



Universidade de Aveiro
2021

**MÁRCIA CATARINA
CRESPO SILVA**

**OS EFEITOS BILATERAIS ENTRE A
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E AS PRÁTICAS LEAN NO
APOIO À GESTÃO DE UMA FÁBRICA PILOTO**



Universidade de Aveiro
2021

**MÁRCIA CATARINA
CRESPO SILVA**

OS EFEITOS BILATERAIS ENTRE A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E AS PRÁTICAS LEAN NO APOIO À GESTÃO DE UMA FÁBRICA PILOTO

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Doutora Maria João Machado Pires da Rosa, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro e coorientação científica da Doutora Leonor da Conceição Teixeira, Professora Associada do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

o júri
Presidente

Doutora Carina Maria Oliveira
Pimentel Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

Vogais

Doutora Ângela Maria Esteves da Silva
Professora Adjunta, Escola Superior de Ciências Empresariais do
Instituto Politécnico de Viana de Castelo

Doutora Maria João Machado Pires da Rosa
Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

agradecimentos

A toda a equipa da empresa que me acolheu, pelos conhecimentos transmitidos e pela confiança, autonomia e motivação que sempre me transmitiram. Um especial obrigado ao Engenheiro Álvaro, meu orientador, por todo o acompanhamento e apoio durante este caminho.

À Prof^a Maria João Rosa e à Prof^a Leonor Teixeira pela excelente qualidade enquanto orientadora e coorientadora, respetivamente, e por todas as contribuições e sugestões para este trabalho.

Aos meus pais, irmãos e restante família por me terem acompanhado e apoiado incondicionalmente. Sem eles nada seria possível.

A todos os meus amigos, por acreditarem em mim e me manterem sempre motivada. Foram essenciais para que esta jornada fosse bem-sucedida.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, me apoiaram durante o desenvolvimento do projeto e a atingir bons resultados.

palavras-chave

Digitalização, Transformação Digital, Gestão de Informação, Sistemas de Informação *Lean*, Sistemas de Produção *Lean*, Simulação

resumo

O mercado onde as organizações se movimentam atualmente é dinâmico e complexo, levando a que seja necessário a conjugação de diferentes abordagens e metodologias para conseguir responder a realidades distintas e aos desafios diários. Neste sentido, nas últimas décadas, as organizações tomaram a iniciativa de adotar estratégias *Lean*, para redução dos desperdícios associados à sua atividade, e iniciaram o processo de transformação digital, com o objetivo de aumentar a sua conectividade e capacidade de resposta a diferentes requisitos e problemas em tempo real. Apesar de representarem abordagens distintas, é expectável que a sua adoção conjunta possa impactar significativamente os processos de uma organização no sentido da excelência operacional e aumento da vantagem competitiva.

É neste contexto que o presente trabalho se insere, tendo como objetivo principal o estudo dos efeitos bilaterais entre a transformação digital e as práticas de pensamento *Lean*. Para isso, foram desenvolvidos dois projetos em ambiente industrial segundo a metodologia de investigação-ação. O primeiro projeto envolveu a criação de um sistema de informação e aplicação de diferentes ferramentas *Lean* na fábrica piloto da entidade de acolhimento, enquanto o segundo projeto se focou na simulação de um processo logístico e estudo das suas características.

Os resultados obtidos fortalecem a premissa inicial, revelando que a aplicação das duas abordagens (transformação digital e *Lean*) permite alcançar melhores resultados organizacionais e eliminar perdas de forma minuciosa e sistemática, gerando elevado valor nas organizações, segundo um ciclo de mútua influência.

keywords

Digitization, Digital Transformation, Information Management, Lean Information Management, Lean Production Systems, Simulation

abstract

The market in which organizations currently operate is dynamic and complex, making it necessary to combine different approaches and methodologies to be able to respond to different realities and daily challenges. In the last decades, organizations have taken the initiative to adopt Lean strategies to reduce waste associated with their activity, and have started the digital transformation process, with the objective of increasing their connectivity and responsiveness to different requirements and real-time problems. Despite representing different approaches, it is expected that their joint adoption can significantly impact an organization's processes towards operational excellence and increased competitive advantage.

It is in this context that this work is inserted, having as its main objective the study of the bilateral effects between digital transformation and Lean thinking practices. For this, two distinct projects were developed in an industrial environment according to the research-action methodology. The first project involved the creation of an information system and the application of different Lean tools, while the second project focused on simulating a logistical process and studying its characteristics.

The results obtained strengthen the initial premise, revealing that the application of the two approaches (digital transformation and Lean) are capable of achieving better organizational results and eliminating losses in a thorough and systematic way, generating high value in organizations, according to a cycle of mutual influence.

Índice

| | |
|---|----|
| Introdução..... | 1 |
| 1.1. Contextualização | 1 |
| 1.2. Objetivos | 2 |
| 1.3. Metodologia..... | 3 |
| 1.4. Estrutura do Relatório | 4 |
| Enquadramento Teórico..... | 5 |
| 2.1. Transformação Digital..... | 5 |
| 2.1.1. Gestão e Modelação de Informação..... | 7 |
| 2.1.2. Sistemas de Informação..... | 8 |
| 2.1.3. BPM e a Transformação Digital..... | 9 |
| 2.1.3.1. BPM e BPMN..... | 9 |
| 2.1.3.2. BPM como ferramenta de suporte à Transformação Digital..... | 11 |
| 2.1.4. Indústria 4.0..... | 12 |
| 2.1.5. Principais tecnologias facilitadoras da Indústria 4.0 | 13 |
| 2.1.5.1. Simulação | 14 |
| 2.2. Pensamento Lean..... | 16 |
| 2.2.1. Sistemas de Produção Lean (LPS)..... | 16 |
| 2.2.1.1. Princípios do Lean..... | 18 |
| 2.2.1.2. Desperdícios | 18 |
| 2.2.1.3. Sistemas de Produção Ágil..... | 19 |
| 2.2.1.4. Ferramentas Lean | 21 |
| 2.2.2. Lean Information Management (LIM)..... | 23 |
| 2.2.2.1. Princípios do LIM..... | 23 |
| 2.2.2.2. Desperdícios no LIM..... | 24 |
| 2.3. Confluência da Transformação Digital com o Pensamento Lean | 25 |
| Projeto I | 28 |
| 3.1. Contexto Industrial..... | 28 |
| 3.2. Utilização de BPM na análise da situação inicial da fábrica piloto e identificação de melhorias | 29 |
| 3.2.1. Problema e Objetivos..... | 29 |
| 3.2.2. Metodologia | 31 |
| 3.2.3. Resultados..... | 32 |
| 3.2.4. Considerações Finais..... | 33 |
| 3.3. Construção de ferramenta digital de auxílio ao registo de informações e gestão interna do departamento | 34 |
| 3.3.1. Problema e Objetivos..... | 34 |
| 3.3.2. Metodologia | 35 |
| 3.3.3. Resultados..... | 36 |
| 3.3.3.1. Modelação da ferramenta digital..... | 36 |
| 3.3.3.2. Escolha do software de desenvolvimento | 41 |
| 3.3.3.3. Apresentação da aplicação desenvolvida | 43 |
| 3.3.3.4. Implantação da aplicação desenvolvida | 49 |
| 3.3.4. Considerações Finais..... | 50 |
| 3.4. Aplicação de Ferramentas Lean..... | 51 |
| 3.4.1. Problema e Objetivos..... | 51 |
| 3.4.2. Metodologia | 51 |
| 3.4.3. Resultados..... | 52 |

| | | |
|---|--|----|
| 3.4.4. | Considerações Finais..... | 56 |
| Projeto II | | 58 |
| 4.1. | Contexto Industrial..... | 58 |
| 4.2. | Simulação de um processo de transporte na logística interna da fábrica | 58 |
| 4.2.1. | Problema e Objetivos..... | 58 |
| 4.2.2. | Metodologia | 60 |
| 4.2.3. | Resultados..... | 61 |
| 4.2.3.1. | Suposições do modelo de simulação..... | 61 |
| 4.2.3.2. | Verificação e Validação | 62 |
| 4.2.3.3. | Resultados e Discussão | 63 |
| 4.2.3.4. | Desenvolvimento de alternativas | 63 |
| 4.2.3.5. | Comparação de alternativas | 64 |
| 4.2.4. | Considerações Finais..... | 65 |
| Conclusões, limitações e trabalhos futuros..... | | 66 |
| Bibliografia..... | | 69 |
| Anexos | | 76 |
| Anexo I | | 76 |
| Anexo II | | 78 |
| Anexo III..... | | 80 |
| Anexo IV | | 82 |
| Anexo V..... | | 84 |
| Anexo VI..... | | 85 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Ciclo Investigação-Ação | 3 |
| Figura 2 - Desempenho digital da Europa..... | 5 |
| Figura 3 - Ciclo de vida da Transformação Digital | 6 |
| Figura 4 - Estrutura de um SI | 8 |
| Figura 5 - Ciclo de Vida do BPM | 10 |
| Figura 6 - Organigrama da organização de acolhimento..... | 29 |
| Figura 7 - Macro processo em análise..... | 30 |
| Figura 8 - Abordagem RUP | 35 |
| Figura 9 - Diagrama de Classes | 37 |
| Figura 10 - Diagrama de <i>Use-Case</i> 1 | 38 |
| Figura 11 - Diagrama de <i>Use-Case</i> 2..... | 39 |
| Figura 12 - Representação BPMN do processo de pedidos de amostras..... | 39 |
| Figura 13 - Diagrama de Atividades do "Registo de Protótipo"..... | 41 |
| Figura 14 - Relação os <i>softwares</i> utilizados..... | 43 |
| Figura 15 - <i>Screen</i> do menu principal da aplicação | 44 |
| Figura 16 - <i>Screen</i> "Samples and Catalogs Request" | 44 |
| Figura 17 - <i>Screen</i> "My Requests"..... | 45 |
| Figura 18 - <i>Screen</i> "Waiting for Approval"..... | 45 |
| Figura 19 - <i>Screen</i> "Protótipos" | 46 |
| Figura 20 - Formulários para registo e edição de informações..... | 46 |
| Figura 21 - <i>Screen</i> "Projetos" | 47 |
| Figura 22 - <i>Screen</i> "Lista de Materiais"..... | 47 |
| Figura 23 - <i>Screen</i> "Declaração de Produção"..... | 48 |
| Figura 24 - <i>Screen</i> "Indicadores de Performance" | 48 |
| Figura 25 - <i>Screen</i> "Configurações" | 49 |
| Figura 26 - Processo de triagem | 52 |
| Figura 27 - Antes e depois do processo de organização..... | 53 |
| Figura 28 - Quadros de ferramentas..... | 53 |
| Figura 29 - Etiqueta identificadora dos equipamentos..... | 55 |
| Figura 30 - Sistema de gestão visual dos planos de manutenção autónoma..... | 56 |
| Figura 31 - Layout do chão de fábrica | 59 |
| Figura 32 - <i>Workflow</i> do sistema | 60 |
| Figura 33 - Tempo total no sistema, por cenário | 64 |
| Figura 34 - Ciclo TD e <i>Lean</i> | 68 |
| Figura 35 - <i>AS-IS</i> da fase teste do macroprocesso..... | 76 |
| Figura 36 - <i>TO-BE</i> da fase teste do macroprocesso | 77 |
| Figura 37 - <i>Screen</i> "Utilizadores"..... | 80 |
| Figura 38 - <i>Screen</i> "Reportar Erro"..... | 80 |
| Figura 39 - <i>Screen</i> "Parâmetros do Sistema"..... | 81 |
| Figura 40 - <i>Screen</i> "Tipo de Produto" | 81 |
| Figura 41 - Estrutura da auditoria 5S..... | 83 |
| Figura 42 - Exemplo de um plano de manutenção autónoma | 84 |
| Figura 43 - Modelo Arena..... | 85 |
| Figura 44 - Animação Arena..... | 86 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Pontos críticos para a eficácia e a sustentabilidade dos princípios <i>Lean</i> | 18 |
| Tabela 2 - Princípios LIM | 24 |
| Tabela 3 - Proposta de aplicação de uma abordagem conjunta dos ciclos de vida da transformação digital e do BPM..... | 31 |
| Tabela 4 - 5 Why's and 2 How's | 34 |
| Tabela 5 - Subprocessos aplicados durante a abordagem RUP | 36 |
| Tabela 6 - Tabela comparativa dos diferentes <i>softwares</i> | 42 |
| Tabela 7 - Intervalos de tempo entre chegadas | 59 |
| Tabela 8 - Distância entre estações | 59 |
| Tabela 9 - Suposições do Modelo de Simulação | 61 |
| Tabela 10 - Resultados do <i>Arena process analyzer</i> | 64 |
| Tabela 11 - Modelo Relacional | 78 |

Abreviaturas, Acrónimos e Siglas

| | |
|------|---|
| 5W2H | Metodologia 5 <i>Why's</i> and 2 <i>How's</i> |
| AGV | <i>Automatic Guided Vehicle</i> |
| APA | Armazém de Produto Acabado |
| BI | <i>Business Intelligence</i> |
| BPM | <i>Business Process Management</i> |
| BPMN | <i>Business Process Model Notation</i> |
| DES | <i>Discrete Event Simulation</i> |
| DIGP | Departamento de Inovação e Gestão do Produto |
| ERP | <i>Enterprise Resource Planning</i> |
| FIFO | <i>First In, First Out</i> |
| IoT | <i>Internet of Things</i> |
| KPI | <i>Key Performance Indicator</i> |
| LIFO | <i>Last In, First Out</i> |
| LIM | <i>Lean Information Management</i> |
| LPS | <i>Lean Production Systems</i> |
| RI | Revolução Industrial |
| RUP | <i>Rational Unified Process</i> |
| SI | Sistema de Informação |
| TD | Transformação Digital |
| TI | Tecnologia da Informação |
| TPM | <i>Total Productive Maintenance</i> |
| TPS | <i>Toyota Production System</i> |
| UML | <i>Unified Modelling Language</i> |
| VBA | <i>Visual Basic for Applications</i> |

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo inicial tem como objetivo enquadrar o leitor com o trabalho desenvolvido na realização do projeto de estágio que aqui se apresenta. Inicialmente existe uma contextualização temática, seguida pela apresentação dos principais objetivos de estágio e apresentação da metodologia a seguir para a concretização do mesmo. Por último, é exibida a estrutura do documento.

1.1. Contextualização

Nas últimas décadas, a indústria sofreu mudanças a praticamente todos os níveis de ação. Surgiram novas tecnologias de processos e produtos, reinventaram-se as metodologias de gestão, modificaram-se as expectativas e necessidades dos clientes e aumentaram a qualidade e quantidade de fornecedores no mercado (I. Ahuja et al., 2006). A par disso, o mercado global tornou-se altamente competitivo e conseguir o produto certo, pelo preço certo e na hora certa não é apenas a base para o sucesso competitivo, mas também uma necessidade para a sobrevivência (Aitken et al., 2002). Isso obrigou as organizações a analisarem os seus processos (internos e externos) com o objetivo de detetar problemas, desperdícios e atividades que não agregam valor. A melhoria dos processos de negócios é considerada uma atividade essencial para que uma organização tenha sucesso e se mantenha competitiva no mercado e tem sido identificada como uma das principais prioridades das equipas de gestão (Zur Muehlen & Indulska, 2010).

Com este objetivo em mente, as organizações passaram a analisar cuidadosamente os seus processos, identificando não só a necessidade de implementação de princípios *Lean* (Bhamu & Sangwan, 2014; Randhawa & Ahuja, 2017), como também de assumir o desafio relacionado com transformação digital dos mesmos (Brown & Brown, 2019; Von Rosing & Eitzel, 2020). Isto porque o mercado onde as organizações se movimentam atualmente é tão dinâmico, complexo e, por vezes, turbulento que torna necessário a conjugação de diferentes abordagens e metodologias para conseguir responder às diferentes realidades (Ahuja et al., 2006; Aitken et al., 2002).

Apesar das práticas *Lean* e de transformação digital representarem duas abordagens organizacionais distintas, ambas têm como objetivo a excelência operacional e favorecem estruturas descentralizadas, fáceis de utilizar e manter, em vez dos tradicionais processos e equipamentos grandes e complexos. Acredita-se, por isso, que a implementação de ferramentas *Lean* pode impactar significativamente os processos de transformação digital e vice-versa (Kolberg & Zühlke, 2015; Teixeira et al., 2019; Wagner et al., 2017).

As ideias chave da metodologia *Lean* são a redução de desperdício, a melhoria contínua e a mudança para um sistema de produção que vai ao encontro das necessidades da procura (Kolberg & Zühlke, 2015). À medida que as organizações se tornam mais *Lean*, os seus fluxos (logísticos, de comunicação, etc.) fortalecem-se e as atividades sem valor acrescentado diminuem. Portanto, qualquer esforço para diminuir estas atividades contribui para a redução de custos e melhoria da qualidade. Muitas vezes, esse esforço vem por meio da transformação digital e integração de processos (Sanders et al., 2016).

