. Esta informação é depois trabalhada ao nível do Planeamento, pelo ERP, que realiza informaticamente o consumo das bobines de Fio Trefilado e a movimentação do lote gerado para o Armazém de Produtos Acabados. Por fim, a etiqueta com a identificação do produto final para o cliente é impressa, obtendo-se um lote de Fio ou Vareta. Na Figura 11 pode-se consultar a sequência de operações associada à Estabilização.

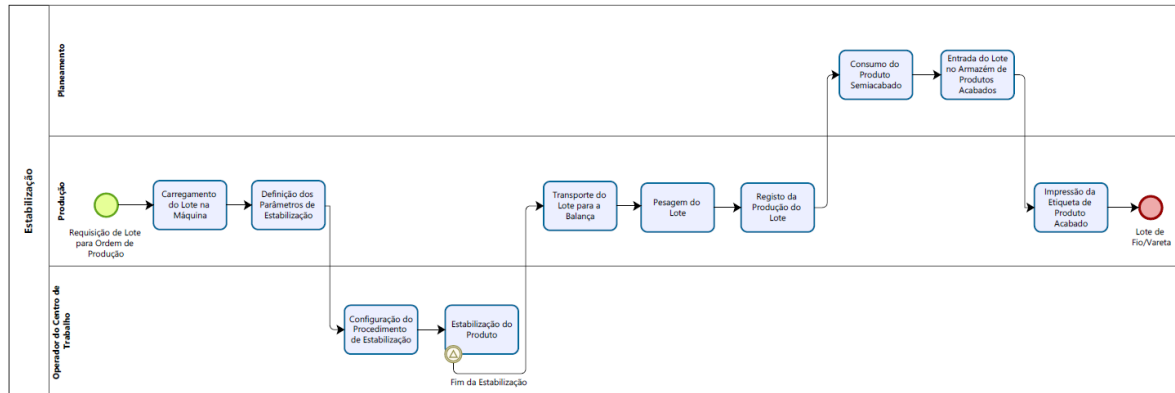


Figura 11 - Descrição de Operações Estabilização

Quanto ao procedimento para o Encordoamento, este apresenta diferenças mais claras em relação aos anteriores, pois o Cordão é fabricado através da união de diferentes arames. Deste modo, é necessário reunir inicialmente um conjunto de 3 ou 7 bobines de Fio Trefilado, para fabricar Cordão 3 Fios e Cordão 7 Fios, respetivamente. Ao dar início à execução de uma nova ordem, a Produção tem de juntar uma carga de lotes para carregar a máquina, que deverá ser constituída por bobines na quantidade e com as características solicitadas. Os códigos dos vários lotes são depois lidos por um *scanner*, sendo essencial identificar ainda a ordem de produção e o centro de trabalho para o qual se destinam. Estas ações despoletam no SAP a criação de um vínculo entre os lotes, de forma a restringir a carga. É impressa uma etiqueta a utilizar no consumo da carga

As etapas seguintes são comparáveis ao que se realiza na Estabilização e Trefilagem, relativamente à configuração da máquina. Após a operação de fabrico do produto, no caso de se tratar de uma ordem de produção de Cordão 3 Fios, a bobine de Cordão segue para a Estabilização, com um tratamento semelhante ao do Fio Trefilado na obtenção de Fio ou Vareta. O produto finalizado é depois movido para uma balança, onde a Produção efetua a sua pesagem, e conseqüente registo de produção. Nesse sentido, o operador seleciona manualmente a carga e a ordem de produção em questão. Então, os lotes constituintes da carga são consumidos, e a bobine gerada dá entrada no Armazém de Produtos Acabados, tarefas efetuadas pelo SAP com a monitorização do Planeamento. Finalmente, o operador da Produção imprime o código de barras do Cordão produzido, colocando-o no lote. Na Figura 12 pode ser consultado o fluxo de informação descrito. Uma versão com maior detalhe está disponível no Apêndice A.

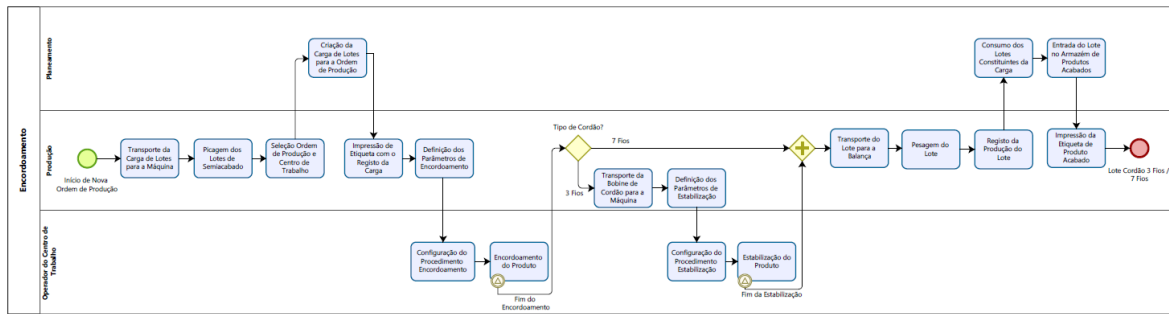


Figura 12 - Descrição de Operações Encordoamento

O último processo onde existe fluxo de informação ao nível da produção de um artigo é no Controlo de Qualidade efetuado aos produtos acabados. Realiza-se para qualquer artigo fabricado no setor, de modo a cumprir as normas de qualidade seguidas pela empresa. O procedimento é semelhante independentemente do artigo a produzir. A Produção é responsável pela preparação de uma amostra de cada lote produzido, e realização de um ensaio de tração para avaliação da resistência do produto acabado. Os resultados do ensaio são depois transmitidos ao Controlo de Qualidade, que, em função das normas do cliente, pode recorrer à realização de testes adicionais ao material.

A informação recolhida através dos ensaios efetuados é depois analisada para verificar se o produto se encontra em conformidade com as características requisitadas pelo cliente. Em caso afirmativo, o Controlo de Qualidade classifica o lote como utilização livre, que fica, então, desbloqueado para a embalagem e expedição, depois de ser devidamente autorizado pelo Planeamento. Esta classificação engloba também a anexação dos resultados dos ensaios à informação disponível em SAP acerca da bobine, de modo a permitir o envio dos dados ao cliente. Por outro lado, um lote não conforme é bloqueado no ERP pelo Planeamento, por indicação do Controlo de Qualidade, que é também responsável por elaborar uma ficha de não conformidade com a justificação da avaliação efetuada. O procedimento descrito encontra-se devidamente representado na Figura 13.

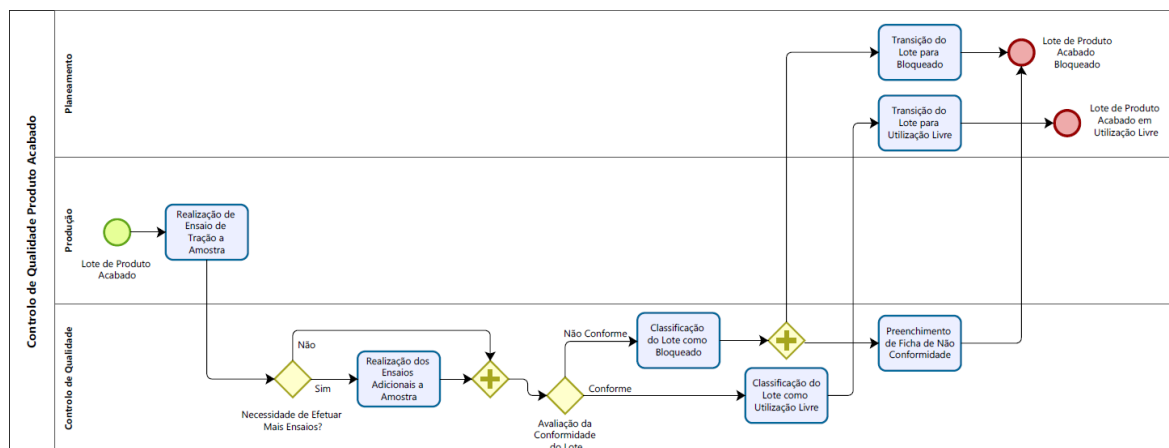


Figura 13 - Descrição de Operações Controlo Qualidade Produto Acabado

O registo de paragens de produção também é um procedimento importante, sendo a responsabilidade do operador do centro de trabalho dar-lhe início. O equipamento gera um alerta no painel, que além da paragem, pode indicar o motivo da interrupção na produção. Esta pode, no entanto, ser motivada por situações alheias à máquina, pelo que é fundamental que o operador identifique a causa nesse tipo de situações. Seguidamente, a Produção regista a paragem em SAP, classificando-a numa de 2 categorias: Paragem Não Programada ou Registo de Avaria. A primeira

refere-se a interrupções causadas por motivos alheios ao estado de conservação da máquina, como o *setup* do equipamento ou a falta de material. Estas ocorrências não necessitam de apoio para serem resolvidas, pelo que apenas é solicitado ao operador que indique o momento da retoma da atividade.

Em contrapartida, a identificação de uma avaria suscita a necessidade de que a Manutenção se junte à resolução do problema. O operador da Manutenção analisa o problema no equipamento, de modo a compreender se é possível reparar a máquina no imediato, ou se é necessária intervenção externa ou aquisição de componentes. No caso de a reparação não ser executável no momento, esta atividade é agendada no SAP, para que o prazo seja devidamente alterado no planeamento. Assim que possível, procede-se, então, à reparação da avaria. Finalizada a ação na máquina, é solicitado que a Manutenção registre os equipamentos e materiais consumidos no processo, para os associar ao registo de avaria. Por fim, encerra-se o registo da paragem, após o recomeço da produção normal. Esta sequência de operações pode ser consultada na Figura 14. Uma versão com mais detalhe é disponibilizada no Apêndice B.

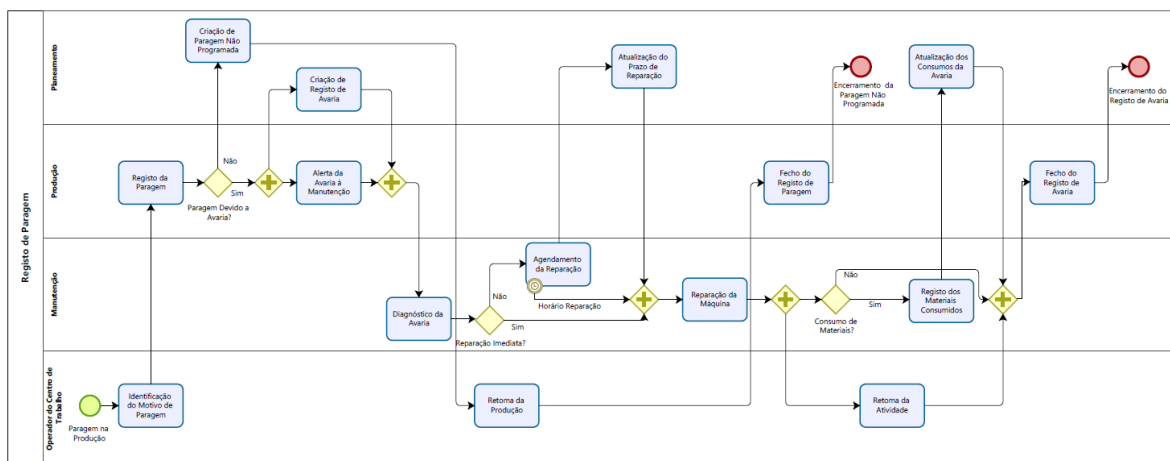


Figura 14 - Descrição de Operações Registo de Paragem

No seguimento da análise da informação partilhada ao longo da cadeia produtiva da empresa, foram reunidos todos os registos efetuados em SAP associados a operações no chão de fábrica. Nos casos em que o registo ocorre numa circunstância específica na sequência lógica de operações de produção, esse é evidenciado no esquema, ao conectar o registo ao momento em que sucede. Estas situações referem-se aos registos de produção, e às operações de controlo de qualidade, de entrada de matéria-prima e de criação de carga. Outras interações com o ERP que já haviam sido destacadas são o registo de paragens e o encerramento de registos de avarias. Como estas podem ocorrer para qualquer máquina, independentemente da secção, não se encontram associadas a nenhum ponto específico do diagrama de fluxo. Ainda no que diz respeito à manutenção de equipamentos, existe em SAP um plano de manutenção preventiva para todas as máquinas. Para cada tarefa realizada pelo operador da manutenção, deve ser confirmado o operador e a duração definida no plano.

Para o setor, existe ainda a opção de gerar 2 relatórios por turno, da produção e das paragens. Esta atividade é da responsabilidade do *Team Leader* de cada um dos turnos da Produção, sendo cumprida no final do mesmo. O sistema de informação gera um documento onde constam todas as paragens registadas por equipamento e a quantidade produzida por produto e máquina, para o turno no período de tempo escolhido. Estes dados são apresentados em comparação com os

tempos de disponibilidade dos equipamentos e a produção planeada, respetivamente. Cabe depois ao *Team Leader* confirmar que todos os registos de paragens e de produção foram devidamente executados, sem erros ou informação em falta, corrigindo todas as falhas encontradas. Por fim, os documentos são impressos e assinados pelo próprio, para consulta futura e confirmação de visualização. Na Figura 15 estão representados todos os registos no ERP.

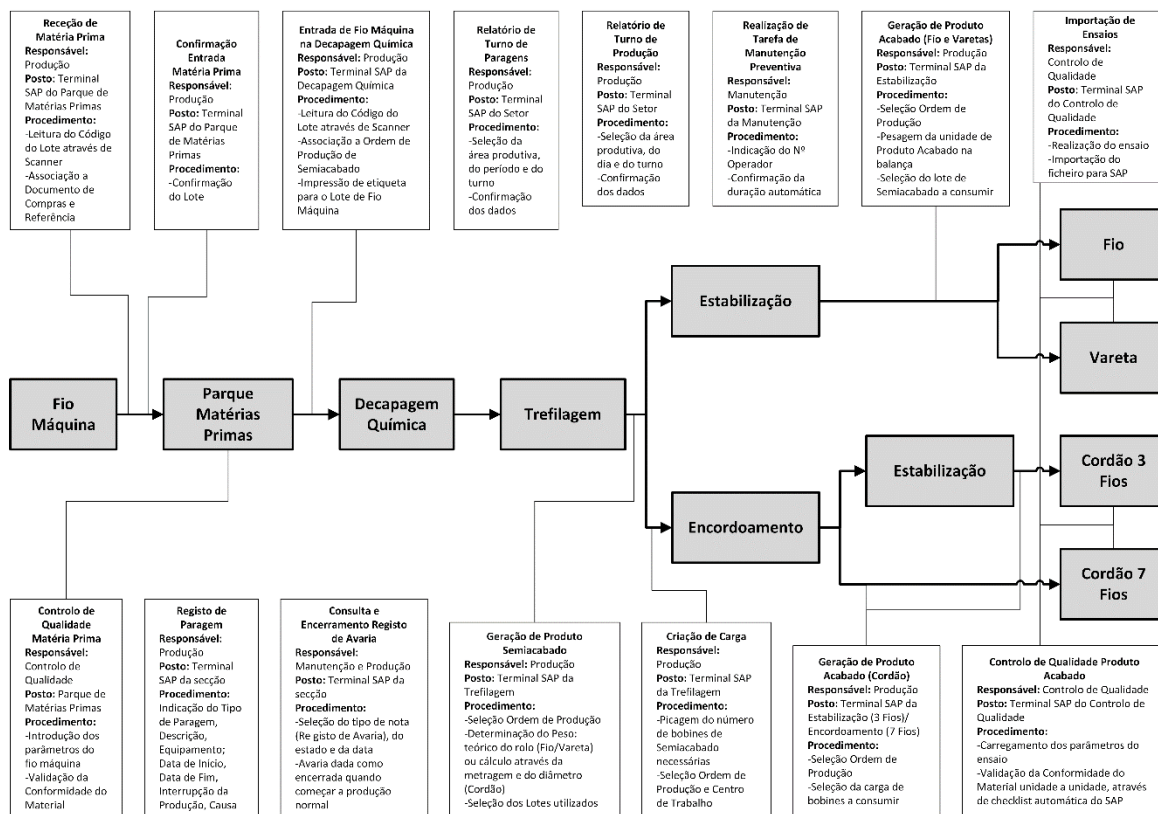


Figura 15 - Registos no ERP durante o Processo Produtivo

Além das interações com o SAP, no chão de fábrica existem também registos efetuados manualmente. Estas situações envolvem a escrita dos dados pelos operadores, normalmente em papel ou *excel*. A definição deste tipo de registos tem motivações distintas, assim como a sua execução. Podem ser criados com o objetivo de monitorizar parâmetros relevantes para a produção e manutenção dos equipamentos, controlar o consumo de materiais subsidiários, ou outros componentes consumidos durante a produção. Existem ainda registos de particularidades ou mudanças na produção ou nos produtos, como é o caso das soldaduras ou alterações de programa.