A transformação digital, por sua vez, acontece todos os dias ao nosso redor e é caracterizada pela representação de objetos ou processos do mundo real na forma de símbolos digitais (Scholz et al., 2018), recorrendo a tecnologias para resolver questões específicas (Dumas et al., 2012). Um dos mais recentes paradigmas associados à transformação digital é o conceito

de Indústria 4.0, fortemente associada à informatização e comunicação descentralizada de processos (Teixeira et al., 2019).

O projeto descrito no presente relatório foi desenvolvido no âmbito do estágio curricular do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Aveiro, que decorreu numa empresa industrial portuguesa cuja atividade principal é a produção de aglomerados de cortiça. O desenvolvimento do projeto teve como objetivo principal a implementação de metodologias *Lean*, a par de medidas de transformação digital no ambiente de produção. A maioria do trabalho desenvolvido relaciona-se com a atividade e processos de negócio do departamento de inovação e gestão do produto da entidade de acolhimento. No entanto, para a concretização dos objetivos propostos, foi necessário interagir e participar na atividade de outros departamentos da organização, como o departamento de logística, onde se desenvolveu uma parte do projeto de estágio.

1.2. Objetivos

A necessidade de implementação do projeto decorreu do facto de uma elevada quantidade de informação que flui no departamento de inovação e gestão do produto (DIGP) não estar registada e organizada de forma estruturada e com significado para a entidade de acolhimento.

Para além disso, o DIGP, responsável pela conceção e desenvolvimento de novos produtos, encontra-se fora da área das Operações, responsável pela esmagadora maioria da produção da entidade de acolhimento e onde são levados a cabo os grandes projetos relacionados com melhoria contínua e a implementação da metodologia *Lean*. Por esse motivo, verifica-se uma lacuna entre a realidade industrial vivida na área das Operações e a realidade industrial vivida na área de Inovação e Gestão do Produto, tornando-se necessário combater esta situação e estreitar as duas realidades.

No departamento de logística, por sua vez, era necessário estudar a implementação de um novo sistema de transporte de produtos dentro da organização, um AGV, e a sua interação com o atual sistema de produção e transportes.

Perante este cenário, com a realização deste projeto pretenderam-se atingir três objetivos principais:

- Conceção e implementação de uma ferramenta digital que auxilie o registo de informações e a gestão interna do departamento, nomeadamente:
 - Documentação de protótipos;
 - Documentação de projetos;
 - Requisição de amostras de protótipos;
 - Controlo e organização de *stocks*;
 - Criação de novos indicadores de performance.
- Aplicação de práticas de pensamento *Lean*, nomeadamente:
 - TPM, com foco na identificação e cadastro de equipamentos e elaboração de planos de manutenção autónoma;
 - 5S;
 - Melhoria Contínua e *Kaizen*.
- Simular um processo de transporte na logística interna da fábrica.

1.3. Metodologia

A metodologia de trabalho utilizada para a realização deste projeto de estágio foi a de investigação-ação. Inicialmente, esta metodologia foi vista como uma forma de investigação que utilizava métodos de pesquisa "qualitativos" em vez de "quantitativos", concentrando-se nas perspetivas dos *stakeholders* (Kemmis, 1988) e, geralmente, na forma de casos de estudo de situações específicas (Wallace, 1987). Mais recentemente, a metodologia investigação-ação é vista como uma abordagem que se centra na pesquisa em ação, ao invés de pesquisa sobre ação, e tem como objetivo eliminar a lacuna entre a teoria e a prática (Carr, 2006).

O ciclo da metodologia de investigação-ação engloba 3 etapas principais (Figura 1) (Coughlan & Coughlan, 2002):

- a) Uma pré-etapa onde se procura entender o contexto e propósito do projeto em causa;
- b) Uma etapa principal que se divide em seis fases: recolha de dados, recolha de *feedback*, análise de dados, planeamento da ação, implementação e avaliação;
- c) Uma etapa de controlo e supervisão que acontece em paralelo com as restantes fases anteriormente descritas.

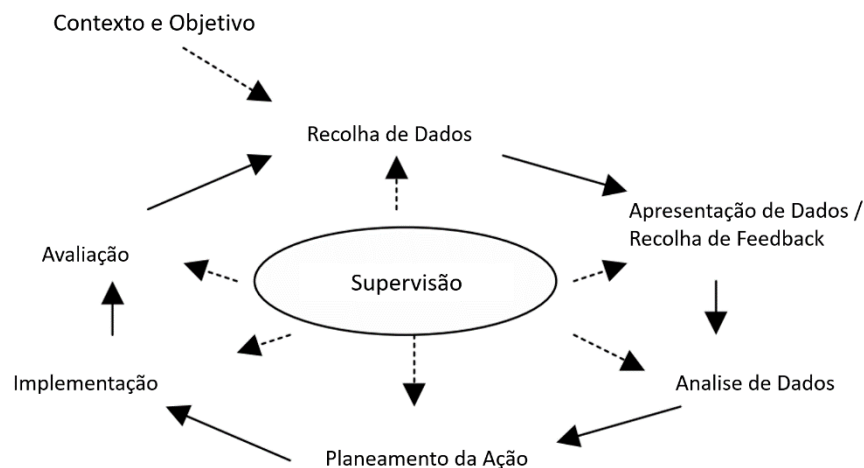


Figura 1 - Ciclo Investigação-Ação (adaptado de Coughlan & Coughlan, 2002)

Desta forma, numa primeira etapa procedeu-se à familiarização com os processos dentro do departamento onde se desenvolveu o projeto e a sua relação com os restantes departamentos, clientes externos e parceiros estratégicos. Em simultâneo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em artigos científicos, livros e trabalhos académicos com o objetivo de enquadrar teoricamente o projeto de estágio e adquirir o conhecimento necessário para a sua realização prática. Atualmente, a forma mais económica e eficaz de efetuar estas pesquisas é através da internet e de bases de dados. No entanto, há muita proliferação de informações e torna-se confuso identificar quais os trabalhos confiáveis, úteis e autênticos. Por isso, inicialmente, usaram-se os motores de busca *Google Scholar*, *Scopus* e *ScienceDirect* para encontrar artigos com as palavras-chaves definidas: "Lean", "Agile", "Kaizen", "Continuous Improvement", "TPM", "5S", "Industry 4.0", "Digital transformation", "Digitization", "BPM", "Lean Information Management" e "Simulation". Muitos artigos foram analisados por cruzamento de referências. A qualidade dos artigos em análise foi avaliada através da plataforma *Scimago JR*,

que possui uma escala de classificação do prestígio das revistas onde são publicados os artigos. A maioria dos artigos analisados foram retirados das principais bases de dados na internet, nomeadamente *Elsevier*, *IEEE*, *Emerald*, *Taylor & Francis* e grupos de publicação *Springer*.

Seguidamente, passou-se à etapa principal da metodologia. Na prática, esta etapa foi desdobrada de forma diferente para cada um dos diferentes objetivos (já apresentados na secção 1.2). Por isso, a metodologia seguida para concretizar os objetivos definidos é detalhada mais à frente, em cada secção. De forma geral, procedeu-se à identificação e análise dos pontos fracos e desperdícios (atividades que não agregam valor) dentro daquilo que é a área de ação do projeto de estágio, através da observação da atividade diária no chão de fábrica e diálogo com os agentes envolvidos. Posteriormente, desenhou-se um plano de ação que visou resolver as fraquezas encontradas e planeou-se a sua concretização. Uma vez implementadas as medidas definidas, procedeu-se ao registo e avaliação do seu impacto, acompanhado pelo controlo e supervisão das mesmas.

1.4. Estrutura do Relatório

O presente relatório é constituído por cinco capítulos, cada um deles subdividido em diferentes subcapítulos estruturados com o propósito de facilitar a compreensão do enquadramento teórico e prático deste projeto.

No primeiro capítulo apresenta-se o projeto, através da sua contextualização, da identificação dos principais objetivos e da metodologia de investigação seguida para a sua concretização.

No segundo capítulo são abordados alguns conceitos teóricos relacionados com as temáticas abordadas no projeto, nomeadamente a transformação digital e o pensamento *Lean*, que suportam tanto as implementações realizadas como as perspetivas futuras.

No terceiro e quarto capítulos são apresentados, respetivamente, dois projetos desenvolvidos no departamento de Inovação e Gestão do Produto e no departamento de Logística da entidade de acolhimento.

Finalmente, no quinto capítulo são referidas as principais conclusões retiradas do trabalho realizado, bem como as limitações sentidas e propostas de trabalho futuro.

Capítulo 2

Enquadramento Teórico

Este capítulo está dividido em três tópicos principais e tem como objetivo definir e caracterizar alguns conceitos principais relacionados com a realização prática do projeto. No primeiro tópico é abordado o tema da Transformação Digital (TD), nomeadamente as principais dificuldades inerentes a esta transformação, o seu ciclo de vida, a gestão e modelação de informação, a sua relação com o *Business Process Management* (BPM) e a Indústria 4.0. De seguida, é apresentado o conceito *Lean* e a sua implementação nos sistemas de produção (LPS) e na gestão de informação (LIM), analisando-se os princípios e os desperdícios *Lean* em cada caso. Por último, argumenta-se sobre a confluência da Transformação Digital com as práticas *Lean*.

2.1. Transformação Digital

A transformação digital acontece todos os dias ao nosso redor, impulsionada pela necessidade de integração de novas tecnologias e máquinas, juntamente com a necessidade de facilitar a integração horizontal e vertical ao longo da cadeia de valor (Ustundag & Cevikcan, 2018). É caracterizada pela representação de objetos ou processos do mundo real na forma de símbolos digitais (Scholz et al., 2018), recorrendo a tecnologias para resolver questões específicas (Dumas et al., 2012). Estas tecnologias materializam-se na forma de máquinas que dominam a representação digital, a computação e a adaptação das informações do mundo real (Scholz et al., 2018). A transformação digital está a acontecer e a mudar todos os níveis da sociedade.

Devido às suas inúmeras vantagens, a transformação digital está a tornar-se uma prioridade para as organizações (Dumas et al., 2012) e há grandes expectativas em relação à transformação digital em indústrias de todo o mundo (European Commission, 2020). Porém, ainda há muito trabalho pela frente para que os países atinjam o mesmo patamar digital. Na verdade, mesmo na Europa, podemos ver que há um alto nível de variação no desempenho digital geral e no progresso digital. Através da análise do *Digital Economy and Society Index* (DESI) 2020, um índice complexo que resume indicadores relevantes sobre o desempenho digital da UE e acompanha a evolução dos 28 Estados-Membros, podemos ver a Finlândia, a Suécia e a Dinamarca com as classificações mais elevadas e a Bulgária, Grécia e Romênia com as pontuações mais baixas no índice (Figura 2). Já Portugal, encontra-se abaixo da média Europeia neste índice.

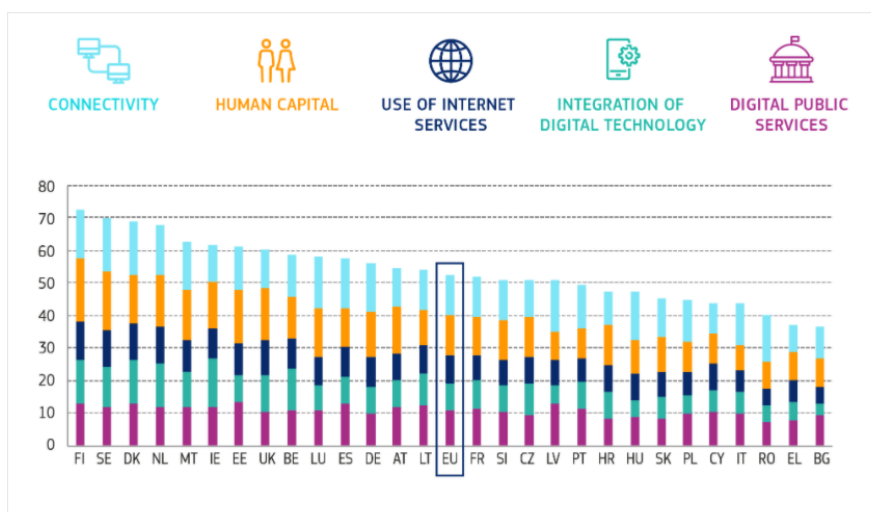


Figura 2 - Desempenho digital da Europa

Nas últimas décadas, a revolução tecnológica e os avanços digitais foram tão importantes que, segundo Takács-Sánta (2004), podem mesmo ser considerados com uma das seis grandes conquistas da humanidade, ao lado do uso do fogo, desenvolvimento da linguagem, agricultura, civilização e conquistas europeias (Takács-Sánta, 2004).

Apesar disso, a transformação digital deve ser feita de forma progressiva e sustentada. Uma empresa que se queira tornar mais digital, para além de desenvolver uma força de trabalho adaptada ao mundo digital, necessita de fornecer um conjunto de competências e habilidades aos funcionários, que potencializem a sua capacidade de pensar e trabalhar de forma inovadora (Brown & Brown, 2019; Ustundag & Cevikcan, 2018).

Ciclo de Vida da Transformação Digital

Para facilitar a transformação digital nas organizações, Von Rosing & Etzel (2020) apresentam o Ciclo de Vida da Transformação Digital. Este fornece uma sequência de fases que pode ser seguida por qualquer profissional, independentemente do setor ou do tamanho da organização em que está inserido. Com esta metodologia, pretende-se mitigar o facto de que quase ¾ de todas as iniciativas de transformação digital falham em entregar o que inicialmente foi proposto (Jacquemont et al., 2015; Von Rosing & Etzel, 2020).

Semelhante a outros ciclos de vida, o ciclo de vida da transformação digital evolui ao longo do tempo e à medida que passa por diferentes fases. Este possui quatro fases distintas - Compreensão, Inovação, Transformação e Melhoria Contínua -, cada uma bem definida. Dependendo dos casos, as fases principais podem ser divididas em subfases, conforme apresentado na Figura 3.

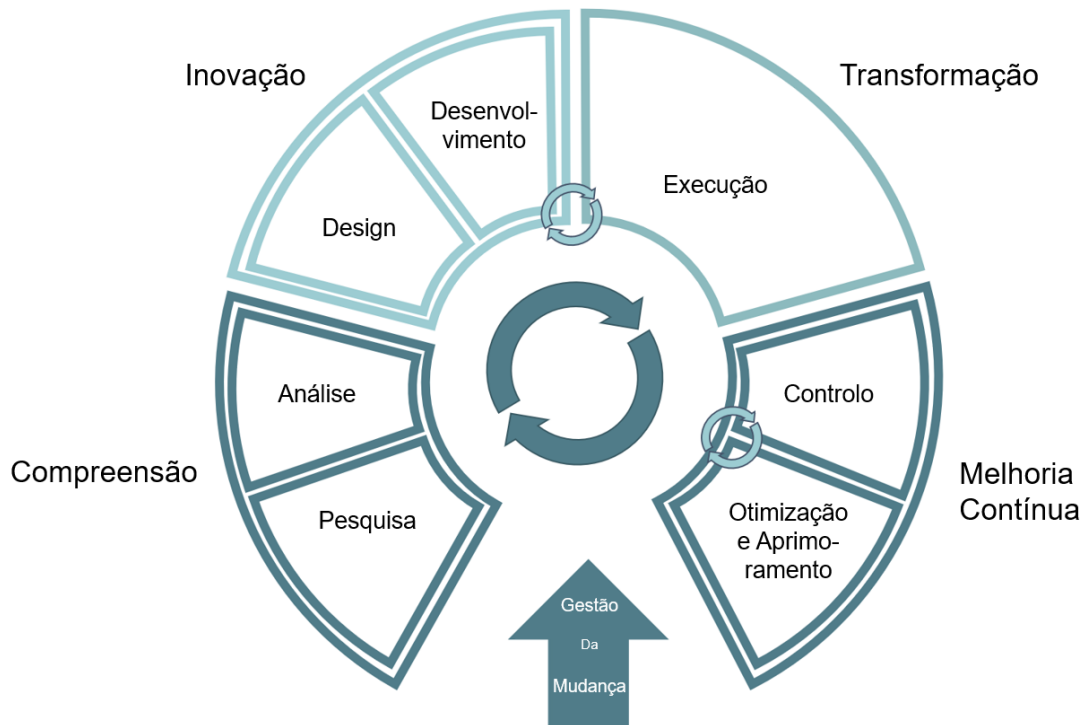


Figura 3 - Ciclo de vida da Transformação Digital (adaptado de Von Rosing & Etzel, 2020)

Assim, para implementar uma transformação digital sustentada, Von Rosing & Etzel (2020) propõe que o processo passe pelas seguintes etapas:

I. Fase de Compreensão - no final desta fase, as práticas da indústria, as forças disruptivas e as necessidades do cliente devem estar totalmente identificadas e conhecidas. A fase de compreensão é dividida em duas subfases:

- a. Pesquisa - compreensão das expectativas, identificação de riscos e investigação das tendências emergentes na indústria.
- b. Análise - identificação de forças (externas/internas) e papéis relevantes.

II. Fase de Inovação - nesta fase, é necessário criar o novo valor a apresentar ao cliente, através de serviços ou produtos de valor agregado. A segunda fase também se divide em duas subfases:

- a. *Design* - identificação dos objetivos e fatores críticos de sucesso, definição de uma estratégia de negócios, diagnóstico de riscos, alinhamento das partes interessadas e seleção de recursos.
- b. Desenvolvimento - quantificação de riscos, criação do plano de negócios e organização e melhoria dos recursos.

III. Fase de Transformação - passar para a terceira fase sem se ter inovado poderá resultar numa solução muito digital, mas com pouca capacidade de transformação. A fase de transformação tem apenas uma subfase, a execução:

- a. Execução - implementação das medidas e solução definidas, evolução dos processos, padronização e integração.

IV. Melhoria Contínua – é onde a proposta de valor é otimizada e/ou melhorada. A última fase facilita o *feedback* necessário para a organização continuar a tornar-se mais eficaz e eficiente nos seus processos digitais. Esta fase também é separada em duas subfases:

- a. Controlo - controlo das operações em curso, monitorização, identificação de problemas, desafios e pontos problemáticos.
- b. Otimização e aprimoramento - identificação dos causadores de mudança, avaliação do potencial de mudança, desenvolvimento de *roadmaps* de mudança e especificação de opções e soluções para mudança.

O Ciclo de Vida da Transformação Digital apresentado por Von Rosing & Etzel (2020) é baseado em uma metodologia empírica, o que significa que as suas raízes estão na prática e na investigação.

2.1.1. Gestão e Modelação de Informação

Os conceitos de gestão de informação e modelação de informação podem ser facilmente confundidos. No entanto, enquanto que a gestão de informação está intimamente relacionada com processos administrativos como aquisição, validação, armazenamento e proteção de informações, a modelação de informação refere-se à representação de conceitos, regras e relacionamentos de uma base de dados que armazena diferentes tipos de informações sobre diversos objetos (Demian & Walters, 2014), permitindo uma gestão de informação em tempo real (Hajian & Astani, 2009).

Assim, os sistemas de gestão da informação são representados recorrendo à modelação de informação. A modelação de informação surgiu como uma resposta às baixas taxas de produtividade da indústria (Hajian & Astani, 2009) e baixa capacidade de processar dados, gerada pelo aumento do tamanho e complexidade dos projetos (Cha & Lee, 2018). Na verdade, nos dias de hoje, em inúmeras organizações, a maioria dos dados de projetos ainda é armazenada em documentos não estruturados (por exemplo, relatórios semanais ou diários, especificações, envio de material ou ordens de produção). Nestas situações, a eficiência produtiva é significativamente menor se comparada a outras indústrias mais evoluídas digitalmente. Para além disso, uma má gestão de informação potencializa a perda de informações e cria dificuldades em tempo real na empresa (Cha & Lee, 2018; Hajian & Astani, 2009).

2.1.2. Sistemas de Informação

Um sistema de informação (SI) baseia-se num conjunto inter-relacionado de diferentes componentes que recolhem, processam, armazenam e distribuem informações para apoiar a tomada de decisão e a gestão de uma organização (Kenneth & Jane, 2012).

Uma das grandes vantagens da utilização de sistemas de gestão de informação é o processamento rápido e preciso dos dados, desde a sua compilação até à sua eliminação. Sem isso, é quase impossível para uma empresa aumentar o seu nível de eficiência e desempenho, perdendo valor para os clientes (Cha & Lee, 2018). Para além disso, estes sistemas podem auxiliar a análise de problemas, a visualização de assuntos complexos, a melhoria de relacionamento com o cliente e/ou o fornecedor ou até a criação de novos produtos sendo, por isso, uma das principais ferramentas para alcançar a excelência operacional e obter vantagem competitiva (Kenneth & Jane, 2012).

Um SI tem três atividades distintas: a entrada de dados (*input*), o processamento e a saída de informação (*output*). O processamento converte uma entrada bruta de dados, sejam eles de dentro da organização ou do seu ambiente externo, em informações relevantes para a organização (Kenneth & Jane, 2012) (Figura 4).

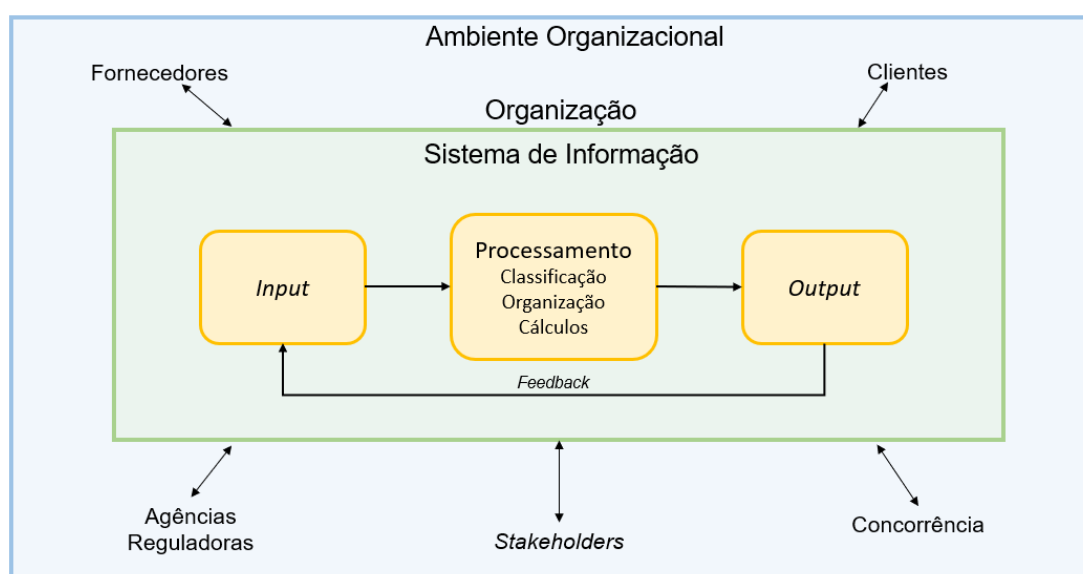


Figura 4 - Estrutura de um SI

Na indústria, um sistema de informação integrado permite a integração do fluxo de informações na produção e a troca fácil e automática de informações entre diferentes *stakeholders*. No entanto, ainda há muito caminho a percorrer e a criação de fábricas inteligentes com sistemas de gestão de informação integrados ainda é uma utopia para muitas empresas. Em muitas organizações, as informações e dados ao nível do chão de fábrica ainda são recolhidos na forma de relatórios em papel preparados por operadores de máquinas, inspetores da qualidade, supervisores de área ou outros gestores intermédios, o que tem um impacto negativo no desempenho e na eficiência de todo o processo de produção. A equipa deve concentrar-se na execução de tarefas de produção e não na preparação de relatórios escritos em papel que impossibilitam um processamento *online* e imediato. Nestes casos, a solução já está há muito identificada e passa pela implantação das tecnologias, muitas delas associadas à Indústria 4.0 (Castle & Harvey, 2009; Oborski, 2018).

2.1.3. BPM e a Transformação Digital

2.1.3.1. BPM e BPMN

Antes de compreender o que é o BPM – *Business Process Management* - ou, em português – Gestão de Processos de Negócio –, é necessário entender os conceitos de processo e processo de negócio. Enquanto que um processo é um conjunto de atividades interconectadas que se iniciam em resposta a um evento e visam atingir um resultado específico (Von Rosing & Etzel, 2020), um processo de negócio é definido como um conjunto de procedimentos ou atividades relacionadas entre si, numa ordem predefinida, com o objetivo de entregar valor ao cliente, seja ele interno ou externo (Dumas et al., 2012; Kraljić et al., 2014; Zur Muehlen & Indulska, 2010).

Os processos de negócio estão presentes em todos os níveis organizacionais, mesmo que às vezes não sejam visíveis para os clientes externos. Uma boa gestão destes processos leva a maior produtividade e eficiência do negócio (Dumas et al., 2012).

A revisão bibliográfica realizada, permitiu encontrar diferentes definições de BPM, o que era expectável devido ao crescente interesse científico na área. A *Cambridge University Press* (2020) define BPM como “o desenvolvimento e controlo de processos de uma empresa, departamento, projeto, etc., com o objetivo de garantir a sua eficácia”. Martyn Ould (2005) definiu BPM como a “gestão de um conjunto coerente de atividades realizadas por um grupo cooperante para atingir um objetivo”. Posteriormente, Dumas et al. (2012) afirmaram que “BPM é a arte e a ciência de supervisionar como o trabalho dentro de uma organização é executado para garantir resultados consistentes e aproveitar as oportunidades de melhoria”. Von Rosing et al. (2014) referem que o “(BPM) é uma disciplina que envolve qualquer combinação de modelação, automação, execução, controlo, medição e otimização dos fluxos de atividades de negócios que, aplicados em conjunto, apoiam os objetivos da empresa”.

A Modelação de Processos de Negócios, conhecida na terminologia original por BPM, é uma abordagem poderosa que tem resultado em diferentes benefícios, como a redução de custos, o foco e retenção do cliente, a tomada de decisão baseada em dados, a integração de tecnologia, o aumento de produção, o crescimento e estabilidade, a sinergia entre departamentos, a redução de desperdícios, a satisfação dos funcionários e a rastreabilidade (Zur Muehlen & Indulska, 2010). Além disso, uma das facetas mais importantes do BPM é o facto deste permitir comunicar uma ampla variedade de configurações de processo a uma ampla variedade de públicos (Rosing et al., 2012) pois faz uso de uma notação padrão na representação dos processos – o BPMN.

O *Business Process Model and Notation* (BPMN) foi apresentado em 2004 como um padrão para modelar processos de negócios usando uma notação gráfica. O objetivo era preencher a lacuna existente entre os analistas de negócios e os sistemas de tecnologias de informação e, ao mesmo tempo, estreitar as diferenças entre o *design* e a implementação de processos de negócios (Kraljić et al., 2014; Rosing et al., 2012).

O BPMN foi projetado para ser facilmente compreendido por todos os *stakeholders*, incluindo analistas de negócios, técnicos informáticos e gestores, mas capaz de representar semânticas de processos complexos, servindo como uma linguagem comum (Rosing et al., 2012).

Os principais conceitos do BPMN são semelhantes aos dos fluxogramas (Rajabi & Lee, 2009); no entanto, os elementos do BPMN (como atividades, eventos, *gateways*, *flows*, etc.) oferecem uma maior precisão e controlo dos fluxos no processo. Para além disso, o BPMN é capaz de modelar tipos de processos muito diferentes e a própria notação pode ser utilizada segundo perspetivas diferentes (como é o caso das *swim lanes*) (Kraljić et al., 2014).

Ciclo de Vida do BPM

O ciclo de vida do BPM fornece uma sequência de etapas muito útil e prática que qualquer parte interessada pode seguir durante um projeto orientado a processos (Von Rosing et al., 2014). Tal como no Ciclo de Vida da Transformação Digital, cada etapa usa os resultados da anterior para atingir um objetivo predeterminado.

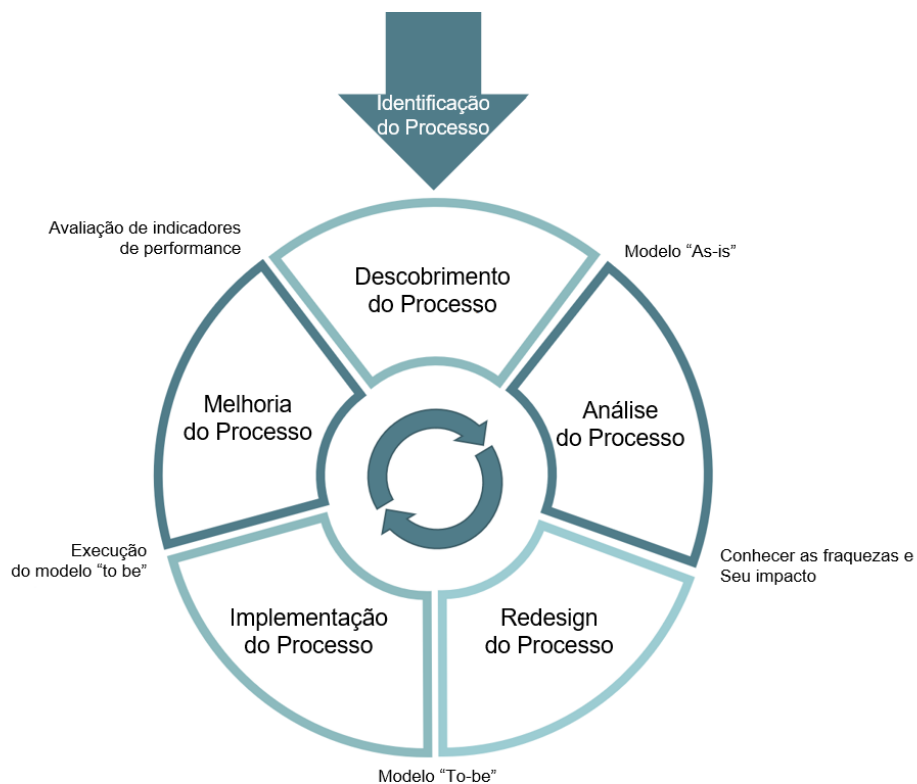


Figura 5 - Ciclo de Vida do BPM (Adaptado de Dumas et al., 2012)

O ciclo de vida do BPM tem seis fases distintas:

I. Identificação do processo – delimitação dos processos relevantes para o problema e dos seus âmbitos de ação, identificando as relações entre eles e desenvolvendo indicadores e medidas de desempenho.

II. Descoberta do processo (também denominada de modelação do processo *AS-IS*) - esclarecimento, caracterização e documentação de todos os objetos de informação, as suas propriedades e relacionamentos no processo em análise. Neste ponto, uma representação visual do processo identificado é desenvolvida, normalmente, na forma de um modelo *AS-IS*.

III. Análise do processo - identificação, análise e quantificação dos problemas no processo *AS-IS*. Durante esta fase, o analista deve procurar oportunidades e formas de melhorar o processo, identificar as principais causas dos resultados negativos e, em última instância, encontrar formas de eliminar ou minimizar essas causas.

IV. *Redesign* do processo (ou Melhoria do processo) - identificação e análise de potenciais soluções para os problemas. Nesta etapa, o analista deve propor uma reformulação do processo existente através da reengenharia ou desenho de um processo *TO-BE*. Dependendo do âmbito do projeto, a fase de *redesign* pode envolver qualquer coisa, desde a alteração de todo o fluxo do processo a apenas pequenas mudanças no seu comportamento básico.

V. Implementação do processo - execução de um conjunto de atividades necessárias para mudar a forma de trabalhar de todos os participantes envolvidos no processo e, se necessário, (re)configuração ou implementação de um sistema de tecnologias de informação (TI) capaz de suportar o processo *TO-BE*.

VI. Melhoria do processo - recolha e análise dos dados relevantes do processo *TO-BE*, com o objetivo de avaliar o quão bem o processo está a funcionar, em relação às medidas de desempenho e objetivos previamente determinados. Se forem identificados desvios do comportamento relativamente àquilo que seria pretendido, é necessário tomarem-se ações corretivas ao processo. Novos problemas podem surgir, no mesmo ou em outros processos, o que exige que o ciclo se repita de forma contínua (Dumas et al., 2012; Von Rosing et al., 2014; Zur Muehlen & Indulska, 2010).

2.1.3.2. BPM como ferramenta de suporte à Transformação Digital

A mudança em direção à transformação digital é um desafio para muitas empresas por vários motivos, incluindo a falta de protocolos de implementação padronizados ou a falta de visão realista do retorno sobre o investimento necessário para a sua implementação (Dumas et al., 2012). Para além disso, o aparecimento de muitas tecnologias num curto espaço de tempo levou a que as empresas se sentissem confusas, perdidas e até incompreendidas. Mesmo depois da decisão de implementar sistemas digitais, as organizações consideram problemática a falta de orientação estratégica e a incerteza sobre os resultados financeiros (Ustundag & Cevikkan, 2018).

Os principais motivos apresentados pelas organizações para a rejeição de metodologias de transformação digital são o medo do desconhecido e a resistência à mudança. Neste campo, a utilização de BPM durante a implementação de processos de transformação digital apresenta resultados positivos na mitigação dos entraves identificados, dando aos *stakeholders* uma

sensação de familiaridade, conforme demonstrado nos trabalhos de Antonucci et al. (2020), Butt (2020) e Rosing et al. (2012).

Ter sistemas informáticos confiáveis e robustos é uma parte importante de uma transformação digital eficaz, mas também é necessário ter em atenção outras variáveis, como sistemas e informações flexíveis e simples de usar (Brown & Brown, 2019). Avançar com processos de transformação digital sem a correta gestão de informação pode tornar-se confuso para as empresas e causar sérios problemas. A comunidade científica tem investigado exaustivamente o desafio relacionado com a transformação digital nas empresas e, de acordo com o índice *McKinsey Global*, em 2015, apenas 26% das organizações entrevistadas relataram que as transformações com as quais estão mais familiarizados foram muito ou totalmente bem-sucedidas na melhoria do desempenho ao longo do tempo (Jacquemont et al., 2015). De facto, vários estudos apresentam taxas elevadas de insucesso na execução de processos de transformação digital nas últimas décadas, como se pode constatar em Jacquemont et al. (2015) e Von Rosing & Etzel (2020).