Estes procedimentos não são únicos à Produção, havendo ainda registos manuais relativos ao Controlo de Qualidade, nos ensaios realizados à matéria-prima e ao produto final, e à manutenção, como o planeamento de manutenção autónoma. Certas informações como as posições e movimentações de lotes, ou registo de bobines produzidas, também ocorre, sendo que em grande parte dos casos se trata de um trabalho improdutivo, uma vez que parte destes dados são também adicionados de forma independente, por exemplo no ERP. Estes requerem ainda trabalho adicional para transcrever ou tratar esses dados, enquanto noutras situações a informação não é devidamente analisada por estar em papel. Destacar que os registos associados ao Controlo de Qualidade estão dependentes das normas dos clientes, pelo que a intervenção nestes pode não ser possível. Os registos manuais no chão de fábrica estão esquematizados na Figura 16.

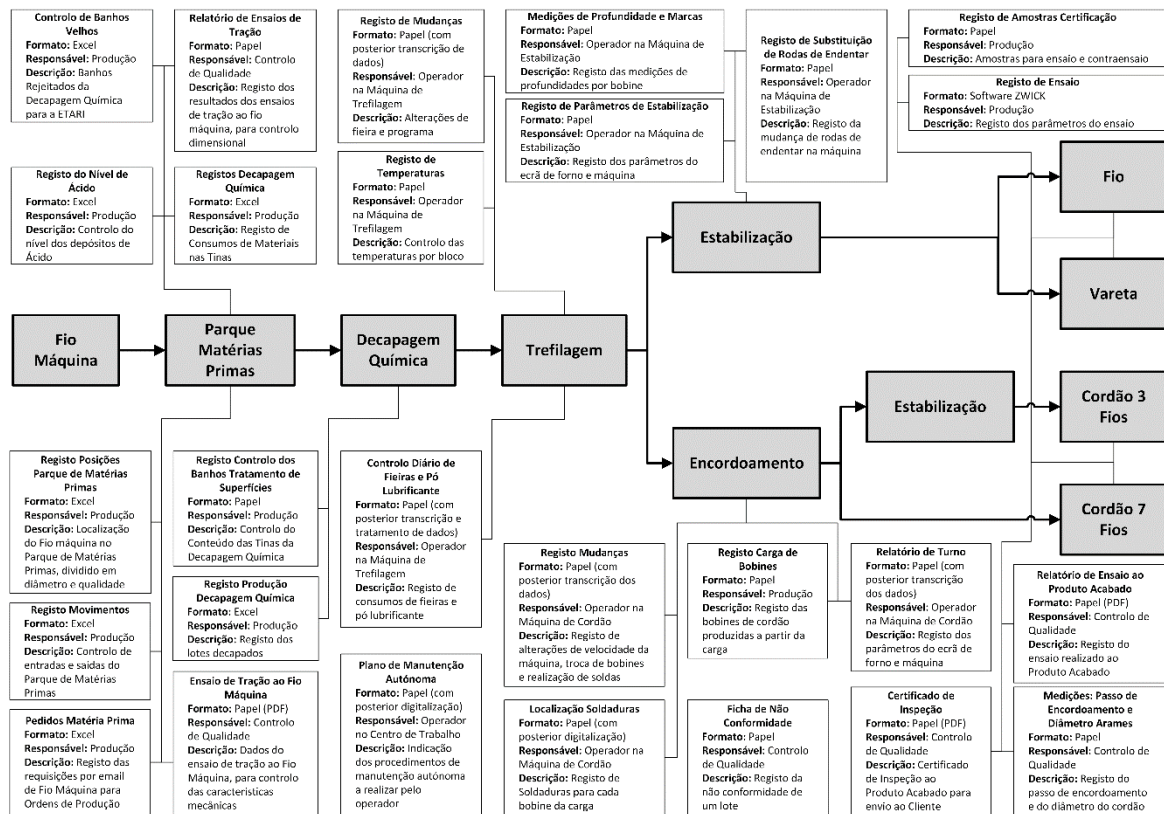


Figura 16 - Registos Manuais durante o Processo Produtivo

3.1.3. Automação no Chão de Fábrica

Como já havia sido mencionado, todas as máquinas da fábrica são controladas por autômatos, através dos quais os operadores têm a possibilidade de visualizar o estado dos equipamentos, acompanhar a evolução de algumas variáveis e configurar os parâmetros para a produção dos lotes. Cada equipamento no chão de fábrica tem um autômato dedicado, existindo ainda em todos os centros de trabalho um painel que permite ao operador comunicar com o autômato e consultar informação recolhida pelos sensores instalados, que estão conectados ao PLC.

Todos os PLCs são da Siemens, o que representa uma mais-valia, visto que, assim, apresentam uma linguagem de programação semelhante, o que facilita a intervenção da Manutenção. Destacar ainda que, em cada secção, os diferentes equipamentos partilham o mesmo modelo de PLC, devido ao facto das intervenções a nível de automação na fábrica ocorrerem, geralmente, por secção, sendo feita a evolução para todos os autômatos, isto é, a troca para modelos mais evoluídos. A Decapagem Química e o Encordoamento têm autômatos com versões mais recentes, com possibilidade de comunicação via *ethernet*. Pelo contrário, essa possibilidade não está salvaguardada na Trefilagem e na Estabilização, sendo que nesta última o modelo dos autômatos, o Siemens SIMATIC S5, já foi descontinuado. Quanto à informação disponível, na Tabela 2 são apresentados alguns dos dados mais relevantes para cada secção, mas é importante salientar que um dos parâmetros essenciais para a caracterização do arame, o diâmetro, não é obtido pelos sensores instalados. Este valor é definido pelo operador, tendo em conta os parâmetros da ordem de produção, no entanto não é medido pelo autômato, ao contrário de outros dados como a velocidade e os metros produzidos.

Tabela 2 - Autômatos Existentes por Máquina

Secção	Modelo Autômatos	Ethernet	Dados Disponíveis
Decapagem Química	Siemens SIMATIC S7-1200	Sim	Paragens; temperaturas tinas; posição bobine; quantidade bobines decapadas
Trefilagem	Siemens SIMATIC S7-300	Não	Paragens; metros; velocidade; temperatura, potência e corrente de motores e variadores; velocidade do bloco; falta de água.
Estabilização	Siemens SIMATIC S5	Não	Paragens; metros; velocidade; temperatura, corrente e velocidade de motores e variadores; comprimento e quantidade (vareta)
Encordoamento	Siemens SIMATIC S7-1500	Sim	Paragens; metros; velocidade; temperatura, potência, corrente e velocidade de motores e variadores; tração; alongamento; percentagem de água; temperatura tanque arrefecimento

3.1.4. Dados de Consumo de Energia

As máquinas utilizadas na produção da empresa apresentam um elevado consumo de energia, sendo este, inclusivamente, um dos principais custos associados aos produtos fabricados. Posto isto, os valores de consumos de energia também são fundamentais para a análise da produção e do seu desempenho. De destacar ainda que no caso analisado outros consumíveis como gás e água não têm uma preponderância tão acentuada, pelo que não será avaliada a recolha destes dados.

Alguns dos autômatos instalados nas máquinas já permitem obter por si só o consumo de energia, no entanto essa informação não está uniformizada, existindo apenas para as máquinas mais recentes. Assim sendo, tal não é um método viável para recolher dados energéticos, tendo ainda a limitação de serem baseados em leitores de energia, que medem somente o consumo.

Neste sentido, a empresa tem instalados analisadores de energia, que permitem a recolha de uma maior variedade de registos acerca do consumo de energia da máquina, como correntes, tensões e potências. Existe um equipamento deste tipo conectado a cada uma das máquinas, garantindo que é obtida a informação pretendida para todas. Os analisadores utilizados são da Electrex, do modelo Zepto D6 AC. Estes estão depois ligados a 2 *gateways* Yocto Net D6 2DI/2DO, que servem de ponto de ligação entre os diferentes analisadores e um servidor *web* no qual são disponibilizados os dados. De registar ainda que, adicionalmente, é possível recolher informação acerca dos postos de transformação em que se encontram os analisadores, através de equipamentos semelhantes instalados nos mesmos.

A informação pode ser consultada ao aceder aos dois servidores *web* associados às *gateways*. O primeiro contém dados relativos às máquinas de Decapagem Química e Trefilagem, com o segundo a apresentar os registos nas secções de Estabilização e Encordoamento. Estes servidores não são acessíveis por qualquer utilizador na fábrica, sendo apenas consultados pelo departamento de Manutenção.

3.2. Diagnóstico e Identificação de Problemas

Ao analisar o tratamento e fluxo de informação, depreende-se que, para a generalidade dos procedimentos realizados no chão de fábrica, existe uma sequência lógica de operações a realizar

de modo a registar os dados mais importantes para o controlo da produção efetuada. O SAP também se encontra adaptado às necessidades do planeamento, com um sistema de gestão de *stocks* de matérias-primas, produtos semiacabados e acabados, permitindo consultar a sequência de operações e centros de trabalho a que um lote final foi sujeito, bem como associar os ensaios realizados às bobines, para envio ao cliente.

No entanto, a estrutura de informação também apresenta diversas lacunas. Um dos sintomas para esta situação é a quantidade significativa de dados que não são recolhidos, ou cujo registo é feito manualmente. Este é outro dos problemas, a dependência no operador para obtenção da informação. Além da evidente probabilidade de ocorrência de erros humanos, a atualização dos dados também é colocada em causa.

Outra consequência das ações dos operadores é o desvio face ao fluxo de informação definido. A sequência de operações instruída nem sempre é cumprida devidamente no chão de fábrica. Certas vezes a informação apenas é registada horas depois do sucedido. Além da informação não ser atual, a veracidade dos dados não é garantida, nomeadamente em relação aos períodos de paragem.

Posto isto, foi possível identificar que os principais problemas identificados se encaixavam em 7 categorias: Fiabilidade da Informação, Acesso aos Dados, Improdutividades, Rastreabilidade da Produção, Determinação e Imputação de Custos, Gestão da Manutenção e Comunicação entre Departamentos.

Relativamente à Fiabilidade da Informação, as questões quanto à mesma estão relacionadas na sua generalidade com a intervenção humana. A pouca frequência de postos de acesso ao SAP constitui outro problema, assim como a ausência de sensores para o diâmetro do arame.

As dificuldades no acesso à informação dividem-se sobretudo em 2 componentes, atualização dos registos e localização dos dados. A informação encontra-se dividida não só por diferentes *softwares*, como em diversas posições físicas, no caso dos registos em papel.

Quanto às Improdutividades, estas advêm de perdas de tempo resultantes do tratamento ou obtenção dos dados. A principal fonte deste tipo de problemas são os registos manuais. Os registos no ERP também constituem um problema, sendo por vezes necessária a intervenção do *Team Leader* no fim do turno quando ocorrem falhas.

A rastreabilidade dos lotes produzidos é assumida pelo SAP. Contudo, só existem registos em 3 pontos da sequência, na entrada da matéria-prima na fábrica, e nos registos dos produtos semiacabado e acabado. Assim, a informação disponível para o utilizador encontra-se incompleta.

No que diz respeito ao custeio dos produtos, este é realizado no SAP, no entanto grande parte dos consumos são imputados aos custos por estimativa, com uma atualização mensal dos dados, como é o caso da energia e dos materiais subsidiários.

A gestão da manutenção está dividida em diferentes formatos e plataformas. Esta descentralização e falta de padronização dos dados complica a gestão da informação.

A comunicação entre departamentos é muito influenciada por vários dos problemas enunciados anteriormente. Além das falhas de informação na sequência de operações, também o facto de muitos dados não serem partilhados com todos os departamentos influencia a comunicação.

A Tabela 3 apresenta uma descrição detalhada dos vários problemas por categoria e respetivas consequências.

Tabela 3 - Diagnóstico de Problemas da Situação Atual

Categoria	Problema	Descrição	Consequência
Fiabilidade da Informação	F1	Registo de informação realizado manualmente pelo operador	Ocorrência de erros de escrita
	F2	Reduzido número de terminais SAP	Acontecimentos não inseridos no sistema de informação
	F3	Intervalo de tempo entre um evento e o seu registo em SAP	Informação menos precisa e desatualizada
	F4	Ausência de sensorização para o diâmetro	Desconhecimento do valor real
	F5	Transcrição e digitalização de dados	Perda de informação ou erros de digitação
Acesso aos Dados	A1	Ausência de informação em tempo real	Aumento do tempo de resposta
	A2	Dados distribuídos por diferentes plataformas	Dificuldades no acompanhamento e consulta da informação
	A3	Registos e documentos em papel	Dificuldades na pesquisa e no armazenamento de dados
	A4	Parâmetros medidos pelos autómatos apenas disponíveis no centro de trabalho	Falta de dados do desempenho e do estado dos equipamentos
Improdutividades	I1	Compilação e transcrição de informação	Ocupação de tempo útil
	I2	Registo de dados não utilizados	Perdas de tempo
	I3	Falhas na inserção de informação	Trabalho adicional para correção dos erros ou omissões
	I4	Cálculo manual de variáveis	Tempo despendido pelo utilizador
Rastreabilidade da Produção	R1	Dados da produção associados apenas aos registos de produção	Falta de informação sobre o percurso dos materiais
	R2	Registos manuais de parâmetros dos lotes	Informação não se encontra vinculada aos produtos
Determinação e Imputação de Custos	D1	Cálculo do consumo de energia e materiais subsidiários por ordem de produção estimado pelos valores mensais	Afetação incorreta dos custos com energia e materiais subsidiários
	D2	Utilização de tabelas técnicas para determinação do consumo de materiais	Custos teóricos dos materiais consumidos por produto
Gestão da Manutenção	G1	Manutenção preventiva, corretiva e autónoma não centralizada	Controlo baseado na consulta de diferentes sistemas
	G2	Avarias registadas pelo operador	Falhas na identificação inicial das causas
	G3	Alerta de avarias à manutenção dependente do contacto por parte da produção	Tempos de atuação maiores
Comunicação entre Departamentos	C1	Existência de informação não partilhada entre departamentos	Dados não disponíveis para todos os interessados
	C2	Falhas no alerta de ocorrências	Desconhecimento dos acontecimentos

4. ESTUDO DO ESTADO FUTURO

O presente capítulo centra-se na solução para resolver os problemas existentes na situação atual. Para tal, é fundamental começar pela visão definida. Consequentemente devem ser analisados os requisitos que a visão pressupõe. Caracterizado o sistema, procede-se ao redesenho dos processos.

4.1. Visão

Tendo por base a análise do caso de estudo, consegue-se depreender que o principal problema do estado atual passa pela gestão da informação fabril. O modo como se encontra atualmente estabelecida resulta em perdas de informação, falhas de comunicação, erros nos dados e gasto de tempo desnecessário.

Posto isto, a solução para esta situação deve passar por um método eficaz de recolha e monitorização da informação do chão de fábrica, integrando numa só plataforma todos os dados gerados pela atividade produtiva ou que a influenciam, e garantindo a disponibilização de toda a informação pelos intervenientes.

A solução para o estado atual da informação no chão de fábrica deve, então, seguir os seguintes princípios: integração da informação, recolha e monitorização dos dados, e acesso e distribuição da informação. Estes três princípios são os pilares para a definição dos métodos de gestão da informação fabril. Estes princípios estão assentes em pressupostos, que necessitam ser garantidos. Relativamente à integração dos dados, o ERP, os autómatos instalados na fábrica e a plataforma com os consumos de energia são todos partes importantes desta componente. O controlo da informação deve assentar em dados atualizados, disponíveis tanto para as chefias como para os operadores, e possibilitar inserção e análise de dados. Por fim, a disponibilização dos dados está dependente da implementação de uma plataforma única, com capacidade para diversos utilizadores com responsabilidades distintas, capaz de gerir alertas e comunicações a intervenientes.

Na Figura 17 encontra-se a esquematização da visão definida.

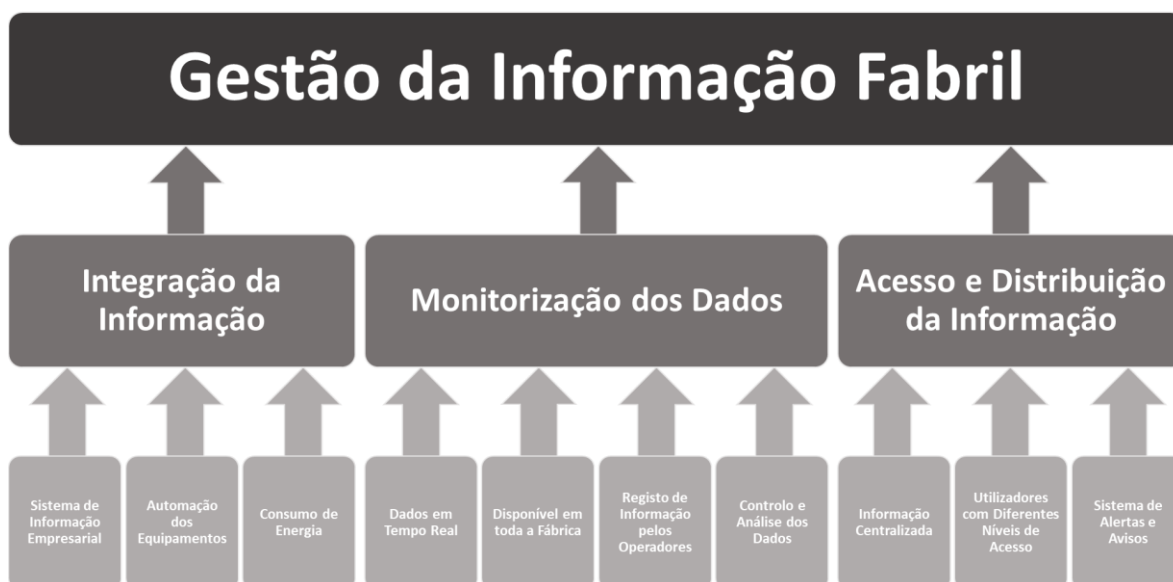


Figura 17 - Visão para a Solução do Problema

Clarificada a estratégia a seguir na resolução dos problemas inerentes à atual gestão da informação no chão de fábrica, procede-se à definição da solução a adotar. Tendo em conta a visão, a opção lógica para resolver o problema em estudo é a implementação de um sistema MES na fábrica. Este tipo de sistema é responsável pela gestão da produção, com um nível de atuação mais específico que o sistema de informação empresarial, servindo de ponte de ligação entre este e a automação. O MES é concebido para englobar toda a produção da fábrica, permitindo não só o controlo e monitorização das operações, como também a consulta e análise de informação detalhada, tanto para dados instantâneos como históricos. Deste modo, é o sistema ideal para apoiar a gestão do chão de fábrica, e, assim, solucionar os problemas existentes quanto à informação fabril.

4.2. Análise Requisitos

Estabelecida a visão a implementar, segue-se a definição em detalhe das áreas de intervenção da solução a propor, que permitam dar resposta aos problemas. Neste caso, é essencial compreender quais as principais funcionalidades que devem ser definidas no sistema MES da empresa. Estas têm a obrigação de dar resposta aos problemas levantados. Na Tabela 4 é apresentada a listagem das áreas de intervenção, por problema, e as correspondentes funcionalidades a implementar.

Tabela 4 - Correspondência entre os Problemas e as Funcionalidades a Desenvolver

Problema	Funcionalidades
F1	Integração no sistema da informação disponível nos autómatos e no ERP
F2	Implementação de terminais por centro de trabalho com interface simples
F3	Registos em SAP no centro de trabalho, acionados pelos dados
F4	Aquisição de sensores para leitura de variáveis não disponíveis (por exemplo diâmetro)
F5	Registo e consulta de informação diretamente no sistema
A1	Atualização constante dos dados para que reflitam o estado real
A2	Centralização de toda a informação do chão de fábrica num só sistema
A3	Eliminação dos registos em papel e instalação de monitores no chão de fábrica para visualização da informação mais importante para o turno e secção
A4	Recolha e monitorização das variáveis dos autómatos
I1	Minimização dos dados inseridos pelo operador e tratamento da informação pelo sistema
I2	Eliminação ou substituição dos registos redundantes ou inúteis
I3	Automatização da recolha de dados
I4	Determinação de variáveis e parâmetros estipulados pelo utilizador
R1	Contextualização das ordens de produção e lotes carregados no equipamento através do número de ordem e código de barras do lote, para todas as operações de produção
R2	Registos específicos do arame, como as soldaduras e as marcas de profundidade, ou da produção, como os parâmetros reais da máquina, associados ao produto final
D1	Vinculação dos consumos de energia e materiais às ordens de produção e aos lotes ativos
D2	Atualização das tabelas técnicas de consumos de matérias subsidiárias através de consumos reais registados pela produção
G1	Integração do planeamento da manutenção autónoma, das tarefas de manutenção preventiva e da gestão de avarias no sistema
G2	Recolha dos dados da máquina acerca da avaria
G3	Alerta automático à manutenção após identificação de avaria, sem necessidade de contacto por parte do operador ou da Produção
C1	Dados de vários departamentos reunidos e disponibilizados no sistema
C2	Relatórios e alertas automáticos geridos pela plataforma

Os requisitos de um sistema são as características e funcionalidades que o mesmo deve ter de modo a satisfazer todas as necessidades identificadas. Deste modo, a definição dos requisitos é um procedimento essencial para a avaliação de diferentes opções para esse sistema.

A estratégia criada para a compreensão e resolução do problema deve ser seguida da escolha dos requisitos. Devem ser definidos requisitos que permitam cumprir os pressupostos estabelecidos pela visão, e que envolvam as medidas para resolução do problema. Posto isto, foram reunidos os requisitos fundamentais para o sistema a implementar, como pode ser consultado na Tabela 5. Nesta também são apresentados o conjunto de funcionalidades que esse requisito visa representar. Os requisitos estão ainda distribuídos segundo os princípios definidos na visão.

Tabela 5 - Requisitos do Sistema de Informação

Princípio	Requisito do Sistema	Funcionalidades
Integração da Informação	RS1 ^a Integração com o Sistema de Informação Empresarial	F1; F3; A2; R1; G1
	RS2 ^a Integração com os Autómatos no Chão de Fábrica	F1; A2; A4; G2; G3
	RS3 Integração com Bases de Dados e outras Fontes	F4; A2; D1
Recolha e Monitorização dos Dados	RS4 ^a Gestão de informação por OP e Lote	R1; R2; D1
	RS5 ^a Disponibilização de dados em tempo real	F5; A1
	RS6 Monitorização de variáveis	A1; A3
	RS7 Realização de registos no sistema	F5; A2; A3; I2; R2; D2
	RS8 Gestão de consumo de materiais	D1; D2
	RS9 Módulo de gestão da manutenção	G1; G2; G3
	RS10 Validação de dados inseridos	F1; I3
	RS11 Cálculo e controlo de indicadores	I4; D2
Acesso e Distribuição da Informação	RS12 Ferramentas de tratamento de variáveis para análise	I1
	RS13 ^a Coexistência de vários utilizadores simultâneos	F2; C1
	RS14 Interfaces personalizáveis por tipo de utilizador	F2; F3
	RS15 Alertas e mensagens automáticas	G3; C2
	RS16 Geração de relatórios	C2

^a Requisito Crítico do Sistema

De salientar que um requisito não visa solucionar um problema específico ou representar uma medida, mas sim caracterizar essas considerações em valias do sistema. Assim, um requisito pode estar relacionado com mais do que um problema ou ação. Por exemplo, a integração dos dados dos autómatos no sistema contribui não só para a substituição dos registos manuais dos operadores, como também para a obtenção de informação em tempo real da produção. De igual modo, uma mesma medida pode estar relacionada com vários requisitos diferentes. Este é o caso do problema A2, associado à distribuição da informação por diferentes sistemas, pois envolve a integração de sistemas e plataformas distintas.

Todos os requisitos definidos são importantes para cumprir a visão para o sistema de informação fabril, contudo alguns têm mais relevância. Deste modo, foram selecionados requisitos críticos, cujo não cumprimento por parte do sistema impossibilita a sua escolha. Os requisitos críticos são: RS1, RS2, RS4, RS5 e RS13. Estes são os pontos mais essenciais por cada princípio, pelo que a sua ausência do sistema coloca em causa a visão.

4.3. Redesenho dos Processos com Base nos Requisitos Especificados

De seguida procede-se ao redesenho dos processos analisados no capítulo anterior, abordando-se a comunicação com o ERP, as operações adicionais, o detalhe dos processos, a intervenção nos autómatos e a integração no chão de fábrica. Este redesenho tem por base os requisitos definidos.

4.3.1. Comunicação ERP

Relativamente à interação do sistema com o ERP da organização, é essencial que todos os movimentos existentes no sistema de informação empresarial sejam efetuados na solução MES, ou, alternativamente, que a informação resultante seja transmitida. Um exemplo desta última situação é a criação de Ordens de Produção (OP). Nesse sentido, é importante definir todos estes pontos de interação entre os 2 sistemas. Os movimentos de interação, bem como a secção em que sucedem e os dados trocados, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Movimentos de Interação entre ERP e Sistema MES

Movimento	Secção	Origem Dados	Sistema Final	Ocorrência	Dados
Obtenção OP Fio Trefilado	Decapagem Química	SAP	MES	Por cada OP, após a mesma ser atualizada	OP Fio Trefilado
Registo Produção Fio Trefilado	Trefilagem	MES	SAP	Por cada Lote de Fio Trefilado, após o final da trefilagem	Nº OP, Nº Lotes Fio Máquina, Diâmetro, Metros
Obtenção OP Fio/Vareta	Estabilização	SAP	MES	Por cada OP, após a mesma ser gerada ou atualizada	OP Fio/Vareta
Registo Produção Fio/Vareta	Estabilização	MES	SAP	Por cada Lote de Fio/Vareta, após o final da estabilização	Nº OP, Nº Lotes Fio Trefilado, Peso Lote Fio/Vareta
Obtenção OP Cordão 3/7 Fios	Encordoamento	SAP	MES	Por cada OP, após a mesma ser gerada ou atualizada	OP Cordão 3/7 Fios
Obtenção Carga Cordão 3 Fios/7 Fios	Encordoamento	SAP	MES	Por cada Carga, após a mesma ser criada	Nº OP, Nº Carga, Nº Lotes Fio Trefilado
Registo Produção Cordão 3/7 Fios	Estabilização/ Encordoamento	MES	SAP	Por cada Lote de Cordão 3/7 Fios, após o final da estabilização/ encordoamento	Nº OP, Nº Carga, Peso Lote Cordão 3/7 Fios
Criação Paragem Não Programada	Todas	MES	SAP	Por cada paragem não programada, após indicação do motivo	Tipo, Descrição, Equipamento, Data Início
Encerramento Paragem Não Programada	Todas	MES	SAP	Por cada paragem não programada, após retoma da produção	Data Fim
Criação Registo de Avaria	Todas	MES	SAP	Por cada registo de avaria, após indicação do motivo	Tipo, Descrição, Equipamento, Causa, Data Início, Produção
Encerramento Registo de Avaria	Todas	MES	SAP	Por cada registo de avaria, após reparação da avaria	Data Fim

4.3.2. Operações Adicionais

Adicionalmente à integração do sistema de informação empresarial com a solução, identificaram-se as operações que necessitam ser criadas do lado do sistema MES. Estas estão associadas a funcionalidades não implementados no ERP, e que são necessários para cumprir os requisitos especificados. As operações adicionais do sistema envolvem registos automatizados pelo MES, sendo essenciais para melhorar a rastreabilidade dos produtos ao longo da produção. A informação mais relevante quanto aos registos correspondentes encontra-se na Tabela 7, juntamente como o momento e secção onde ocorrem, e os dados necessários.

Tabela 7 - Operações de Registo Criadas no Sistema MES

Registo	Secção	Ocorrência	Dados
Posicionamento do Lote	Parque de Matérias-Primas	Por cada Lote de Fio Máquina rececionado, após ser armazenado no Parque de Matérias-Primas	Lote, Posição no Armazém
Início Decapagem Química	Decapagem Química	Por cada Lote de Fio Máquina, no momento em que se inicia a Decapagem	Nº OP, Nº Lote Fio Máquina
Final Decapagem Química	Decapagem Química	Por cada Lote de Fio Máquina, no momento em que termina a Decapagem	Nº Lote Fio Máquina
Início Trefilagem	Trefilagem	Por cada Lote de Fio Máquina, no momento em que se inicia a Trefilagem	Nº OP, Nº Lote Fio Máquina
Início Estabilização Fio/Vareta	Estabilização	Por cada Lote de Fio Trefilado, no momento em que se inicia a Estabilização	Nº OP, Nº Lote Fio Trefilado
Início Encordoamento Carga Cordão 3 Fios/7 Fios	Encordoamento	Por cada Carga de Cordão 3 Fios/7 Fios, no momento em que se inicia o Encordoamento	Nº OP, Nº Lotes Fio Trefilado
Final Encordoamento Carga Cordão 3 fios	Encordoamento	Por cada Carga de Cordão 3 Fios, no momento em que termina o Encordoamento	Nº Lote Fio Trefilado
Início Estabilização Cordão 3 Fios	Estabilização	Por cada Carga de Cordão 3 Fios, no momento em que se inicia a Estabilização	Nº OP, Nº Carga

4.3.3. Detalhe do Processo Redesenhado

Estipuladas as operações adicionais do sistema e os pontos de comunicação com o ERP, procedeu-se ao redesenho dos processos de fluxo de informação, de modo a que refletissem estes processos. Foi adicionado um agente, o Controlo Chão de Fábrica, que identifica o supervisor da gestão da informação fabril, que é garantida pelo sistema. Destacar que os procedimentos do Controlo de Qualidade não foram alterados, pois estes não constituíam problemas específicos.

Relativamente ao processo de Receção de Matéria-Prima, neste foi adicionada uma operação de registo de posicionamento do lote associada ao seu armazenamento. A operação permite eliminar o registo manual da localização dos lotes efetuado anteriormente. Foi, ainda, definida uma tarefa de alerta do armazenamento de um lote ao Controlo de Qualidade efetuada pelo sistema. As alterações mencionadas podem ser visualizadas na Figura 18.