Uma correta modelação de informação pode resultar na criação de um sistema integrado único de informações, cobrindo todas as camadas da organização (Von Rosing et al., 2014). Os processos de negócio são a “espinha dorsal” dos sistemas de gestão de informação mais desenvolvidos (como é o caso do ERP) e o BPM tornou-se uma ferramenta essencial capaz de integrar todos os processos da organização. De acordo com Kraljić et al. (2014), as tentativas mal sucedidas de implementação de um sistema de gestão da informação estão diretamente relacionadas com a falta de utilização de modelos e notações de processos de negócios (BPMN).

2.1.4. Indústria 4.0

Durante a segunda metade do século XVIII deu-se a primeira revolução industrial, caracterizada pelo uso de máquinas movidas a água e a vapor. O início de produções em massa com recurso à energia elétrica e a redistribuição do trabalho marcou a segunda revolução industrial. Posteriormente, a terceira revolução industrial trouxe tecnologias de informação e novos sistemas eletrónicos para o ambiente industrial, impulsionando a automatização dos processos (Chiarini et al., 2020; Tupa & Steiner, 2019). Atualmente, vivemos no paradigma da quarta revolução industrial (4ª RI). A 4ª RI está associada a todos os mecanismos que promovem a automação e conectividade entre máquinas, produção e sistemas inteligentes (Chiarini et al., 2020; Teixeira et al., 2019; Xu et al., 2018).

O conceito de Indústria 4.0, inicialmente apresentado durante uma feira internacional em Hannover, Alemanha, em 2011, caracteriza a 4ª RI. De forma simplificada, a Indústria 4.0 tem como objetivo tornar as fábricas “inteligentes” e, para isso, recorre a um vasto leque de tecnologias, como sistemas ciberfísicos (CPS), *Internet of Things* (IoT), Automação de Robôs, Análise de *Big Data*, Computação em Nuvem, entre outros (Antonucci et al., 2020; Butt, 2020; Sanders et al., 2016). Estes conceitos representam os mais sofisticados desenvolvimentos tecnológicos dos últimos anos e baseiam-se na ideia de aumentar a produtividade das organizações através da eliminação total de atividades que não agregam valor (ou seja, desperdícios), recorrendo à automação de processos e promovendo uma lógica de produção descentralizada, autonomia e automação (Teixeira et al., 2019).

A conectividade é o fator-chave na Indústria 4.0, uma vez que só assim se pode garantir uma recolha e apresentação de dados automática e, consequentemente, apoiar a tomada de decisão em tempo real. Neste campo, a IoT serve como um pilar para integrar e conectar sistemas tecnológicos, humanos, processos, materiais e produtos, e a informação promove um

novo tipo de inteligência dentro da organização (Teixeira et al., 2019), desde a logística de entrada à produção, *marketing*, logística de saída e serviço (Sanders et al., 2016).

Em troca, esta conectividade é responsável pela grande quantidade de dados presentes na maioria dos ambientes industriais (Teixeira et al., 2019), levantando um problema que, até então, não existia. Para além da recolha de dados, é necessário tratá-los para que estes possam produzir informações consistentes e valiosas para apoiar a tomada de decisões nas organizações.

Apesar do impacto das tecnologias associadas à Indústria 4.0 deslumbrarem alguns, a criação de fábricas inteligentes ainda é uma utopia para muitas empresas (Mantravadi & Møller, 2019). É necessário perceber quais os próximos passos a tomar e esclarecer quais as implicações futuras tanto para as pessoas como para as organizações (Butt, 2020).

2.1.5. Principais tecnologias facilitadoras da Indústria 4.0

A correta utilização das tecnologias associadas à Indústria 4.0 oferece vários benefícios, tais como o aumento da agilidade da produção, maior produtividade, menor custo de produção ou ainda maior partilha de conhecimentos e trabalho colaborativo (Butt, 2020; Chiarini et al., 2020).

Neste campo, podemos identificar nove tecnologias facilitadoras da Indústria 4.0, nomeadamente:

- **Impressão aditiva:** é uma tecnologia de produção alternativa à prototipagem tradicional que permite às empresas produzir lotes de produtos personalizados, mais complexos, mais leves e, possivelmente, mais resistentes. Esta tecnologia transforma modelos virtuais 3D em objetos físicos de forma rápida e sustentável (Ford & Despeisse, 2016; Wan et al., 2015).
- **Realidade aumentada:** é a tecnologia a que é dada maior atenção por parte dos consumidores particulares (Butt, 2020), uma vez que é capaz de combinar o mundo real e virtual de forma perfeita, imergindo o utilizador numa realidade alternativa e interativa. Na indústria, os sistemas de realidade aumentada suportam uma variedade de processos, como a seleção de peças num armazém ou o envio de instruções de reparação. A interatividade, o baixo investimento necessário e ainda a existência de muitos complementos para esta tecnologia são algumas das vantagens da mesma (Song & Zhong, 2021).
- **Análise de Big Data:** é a tecnologia que tem como objetivo analisar o grande volume de dados (*Big Data*), não estruturados, criados pela digitalização de processos e dar-lhes significado através da identificação de padrões, tendências e correlações. Ao processo de transformação de uma grande quantidade de dados em conhecimento, dá-se o nome de *Business Intelligence* (BI). A análise detalhada dos dados recolhidos permite às organizações a tomada de decisão consciente e em tempo real (Gobinath, 2021; Tupa & Steiner, 2019).
- **Computação em Nuvem:** é a tecnologia que permite carregar e armazenar a *Big Data* em sistemas hospedados em nuvem, sincronizados em tempo real e acessíveis independentemente da localização do seu utilizador. As tecnologias em nuvem estão cada vez mais poderosas e mais rápidas, permitindo a partilha imediata de informações (Gobinath, 2021; Xu et al., 2018).

- **Internet of Things (IoT):** é a tecnologia que possibilita que os sistemas comuniquem e interajam entre si de forma multidirecional; a IoT pode ser vista como uma rede de dispositivos interligados de forma digital que trocam dados mutuamente. A IoT apoia-se noutras tecnologias, entre as quais sensores (como câmaras ou microfones), atuadores e sistemas de posicionamento global (GPS), destacando-se as tecnologias RFID e *wireless sensor networks* (WSN) (Schönig et al., 2020; Xu et al., 2018).
- **Ciber segurança:** é a tecnologia que tem como objetivo proteger os sistemas industriais de ameaças à segurança cibernética, através de, por exemplo, uma gestão sofisticada dos acessos e uma verificação da entidade dos utilizadores. A construção de protocolos de comunicação padrão contra o acesso não autorizado de várias conexões internas e externas ao sistema é essencial para promover comunicações seguras e confiáveis (Butt, 2020).
- **Simulação:** é a tecnologia usada para aproveitar dados em tempo real e espelhar o mundo físico. Permite que os utilizadores testem virtualmente diferentes soluções para aumento de produtividade e otimização das operações (Santos et al., 2020).
- **Automação de Robôs:** é uma tecnologia avançada da produção onde robôs interagem uns com os outros e trabalham lado a lado com o Homem. É das tecnologias facilitadoras mais desenvolvida e de onde já surgiram conceitos como “cobots” e sistema “homem-máquina” (Butt, 2020; Gobinath, 2021).
- **Integração vertical e horizontal:** baseia-se na integração de dados e informações em toda a cadeia de abastecimento e produção, desde os fornecedores até ao utilizador final. A integração vertical tem como objetivo ligar os vários componentes dos diferentes níveis hierárquicos de uma organização. A integração horizontal baseia-se na colaboração e cooperação entre diferentes organizações ao longo da cadeia de valor (Sanchez et al., 2020).

2.1.5.1. Simulação

Sistemas, Modelos e Simulação

Um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos distintos que interagem entre si para atingir um propósito específico (Schmidt & Taylor, 1970). Um modelo é a representação de um sistema real em que apenas os aspetos mais relevantes para uma dada análise são levados em consideração. Normalmente, um modelo é utilizado para compreender melhor o funcionamento do sistema, representando as suas principais características e/ou comportamentos através da definição de um conjunto de suposições que podem assumir a forma de relações matemáticas ou lógicas (Law & Kelton, 1983). A modelação requer simplificação e abstração (Altiok & Melamed, 2010).

A modelação de sistemas pode ser dividida em duas categorias: modelos analíticos e modelos de simulação. Ambas as abordagens têm vantagens e desvantagens. Se for possível utilizar métodos matemáticos para representar as relações que compõem o modelo, deve-se utilizar uma abordagem analítica. No entanto, a maioria dos sistemas do mundo real são muito complexos para permitir que modelos realistas sejam avaliados analiticamente. Modelar um sistema com equações matemáticas requer muitas suposições e quantas mais suposições são consideradas, mais o sistema se afasta da realidade. Nestes casos, a técnica de simulação é mais indicada (Kesen & Baykoç, 2007; Law & Kelton, 1983; Tako & Robinson, 2012).

A simulação pode ser descrita como uma técnica que permite a imitação de operações do mundo real ao longo de um determinado período, durante o qual são testados diferentes parâmetros com o objetivo de, posteriormente, apoiar um *decision maker* na avaliação do comportamento do sistema. Em suma, a simulação é uma ferramenta que possibilita a recriação virtual de um sistema, tendo em mente a investigação do seu comportamento, alterando variáveis e fazendo previsões (Altiok & Melamed, 2010; Ghaleb et al., 2015; Şenaras, 2019).

A simulação tem-se mostrado uma ferramenta útil e poderosa na resolução de diversos problemas, nomeadamente na análise de custo-benefício, no desenvolvimento de um projeto e análise de parâmetros de fabrico, na avaliação de novos sistemas ou táticas militares e na avaliação de projetos para organizações de serviços, como hospitais, correios, ou restaurantes *fast-food* (Banks, 1998). No entanto, esta técnica pode tornar-se difícil de aplicar uma vez que necessita de algum nível de conhecimento e formação, os resultados (*outputs*) da simulação podem ser complexos e demorados de compreender e, além disso, a sua análise pode tornar-se bastante penosa devido ao consumo de tempo e recursos (humanos e tecnológicos) necessários. Assim, e antes de decidir recorrer à simulação, as organizações necessitam de ponderar acerca das vantagens e desvantagens e decidir se os resultados irão responder, ou não, ao problema em questão.

Simulação no âmbito da Indústria 4.0

Como foi referido, a simulação é uma tecnologia chave para o desenvolvimento de modelos exploratórios. Para além disso, é a metodologia aconselhada para o desenvolvimento de projetos onde as operações do sistema de produção são complexas, como acontece no âmbito da Indústria 4.0. Nestes casos, a simulação pode auxiliar as empresas a avaliar os riscos, custos, barreiras de implementação, impacto no desempenho operacional e até contruir um *roadmap* para uma implementação suave da Indústria 4.0 (Ferreira et al., 2020). Desta forma, os desafios associados à Indústria 4.0 podem ser reduzidos com o uso da simulação.

No entanto, existe uma outra vertente onde a simulação é facilitadora da Indústria 4.0. Na literatura começam a surgir trabalhos sobre o *Digital Twin*, entendido como a criação de cópias virtuais e inteligentes do ambiente real, capazes de espelhar processos reais e otimizar a tomada de decisões (Mantravadi & Møller, 2019; Santos et al., 2020; Sujová et al., 2020). Santos et al. (2020) desenvolveram um modelo de simulação capaz de entender a procura, simular possíveis rotas e fornecer a melhor rota a seguir, considerando a menor distância e a maior quantidade de materiais entregues. Além disso, os autores desenvolveram uma interface entre o modelo de simulação e o processo real, permitindo a integração de ambos e tornando o modelo virtual num reflexo do sistema real, atuando como um verdadeiro *Digital Twin*. Neste caso, a interface permite que, aquando da mudança da procura no sistema real, o modelo de simulação seja atualizado. Esta estrutura possibilita a tomada de decisões a partir dos resultados do modelo, interferindo novamente no processo real e fechando o ciclo de decisão.

Simulação de eventos discretos e Sistemas de fila de espera

Os modelos de simulação podem ser estáticos ou dinâmicos, determinísticos ou estocásticos, contínuos ou discretos. O trabalho desenvolvido no presente projeto baseou-se em modelos de simulação discreta, dinâmica e estocástica. Quando o modelo de simulação possui estas características, denomina-se *Discrete Event Simulation* (DES) (Law & Kelton, 1983).

Num DES, as entidades (objetos, pessoas, etc.) são representadas individualmente e vários eventos ocorrem ao longo do tempo. Atributos específicos são atribuídos a cada entidade,

definido o que acontece com elas durante os eventos. Nos modelos DES, a mudança ocorre apenas em pontos específicos no tempo, como por exemplo num sistema de produção onde as peças chegam e saem em determinados momentos. Esses modelos são caracterizados por uma certa aleatoriedade criada pelo uso de distribuições estatísticas (Şenaras, 2019; Tako & Robinson, 2012).

Uma grande proporção dos estudos de DES envolve a modelação de um sistema de filas de espera, ou pelo menos alguma parte do sistema a simular tem um sistema de filas. Um sistema de filas de espera consiste num ou mais recursos que fornecem algum tipo de serviço às entidades que chegam. Um exemplo desse tipo de sistema é o atendimento bancário. Na chegada, se o cliente encontrar todos os bancários (que neste caso são os servidores ou os recursos) ocupados, ele entra numa ou mais filas em frente aos bancários, daí o nome de sistema de "filas de espera". No ambiente industrial, estes sistemas são bastante comuns: as entidades são os itens a produzir e os recursos são as máquinas ou operadores (Law & Kelton, 1983).

Um sistema de filas de espera é caracterizado por três componentes: o processo de chegada, o mecanismo de serviço e a disciplina de fila. O processo de chegada descreve como as entidades chegam ao sistema; o mecanismo de serviço especifica o número de recursos, se cada recurso tem a sua própria fila ou não, e a distribuição de probabilidade de tempos de espera; e a disciplina de fila refere-se à regra que um recurso usa para escolher as próximas entidades da fila de espera (FIFO, LIFO ou outras regras de prioridade) (Law & Kelton, 1983).

2.2. Pensamento *Lean*

O pensamento *Lean* é um processo de aprendizagem dinâmico (Womack et al., 1990) que se apoia num conjunto de ferramentas que visam a eliminação de desperdícios, otimização de fluxos, redução de custos e melhoria da qualidade (Koning et al., 2006; Thawesaengskulthai, 2010). O *Lean* tem potencial para ser aplicado a qualquer sistema ou processo onde se pretenda identificar áreas críticas de melhoria (Hicks, 2007). A implementação de práticas *Lean* exige um forte compromisso e uma boa liderança, capaz de fazer com que a mudança seja bem sucedida (Burton & Boeder, 2003). Por esse motivo, o *Lean* é considerado uma abordagem baseada em equipa, onde os processos fluem de acordo com os desejos do cliente (Ibbitson & Smith, 2011).

2.2.1. Sistemas de Produção *Lean* (LPS – *Lean Production Systems*)

O termo *Lean* surgiu pela primeira vez no Japão, num projeto que teve como objetivo compreender a diferença significativa de desempenho entre as indústrias automóveis ocidentais e japonesas (Bhamu & Sangwan, 2014). Após a primeira utilização do termo por Krafcik (1988) e a sua difusão por Womack (1990) no livro "*The Machine that Changed the World*", o conceito foi amplamente estudado e discutido, sofrendo várias mudanças e adaptações (Abolhassani et al., 2016).

O conceito moderno de *Lean* foi inspirado no sistema de produção da Toyota, criado por Taiichi Ohno. O engenheiro japonês concebeu o *Toyota Production System* (TPS) que transformou a Toyota, um pequeno fabricante de automóveis num Japão devastado pela Segunda Guerra Mundial, numa das maiores e mais lucrativas empresas industriais à escala mundial (Bhamu & Sangwan, 2014; Sohal & Egglestone, 1994).

Atualmente, um dos desafios mais importantes é definir o próprio conceito de *Lean*. Não existe uma definição globalmente aceite pelos seus praticantes e investigadores, podendo

identificar-se algumas causas desta ambiguidade. Uma das principais reside no facto da filosofia *Lean* ter evoluído bastante e a partir de ideias que se estendem por várias culturas e indústrias. Muitas organizações desenvolveram o seu próprio sistema de produção *Lean* com base no TPS e no seu ambiente de negócios (Abolhassani et al., 2016). Para além disso, o âmbito de ação do *Lean* é bastante alargado, podendo ser aplicado a todos os níveis de qualquer sistema, seja na casa de cada um ou numa grande unidade industrial (Bhamu & Sangwan, 2014). De facto, na literatura, podem encontrar-se vários significados diferentes para *Lean*, podendo ser apresentado como uma metodologia, um processo, um conjunto de princípios, um conjunto de ferramentas e técnicas, um conceito, uma filosofia, uma prática, um sistema, um paradigma da produção ou até um modelo.

No entanto, é amplamente aceite a ideia de que os sistemas de produção *Lean* (LPS) procuram a sustentabilidade organizacional através da identificação sistemática e eliminação de desperdícios (Nash et al., 2006; Radnor, 2011; Womack et al., 1990) em todo o fluxo de valor de um produto, estendendo-se para além das fronteiras da organização (Boyle & Scherrer-Rathje, 2009).