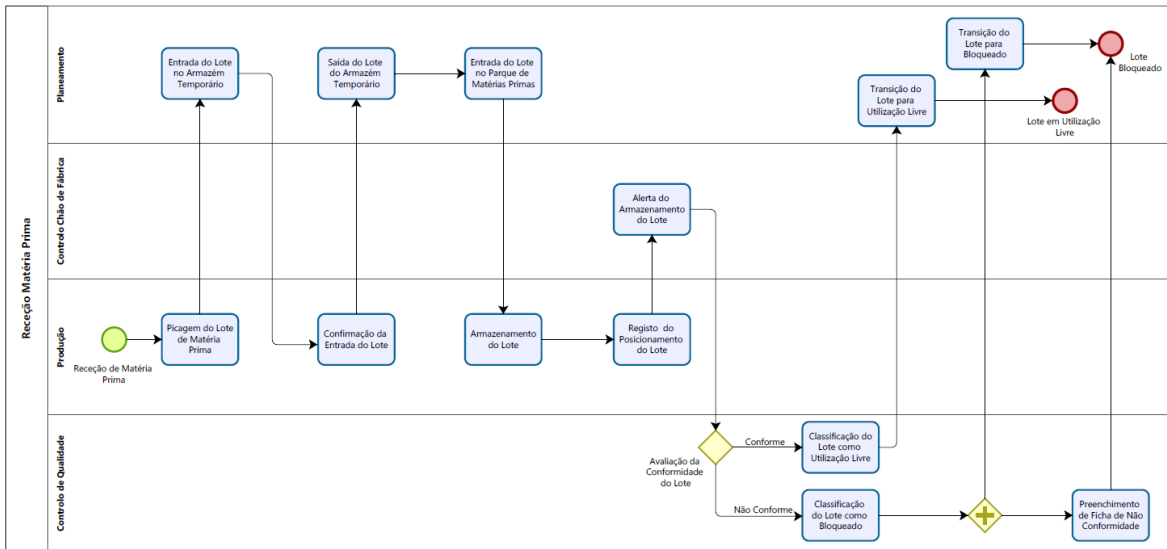


Figura 18 - Descrição de Operações Recepção Matéria-Prima Redesenhada

Quanto ao procedimento associado ao lançamento de uma ordem de produção, as mudanças são definidas no sentido de disponibilizar todas as ordens de produção atualizadas no sistema, para consulta quer por parte da Produção, quer dos operadores dos equipamentos. Obrigatoriamente, estas devem ser enviadas do sistema de informação empresarial para o sistema de gestão da informação no chão de fábrica, numa operação definida anteriormente.

A atualização e partilha do documento é também gerida pela solução, agilizando a distribuição da informação pela fábrica. O sistema permite o envio dos dados da ordem de produção para o centro de trabalho, sem a impressão dos documentos. A sequência de operações de Lançamento Ordem de Produção com as devidas alterações encontra-se na Figura 19.

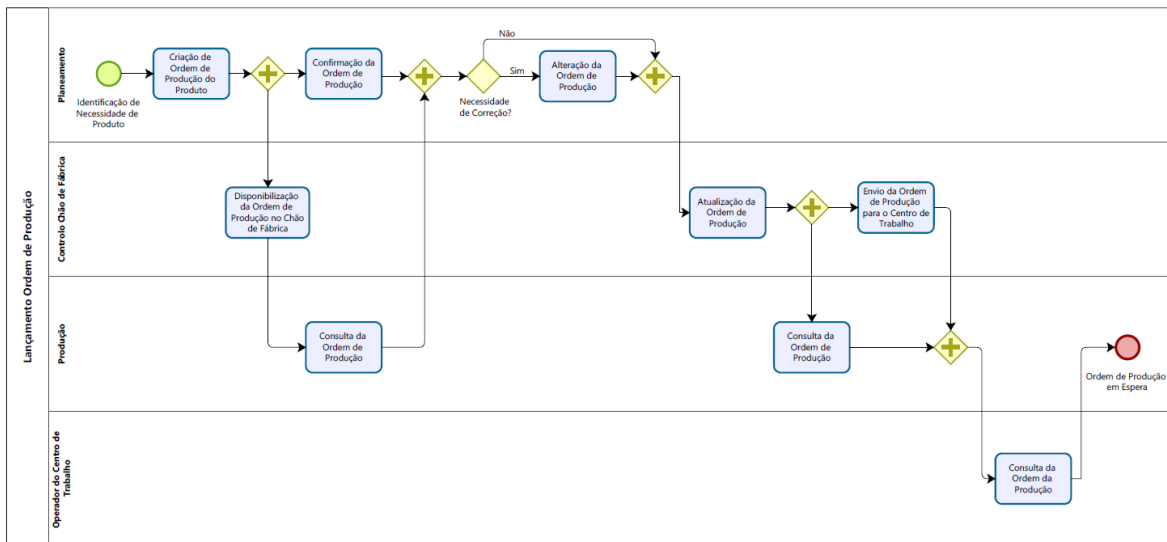


Figura 19 - Descrição de Operações Lançamento Ordem de Produção Redesenhado

No que diz respeito à Decapagem Química, as operações adicionadas incidem sobre os registos de entrada e saída de lotes na máquina. Na situação atual, a bobine é lida no momento do transporte para a Decapagem, contudo não existe mais nenhuma informação quanto ao estado da sua produção. Neste sentido, surgem as operações de Registo Início Decapagem e Registo Final Decapagem, que são parametrizadas na solução MES e registadas pelo operador. Depois, estas

atualizam o estado do lote, de modo a associar os dados adquiridos acerca da Decapagem no equipamento durante o período ao lote em produção. Os processos redesenhados do fluxo de informação da Decapagem Química podem ser consultados na Figura 20.

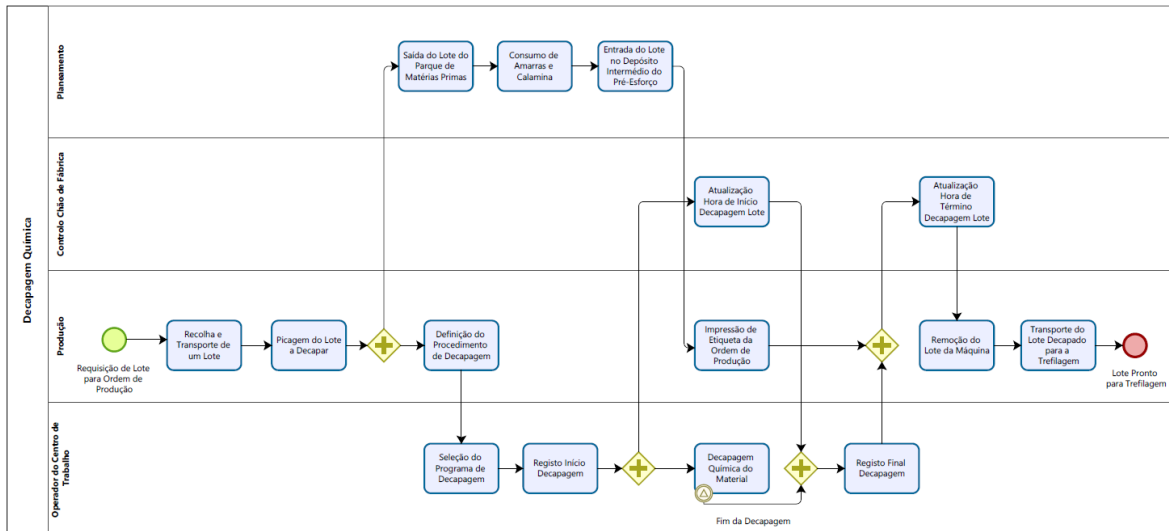


Figura 20 - Descrição de Operações Decapagem Química Redesenhada

Em relação à Trefilagem, o redesenho das operações apresenta algumas semelhanças com a abordagem na Decapagem Química. De igual modo, foi adicionada uma tarefa de registo do início da Trefilagem de um lote de Fio Máquina a realizar pelo operador no sistema MES, sendo atualizada a informação quanto à produção do mesmo.

O Registo de Produção anteriormente efetuado pela Produção, passa a ser realizado pelo operador, através da interface com o sistema implementado no centro de trabalho, permitindo que a informação seja rapidamente tratada pela solução. De seguida, os dados fornecidos são enviados ao ERP, que efetua as operações necessárias à gestão de stocks. A Figura 21 representa o redesenho das operações da Trefilagem.

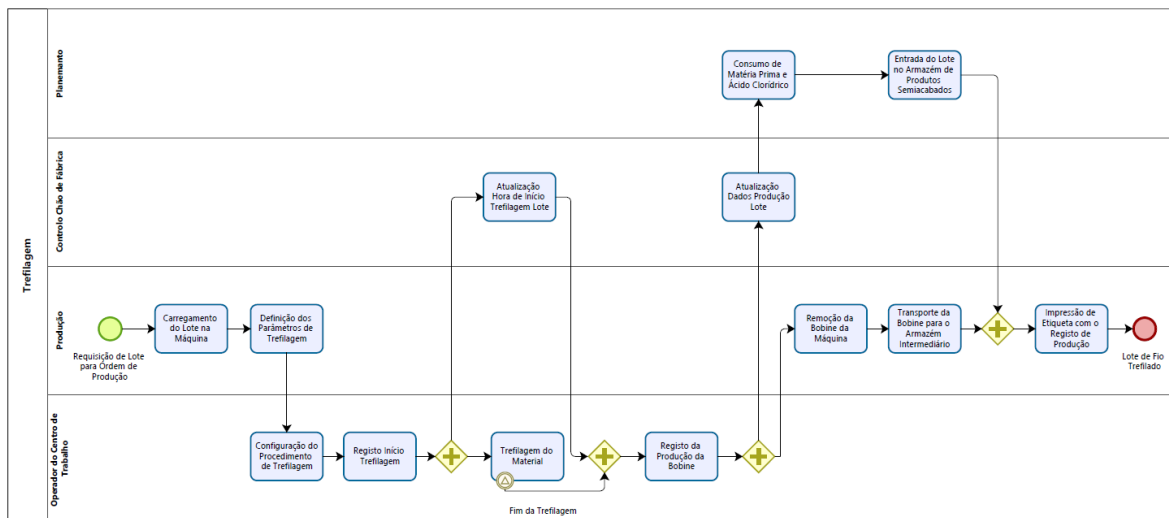


Figura 21 - Descrição de Operações Trefilagem Redesenhada

Na Estabilização, as alterações efetuadas aos processos são bastante semelhantes às definidas para a Trefilagem. É inserida na sequência uma operação para contextualização do lote em produção, por parte do operador do centro de trabalho. Quando é obtido um lote de produto acabado, o

operador realiza o Registo de Produção no sistema MES, que era anteriormente efetuado pela Produção no sistema de informação empresarial. Por fim, a pesagem do produto acabado também passa a ser realizada pelo MES, sobre a supervisão do Controlo Chão de Fábrica. A sequência de operações associadas à Estabilização encontra-se alterada na Figura 22.

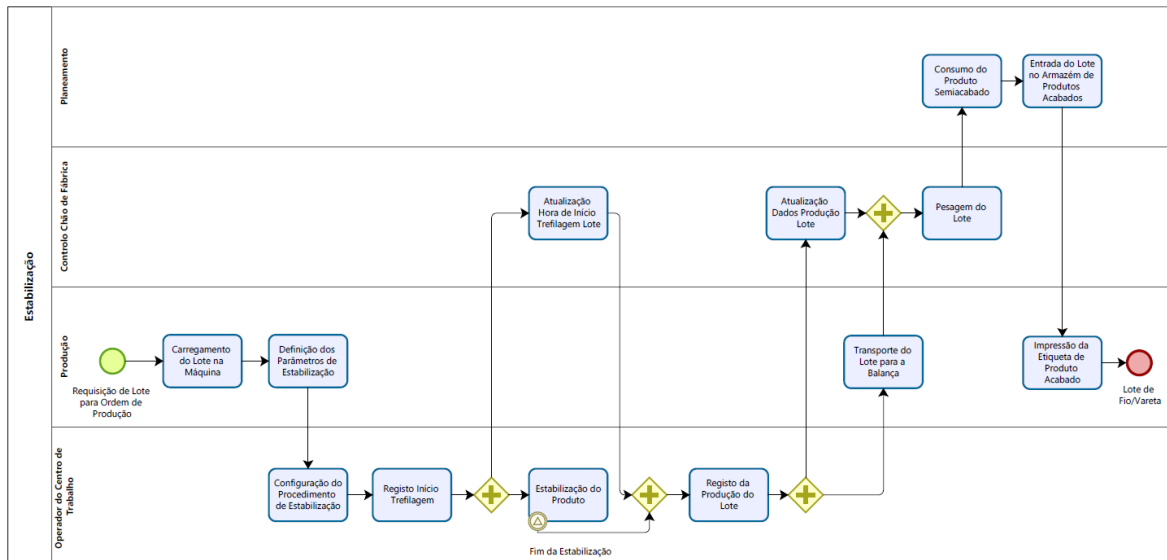


Figura 22 - Descrição de Operações Estabilização Redesenhada

Quanto ao Encordoamento, a quantidade de operações influenciadas pelo redesenho de processos aumenta. Inicialmente, é essencial que a informação da carga de lotes esteja disponível no sistema MES, dado que todo o controlo da produção do cordão se baseia no conjunto de bobines que formam a carga. A pesagem é, também, efetuada do lado do sistema. Na Figura 23 pode ser consultada a sequência de operações redesenhada para o Encordoamento. Uma versão com maior detalhe está disponível no Apêndice C.

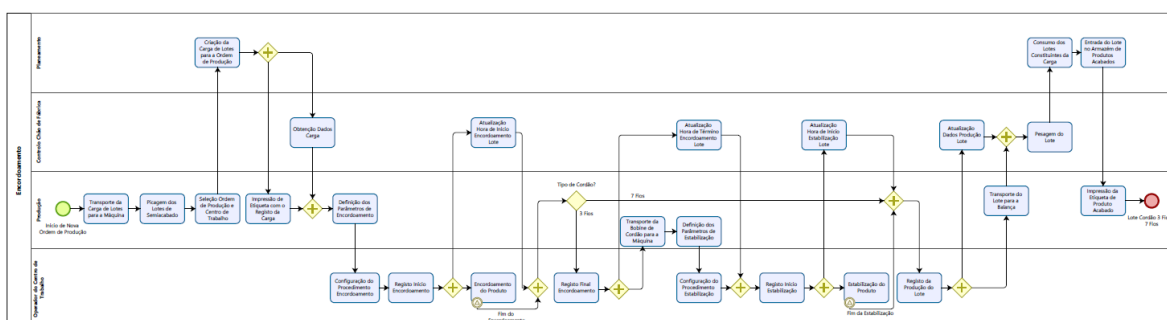


Figura 23 - Descrição de Operações Encordoamento Redesenhado

Ao nível da gestão das paragens, a consideração do sistema MES permitiu que, no redesenho dos processos, se retirasse a intervenção direta da Produção. O departamento continua a estar informado acerca dos eventos de paragem criados, no entanto deixa de ser obrigatória a sua participação para a finalização do registo. A solução deve identificar automaticamente a paragem em função da informação disponibilizada pelos autómatos da máquina. O registo da paragem é efetuado pelo sistema, contudo é solicitado ao operador que caracterize o motivo da paragem, caso os dados no equipamento não sejam suficientes para o realizar. Nesse caso o operador confirma o motivo definido.