Na sua essência, a produção *Lean* apresenta-se como um programa de melhoria contínua que as organizações usam para se tornarem proativas na solução de problemas (Abolhassani et al., 2016; Aitken et al., 2002) e na criação do máximo valor para o cliente (Hodge et al., 2011). Esta estratégia não requer um grande investimento em automação, tecnologias ou formação avançada e demorada dos funcionários. Por isso, a produção *Lean* é uma estratégia que pode ser implementada numa grande variedade de organizações, independentemente do seu setor, tamanho ou localização geográfica, e onde todos os funcionários podem estar envolvidos na melhoria das operações (Bhamu & Sangwan, 2014; Hodge et al., 2011). O ambiente de produção *Lean* capacita os funcionários a sugerir e implementar melhorias nas suas áreas de trabalho, processos e serviços (Randhawa & Ahuja, 2017).

Algumas das motivações para aplicar o *Lean* incluem a diminuição de defeitos, aumento da variedade de produtos, melhoria na gestão da cadeia de abastecimento e na gestão de operações, redução de custos de produção, redução do *lead time*, nivelamento da produção, melhoria da qualidade dos produtos, maximização da capacidade de armazenamento, aumento da agilidade, aumento da eficácia geral dos equipamentos ou aumento da satisfação dos recursos humanos (Bhamu & Sangwan, 2014; Hodge et al., 2011; Sohal & Egglestone, 1994).

Os principais obstáculos à aplicação do *Lean*, segundo um estudo realizado por McLean e Antony (2014), podem ser divididos em oito temas centrais, incluindo motivos e expectativas, cultura organizacional, liderança, abordagem de implementação, formação, gestão de projetos, nível de envolvimento dos funcionários e *feedback* e resultados (McLean & Antony, 2014). Para combater as dificuldades sentidas na aplicação de metodologias *Lean*, Bhamu & Sangwan (2014) apresentaram os pontos críticos para a eficácia e a sustentabilidade dos princípios *Lean* durante três fases distintas dos projetos: pré-implementação, implementação e pós-implementação (Tabela 1).

Tabela 1 - Pontos críticos para a eficácia e a sustentabilidade dos princípios Lean

| Fases de um Projeto <i>Lean</i> | Pontos críticos |
|---------------------------------|--|
| Pré-Implementação | <ul style="list-style-type: none"> • Consciencialização do que é o <i>Lean</i> por todos os níveis hierárquicos da organização; • Construção de objetivos claros, especialmente para o trabalho no chão de fábrica; • Desenvolvimento de planos de implementação e pós-implementação da metodologia <i>Lean</i>; • Formação dos trabalhadores para combater o ceticismo sobre os resultados das práticas <i>Lean</i> e a sua sustentabilidade a longo prazo. |
| Durante a Implementação | <ul style="list-style-type: none"> • Correta aplicação das ferramentas e técnicas <i>Lean</i>; • Avaliação da necessidade de recorrer ao <i>outsourcing</i>; • Colaboração entre os diferentes níveis hierárquicos e entidades externas, se for o caso; • Utilização de sistemas tecnológicos. |
| Pós-Implementação | <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação da fase de implementação ao longo da cadeia de valor; • Identificação de novas oportunidades. |

2.2.1.1. Princípios do *Lean*

Em 1996, o conceito de *Lean* foi amplamente definido e descrito segundo cinco princípios chave (Womack & Jones, 1996):

- (i) Especificar valor: definir o valor na perspetiva do cliente final.
- (ii) Fluxo de valor: identificar todo o fluxo de valor de cada produto ou família de produtos de formar a eliminar o desperdício/resíduos que não agregam valor.
- (iii) Fluxo contínuo: criar um fluxo de valor sem interrupção, espera ou defeitos.
- (iv) Produção *pull*: produzir apenas aquilo que o cliente deseja e quando ele quiser.
- (v) Perfeição: remover as sucessivas camadas de resíduos à medida que estes são descobertos.

Os princípios do pensamento *Lean* são amplamente reconhecidos pelas organizações e foram aplicados com sucesso em muitos e diferentes contextos organizacionais (Sharma et al., 2016).

2.2.1.2. Desperdícios

Todas as ferramentas *Lean* têm como objetivo comum a eliminação do desperdício (Hodge et al., 2011). A maioria dos autores que trabalham na área do *Lean* são unânimes quanto à definição dos tipos de desperdícios (Hicks, 2007) apresentada por Ohno (1988) no seu livro “*Toyota Production System*”. O autor explicou que, apesar dos desperdícios poderem ser difíceis de ver, eles caracterizam-se da seguinte forma:

1. Excesso de produção - ocorre quando as operações continuam durante mais tempo que o necessário, resultando em excesso de produtos, produção antecipada e aumento de *stocks*.

2. Tempo de espera - períodos de inatividade ao longo do processo (filas de espera, paragens abruptas, etc.).

3. Transporte - movimentação desnecessária de materiais; em geral, o transporte deve ser minimizado, pois aumenta o tempo do processo durante o qual nenhum valor é adicionado e onde podem ocorrer defeitos no manuseamento.

4. Processamento extra - operações extras como retrabalho, reprocessamento, manuseamento ou armazenamento devido à ocorrência de defeitos, superprodução ou excesso de *stock*.

5. *Stock* - produto que não atende aos pedidos atuais do cliente e está a ocupar desnecessariamente um espaço ou recurso; inclui matérias-primas, produtos em andamento e produtos acabados.

6. Movimentação - movimentação desnecessária de funcionários, equipamentos ou produtos decorrentes de ineficiências de *layouts*, retrabalho, excesso de produção ou excesso de *stock*.

7. Defeitos - produtos acabados e não conformes com a especificação ou expectativa do cliente; pode resultar na insatisfação do cliente.

Além destes sete defeitos, Womack e Jones (1996) identificaram uma oitava categoria relacionada com a subutilização das pessoas e, em particular, das suas ideias e contribuições criativas para melhorar os processos e práticas. Esta oitava categoria de resíduos não é tratada neste trabalho, pois é discutível até que ponto é que a mesma não se traduz nos sete desperdícios previamente definidos.

2.2.1.3. Sistemas de Produção Ágil

Os sistemas de produção *Lean* e Ágil são frequentemente descritos como duas filosofias de produção distintas, com diferentes objetivos. Enquanto os sistemas *Lean* têm como foco a eliminação do desperdício, um sistema ágil visa ser mais flexível e adaptável às mudanças no ambiente, podendo necessitar de mais recursos. Para além disso, as práticas *Lean* foram criadas a pensar em perfis de procura relativamente estáveis, previsíveis e onde a variedade é baixa; contudo, nos ambientes em que a procura é volátil e o cliente procura uma grande variedade, um nível maior de agilidade é necessário (Aitken et al., 2002; Narasimhan et al., 2006).

Segundo Zelenović (1982), a flexibilidade de um sistema de produção é medida pela sua capacidade de se adaptar às mudanças no ambiente. A flexibilidade caracteriza os sistemas de produção ágeis e pode ser vista como a probabilidade de que determinado sistema se adapte às procuras incertas e variáveis que lhe são impostas (Zelenović, 1982), de forma eficiente (Narasimhan et al., 2006).

Inicialmente, pensou-se que o caminho para a flexibilidade era através da automação, uma vez que esta permite mudanças rápidas (ou seja, tempos de configuração reduzidos) e, portanto, uma maior capacidade de resposta às mudanças no *mix* ou volume de produtos, como apresentado no trabalho de Zelenović (1982). Mais tarde, essa ideia de flexibilidade de produção

foi aplicada a outros contextos de negócios, surgindo, assim, o conceito de produção ágil (Aitken et al., 2002).

As tradicionais técnicas de agilidade incluem *stocks* de peças ou máquinas de reserva para permitir entregas contínuas e superar problemas ou variabilidades de procura o que, embora seja excelente para obter flexibilidade, não está alinhado com os sistemas de stock *just-in-time* e, por isso, é inconsistente com o pensamento *Lean* (Boyle & Scherrer-Rathje, 2009). Para além de que a existência de *stock* de segurança pode estar a esconder outros problemas como defeitos, desequilíbrios de produção, atrasos nas entregas de fornecedores, tempo de inatividade de equipamento ou longo tempo de configuração (Wong et al., 2009).

Dois estudos muito interessantes sobre o assunto foram apresentados por Narasimhan et al. (2006) e Hallgren & Olhager (2009). Nas suas investigações, que ocorreram segundo metodologias diferentes e em zonas geográficas distintas, os autores apresentaram resultados bastante semelhantes, concluindo que os *Lean performers* eram melhores no desempenho de custo e as empresas ágeis tinham um melhor desempenho ao nível da flexibilidade. Assim, embora o *Lean* tenha um impacto significativo e positivo em todas as medidas de desempenho das operações, a abordagem ágil tem um impacto ainda mais forte na flexibilidade do sistema (Hallgren & Olhager, 2009).

Portanto, se a empresa pretende liderar relativamente aos custos, a produção *Lean* é a iniciativa de melhoria apropriada. Quando a competição for intensa e a organização decidir adotar uma estratégia de diferenciação, torna-se importante ter um ambiente de produção ágil. Nestas situações, não há impacto positivo significativo no desempenho de custos, mas este indicador não é, por norma, uma prioridade para empresas que podem cobrar um preço *premium* pelo produto (Hallgren & Olhager, 2009).

Apesar das diferenças, estes paradigmas da produção não são mutuamente exclusivos e podem ser conjugados (Aitken et al., 2002; Boyle & Scherrer-Rathje, 2009; Bruce et al., 2004; Hallgren & Olhager, 2009).

De facto, ao observar as características associadas às filosofias *Lean* e Ágil, há alguma sobreposição, como a eliminação de desperdício, redução do tempo de configuração, melhoria contínua e o recursos a ferramentas de melhoria da qualidade (Hallgren & Olhager, 2009).

No seu trabalho, Aitken et al. (2002) mostram como práticas *Lean* podem contribuir significativamente para a criação de empresas ágeis, mas não o contrário. Para os autores, o *Lean* precede o Ágil, fornecendo uma base de conhecimento sólida para a construção de um ambiente flexível (Aitken et al., 2002). De forma semelhante, Boyle & Scherrer-Rathje (2009) conduziram um estudo com o objetivo de identificar as melhores práticas associadas à flexibilidade e examinar a relação entre essas práticas e o *Lean*. Os resultados mostram que equipas multifuncionais, foco no cliente, tempos de *setup* reduzidos, utilização de *Kanbans* e excesso de capacidade são as técnicas que mais contribuem para um ambiente de produção ágil. Das cinco melhores práticas identificadas, com exceção do excesso de capacidade, todas são consideradas parte dos sistemas *Lean* (Boyle & Scherrer-Rathje, 2009). De forma geral, podemos concluir que, embora a procura pela agilidade possa presumir um ambiente *Lean*, a ideia de ambientes *Lean* não presume agilidade.

Na literatura científica, um dos exemplos mais recorrentes de sistemas de produção ágeis é o setor têxtil. Neste setor, os mercados têm características muito próprias, como ciclos de vida do produto muito curtos, alta volatilidade, baixa previsibilidade e alto nível de compras por impulso. Para as organizações deste setor conseguirem responder rapidamente às mudanças nos mercados e fornecer reposição rápida, necessitam de ser bastante flexíveis. No

entanto, também aqui se pode argumentar que estas organizações não se encaixam perfeitamente nem na filosofia *Lean*, nem na filosofia Ágil, mas, em vez disso, são uma combinação impulsionada por margens baixas e alta volatilidade da procura (Bruce et al., 2004; Hodge et al., 2011).

No início do século, à ideia de coexistência de estratégias de produção *Lean* e Ágeis na mesma organização deu-se o nome de “*Leagile*” (Bhamu & Sangwan, 2014; Bruce et al., 2004; Mason-Jones et al., 2000).

2.2.1.4. Ferramentas *Lean*

A aplicação do pensamento *Lean* é concretizada por meio de um conjunto de ferramentas que se reforçam mutuamente (Boyle & Scherrer-Rathje, 2009). O interesse e vontade da indústria na aplicação de metodologias *Lean* é tanto que esse conjunto de ferramentas cresce a cada dia (Anand & Kodali, 2010; Bhamu & Sangwan, 2014), provocando, por vezes o aparecimento de ferramentas e técnicas com nomes diferentes mas que se sobrepõe a outras já existentes (Pavnaskar et al., 2003).

Torna-se impossível mencionar todas as ferramentas *Lean*, pelo que neste trabalho serão apresentadas aquelas que terão utilidade para os projetos apresentados nos próximos capítulos.

5S

A metodologia dos 5S consiste na materialização de cinco ações (Osada, 1991):

1. *Seiri* – Triagem ou Senso de utilização – Separação entre os itens necessários e os desnecessários.
2. *Seiton* – Arrumação ou Senso de organização – Definição de um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar.
3. *Seiso* – Limpeza ou Senso de limpeza – Manter um ambiente limpo e aprender a não sujar.
4. *Seiketsu* – Normalização ou Senso de padronização – Criar regras e *standards* que possibilitem a manutenção dos 5S.
5. *Shitsuke* – Disciplina ou Senso de disciplina – Cumprir, sem exceção, as regras de organização e limpeza.

A sua aplicação concentra-se na organização eficaz do local e procedimentos de trabalho, com o objetivo de reduzir o desperdício, o tempo de inatividade não planeada, os *stocks* e, na generalidade, melhorar a qualidade e produção (Randhawa & Ahuja, 2017). A metodologia 5S é encarada como um pré-requisito para a implementação *Lean* em qualquer organização (Randhawa & Ahuja, 2017) e não se limita à linha de produção, podendo ser aplicada a todas os níveis de uma organização (Hodge et al., 2011).

Uma das principais vantagens da metodologia 5S é a sua simplicidade e fácil compreensão; no entanto, para uma implementação bem-sucedida, é essencial ter a participação e comprometimento de todos os funcionários (Randhawa & Ahuja, 2017).

Manutenção Produtiva Total (TPM)

Tradicionalmente, a manutenção tinha como papel principal o arranjo ou conserto de equipamentos danificados. No entanto, desde 1988, com a apresentação do conceito de TPM por Nakajimi, a forma como manutenção é vista sofreu mudanças profundas e o seu âmbito foi amplificado (I. P. S. Ahuja & Khamba, 2008). O TPM atribui ao operador mais responsabilidades sobre a realização de trabalhos básicos de manutenção, libertando as equipas de manutenção especializada para atividades de maior valor agregado, como melhorias aos equipamentos ou formações (Hodge et al., 2011).

O TPM não é uma política de manutenção específica; é uma cultura ou nova atitude em relação à manutenção (I. Ahuja et al., 2006). A abordagem tem como foco as zero avarias e a otimização dos equipamentos, pré-requisitos necessários em sistemas de produção *Lean*, uma vez que nestes é essencial a existência de equipamentos confiáveis e eficazes para a implementação de iniciativas *Lean* nas organizações (I. P. S. Ahuja & Khamba, 2008; McKone et al., 2001).

A implementação do TPM assenta em oito pilares principais: manutenção autónoma, manutenção planeada, manutenção da qualidade, melhorias específicas, manutenção a nível administrativo, educação e formação, gestão antecipada e segurança, saúde e meio ambiente. O ponto de partida de uma iniciativa TPM é a aplicação dos 5S, possibilitando a criação de um ambiente de trabalho propício e adequado para sua implementação (Osada, 1991).

No projeto de estágio apresentado neste relatório, foram implementadas medidas de manutenção autónoma. As práticas de manutenção autónoma pressupõem a execução, por parte do colaborador, de tarefas associadas a um nível mais superficial de manutenção, como a limpeza, a lubrificação de componentes críticos, a realização de pequenos ajustes e uma constante inspeção no sentido de apurar ruídos anormais ou vibrações que possam denunciar uma possível futura avaria. Uma implementação bem-sucedida de medidas de manutenção autónoma pressupõe a reposição do estado inicial e ideal de funcionamento de uma máquina ou equipamento, e atua como fator chave na prevenção de eventuais problemas que possam causar paragens na produção (I. P. S. Ahuja & Khamba, 2008).

Melhoria Contínua e *Kaizen*

Apesar de serem vulgarmente utilizados como sinónimos em contextos práticos (Ramdass, 2015), do ponto de vista teórico e conceptual mais profundo, os conceitos de Melhoria Contínua e *Kaizen* são considerados como distintos. Enquanto que a melhoria contínua é vista como sendo um termo mais genérico, constituindo a materialização de uma série de ações que visam a obtenção de melhores condições de funcionamento, o *Kaizen* é encarado como uma filosofia mais densa, que envolve o inculcar de uma mentalidade de constante melhoria, exigindo compromisso total e contínuo por parte de todos os elementos de uma organização (Brunet & New, 2003).

Utilizado pela primeira vez por Masaaki Imai (1986), o termo japonês "*Kaizen*" significa "mudar para melhor" ou "melhoria" (Singh et al., 2013) e representa a mobilização e participação da força de trabalho em atividades abrangentes e contínuas de melhoria, fora das suas funções contratuais explícitas, para alcançar melhores resultados e promover o desenvolvimento da empresa. A implementação desta abordagem deve ser contínua, incremental e participativa, promovendo o envolvimento de todos os colaboradores da organização (Brunet & New, 2003) e a eliminação de perdas de forma minuciosa e sistemática (Singh et al., 2013).

O princípio por trás do Kaizen é que “um grande número de pequenas melhorias são mais eficazes que algumas melhorias de grande valor” (Singh et al., 2013).

2.2.2. Lean Information Management (LIM)

O *Lean Information Management* (LIM) é um conceito que combina dois paradigmas da indústria: o *Lean* e a gestão de informação.

Na literatura científica, o termo LIM surge pela primeira vez em 1992, apresentado por Dieter Hammer, como sendo o tipo de gestão de informação mais adequado em ambientes de produção *Lean* (Hammer, 1997). Até 2007, ano em que J. B. Hicks publicou um artigo onde abordava a temática, pouca ou nenhuma atenção foi dada ao conceito por parte da comunidade científica. No seu estudo, Hicks (2007) chegou à conclusão de que o conceito *Lean* adotado na produção se podia aplicar à gestão de informação para melhorar o processamento e aumentar o valor da informação, possibilitando a criação de fluxos contínuos, sem falhas ou desperdícios.

O LIM combina os conceitos de produção *Lean* com a excelência da informação e práticas de gestão de informação (Ibbitson & Smith, 2011) para melhorar os sistemas organizacionais, reduzindo o desperdício e aumentando o valor da informação (Soares & Teixeira, 2014). Neste caso, a gestão de informação é considerada como a atividade que agrega valor aos dados, em virtude da forma como estes são organizados, visualizados e representados. Os fluxos de informação (ou seja, os fluxos de valor) fluem do utilizador inicial para o utilizador final através de processos de troca, partilha e colaboração (Hicks, 2007). Uma melhoria do processo de gestão de informação pode, em muitos casos, concretizar-se através da implementação de ferramentas informáticas simples e à disposição de todas as empresas e a aplicação destas ferramentas tem potencial para originar melhorias em diferentes áreas de uma organização (Soares & Teixeira, 2014).

A abordagem LIM tem como foco encontrar e solucionar problemas de desperdício, variabilidade ou inflexibilidade relacionados com a informação. O esforço para aceder ou recuperar informação, a necessidade de confirmação, correção ou reorganização de informação, a geração de informação inútil ou duplicada e o envio desnecessário de informação são alguns dos desperdícios associados ao LIM (Hicks, 2007; Teixeira et al., 2019).

As técnicas LIM conjugam a excelência na recolha e registo de informações com ferramentas inovadoras, com o objetivo de melhorar os fluxos de informação e, sobretudo, melhorar a gestão de informação e conhecimento do negócio. Algumas das técnicas incluem a gestão visual da informação e a avaliação rápida de diferentes ações. O conjunto de técnicas LIM tem potencial para oferecer aos profissionais da área novas ferramentas sobre como lidar com os riscos e ameaças que surgiram nos últimos anos no campo da gestão da informação (Ibbitson & Smith, 2011; Redeker et al., 2019).

2.2.2.1. Princípios do LIM

Apesar dos princípios do LPS e do LIM serem coincidentes, a sua interpretação e aplicação deve ser ajustada às diferentes realidades. Desta forma, a

apresenta as atividades associadas a cada um dos princípios *Lean*, tendo em conta uma abordagem LIM.

Tabela 2 - Princípios LIM (adaptado de Hicks, 2007)

| Princípio | Descrição |
|----------------|--|
| Valor | 1. Registrar apenas informação que gere valor. O valor deve ser entendido por todos os utilizadores que beneficiem do sistema (direta ou indiretamente). |
| Fluxo de valor | 1. Mapear a série de processos que fornecem informações, incluindo as atividades de captura, representação, troca, organização, recuperação e visualização de informações. 2. Integrar todo a sequência (rede) de processos que suportam a gestão de informações. |
| Fluxo contínuo | 1. Disponibilizar as informações em tempo real. 2. Reduzir o tempo dos processos de informação e processos de suporte. 3. Simplificar os processos de informação. 4. Minimizar a duplicação de informações em toda a cadeia de valor. 5. Minimizar a quantidade de informações desatualizadas ou desnecessárias. 6. Minimizar a duplicação de esforços. |
| <i>Pull</i> | 1. Fornecer informações apenas quando solicitadas. 2. Minimizar a dependência da equipa de IT e programadores. |
| Perfeição | 1. Avaliar regularmente a infraestrutura e os processos de informação. 2. Apoiar a rápida implementação e formação dos colaboradores envolvidos. |

2.2.2.2. Desperdícios no LIM

A maioria dos autores são unânimes quanto à definição dos sete desperdícios dos sistemas de produção *Lean*. No entanto, o mesmo não acontece quando o assunto é a gestão de dados/informação. Neste campo, os desperdícios não são visíveis e/ou tangíveis (Soares & Teixeira, 2014).

No estudo realizado por Hicks (2007), foi feito um questionário a dez pequenas e médias empresas da Europa que serviram de base para caracterizar os desperdícios associados à gestão de informação. A análise destes desperdícios revelou quatro causas principais:

- (i) A informação não flui porque não foi gerada – o processo pode estar com algum erro, falha ou indisponível;
- (ii) A informação não é partilhada porque não há nenhum processo de envio ativo ou compatível;
- (iii) A informação é demasiada, dificultando a correta identificação da informação pretendida – há demasiadas informações a serem geradas, armazenadas e a fluir pelo sistema;
- (iv) A informação é imprecisa e necessita de ações de correção ou verificação.

A análise das quatro causas principais possibilitou a definição de quatro categorias de desperdício:

- (i) Falha na procura - inclui os recursos e tempo necessários para recuperar a falta de informação;
- (ii) Procura de informação - inclui os recursos e tempo gastos na tentativa de identificar a informação que precisa de fluir;
- (iii) Excesso de informação - inclui os recursos e tempo necessários para superar o excesso de informações;
- (iv) Informação imprecisa - inclui os recursos e tempo necessários para corrigir ou verificar as informações.

2.3. Confluência da Transformação Digital com o Pensamento *Lean*

Em 1492, Cristóvão Colombo reafirmou o que se especulava há muito tempo: o mundo era redondo e os mares podiam ser navegados em segurança. O comércio mundial que se seguiu às suas viagens aproximou os diferentes povos e culturas, causando uma revolução comercial e, uns séculos mais tarde, a primeira revolução industrial. O setor industrial foi depois crescendo em todos os âmbitos e adquirindo cada vez mais tecnologias durante o processo (Kenneth & Jane, 2012). No final do século passado, o mundo ocidental estava focado na implementação de automação e tecnologias integradas para melhorar a produção, enquanto que as indústrias japonesas desenvolviam um método de produção focado no valor para o cliente – a produção *Lean* (Sanders et al., 2016; Wagner et al., 2017).

Pouco depois, o aparecimento da Internet enquanto sistema de comunicações internacionais fez reduzir drasticamente os custos das operações e transações à escala global (Kenneth & Jane, 2012) e, atualmente, uma comunicação entre o chão de fábrica em Xangai e o centro de distribuição no Porto, por exemplo, é instantânea e virtualmente gratuita e a compra e entrega de um produto no mercado mundial pode ser concluída em menos de 24 horas. Estes feitos só são possíveis com a utilização de tecnologias, práticas *Lean* e esforços conjuntos de diferentes entidades.

Tal como discutido no capítulo 2.2.1.3 - Sistemas de Produção Ágil, embora a produção *Lean* suporte uma grande variedade de produtos, a sequência fixa de produção e os tempos fixos de ciclo que lhe estão associados não são adequados para a produção de itens únicos ou para uma produção flexível. Além disso, a base da metodologia *Lean* foi desenvolvida na época de 1950 e, por isso, não tem em conta as mais modernas tecnologias. É então no campo da produção, com especial atenção para a produção *Lean*, que surge o termo da Indústria 4.0, visando a otimização das cadeias de valor através da implementação de sistemas de produção autonomamente controlados e dinâmicos, com informações em tempo real e um sistema em rede (Kolberg & Zühlke, 2015). A utilização de ferramentas digitais e tecnológicas vem permitir às organizações uma perceção e resposta muito mais rápida em tempos incertos e turbulentos, atingindo-se melhores níveis de flexibilidade (Boyle & Scherrer-Rathje, 2009; Kenneth & Jane, 2012), que estavam em falta nos sistemas de produção *Lean* mais tradicionais. Desta forma, a implementação da Indústria 4.0 vem integrar a utilização de novas tecnologias nos sistemas de produção *Lean* existentes e ajustar os processos de negócios das organizações (Wagner et al., 2017).

Nas últimas décadas, vários estudos foram desenvolvidos no sentido de perceber a relação entre as duas abordagens. Uma pesquisa levada a cabo por Sanders et al. (2016) começou por identificar a ligação entre diferentes tecnologias da Indústria 4.0 e os vários aspetos da produção *Lean* e, posteriormente, mostrou que havia uma correlação positiva entre a produção *Lean* e a adoção de medidas de transformação digital. Entre outras, destacam-se as áreas de controlo de processos e apresentação e análise de dados como aquelas em que a transformação digital tem maior impacto. Segundo os autores, ao adotar estas medidas, as organizações são capazes de se tornar *Lean* mais facilmente, e o esforço e persistência para manter o ambiente *Lean* é menor, quando comparado a outras organizações sem sistemas de informação e comunicação modernos. Em outro estudo, realizado por Wagner et al. (2017), foi contruída uma matriz de impacto da Indústria 4.0 em sistemas de produção *Lean* com base no *feedback* de diferentes gestores de projeto da área. Os resultados mostram que as tecnologias associadas à Indústria 4.0 têm capacidade para estabilizar e suportar a aplicação de medidas *Lean*, especialmente medidas relacionadas com o *Kaizen* ou a *standardização*. Teixeira et al. (2019) referem ainda que o pensamento *Lean*, quando aplicado aos fluxos de informação, pode

ser uma excelente base para a preparação das indústrias para a adoção de medidas de transformação digital, capazes de produzir melhorias ao nível da informatização e comunicação descentralizada.

São vários os exemplos de ferramentas e procedimentos em utilização na indústria que integram as abordagens *Lean* e a transformação digital:

- A digitalização do sistema *Kanban*, denominado *e-Kanban*, onde caixas ausentes ou vazias são reconhecidas automaticamente por sensores que enviam um *Kanban* virtual para acionar o reabastecimento diretamente ao responsável dentro da organização e/ou ao fornecedor. Neste caso, ajustes de *Kanbans* devido a mudanças nos tamanhos dos lotes, processos ou tempos de ciclo são facilmente realizados (Kolberg & Zühlke, 2015);
- A automação de processos, que dispensa os trabalhadores das tarefas rotineiras e ajuda-os a concentrarem-se em tarefas diversificadas e de aprendizagem. A abordagem *Lean* aposta fortemente na capacitação dos funcionários e um dos fatores mais significativos para a insatisfação dos colaboradores é a monotonia durante o desempenho das atividades do dia-a-dia (Sanders et al., 2016);
- A utilização de interfaces homem-máquina, que oferecem uma interface padrão fácil de utilizar e apresentam as informações de forma mais apelativa, evitando erros de produção e diminuindo os defeitos e desperdícios de um processo. Para além disso, estando ligadas a um sistema central, as máquinas notificam automaticamente falhas, necessidade de reparação e podem até atualizar autonomamente o planeamento da produção (Kolberg & Zühlke, 2015; Sanders et al., 2016);
- A utilização de ferramentas digitais, que promovem melhores fluxos de informação e executam a seleção dos dados mais relevantes no chão de fábrica, permitindo eliminar os desperdícios associados ao processo de gestão da informação (Teixeira et al., 2019) e uma tomada de decisão fundamentada e informada (Castle & Harvey, 2009).

É possível constatar que, apesar das práticas *Lean* e de transformação digital representarem duas abordagens organizacionais distintas, ambas têm como objetivo a excelência operacional e favorecem estruturas descentralizadas, fáceis de utilizar e manter, em vez dos tradicionais processos e equipamentos grandes e complexos. Acredita-se, por isso, que a implementação de ferramentas *Lean* pode impactar significativamente os processos de transformação digital e vice-versa (Kolberg & Zühlke, 2015; Teixeira et al., 2019; Wagner et al., 2017).

Isto porque se, por um lado, os processos de produção *Lean* são, em comparação com outras organizações operacionais, mais padronizados, mais transparentes, reduzidos ao trabalho essencial e, por isso, menos complexos, eles têm a capacidade de facilitar e suportar a implementação de soluções relacionadas com a transformação digital em curso (Kolberg & Zühlke, 2015).

No sentido contrário, as tecnologias associadas à transformação digital, nomeadamente à Indústria 4.0, por promoverem a conectividade de máquinas, produção e outros sistemas inteligentes (Xu et al., 2018), têm capacidade para estabilizar e suportar a aplicação de medidas *Lean* (Wagner et al., 2017). Na verdade, do ponto de vista estratégico, qualquer conceito que forneça valor ao cliente está alinhado com uma estratégia *Lean* (Bhamu & Sangwan, 2014) e a transformação digital já provou ser uma ferramenta eficaz no aumento da eficiência da organização (Boyle & Scherrer-Rathje, 2009), capaz de resolver problemas e ajudar as indústrias de uma forma moderna e amigável do colaborador (Sanders et al., 2016).

Ainda existe muito campo por explorar sobre a temática. A conexão de máquinas, humanos e processos é um dilema em constante análise e podemos considerar que não há uma abordagem perfeita de integração entre a produção *Lean* e a transformação digital. No entanto, com as constantes alterações e desenvolvimentos nestas áreas do conhecimento e com as exigências dinâmicas do mercado, torna-se praticamente impossível encontrar um paradigma ou uma abordagem que responda a todas as diferentes realidades (I. Ahuja et al., 2006; Aitken et al., 2002; Wagner et al., 2017).

Capítulo 3

Projeto I

Após a exposição dos conceitos chave que enquadram teoricamente o projeto desenvolvido, o presente capítulo apresenta o primeiro projeto desenvolvido na empresa de acolhimento. Aqui, descrevem-se todas as ações implementadas no departamento de Inovação e Gestão do Produto da entidade de acolhimento. A apresentação e análise das ações levadas a cabo divide-se em quatro subcapítulos principais: o contexto industrial da organização, a utilização do BPM na análise da situação inicial da fábrica piloto e identificação de melhorias, a construção de uma ferramenta digital de auxílio ao registo de informação e gestão interna do departamento e a aplicação de ferramentas e metodologias *Lean*, nomeadamente o TPM, os 5S e a melhoria contínua.

3.1. Contexto Industrial

O trabalho desenvolvido no decorrer deste primeiro projeto enquadra-se nas funções do Departamento de Inovação e Gestão de Produto (DIGP) de uma organização que tem como ocupação central a produção de aglomerados de cortiça.

Apesar da principal matéria-prima ser a cortiça, a organização trabalha com uma variadíssima panóplia de materiais e compostos, sempre misturados com cortiça, que permitem criar produtos inovadores e desenvolver novas aplicações para o mercado. Em grande parte das situações, a cortiça utilizada é um subproduto de outras produções industriais, como a produção de rolhas, e os materiais adicionados à cortiça são de economia circular. Assim, a organização contribui para a diminuição do impacto ambiental e, simultaneamente, dá uma segunda vida a produtos em fim de vida.

O DIGP tem um papel de elevada importância na atividade da organização, abrindo caminho a novos produtos e novas aplicações. Para além de ser responsável por estudar a incorporação de novos produtos de economia circular na cortiça, desenvolver novas formulações, desenvolver novas tecnologias de processo e testar as características físicas e químicas dos materiais, é neste Departamento que, em parceria com as equipas comerciais e de *marketing*, se identificam novas oportunidades de negócio.

Fisicamente, o DIGP é constituído por um laboratório e uma fábrica piloto, onde é possível encontrar várias tecnologias de processo, ainda que em pequena escala. Ao contrário do que se encontra habitualmente na indústria, no DIGP não existe produção em massa ou uma produção contínua, uma vez que praticamente todos os dias são realizados testes diferentes. Assim, neste departamento podemos encontrar uma produção orientada a projetos. Na prática, significa que as atividades no DIGP são determinadas pelo conjunto de projetos que estão a decorrer em cada momento, o que faz com que as tarefas possuam pouca repetitividade ou padrão de produção. Por cada projeto são criados uma série de protótipos, até se chegar às condições finais desejadas e ter o produto final, ou até se ultrapassar os limites (normalmente, de tempo ou de custos) definidos e deixar-se cair o projeto. O período entre o início e o fim de cada projeto varia muito e pode ser longo, de vários meses ou, por vezes, mesmo anos.

Sob a alçada da equipa da fábrica piloto, e no seguimento da implementação de práticas *Lean* nos restantes departamentos da empresa, o emergir deste projeto é uma consequência da necessidade de superar dificuldades e colmatar lacunas sentidas a diferentes níveis. A fábrica piloto é uma instalação recente que nasceu da necessidade premente de desenvolver ideias novas para o mercado e cresceu sem terem existido preocupações extra com a organização do

espaço e a padronização de procedimentos. Devido ao facto de o departamento estar a crescer em quantidade de projetos e em número de pessoal, estas questões ganharam uma maior expressão. No entanto, por se tratar de um ambiente de inovação onde a criatividade e a flexibilidade são fatores chaves, é necessário que se desenvolva um sistema de produção ágil combinado com estratégias de produção *Lean*, nem demasiado rígido, nem demasiado indefinido, para que seja possível responder às exigências deste ambiente em específico.