A solução incorpora ainda um sistema de alertas, para informar diretamente a Manutenção, sem nenhum tipo de ação por parte do operador. Na Figura 24 está esquematizada a sequência de operações resultante do redesenho do processo de registo de paragens. No Apêndice D está disponível uma versão com mais detalhe.

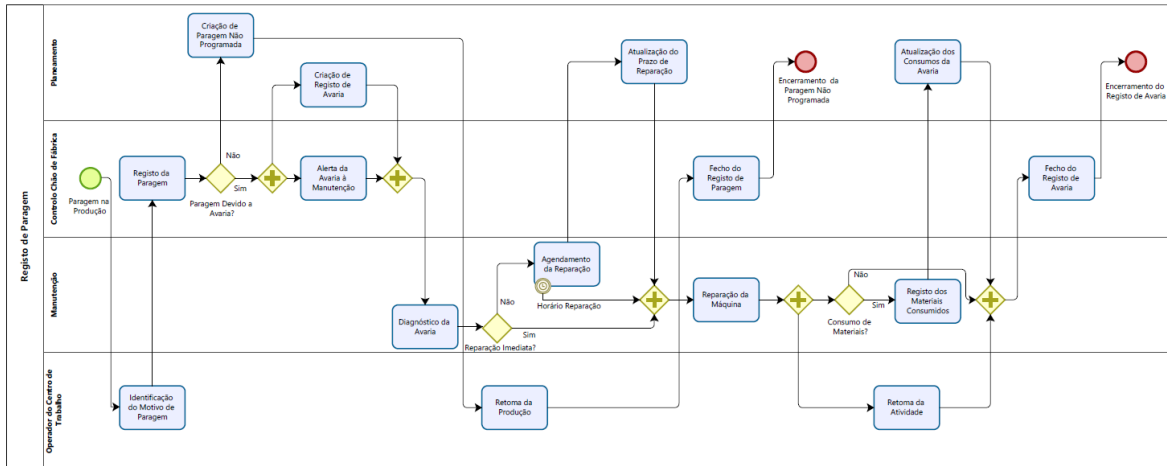


Figura 24 - Descrição de Operações Paragem Redesenhada

A Figura 25 representa os movimentos e registos ligados ao ERP durante a produção, após o redesenho dos processos. Os registos sofreram alterações, sendo que a verde se encontram os registos totalmente substituídos pelo MES, enquanto o amarelo indica o apoio do sistema à realização do registo. Não se considera a alteração dos restantes registos dado que são relativos a operações que não se enquadravam nos problemas identificados.

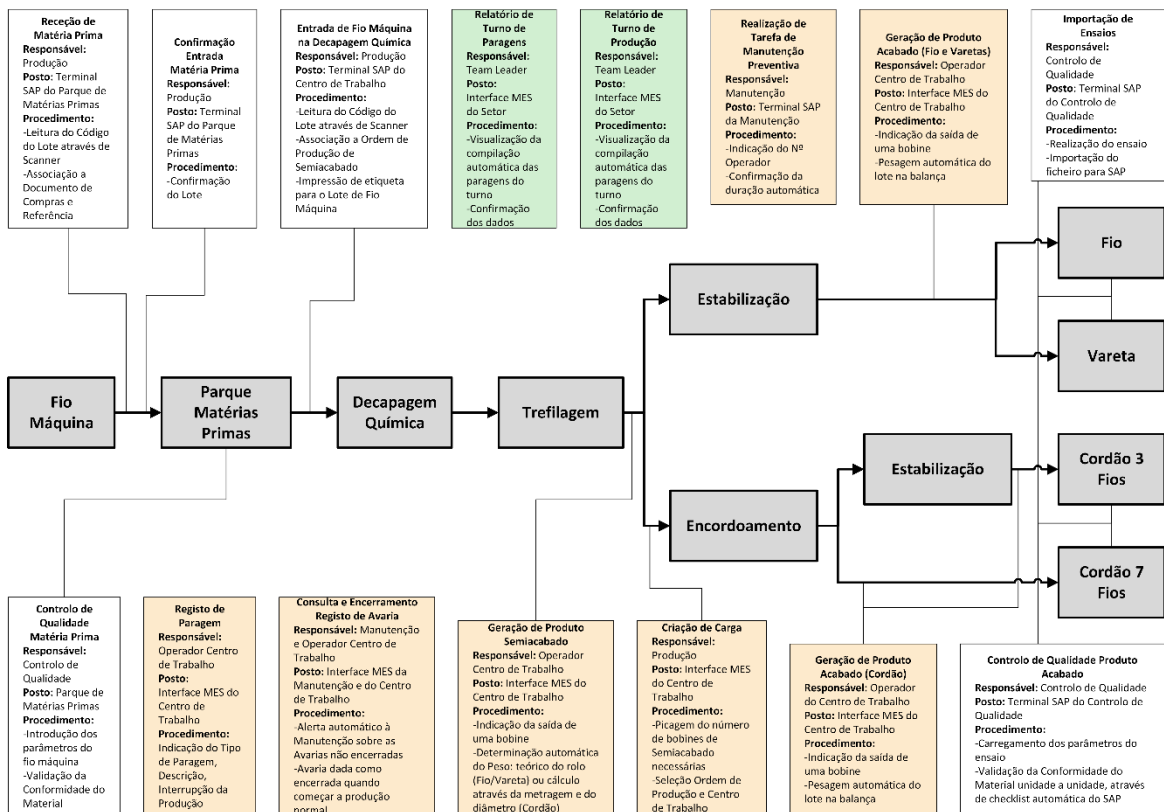


Figura 25 - Registos no ERP durante o Processo Produtivo com Sistema MES

Quanto aos registos manuais, sempre que possível foi definida a sua eliminação, representada na Figura 26 a verde, através da utilização da informação recolhida pelo sistema. Sempre que possível, os restantes devem ser incorporados no MES, sendo que o registo deve estar construído de tal forma que a sua realização é mais eficiente e rápida, garantindo também a validação dos dados inseridos. Todos os registos associados ao Controlo de Qualidade mantêm-se, visto que são realizados tendo em conta a necessidade de envio de documentos impressos com a avaliação da qualidade dos produtos para os clientes.

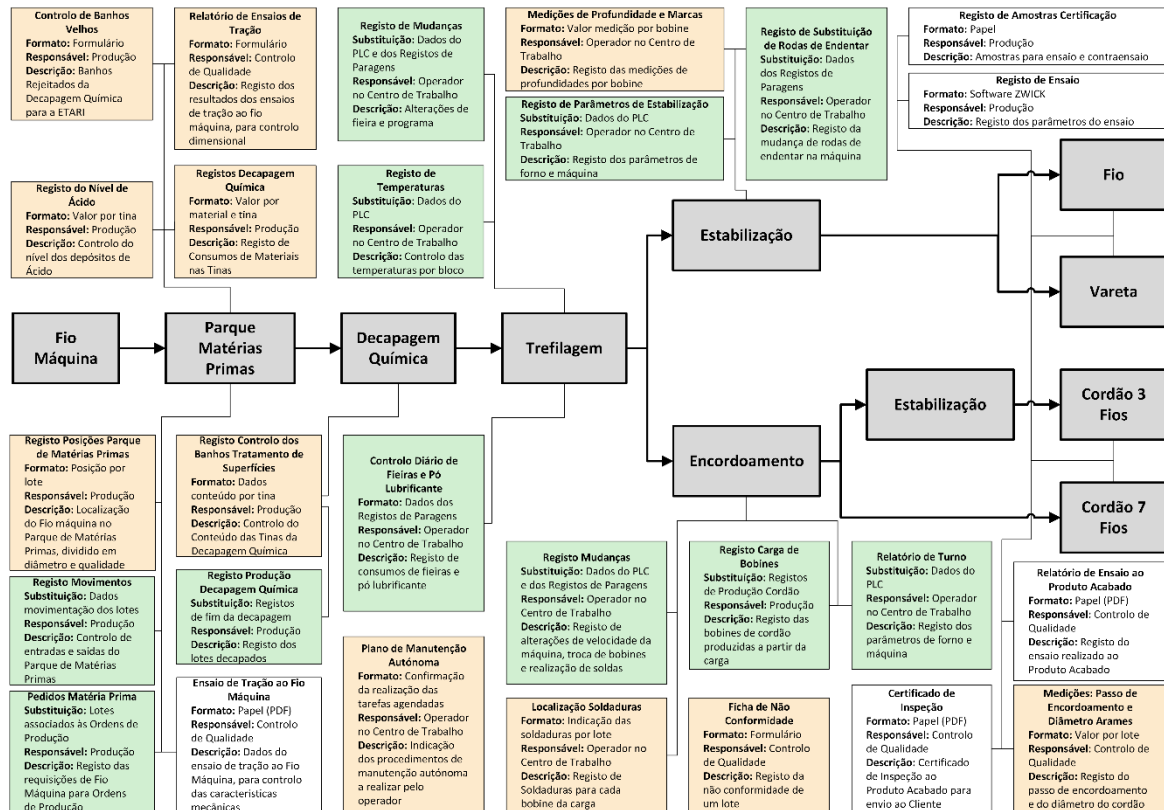


Figura 26 - Registos Manuais durante o Processo Produtivo com Sistema MES

4.3.4. Intervenção na Automação

Tendo em conta a necessidade de recolha dos dados dos equipamentos no chão de fábrica, é fundamental que os autómatos instalados se encontrem preparados para tal. Nesse sentido, é importante perceber que medidas devem ser tomadas em relação à automação no chão de fábrica.

Tendo em consideração os tipos de autómatos instalados na fábrica, destacam-se 2 que não permitem conexão via *ethernet*, o que constitui um risco para a integração dos dados desses equipamentos. Assim sendo, nesses autómatos deve-se intervir no sentido de adicionar portas de comunicação *ethernet* ao PLC sempre que possível. Em situação de recurso a intervenção deve passar pela substituição do autómato instalado por um modelo mais recente, o que implica um custo e tempo de implementação mais elevados.

Na Tabela 8 é efetuado um pequeno resumo das medidas de intervenção a implementar por tipo de autómato.

Tabela 8 - Descrição Intervenção por Tipo de Autômato

Autômatos	Intervenção	Aquisição de Equipamentos	Implementação
Siemens SIMATIC S7-1200	Não	-	Conexão via <i>ethernet</i>
Siemens SIMATIC S7-300	Sim	Carta Comunicação Ethernet	Instalação de carta comunicação para obter porta <i>ethernet</i>
Siemens SIMATIC S5	Sim	Siemens SIMATIC S7-1200	Substituição do autômato
Siemens SIMATIC S7-1500	Não	-	Conexão via <i>ethernet</i>

4.3.5. Integração com o Chão de Fábrica

A integração de toda a informação no chão de fábrica é fundamental para este sistema. Então, deve ser garantida a ligação entre o sistema e o ERP, os autômatos, os registos efetuados e outras fontes de informação externas, como bases de dados. Os 3 primeiros já foram considerados, contudo o último ponto não, sendo que engloba uma variável relevante para a análise da fábrica, o consumo de energia.

Os dados relativos aos consumos de energia de cada uma das máquinas, encontram-se distribuídos por 2 servidores, apenas acedidos pela Manutenção. Por este motivo, deve ser disponibilizado o acesso às bases de dados dos servidores por parte da solução, de modo a que a informação associada à energia possa também ser integrada no sistema.

5. AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES MES DISPONÍVEIS NO MERCADO

Neste quinto capítulo, são apresentadas as diferentes soluções MES selecionadas, seguindo-se a respetiva avaliação quanto aos requisitos e critérios definidos. Adicionalmente, são explicados os motivos da escolha das soluções, bem como os métodos de avaliação definidos. Esta análise visa compreender o nível de adequação das soluções às necessidades do sistema, bem como as valias gerais do fornecedor e do sistema desenvolvido, de modo a identificar quais soluções têm o melhor perfil para o caso em estudo.

5.1. Descrição das Soluções MES

No sentido de efetuar uma seleção inicial das soluções a analisar, decidiu-se considerar o estudo *Magic Quadrant for Manufacturing Execution Systems*, efetuado em 2022 pela Gartner, que envolveu cerca de 30 fornecedores presentes no mercado e 385 clientes de sistemas MES. Neste, as soluções consideradas são avaliadas quanto a um conjunto de capacidades de um sistema MES, definidas como essenciais pelo autor do estudo (Franzosa & Hestermann, 2022).

As soluções que cumpram os requisitos pretendidos são então avaliadas segundo diferentes critérios, que estão divididos em 2 premissas principais: capacidade de execução e amplitude da visão. Na capacidade de execução são consideradas variáveis como a experiência do consumidor, as funcionalidades desenvolvidas na solução, a sua viabilidade e a capacidade de resposta às mudanças no mercado. Quanto à amplitude de visão, esta foca-se na inovação, no modelo de negócios, e na estratégia do produto e de abordagem à indústria. As avaliações dos critérios resultam numa classificação para as 2 premissas (Franzosa & Hestermann, 2022). Tendo isto em conta, é construída uma matriz com as soluções classificadas, como mostra a Figura 27.



Figura 27 - Quadrante para Soluções MES (Fonte: Franzosa & Hestermann, 2022)

As soluções consideradas encontram-se divididas por 4 quadrantes, em função do seu posicionamento na matriz, sendo estes: líderes, desafiadores, visionários e jogadores de nicho. As soluções líderes são aquelas que unem uma visão completa e clara sobre o seu sistema, com a capacidade de executar na prática essa mesma estratégia (Franzosa & Hestermann, 2022).

Posto isto, definiu-se como critério principal para a seleção das soluções a analisar, a sua inclusão no quadrante líderes, por apresentarem os sistemas mais consolidados no mercado. De modo a restringir a análise a 5 soluções MES, foi estabelecido como critério secundário a classificação da empresa quanto à capacidade de execução. Assim, as soluções selecionadas são as seguintes:

- Critical Manufacturing MES (Critical Manufacturing)
- AVEVA MES (AVEVA)
- Proficy Smart Factory MES (GE Digital)
- Siemens Opcenter Execution Process (Siemens Digital Industries Software)
- Plex Smart Manufacturing Platform (Rockwell Automation Plex)

5.1.1. Critical Manufacturing MES

A empresa Critical Manufacturing tem como principal serviço a sua solução MES, o Critical Manufacturing MES. Esta empresa, fundada em 2009, tem a sua sede estabelecida em Portugal, na cidade da Maia, além de outras 4 subsidiárias no estrangeiro. O seu foco está em soluções MES para produção discreta, isto é, que resulta em produtos unitários (Critical Manufacturing, 2022c).

A plataforma foi concebida de modo a suportar *Industrial Internet of Things* (IIoT), automação, sensores e dispositivos móveis, permitindo à empresa efetuar a transformação digital da fábrica. A solução tem por base uma plataforma de *low code*, com módulos associados às operações de produção, engenharia de processo, engenharia de equipamentos, gestão da qualidade, planeamento e logística, visibilidade e inteligência, e automação e integração. O sistema apresenta ainda capacidades tais como a análise avançada de dados, a conectividade de equipamentos e a possibilidade de implementação nas instalações, em *cloud* ou híbrida (Critical Manufacturing, 2022b).

Na Figura 28 é apresentado um exemplo da plataforma Critical Manufacturing MES.