O esquema da Figura 6 exhibe a estrutura organizacional existente na empresa de acolhimento, destacando-se o Departamento onde este projeto foi desenvolvido.

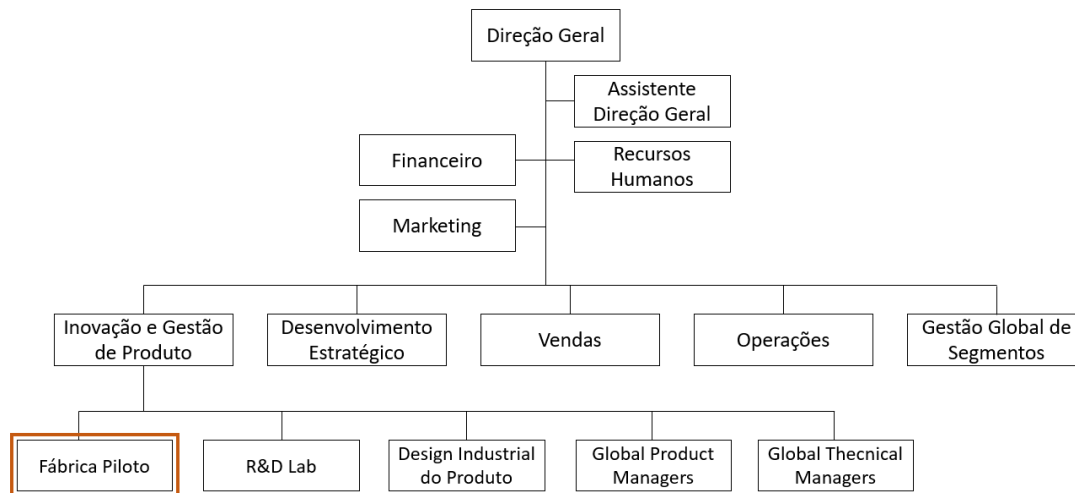


Figura 6 - Organigrama da organização de acolhimento

De seguida, será apresentado o projeto desenvolvido no Departamento Inovação e Gestão do Produto, sendo que o mesmo se subdividiu em três fases: Utilização de BPM na análise da situação inicial da fábrica piloto e identificação de melhorias; Construção de ferramenta digital de auxílio ao registo de informações e gestão interna do departamento; e, por último, Aplicação de Ferramentas *Lean*.

3.2. Utilização de BPM na análise da situação inicial da fábrica piloto e identificação de melhorias

3.2.1. Problema e Objetivos

A Figura 7 mostra o Funil de Inovação, que é o nome dado ao principal macroprocesso que acontece no DIGP. Os projetos (bem-sucedidos) seguem um conjunto de sete etapas: idealização, proposição de valor, conceção, teste, industrialização, lançamento e pós-lançamento. Existem vários *gates* ao longo do processo, representando os momentos em que um projeto pode ser deixado cair.

Neste projeto, a fase de teste (que, por norma, decorre na fábrica piloto e laboratório do departamento) será analisada detalhadamente e modelada de acordo com as regras do BPMN.

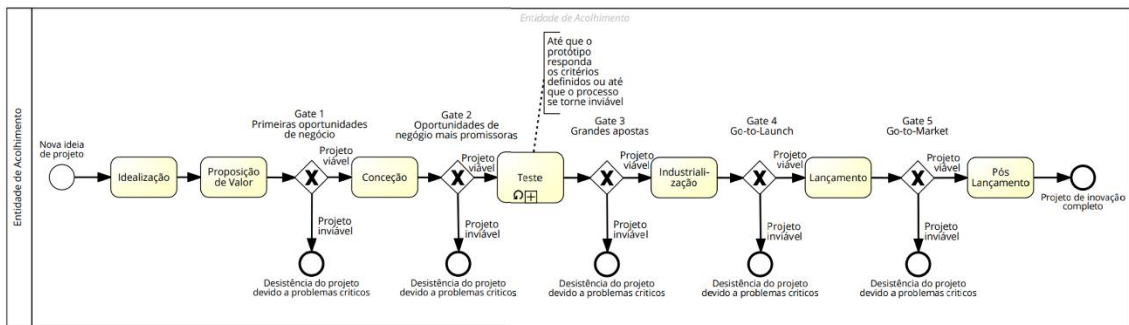


Figura 7 - Macro processo em análise

Como referido anteriormente, o DIGP possui um tipo de produção por projetos, caracterizada por uma maior complexidade de processos. Embora os projetos possuam fases em comum (macroprocesso - Figura 7), eles também podem apresentar inúmeras diferenças, como a composição das matérias-primas, as tecnologias de fabrico ou o tipo de recursos necessários. Além disso, neste tipo de sistemas os recursos de produção são compartilhados com qualquer outro projeto em que as partes envolvidas estejam a participar (Bertelsen & Koskela, 2005), aumentando a dificuldade em estimar a duração e o desempenho de cada projeto individual (Martínez et al., 1997).

Tendo em consideração estes fatores, a padronização de procedimentos torna-se uma tarefa complicada. Além disso, a estrutura organizacional do departamento é recente. Nestes anos, e embora tenham sido feitos vários esforços no sentido de melhorar os *workflows* e a organização estrutural, continua a existir um problema ao nível da gestão da informação durante a fase de teste. Apesar da escala e complexidade dos processos estar a aumentar, a maioria das informações acerca dos protótipos e projetos está armazenada em documentos não estruturados. Os dados sobre os protótipos produzidos e os testes realizados ficam guardados em múltiplas folhas de *excel* ou mesmo numa folha de papel que pode acabar perdida. As consequências dessa ação são várias, como a dificuldade de rastreamento das medidas de desempenho, dificuldade de acesso às informações, perda de informações, entre muitas outras. Além disso, não há controlo real dos consumíveis, o que ocasiona menores níveis de produtividade, uma vez que é recorrente a paragem da fase de testes do protótipo por falta de matéria-prima ou por desconhecimento da sua localização dentro da fábrica piloto.

Adicionalmente, existe um problema relacionado com o pedido de amostras de protótipos ao DIGP. A equipa comercial, por exemplo, pode requerer uma amostra de um protótipo para envio ao cliente, com o objetivo de lhe proporcionar um acompanhamento e avaliação dos desenvolvimentos de determinado projeto. Acontece que estes pedidos não têm espaço para acontecer no ERP da empresa, uma vez que se trata de produtos em desenvolvimento – os protótipos –, sem código específico, composição fixa ou tempos de *set-up* definidos. O registo de todos os protótipos no ERP da empresa, e consequente atribuição de um código, não é uma solução viável porque exige o preenchimento de inúmeros campos ainda desconhecidos durante a fase de desenvolvimento e porque, simplesmente, exige uma elevada disposição de tempo que não é rentável para o elevado número de protótipos produzidos. Por isso, os pedidos de amostras de protótipos são feitos de forma desorganizada, por e-mail ou em outras plataformas da empresa, e sem estrutura adequada para a requisição de amostras dos produtos em desenvolvimento.

Para resolver estes problemas, foi proposta a implementação de um sistema digital responsável pela gestão da informação dos protótipos e projetos, gestão do armazém e pela execução dos pedidos de amostras. Este projeto tem como objetivo determinar tarefas, cargos e

responsabilidades dos atores durante os diferentes processos e mostrar as mudanças organizacionais na implementação da solução proposta, através do recurso ao BPM. O BPM por si só não ajudou na deteção do problema (já que foi detetado pela primeira vez no chão de fábrica), mas foi útil na análise e mapeamento do processo onde o problema foi detetado.

3.2.2. Metodologia

Tendo em conta o Ciclo de Vida da Transformação Digital, apresentado na secção 2.1, e o ciclo de vida do *Business Process Management* (BPM), descrito na secção 2.1.3.1, a metodologia seguida neste projeto baseou-se na utilização conjunta dos mesmos.

Na tabela seguinte, é feita uma comparação entre as diferentes etapas de cada ciclo de vida, com o objetivo de mostrar as suas semelhanças e propor uma forma de aplicar os dois ciclos num único projeto, tal como foi feito no trabalho desenvolvido na entidade de acolhimento e apresentado neste relatório.

Tabela 3 - Proposta de aplicação de uma abordagem conjunta dos ciclos de vida da transformação digital e do BPM

| Ciclo de Vida da Transformação Digital | | Ciclo de Vida do BPM | Passos |
|--|----------------------------|----------------------|---|
| Compreensão | Procura | Identificação | - Conhecimento do projeto / processo em mãos (caracterização e documentação), práticas e expectativas do setor. - Representação de modelos de processo <i>AS-IS</i> . |
| | | Descobrimto | |
| | Análise | Análise | - Determinação de objetivos e fatores críticos de sucesso. - Identificação de papéis relevantes, oportunidades e formas de melhorar. |
| Inovação | Design | Re(Design) | - Definição de uma nova estratégia por meio da reengenharia ou desenho de um processo <i>TO-BE</i> . - Quantificação de riscos e organização de recursos. |
| | Desenvolvimento | | |
| Transformação | Execução | Implementação | - Implementação das soluções representadas no modelo <i>TO-BE</i> . - Padronização e integração dos processos |
| Melhoria Contínua | Controlo | Monitorização | - Controlo das operações em curso e supervisão do desempenho do processo. - Avaliação de pontos problemáticos e, se necessário, desenvolvimento de <i>roadmaps</i> de mudança. |
| | Otimização e Aprimorização | | |

3.2.3. Resultados

Conforme se pode constatar na Figura 35 – Modelo AS-IS da fase teste do macroprocesso, no Anexo I

I, esta inicia-se quando a definição conceptual (que é a fase anterior do macroprocesso) é finalizada. Esta etapa do funil de inovação é responsável pelo desenvolvimento físico do novo produto e decorre em *loop*, até que os resultados desejados para o novo produto sejam alcançados, ou até que o processo exceda o número máximo de tentativas ou exceda o orçamento. Todas essas condições são definidas na etapa anterior do funil de inovação, não estando diretamente relacionadas com a fase de teste e, portanto, esse processo específico não está representado graficamente neste trabalho. A fase de teste envolve várias tarefas, desde o desenvolvimento das formulações dos protótipos a serem produzidos, até ao teste das características físicas e químicas.

Durante a análise das tarefas realizadas nesta fase, através da representação BPMN, foram identificadas as causas principais dos problemas identificados anteriormente, nomeadamente:

- (i) existência de registos manuais (elevado tráfego de papéis);
- (ii) descentralização e fragmentação da informação;
- (iii) baixo nível de gestão de informações em tempo real;
- (iv) nenhum sistema de controlo de consumíveis.

Um dos aspetos mais relevantes nesta situação é a execução ainda muito manual de alguns processos. Em primeiro lugar, não existe um local específico (nuvem/sistema informático) para armazenar dados e informações distintas, mas sobre o mesmo protótipo, como a declaração de produção, a caracterização da formulação e processo ou ainda os resultados de testes físicos e químicos em laboratório. Além disso, estes documentos são elaborados por diferentes atores – supervisor, técnico de laboratório ou até o gestor de projeto -, promovendo a descentralização da informação. Por isso, se surgirem problemas futuros com o protótipo ou se for necessário verificar as informações do projeto, pode ser difícil procurar ou encontrar as informações novamente.

Até ao momento, foram feitas algumas tentativas no sentido de normalizar o armazenamento das informações, porém não houve comprometimento suficiente para que a padronização fosse possível, seja porque o sistema tecnológico era muito complexo ou porque não era adequado para os elevados níveis de variedade e flexibilidade existente quando se tem uma produção por projeto.

Em relação ao último problema identificado, a falta de um sistema de controlo de consumíveis, as suas consequências também são várias e amplamente conhecidas, como o atraso na entrega do produto ao cliente (seja interno ou externo), mau atendimento, paralisação da produção ou aumento de despesas.

Neste ponto, na metodologia seguida neste projeto, representada na Tabela 3, o (re)design do processo é o próximo passo a ser colocado em prática. Esta etapa pede a apresentação de uma proposta para uma nova estratégia, por meio da reengenharia ou desenho de um processo *TO-BE*, representado na Figura 36, no Anexo I

As principais diferenças entre o processo *TO-BE* e o *AS-IS* centram-se na implementação de uma ferramenta digital, também denominada aplicação ou plataforma, de forma indistinta, durante as próximas secções. Com a sua implementação, pretende-se interligar os documentos de produção não estruturados e criar um sistema digital e acessível a todos, que permita uma gestão adequada da informação, através da centralização e disponibilização dos dados em tempo real.

Conforme mencionado, o objetivo desta fase do projeto passou pela identificação de possíveis melhorias e apresentação das mudanças organizacionais aquando da implementação da solução proposta, utilizando o BPMN. Estes objetivos foram concretizados durante a análise do problema, na secção 3.2.1, e através da representação do processo *TO-BE*, no Anexo I

. A representação do processo *TO-BE* também permitiu esclarecer e controlar as circunstâncias e a execução do processo nesta fase específica, determinar tarefas, funções e responsabilidades dos diferentes atores e mostrar graficamente o que acontece durante a fase de testes dos protótipos, o que pode servir para contextualizar e enquadrar pessoas externas ao departamento.

3.2.4. Considerações Finais

O trabalho realizado nesta fase focou-se no problema causado pela grande quantidade de dados armazenados em vários documentos sem nenhuma organização específica ou de fácil acesso. Neste campo, o BPM ofereceu uma base sólida de análise do problema e idealização da proposta de solução, capturando diferentes características do sistema e, conseqüentemente, o conhecimento organizacional.

A solução proposta, envolvendo transformação digital, tem capacidade de análise de dados e aumento da disponibilidade de informações. O BPMN mostrou graficamente como ficará o processo após a implementação da solução proposta. São vários os resultados positivos que advêm da implementação da ferramenta digital, dos quais se destacam o aumento da padronização, monitorização e interconexão de processos e informações, tornando o sistema mais eficiente e com altos níveis de comunicação, desempenho e transparência.

Algumas limitações ao estudo desenvolvido prendem-se com a elevada diversidade de projetos do departamento, o que dificultou a representação detalhada da fase de teste, e com a falta de representação da participação de atores externos ao processo, nos modelos *AS-IS* e *TO-BE*. No entanto, para além desta participação ser pontual e isolada, também é caracterizada por uma grande variedade relativamente a quando, quem e onde irá interagir com o sistema.

A proposta foi validada pela empresa de acolhimento em questão e o desenvolvimento da solução será apresentado na secção seguinte deste capítulo: 3.3 - Construção de ferramenta digital de auxílio ao registo de informações e gestão interna do departamento.

3.3. Construção de ferramenta digital de auxílio ao registo de informações e gestão interna do departamento

3.3.1. Problema e Objetivos

Tal como foi referido no ponto anterior deste relatório, a aquisição, registo e tratamento de dados no chão de fábrica da entidade de acolhimento é bastante rudimentar ou mesmo inexistente, provocando problemas como redundância e inconsistência de dados ou falha de disponibilidade e partilha dos mesmos. Para além disso, aos dados que efetivamente são recolhidos não é atribuído qualquer significado e, portanto, muita da informação que pode potenciar uma melhor gestão é ignorada.

O primeiro objetivo traçado para esta segunda fase do projeto foi a construção de uma ferramenta digital onde fosse possível registar e guardar os dados relativos à produção de protótipos, de forma a promover uma boa gestão de informação e entender o estado real da fase teste do funil da inovação. Adicionalmente, e uma vez que se pretende trabalhar com uma estrutura de dados completamente diferente do que havia anteriormente no departamento, foi traçado um segundo objetivo: a criação de novos indicadores de performance. Uma vez que, até ao início deste projeto, a informação do chão de fábrica tinha um volume muito reduzido e falta de qualidade, e, por isso, ainda não tinha sido possível criar qualquer *dashboard* que permitisse a análise de KPI's (*key performance indicators*). A inexistência de dados de qualidade prontamente disponíveis tornava especialmente complicada a tomada de decisões fundamentadas e informadas. Portanto, o objetivo final relacionado com a criação de *dashboards* é a apresentação de uma visão geral e 'agradável' de informações ao utilizador, facilitando a interpretação dos dados resultantes da produção da fábrica piloto.

Para melhor caracterizar a solução proposta, foi realizada uma análise segundo a metodologia 5 *Why's and 2 How's* (5W2H). Os resultados estão patentes na Tabela 4.