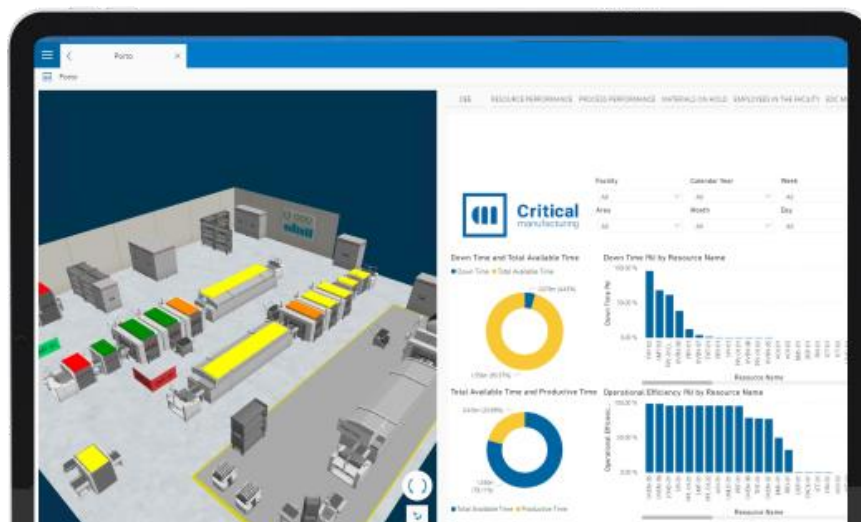


Figura 28 - Critical Manufacturing MES (Fonte: Critical Manufacturing, 2022a)

5.1.2. AVEVA MES

O AVEVA MES é o sistema de gestão do chão de fábrica desenvolvido pela AVEVA. Este é um dos vários produtos comercializados pela organização, que disponibiliza soluções para engenharia, operações, gestão de dados e transformação digital. Grande parte do trabalho de venda e entrega das soluções é efetuado pelos mais de 5 mil parceiros de negócio espalhados por todo o mundo. A empresa leva já 55 anos de atividade (AVEVA, 2022a).

O sistema distribuído pela organização assenta na transformação digital da produção, de modo a garantir o normal funcionamento de processos, juntamente com o seu controlo e avaliação de indicadores (Chambers & Schwarz, 2021). Nesse sentido, a solução possibilita a padronização de procedimentos, o que facilita a sua digitalização. Permite ainda a rastreabilidade dos produtos durante todo o sistema produtivo, e o controlo da qualidade e da utilização dos recursos da fábrica (AVEVA, 2022c).

A Figura 29 apresenta um exemplo do sistema AVEVA MES.

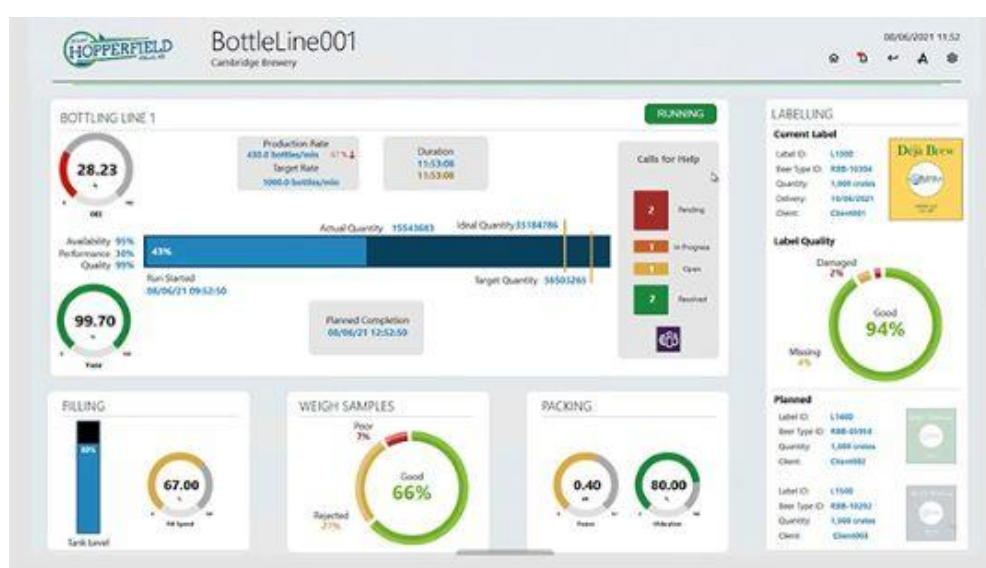


Figura 29 - AVEVA MES (Fonte: AVEVA, 2022b)

5.1.3. Proficy Smart Factory MES

A GE Digital é uma organização com mais de 20 de anos de trabalho na indústria produtiva, quer através dos seus clientes, quer das suas próprias fábricas. Disponibiliza uma enorme variedade de *softwares* e serviços, desde soluções SCADA, a sistemas de cibersegurança. Globalmente, a empresa ultrapassa os 21 mil clientes industriais (GE Digital, 2022a).

O Proficy Smart Factory MES é o produto da empresa que se enquadra na gestão da produção da fábrica. Entre as capacidades da solução encontram-se a integração de dados, e ferramentas de análise preditiva e *machine learning* (GE Digital, 2022b).

Este sistema apresenta ainda a possibilidade de uma implementação híbrida das tarefas, reunindo áreas mais operacionais como o controlo de qualidade e a gestão da manutenção, com tecnologias de informação, com procedimentos mais uniformizados (GE Digital, 2019).

Um exemplo do sistema Proficy Smart Factory MES pode ser consultado na Figura 30.

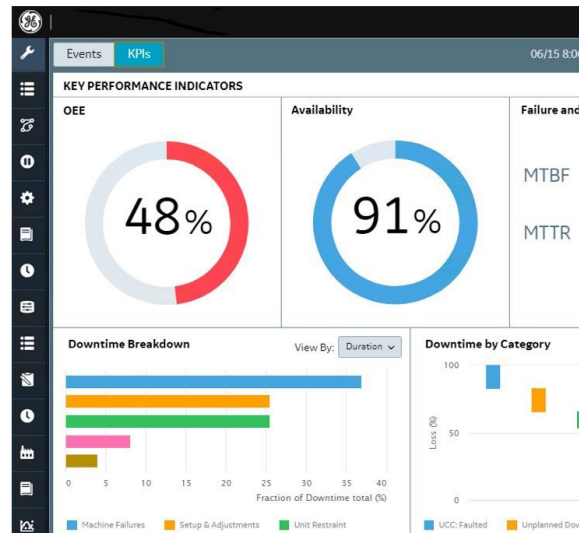


Figura 30 - Proficy Smart Factory MES (Fonte: GE Digital, 2022b)

5.1.4. Siemens Opcenter Execution Process

A Siemens é uma empresa com uma extensa e variada gama de produtos, que vão desde soluções ao nível da automação industrial a sistemas associados à energia. Com 175 anos de história, a organização foca-se nas áreas industriais, de infraestrutura, de transporte e cuidados de saúde. Visa transformar as indústrias e mercados dos seus clientes, através da união do real e digital (Siemens, 2022a).

A solução da Siemens para sistema MES é o Siemens Opcenter Execution Process. Este produto garante ao cliente a possibilidade de gerir o tempo de vida do produto. Permite o controlo de eventos de produção em tempo real, através do planeamento e agendamento da produção, e da recolha e agregação de dados (Siemens Digital Industries Software, 2021). As suas funcionalidades envolvem a monitorização de processos de produção, bem como a integração vertical da informação. Ao nível do controlo de qualidade, o sistema tem a capacidade de avaliar resultados de qualidade e gerir análises a amostras (Siemens, 2022b).

Na Figura 31 é apresentada uma exemplificação do Siemens Opcenter Execution Process.

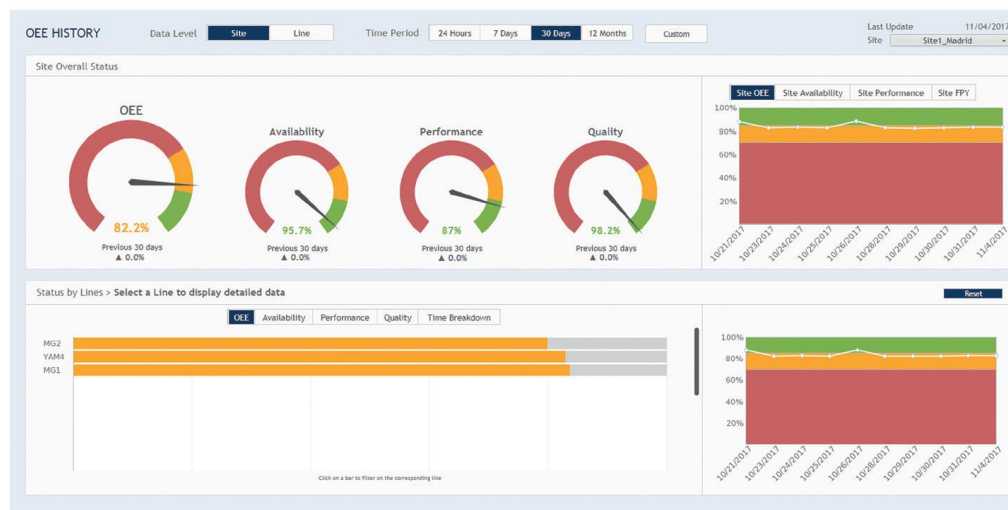


Figura 31 - Siemens Opcenter Execution Process (Fonte: Siemens, 2022b)

5.1.5. Plex Smart Manufacturing Platform

O Plex Smart Manufacturing Platform é um sistema MES desenvolvido pela Plex Systems, empresa adquirida pela Rockwell Automation em 2021. A Rockwell Automation tem mais de 100 anos de história, atuando num grande número de indústrias, como a automóvel e a química. Relativamente às soluções comercializadas, são de uma grande variedade, desenvolvendo tanto *software* como *hardware* (Rockwell Automation, 2022a).

O sistema é definido por capacidades base tais como a atualização de informação de processos em tempo real, disponibilização *online* para acesso via *browser* e integração com as máquinas da fábrica. Possibilita a monitorização de vários processos, como a produção geral, ordens de produção específicas ou tempos de *setup* (Plex Systems, 2022).

Esta solução conta ainda com outras funcionalidades, desde a gestão de inventário e o controlo de qualidade, ao agendamento da produção (Rockwell Automation, 2022b).

Um exemplo do sistema Plex Smart Manufacturing Platform está representado na Figura 32.

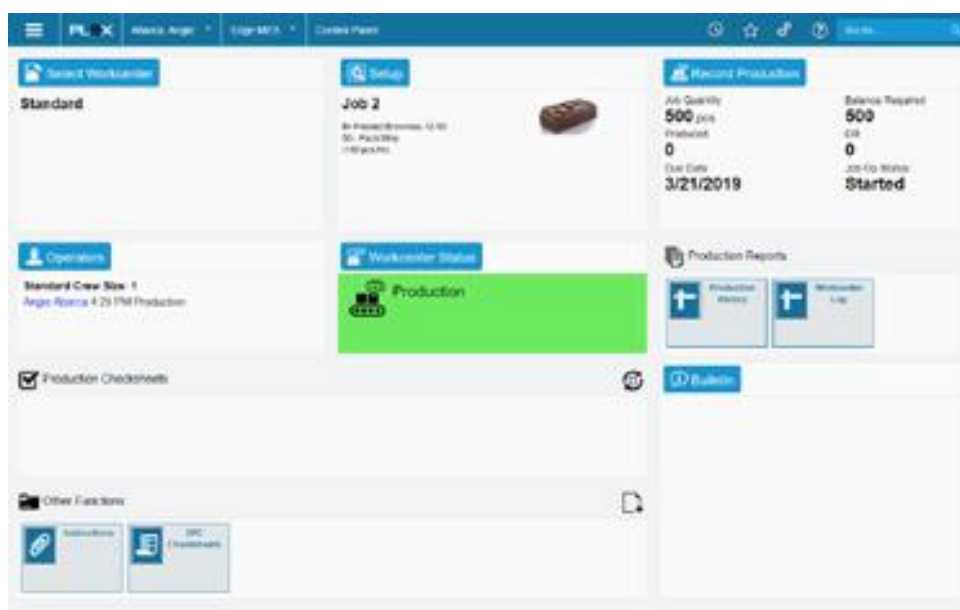


Figura 32 - Plex Smart Manufacturing Platform (Fonte: Rockwell Automation, 2022b)

5.2. Análise do Cumprimento de Requisitos

Identificadas as empresas e respetivas soluções, é necessário avaliar de que modo estas se adequam à visão estabelecida para a implementação na fábrica. Assim sendo, analisaram-se as 5 soluções MES, caracterizando-as quanto ao cumprimento dos requisitos definidos para o sistema. Cada requisito, por solução, foi classificado dependendo da informação disponibilizada pelo desenvolvedor. No caso do requisito ser diretamente abordado é atribuído um visto. Se não existir informação ou esta não for clara, caracteriza-se o requisito com um ponto de interrogação. Quando o requisito é uma exclusão do sistema, classifica-se com uma cruz.

Na Tabela 9 pode ser consultada a caracterização de todas as soluções MES, por requisito.

Tabela 9 - Desempenho das Soluções MES por Requisito

Requisito do Sistema	Critical Manufacturing MES	AVEVA MES	Proficy Smart Factory MES	Siemens Opcenter Execution Process	Plex Smart Manufacturing Platform
RS1 ^a	✓	✓	✓	✓	✓
RS2 ^a	✓	✓	✓	✓	✓
RS3	✓	?	✓	✓	✓
RS4 ^a	✓	✓	✓	✓	✓
RS5 ^a	✓	✓	✓	✓	✓
RS6	✓	✓	✓	✓	✓
RS7	✓	✓	✓	?	?
RS8	✓	✓	✓	✓	✓
RS9	✓	?	?	✓	✓
RS10	?	✓	✓	✓	?
RS11	✓	✓	✓	✓	?
RS12	✓	✓	✓	✓	✓
RS13 ^a	✓	✓	✓	✓	✓
RS14	✓	✓	✓	✓	?
RS15	✓	?	✓	✓	?
RS16	✓	✓	✓	✓	✓

^a Requisito Crítico do Sistema

De destacar que todas as soluções MES cumprem os requisitos críticos, como mostra a tabela, pelo que nenhuma solução é invalidada por esse motivo.

Convém esclarecer também que apesar de certos requisitos não serem cumpridos por algumas das soluções, em nenhum caso foi encontrado um requisito que fosse claramente negado pela informação disponibilizada pela empresa, apenas situações em que a informação não é suficiente.

5.3. Desempenho nos Critérios de Avaliação

Com o intuito de analisar outras características importantes para a tomada de decisão que não se encontram incluídas nos requisitos, foram estabelecidos critérios de avaliação. Estes visam caracterizar não só a solução MES, como também a empresa desenvolvedora, reunindo pontos relevantes para a seleção.

Na Tabela 10 são apresentados os critérios definidos, bem como a explicação do método de avaliação. De salientar que todos os critérios foram caracterizados por um sistema de pontuação de 1 a 5, de modo a padronizar a avaliação.

Tabela 10 - Critérios de Avaliação das Soluções MES

Critério de Avaliação	Método de Avaliação
CA1 Segurança do sistema	1 – Inexistência de medidas de segurança 5 – Protocolos de segurança completos
CA2 Dimensão fornecedor	1 – Empresa de menor dimensão 5 – Empresa de maior dimensão
CA3 Suporte ao cliente no país	1 – Suporte remoto sem linguagem portuguesa 5 – Suporte direto em Portugal
CA4 Quantidade de clientes solução	1 – Reduzido número de clientes 5 – Elevado número de clientes
CA5 Experiência no mercado	1 – Menor número de anos de atividade no mercado 5 – Maior número de anos de atividade no mercado
CA6 Atuação na área de atividade	1 – Atividade restrita a nichos distintos do da empresa 5 – Atividade no nicho em que a empresa se enquadra
CA7 Nível de personalização aos clientes	1 – Baixa personalização do sistema 5 – Elevada personalização do sistema
CA8 Custos licenciamento	1 – Custos mais elevados 5 – Custos mais reduzidos
CA9 Cumprimento de Requisitos	1 – Cumpre 20% ou menos dos requisitos 2 – Cumpre entre 20% e 50% dos requisitos 3 – Cumpre entre 50% e 70% dos requisitos 4 – Cumpre entre 70% e 90% dos requisitos 5 – Cumpre 90% ou mais dos requisitos

Tendo em conta os critérios de avaliação considerados e os dados disponibilizados pelas empresas, classificaram-se as soluções MES. O resultado desta avaliação encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Desempenho das Soluções MES por Critério de Avaliação

Critério de Avaliação	Critical Manufacturing MES	AVEVA MES	Proficy Smart Factory MES	Siemens Opcenter Execution Process	Plex Smart Manufacturing Platform
CA1	3	4	5	3	4
CA2	1	3	4	5	2
CA3	5	2	1	4	3
CA4	2	3	4	4	3
CA5	2	4	4	5	4
CA6	3	3	4	3	4
CA7	5	2	4	2	2
CA8	5	3	3	2	2
CA9	5	4	5	5	3

Atribuídas as classificações dos sistemas quanto aos critérios de avaliação, resta obter uma classificação geral às soluções, que tenha em consideração todos os critérios. Nesse sentido, decidiu-se entender junto dos responsáveis de cada um dos departamentos impactados pela gestão da informação fabril, qual a importância relativa de cada critério. Desta forma, foi possível estabelecer diferentes pesos aos critérios, em função da sua relevância. Assim como os critérios, os pesos encontram-se distribuídos de 1 a 5, por ordem crescente de importância. Na Tabela 12 são apresentados os pesos, assim como as pontuações totais e por critério para cada solução.

Tabela 12 - Pontuação Ponderada de cada Solução MES

Critério	Peso	Critical Manufacturing MES	AVEVA MES	Proficy Smart Factory MES	Siemens Opcenter Execution Process	Plex Smart Manufacturing Platform
CA1	4	12	16	20	12	16
CA2	1	1	3	4	5	2
CA3	4	20	8	4	16	12
CA4	2	4	6	8	8	6
CA5	3	6	12	12	15	12
CA6	3	9	9	12	9	12
CA7	3	15	6	12	6	6
CA8	4	20	12	12	8	8
CA9	5	25	20	25	25	15
Total		112	89	109	104	89

5.4. Comentários Finais

Em relação aos requisitos, existem 3 soluções que cumprem 15 dos 16, sendo essas as 3 melhores classificadas pelas pontuações ponderadas: Critical Manufacturing MES, Proficy Smart Factory MES e Siemens Opcenter Execution Process. As 2 outras soluções cumprem um menor número de requisitos, com 13 para o AVEVA MES e 11 para o Plex Smart Manufacturing Platform. Quanto aos requisitos estabelecidos como críticos, isto é, fundamentais para a implementação do sistema, estes são cumpridos por todas as soluções.

A avaliação das diferentes soluções MES analisadas, resultou nas classificações finais da Tabela 12, na qual é possível identificar quais as soluções com condições mais condizentes com a situação da empresa. O sistema que obteve a melhor avaliação geral foi o Critical Manufacturing MES, com pouca diferença para o Proficy Smart Factory MES. No sentido contrário, o AVEVA MES e o Plex Smart Manufacturing Platform foram as soluções com pior avaliação, com a mesma pontuação.

Posto isto, a solução a selecionar para a implementação do sistema na fábrica da empresa é o Critical Manufacturing MES. Apesar de ser desenvolvido por uma empresa de menor dimensão quando comparada com as restantes, o seu principal foco é o desenvolvimento do seu sistema MES. Assim, apesar de classificações inferiores nos critérios associados ao tamanho do desenvolvedor no mercado, esta solução apresenta a classificação máxima em 3 dos 4 critérios com maior ponderação, no suporte ao cliente no país, custos de licenciamento e o cumprimento de requisitos. Comparando a avaliação desta solução com a do sistema com pontuação mais próxima, consegue-se perceber que a solução escolhida apenas é melhor classificada que a segunda mais pontuada em 3 dos critérios. Contudo, ao contrário do sistema com melhor pontuação, as avaliações mais reduzidas atribuídas à outra solução são em critérios com bastante importância, como o suporte ao cliente no país, onde foi atribuída a pontuação mínima.

Desta forma, a análise de soluções MES disponíveis no mercado resultou na seleção do Critical Manufacturing MES, pois este cumpre a grande maioria dos requisitos do sistema, aliando a isso bons desempenhos nos critérios de avaliação com maior importância para os decisores da empresa.

6. CONCLUSÃO

Este capítulo visa resumir o trabalho realizado, através de uma síntese clara e completa dos assuntos abordados durante o mesmo, originando a apresentação das conclusões mais importantes. Adicionalmente, são referidos os constrangimentos do trabalho, que influenciaram a sua realização ou os resultados obtidos. Neste sentido, podem também ser enunciadas as questões que não foram respondidas pelo trabalho, ou que resultaram do estudo efetuado, e que devem ser investigadas futuramente.

6.1. Conclusões Finais

O presente trabalho permitiu compreender quais são as funcionalidades e a estrutura em que o sistema de monitorização e análise de dados na fábrica se deve basear para garantir a gestão integrada de todos os processos no chão de fábrica. Esta tem de estar integrada com todas as plataformas, equipamentos e pessoas que neles participam, possibilitando a interação com o sistema MES e entre si. A centralização da informação numa só plataforma acessível a todos os intervenientes também é um pressuposto importante. Deve ter a capacidade de monitorizar o estado de máquinas, as ordens de produção ou as paragens, de forma automática, e com a participação do operador minimizada. Os dados têm ainda de ser tratados e analisados pela solução, disponibilizando indicadores, além de ferramentas para facilitar análises adicionais. A simultaneidade de utilizadores, e a especificação das operações para cada um deles, bem como os alertas e avisos aos operadores, são também relevantes para a implementação do sistema.

Primeiramente, o estudo centrou-se no sistema produtivo da fábrica. Identificaram-se as operações de Decapagem Química, Trefilagem, Estabilização e Encordoamento, bem como a matéria-prima, Fio Máquina, o produto intermédio, Fio Trefilado, e os produtos finais, Fio, Vareta, Cordão 3 Fios e Cordão 7 Fios. Caracterizou-se a sequência de operações de produção, e as características destas e dos produtos. Foram ainda abordados os equipamentos de controlo das máquinas e de análise dos consumos de energia. Concluiu-se que alguns dos PLCs instalados na fábrica não estão preparados para serem incorporados num sistema de monitorização de dados, pois não salvaguardam a possibilidade de efetuar uma ligação via *ethernet*.

O fluxo de informação na fábrica tem por base os processos de fabrico, sendo partilhada também informação acerca da receção de matéria-prima, ordens de produção, controlo de qualidade e registo de paragens. Existem também registos de dados no ERP, quer incluídos nas sequências de operações associadas à produção quer não, e registos manuais em papel, *excel* ou outros formatos. Disto inferiu-se que a gestão da informação é prejudicada pelo facto dos métodos de recolha de informação não se encontrarem padronizados, e dos dados não serem validados ou confirmados. Muitos dos registos e operações devem ser automatizados pelo sistema, ou até mesmo substituídos totalmente por operações realizadas de forma automática.

Tendo em consideração a situação atual, identificaram-se as principais contrariedades provenientes da situação atual da informação fabril, que se dividiam por categorias relativas a fiabilidade, acesso, improdutividade, rastreabilidade, custeio, manutenção e comunicação. Uma parte considerável dos problemas encontra-se relacionada com a intervenção dos operadores, e consequentes erros e falhas. Assim sendo, depreende-se que a dependência da interação humana

na recolha de informação é um risco para a veracidade da informação, bem como uma causa de gastos de tempo desnecessários. Também foi possível concluir que a ausência ou limitação da informação disponível acerca da produção afeta várias outras áreas da organização, seja direta ou indiretamente, o que contribui para a relevância da gestão da informação fabril.

A solução para a gestão da informação no chão de fábrica tem de passar pelos princípios da visão: Integração da Informação, Monitorização dos Dados, e Acesso e Distribuição da Informação. O primeiro é essencial para a recolha e centralização dos dados, sendo que sem estes o sistema perde a sua viabilidade. O segundo encontra-se associado ao controlo de informação em tempo real. A sua importância está associada àquilo que é pretendido realizar através do sistema de análise e validação de dados. O terceiro e último está relacionado com o acesso ao sistema por parte dos utilizadores e a distribuição de informação através de mensagens e alertas automatizados. Pretende-se simplificar a comunicação e consulta de informação. A partir destas linhas delimitadoras da estratégia a seguir na gestão da informação fabril, constata-se que a solução para o problema passa por um sistema MES, visto que se trata de um sistema que atua ao nível da execução da produção, e das operações que a envolvem.

A visão estabelecida permite compreender e definir as funcionalidades da solução a implementar especificamente para os problemas identificados. Através das funcionalidades é possível inferir quais os requisitos essenciais para o sistema. Estes representam as características que o sistema deve possuir para que a sua implementação se enquadre na resolução de todos os problemas. Foi possível perceber que os requisitos se distinguem claramente das funcionalidades, dado que se referem a capacidades da solução, que podem ser necessárias a várias funcionalidades. No sentido contrário, a execução das funcionalidades pode requerer o cumprimento de mais do que um requisito. Concluiu-se ainda que existem requisitos críticos, isto é, requisitos cujo não cumprimento impossibilita a correta concretização do sistema.

Quanto aos processos na fábrica, a visão e os requisitos definidos para a gestão da informação fabril influenciam a forma como se encontram atualmente estipulados, pelo que se cria a necessidade de redesenho. Esta reformulação da sequência de processos e operações deve refletir as funcionalidades definidas, para que os problemas identificados na situação atual sejam mitigados. Estas alterações aumentam a quantidade de operações e a complexidade da sequência nos fluxos de informação. No entanto muitas destas passam a ser geridas e controladas pelo sistema, o que simplifica o trabalho dos operadores e assegura informação mais completa e fiável.

Relativamente à seleção de soluções MES para análise, os dados disponibilizados pela Gartner permitiram definir quais os sistemas disponíveis no mercado que poderiam ter um bom desempenho relativamente aos requisitos. Esta informação foi muito útil no sentido de identificar os sistemas com melhor capacidade de execução e com uma visão mais bem estabelecida.

No que diz respeito aos requisitos, há 3 das soluções MES consideradas que se destacam. São elas a Critical Manufacturing MES, a Proficy Smart Factory MES e a Siemens Opcenter Execution Process, cumprindo 93,75% dos requisitos do sistema. De salientar que o sistema AVEVA MES e o Plex Smart Manufacturing Platform cumprem 81,25% e 68,75% dos requisitos, respetivamente. Os requisitos críticos são cumpridos, pelo que se pode concluir que estes sistemas caracterizados como líderes pela Gartner garantem todos requisitos e funcionalidades estritamente necessários para a implementação da solução, variando depois as capacidades adicionais do sistema.

De modo a avaliar a solução MES na sua globalidade, indo além dos requisitos, definiram-se critérios de avaliação baseados naquelas que eram as principais variáveis para a tomada de decisão por parte da empresa. A avaliação das soluções de acordo com os critérios demonstra que, apesar de um desempenho semelhante relativamente aos requisitos, as restantes características da solução podem ser bastante distintas. Por exemplo, os sistemas Critical Manufacturing MES e Proficy Smart Factory MES, apesar de apenas não cumprirem 1 requisito cada, só partilham a mesma avaliação quanto aos critérios numa situação, o critério CA9, sendo que esse é referente ao cumprimento de requisitos.

Após consulta dos responsáveis pela tomada de decisão na empresa, definiram-se ponderações para cada critério de avaliação, em função da sua importância para a escolha do sistema. Com estes pesos atribuídos, calcularam-se as pontuações ponderadas para cada solução MES, a partir das quais se inferiu que a melhor opção para a gestão da informação fabril da organização é o Critical Manufacturing MES. Mais se concluiu que as capacidades e características do sistema são mais relevantes para a empresa do que as do desenvolvedor da solução, visto que, em geral, o MES selecionado apresenta as suas melhores avaliações nos critérios com maior preponderância. Pelo contrário, o sistema com a segunda melhor pontuação, o Proficy Smart Factory MES, apesar de classificações globalmente melhores nos critérios, apresenta avaliações mais baixas nos critérios mais importantes, como por exemplo o valor mínimo no critério CA3, relacionado com o suporte ao cliente em Portugal. Foi ainda possível concluir que os requisitos do sistema são o critério com mais importância, não só por ter-lhe sido atribuída a ponderação máxima, mas também pelos 3 sistemas melhor avaliados, mesmo sem considerar o requisito de cumprimento de requisitos, serem os com maior número de requisitos cumpridos. Assim, concluiu-se que embora seja desenvolvido por uma empresa menos desenvolvida que as restantes opções, o sistema Critical Manufacturing MES é o que melhor corresponde à solução pretendida.

Em suma, quer o objetivo geral, quer os objetivos específicos definidos no início do trabalho foram atingidos, sendo que o trabalho desenvolvido permite dar resposta à questão e ao problema de investigação enunciados.

6.2. Limitações e Investigação Futura

Uma das limitações associadas ao trabalho realizado é o facto de o estudo da implementação ser específico para o caso da empresa em questão. Assim, a visão, os requisitos do sistema e os critérios de avaliação, entre outros, podem não ser adequados noutros casos, pelo que alguns dos resultados do presente estudo podem não ser aplicáveis noutra empresa. Neste sentido, futuramente, seria interessante analisar outros casos na mesma indústria, de modo a analisar as variações nos requisitos e outras necessidades do sistema.

Outra limitação deste trabalho é a informação considerada quanto às soluções MES. Além do número de opções consideradas, também os dados fornecidos para classificação do cumprimento dos requisitos do sistema e desempenho face aos critérios de avaliação limitam a investigação. Não era clara, em alguns requisitos, a incapacidade de cumprimento por parte do sistema, apesar de o seu cumprimento não ser referido, o que constituía uma falta de informação relevante para o estudo. Outras informações sobre as soluções, como os custos associados, não são disponibilizadas de forma objetiva, pelo que se teve de assumir dados de desempenho comparativo.

Em relação a trabalho futuro, ao nível da empresa, este passa por definir um planeamento detalhado para a implementação da solução na fábrica. Nesse sentido pode-se optar por avançar com a solução definida neste estudo, ou definir diferentes sistemas para o teste de projetos piloto. Adicionalmente, pode também ser efetuada uma análise quanto ao impacto da implementação da solução MES no desempenho da fábrica, nomeadamente na sua eficiência e produtividade.

No que se refere ao redesenho dos processos, no futuro, deve-se avaliar a inclusão de um maior número de processos no MES, substituindo os existentes no ERP. Para tal pode ser necessário compreender de que forma algumas das operações podem excluir o ERP, de modo a restringir as tarefas ao novo sistema. Os processos de Controlo de Qualidade também devem ser retrabalhados em concordância com os clientes, para que sejam integrados no MES.

Por fim, deve ser desenvolvida investigação futura quanto à possibilidade de comunicação bidirecional entre os autómatos e o sistema de gestão de informação fabril. Se esta for possível tanto da parte da solução como dos autómatos, então a definição e configuração de parâmetros de produção nos equipamentos devem ser avaliadas e padronizadas, de modo a substituir a intervenção do operador na parametrização.

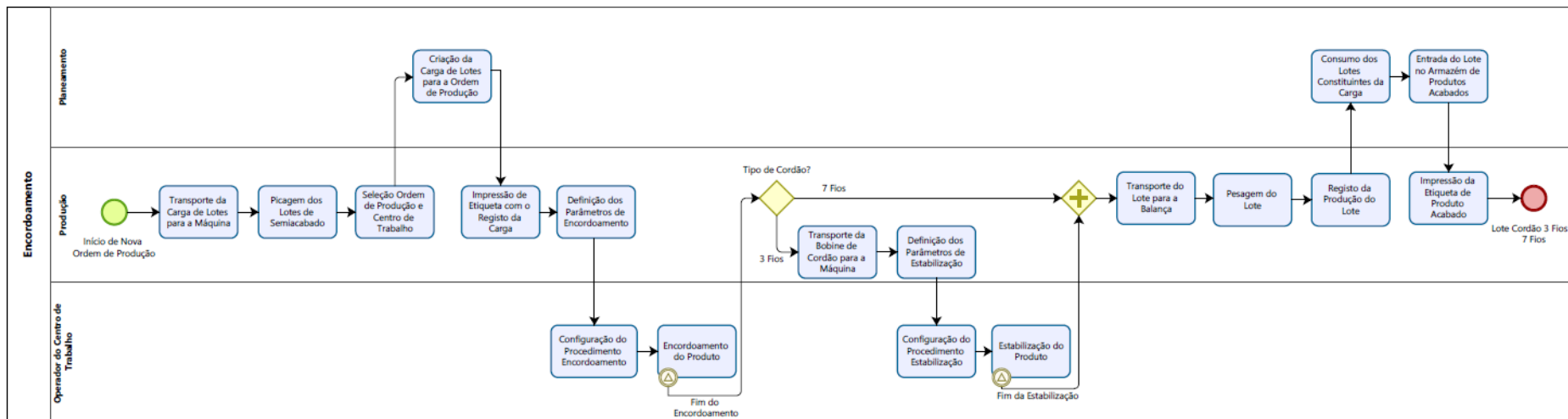
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, M. A. M. A. (2017). Evolution of enterprise resource planning. *Excel Journal of Engineering Technology and Management Science*, 1(11).
<https://fardapaper.ir/mohavaha/uploads/2017/10/Evolution-of-Enterprise-Resource-Planning.pdf>
- Alshawi, S., Themistocleous, M., & Almadani, R. (2004). Integrating diverse ERP systems: a case study. *The Journal of Enterprise Information Management*, 17(6), 454–462.
<https://doi.org/10.1108/17410390410566742>
- Apilioğulları, L. (2022). Digital transformation in project-based manufacturing: Developing the ISA-95 model for vertical integration. *International Journal of Production Economics*, 245, 108413. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108413>
- Aslan, B., Stevenson, M., & Hendry, L. C. (2012). Enterprise resource planning systems: an assessment of applicability to make-to-order companies. *Computers in Industry*, 63(7), 692–705. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2012.05.003>
- AVEVA. (2022a). *About AVEVA | World Leading Engineering Technology Provider*.
<https://www.aveva.com/en/about/>
- AVEVA. (2022b). *AVEVA System Platform | AVEVA*. <https://www.aveva.com/en/products/system-platform/>
- AVEVA. (2022c). *AVEVA™ Manufacturing Execution System (MES) | AVEVA*.
<https://www.aveva.com/en/products/manufacturing-execution-system/>
- Berić, D., Stefanović, D., Lalić, B., & Ćosić, I. (2018). The Implementation of ERP and MES Systems as a Support to Industrial Management Systems. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(2), 77–86. www.iim.ftn.uns.ac.rs/ijiem_journal.php
- Bouafia, K., & Molnár, B. (2019). Analysis approach for enterprise information systems architecture based on hypergraph to aligned business process requirements. *Procedia Computer Science*, 164, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.149>
- Brinkkemper, S., & Pachidi, S. (2010). Functional Architecture Modeling for the Software Product Industry. *European Conference on Software Architecture*, 198–213.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-15114-9_16
- Chambers, K., & Schwarz, M. (2021). *Manufacturing Operations Transformation* [White paper]. AVEVA. https://engage.aveva.com/rs/986-YIS-805/images/Whitepaper_AVEVA_ManufacturingOperationsTransformation_12-19.pdf
- Coutinho, C. P. (2011). *Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: Teoria e Prática*. Edições Almedina.
- Critical Manufacturing. (2022a). *Critical Manufacturing - Complete Modular Solution*.
<https://www.criticalmanufacturing.com/mes-for-industry-4-0/complete-modular-solution/>
- Critical Manufacturing. (2022b). *Critical Manufacturing - MES for Industry 4.0*.
<https://www.criticalmanufacturing.com/mes-for-industry-4-0/>
- Critical Manufacturing. (2022c). *Critical Manufacturing - Who We Are*.
<https://www.criticalmanufacturing.com/company/who-we-are/>
- D'antonio, G., Macheda, L., Sauza Bedolla, J., & Chiabert, P. (2017). Plm-mes Integration to Support Industry 4.0. *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*, 129–137. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72905-3_12

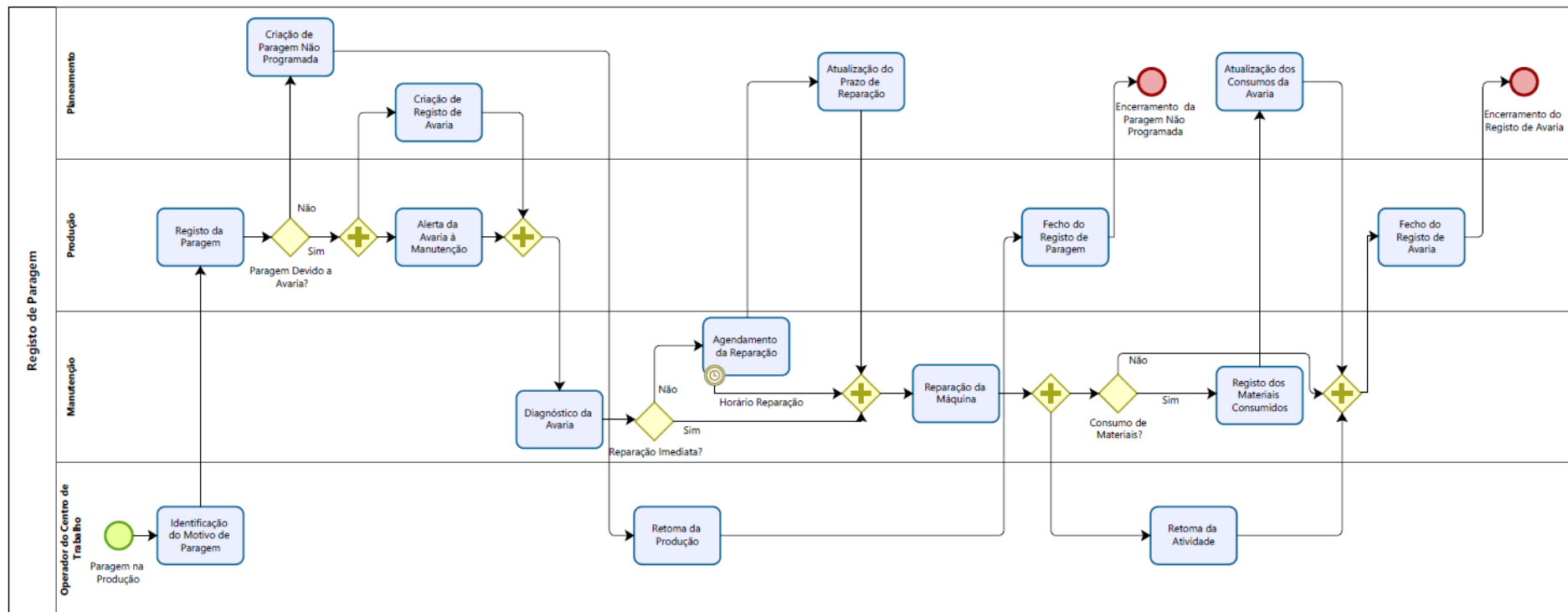
- Fernandes, J., Machado, C. F., & Amaral, L. (2020). Methodology Used for Determination of Critical Success Factors in Adopting the New General Data Protection Regulation in Higher Education Institutions. Em C. Machado & J. P. Davim (Eds.), *Research Methodology in Management and Industrial Engineering* (pp. 71–109). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40896-1_4
- Franzosa, R., & Hestermann, C. (2022). Magic Quadrant for Manufacturing Execution Systems. *Gartner*. <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2A2J8BAE&ct=220519&st=sb>
- GE Digital. (2019). *The New MES: Distributed Architectures Are Helping to Bridge the IT/OT Divide* [White paper]. GE Digital.
- GE Digital. (2022a). *About GE Digital | GE Digital*. <https://www.ge.com/digital/innovation/about-ge-digital>
- GE Digital. (2022b). *Smart Factory MES | Manufacturing Execution Systems | GE Digital*. <https://www.ge.com/digital/applications/manufacturing-execution-systems>
- Gehrke, L., Rule, D., Bellmann, C., Moore, P., Siemes, S., Singh, L., Standley, M., Dawood, D., Kulik, J., & Kühn, A. (2015). A Discussion of Qualifications and A German and American Perspective. *Hannover Messe 2015*, 29. <https://www.researchgate.net/publication/279201790>
- Gorkhali, A., & Xu, L. Da. (2019). Enterprise Architecture, Enterprise Information Systems and Enterprise Integration: A Review Based on Systems Theory Perspective. *Journal of Industrial Integration and Management*, 04(02), 23. <https://doi.org/10.1142/s2424862219500015>
- Jacobs, F. R., & Weston Jr, F. C. «Ted». (2006). Enterprise resource planning (ERP)—A brief history. *Journal of Operations Management*, 25(2), 357–363. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.11.005>
- Jaskó, S., Skrop, A., Holczinger, T., Chován, T., & Abonyi, J. (2020). Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard-and ontology-based methodologies and tools. *Computers in industry*, 123, 103300. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103300>
- Kakade, S. (2017). *What is manufacturing execution system (MES)? - Definition from WhatIs.com*. TechTarget. <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/manufacturing-execution-system-MES>
- Madanhire, I., & Mbohwa, C. (2016). Enterprise resource planning (ERP) in improving operational efficiency: Case study. *Procedia CIRP*, 40, 225–229. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.108>
- Meyer, H. (2009). *Manufacturing execution systems: optimal design, planning, and deployment*. McGraw-Hill Education.
- Monk, E., & Wagner, B. (2012). *Concepts in enterprise resource planning*. Cengage Learning.
- Oliveira, L. A. (2011). *Dissertação e Tese em Ciências e Tecnologia segundo Bolonha*. Lidel.
- Panetto, H., & Cecil, J. (2013). Information systems for enterprise integration, interoperability and networking: theory and applications. *Enterprise Information Systems*, 7(1), 1–6. <https://doi.org/10.1080/17517575.2012.684802>
- Plex Systems. (2022). *Manufacturing Control Starts At The Plant Floor* [White paper]. Rockwell Automation. <https://content.rockwellautomation.com/en-plex-cloud-mes/en-manufacturing-control-plant-floor-plex>
- Rockwell Automation. (2022a). *About Us | Rockwell Automation United Kingdom*. <https://www.rockwellautomation.com/en-gb/company/about-us.html>

- Rockwell Automation. (2022b). *Plex Manufacturing Execution System (MES) | FactoryTalk United Kingdom*. <https://www.rockwellautomation.com/en-gb/products/software/factorytalk/operationsuite/mes/plex-mes.html>
- Romero, D., & Vernadat, F. B. (2016). Enterprise information systems state of the art: Past, present and future trends. *Computers in Industry*, 79, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.03.001>
- Saenz de Ugarte, B., Artiba, A., & Pellerin, R. (2009). Manufacturing execution system—a literature review. *Production planning and control*, 20(6), 525–539. <https://doi.org/10.1080/09537280902938613>
- Shidu, S. (2019). *MES - Simple Definition, Importance & Benefits, learn more - FORCAM*. FORCAM. <https://forcam.com/en/mes-importance-and-benefits-manufacturing-execution-system/>
- Siemens. (2022a). *About us | Company | Siemens Global*. <https://new.siemens.com/global/en/company/about.html>
- Siemens. (2022b). *Opcenter Execution Process - Manufacturing Execution System (MES)*. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/opcenter/execution-process.html>
- Siemens Digital Industries Software. (2021). *Opcenter Execution Discrete* [White paper]. Siemens. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-operations-center/simatic-it-unified-architecture-discrete-manufacturing.html>
- Socitrel. (2018). *Socitrel | Quem Somos*. <https://www.socitrel.pt/quem-somos/>
- Sousa, M. J., & Sales Baptista, C. (2014). *Como Fazer Investigação, Dissertações, Teses e Relatórios: Segundo Bolonha* (5ª ed.). Pactor.
- Stair, R., & Reynolds, G. (2020). *Principles of Information Systems*. Cengage Learning.
- Williamson, J. (2018). *Manufacturing Leaders' Summit: Demystifying Manufacturing Execution Systems (MES) - The Manufacturer*. The Manufacturer. <https://www.themanufacturer.com/articles/manufacturing-leaders-summit-demystifying-manufacturing-execution-systems-mes/>
- Xu, L. Da. (2011). Enterprise Systems: State-of-the-Art and Future Trends. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 630–640. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2167156>
- Zdravković, M., & Panetto, H. (2017). The challenges of model-based systems engineering for the next generation enterprise information systems. *Information Systems and e-Business Management*, 15(2), 225–227. <https://doi.org/10.1007/s10257-017-0353-z>

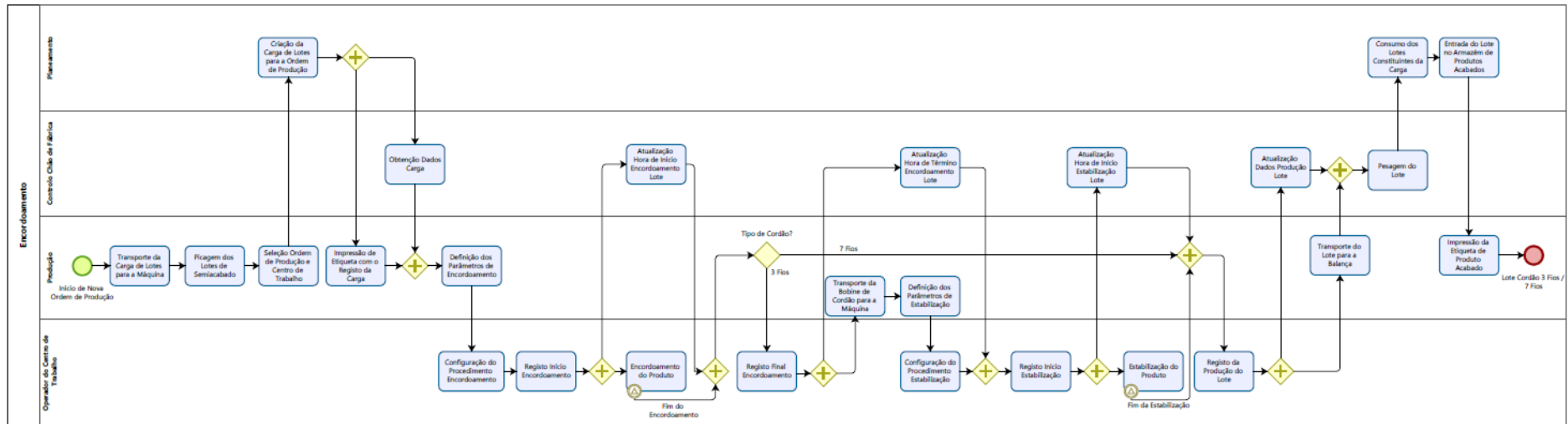
APÊNDICE A – DESCRIÇÃO DETALHADA DE OPERAÇÕES ENCORDOAMENTO



APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DETALHADA DE OPERAÇÕES PARAGEM



APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DETALHADA DE OPERAÇÕES ENCORDOAMENTO REDESENHADO



APÊNDICE D – DESCRIÇÃO DETALHADA DE OPERAÇÕES PARAGEM REDESENHADA