Tabela 4 - 5 *Why's and 2 How's*

| | |
|---------|--|
| O quê? | Criação e implementação de uma ferramenta digital. |
| Quem? | Márcia Silva. |
| Porquê? | Para promover uma boa gestão de informação, com acesso a informações centralizadas, organizadas e disponíveis a todos. |
| Onde? | <i>Power Platform da Microsoft.</i> |
| Quando? | De nov/2020 a abr/2021. |
| Como? | Abordagem RUR. |
| Quanto? | Investimento num computador e numa impressora de etiquetas. Tempo de trabalho despendido na execução das tarefas associadas ao processo de criação e implementação da ferramenta digital. |

3.3.2. Metodologia

Durante o desenvolvimento da solução proposta, seguiu-se uma abordagem iterativa e incremental, nomeadamente o RUP (*Rational Unified Process*). Neste tipo de abordagens, parte-se de um subconjunto simples de dados e vão-se desenvolvendo sucessivas versões da solução a propor, até se chegar ao resultado desejado (Kruchten, 2002). Uma equipa de desenvolvimento que utilize a abordagem RUP trabalha em estreita colaboração com os parceiros, clientes e outros utilizadores relevantes no processo de forma a promover uma atualização e melhoria contínua das suas funcionalidades através do *feedback* destes *stakeholders* (Anwar, 2014).

O RUP é uma abordagem orientada a objetos que utiliza uma notação específica, a *UML - Unified Modeling Language*, para modelação e representação dos processos (Kruchten, 2002). Esta abordagem é bastante popular entre os profissionais da área, uma vez que é capaz de apresentar diferentes pontos de vista funcionais e diferentes tipologias de dados (Ozkaya & Erata, 2020). Em vez de se focar na produção de uma grande quantidade de documentos, a metodologia RUP foca-se no desenvolvimento e manutenção de modelos e na representação semântica do sistema em desenvolvimento (Anwar, 2014).

Um projeto RUP tem seis processos principais que são continuamente revistos ao longo do tempo: a modelação de negócio, a definição de requisitos, a análise e *design* do sistema, a implementação, os testes e, finalmente, a implantação (Anwar, 2014). Normalmente, cada iteração inclui os diferentes processos principais, ainda que exista um maior foco em diferentes processos, à medida que o tempo avança, como é visível na Figura 8.

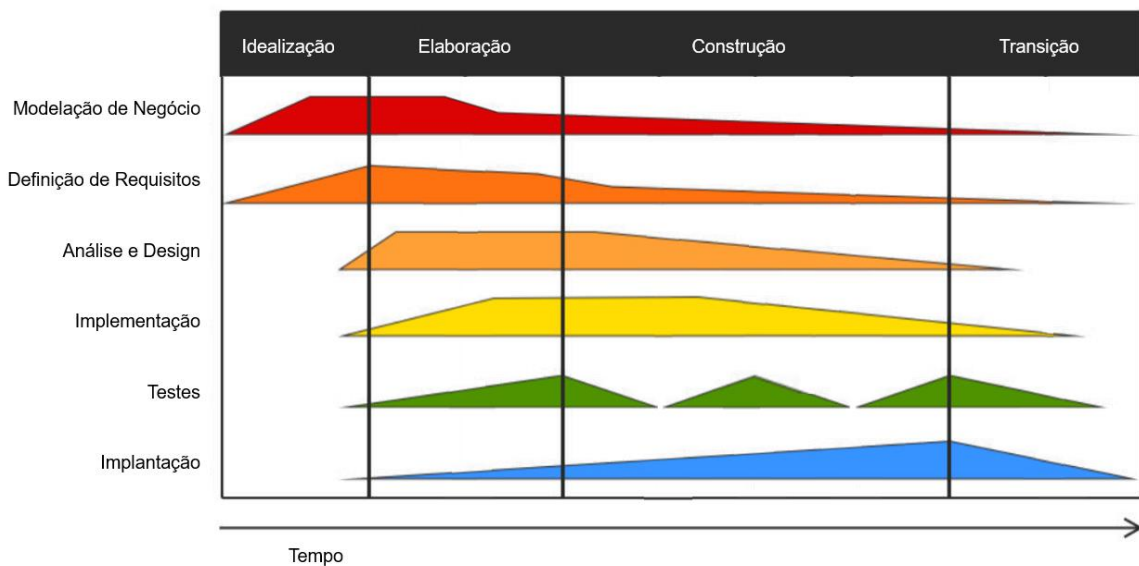


Figura 8 - Abordagem RUP (Adaptado de Anwar, 2014)

Para o desenvolvimento do projeto apresentado neste relatório, os subprocessos de cada um dos processos principais foram:

Tabela 5 - Subprocessos aplicados durante a abordagem RUP

| | |
|-------------------------|--|
| Modelação de negócio | <ul style="list-style-type: none"> • Compreensão da dinâmica e estrutura da entidade de acolhimento; • Análise do problema; • Identificação de potenciais melhorias. |
| Definição de requisitos | <ul style="list-style-type: none"> • Definição das necessidades técnicas e funcionalidades necessárias para que a solução responda ao problema em questão. |
| Análise e <i>design</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Análise e escolha do <i>software</i> a utilizar; • Desenho conceptual e modelo relacional de dados; • Programação das funcionalidades definidas. |
| Implementação | <ul style="list-style-type: none"> • Execução da aplicação desenvolvida. |
| Testes | <ul style="list-style-type: none"> • Verificação da correta interação entre os dados, fluxos de comunicação, conexão de diferentes plataformas, e outros erros funcionais. |
| Implantação | <ul style="list-style-type: none"> • Lançamento da aplicação; • Sessões de formação com os utilizadores; • Construção de um guia explicativo de auxílio aos utilizadores; • Aceitação formal da aplicação. |

Esta metodologia foi a escolhida uma vez que permite ter todas as fases em aberto. A cada versão desenvolvida, foi feita uma apresentação à organização de acolhimento onde se refletiu sobre a introdução de novas funcionalidades e/ou a exclusão de outras que não respondiam aos requisitos necessários.

3.3.3. Resultados

3.3.3.1. Modelação da ferramenta digital

A ferramenta criada apresenta-se como uma solução interna para o registo de protótipos, acompanhando também os projetos em desenvolvimento e o nível de *stock* de diferentes materiais. A necessidade de registo dos projetos de forma mais formal foi identificada numa das reuniões de apresentação de uma das versões da ferramenta.

No entanto, essa não foi a única funcionalidade que foi adicionada após o início do desenvolvimento da ferramenta. Quando o seu desenvolvimento já estava numa fase mais avançada, numa das reuniões de *feedback*, chegou-se à conclusão que seria benéfico adicionar à plataforma a possibilidade de submeter pedidos de amostras de protótipos. Algo que, até então, não tinha uma forma adequada para se fazer, tal como foi mencionado na secção 3.1 - Contexto Industrial. Desta forma, numa nova iteração durante o projeto de desenvolvimento da aplicação, foram adicionados novos requisitos, refeitos os diagramas de dados e o modelo relacional e realizadas novas execuções do programa, até se chegar ao resultado desejado.

A modelação da base de dados foi realizada em UML (*Unified Modeling Language*), com o objetivo de representar as funcionalidades da ferramenta, os dados recolhidos e alguns dos procedimentos principais. Neste trabalho são apresentados três diagramas distintos: o diagrama de classes, considerado como sendo a melhor opção em termos de estrutura funcional de dados; o diagrama de *use-case*, especialmente útil na identificação de funcionalidades acessíveis a cada ator; e o diagrama de atividades, utilizado para decompor atividades complexas em subatividades mais simples.

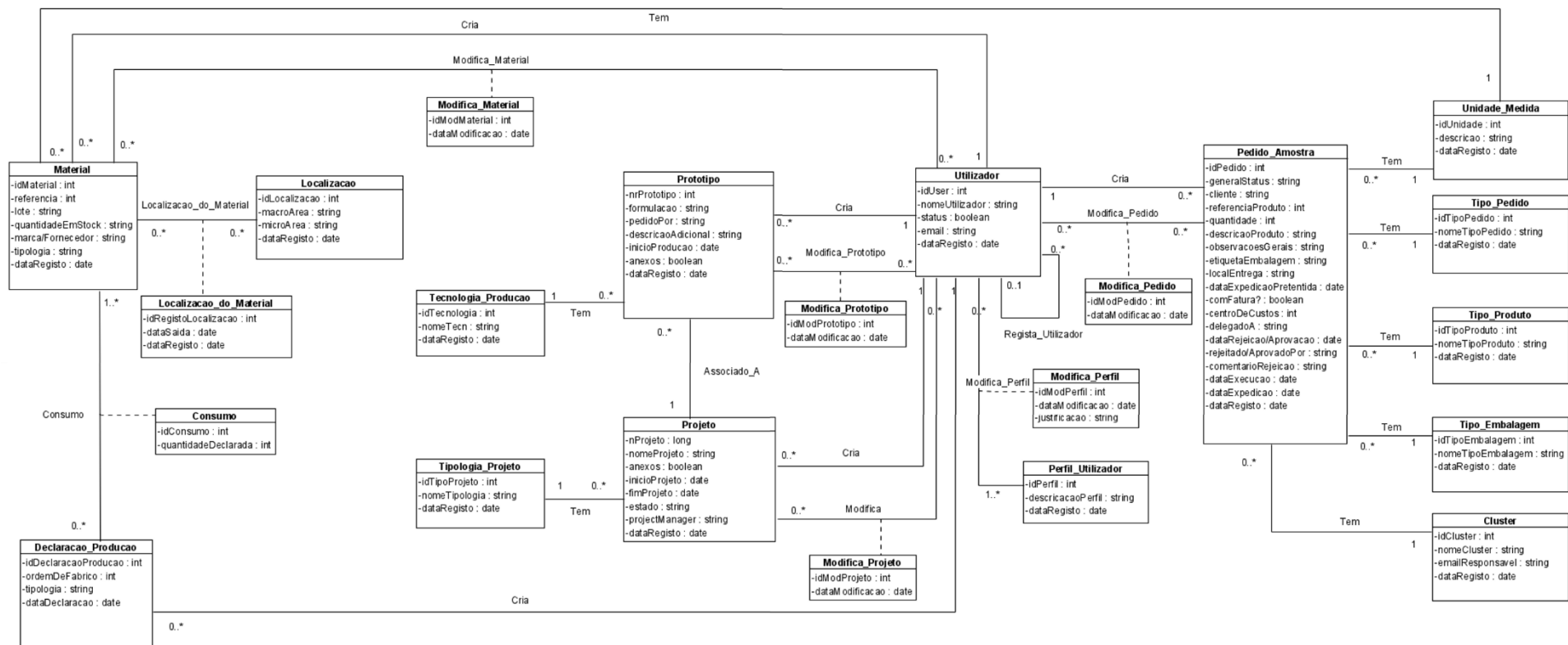


Figura 9 - Diagrama de Classes

Na Figura 9 pode ver-se o diagrama de classes da aplicação desenvolvida. Este diagrama apresenta as classes, os atributos, as operações e as diferentes relações entre objetos. Adicionalmente, também apresenta a tipologia dos atributos, ou seja, a forma como a informação é guardada (*string*, *int*, *date*, etc.).

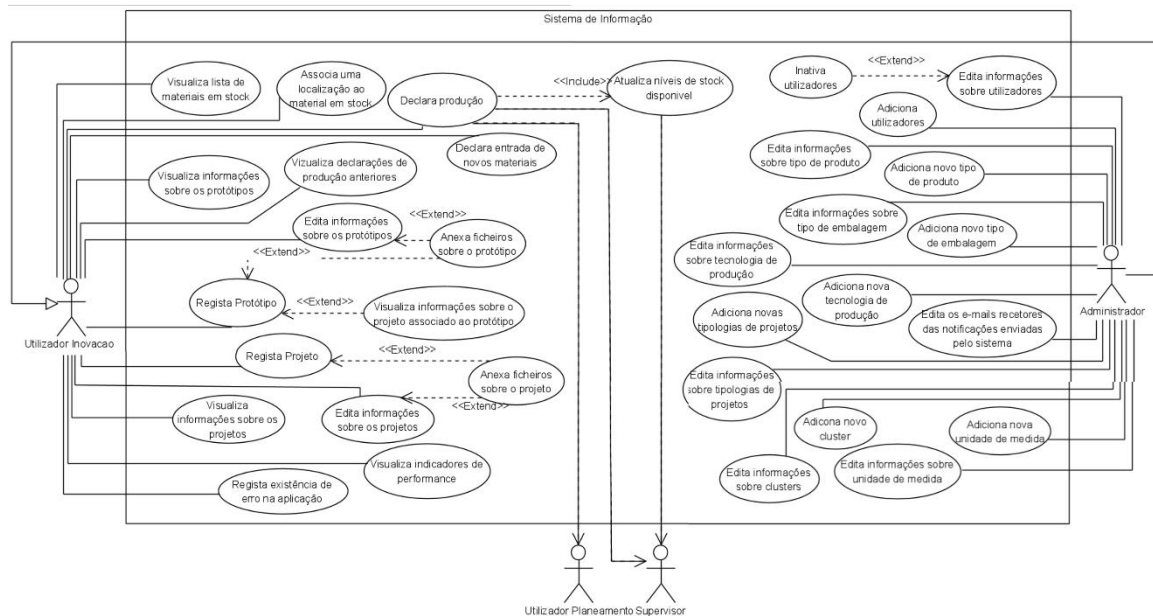


Figura 10 - Diagrama de Use-Case 1

Considerando o diagrama de *use-case* apresentado na Figura 10, referente às funcionalidades de registo de consumos e localizações de materiais, existem quatro tipos de atores, denominados, daqui para a frente, de utilizadores, que interagem com o sistema ou o sistema com eles. O utilizador da inovação deve ser capaz de visualizar a lista de materiais em *stock*, associar-lhes uma localização, declarar a sua entrada em sistema, declarar produção e ver o histórico das declarações de produção. Ao declarar produção, são imediatamente enviadas duas notificações, ao utilizador da logística e ao supervisor e, automaticamente, o sistema atualiza os níveis de *stock* disponíveis. Se os níveis mínimos de *stock* forem atingidos, o sistema emite uma notificação e envia-a ao supervisor, tal como foi representado no desenho do processo *TO-BE*, representado na Figura 36, no Anexo I.

Adicionalmente o utilizador da inovação deve poder ver, registar e editar informações sobre os protótipos, sendo-lhe apresentada a hipótese de anexar ficheiros sobre o mesmo. As mesmas funcionalidades estão disponíveis para o registo de informações sobre os projetos. A relação entre os dois registos é visível na análise do diagrama de classes (Figura 9): sempre que se regista um protótipo, este é associado a um projeto. Ou seja, um protótipo é referente a um e só um projeto e um projeto pode ter vários protótipos.

Para além disso, o utilizador da inovação deve conseguir ver os indicadores de performance e registar a existência de um erro na aplicação.

Todos os *use-cases* mencionados anteriormente devem estar acessíveis ao ator administrador. Para além destes *use-cases*, o administrador de ser capaz de registar e editar uma série de informações, como as tecnologias de produção ou o tipo de embalagem, e adicionar, remover ou editar os utilizadores do sistema.

Os atores representados no canto inferior da Figura 10, utilizador do planeamento e supervisor, são atores passivos que não iniciam nenhum *use-case* mas participam no sistema uma vez que recebem diferentes tipos de notificações geradas automaticamente.

De seguida, na Figura 11, apresenta-se o *use-case* relacionado com a requisição e execução de um pedido de amostra. Uma vez que existem vários atores envolvidos no processo e o fluxo de comunicação é mais complexo, havendo várias notificações geradas automaticamente, foi elaborada uma representação gráfica através do BPMN (Figura 12).

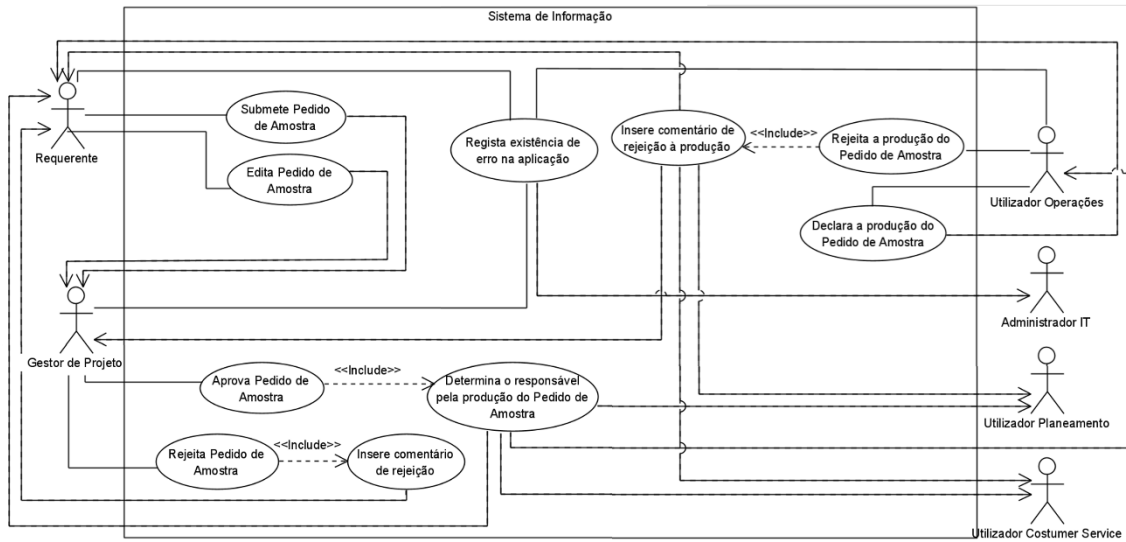


Figura 11 - Diagrama de Use-Case 2

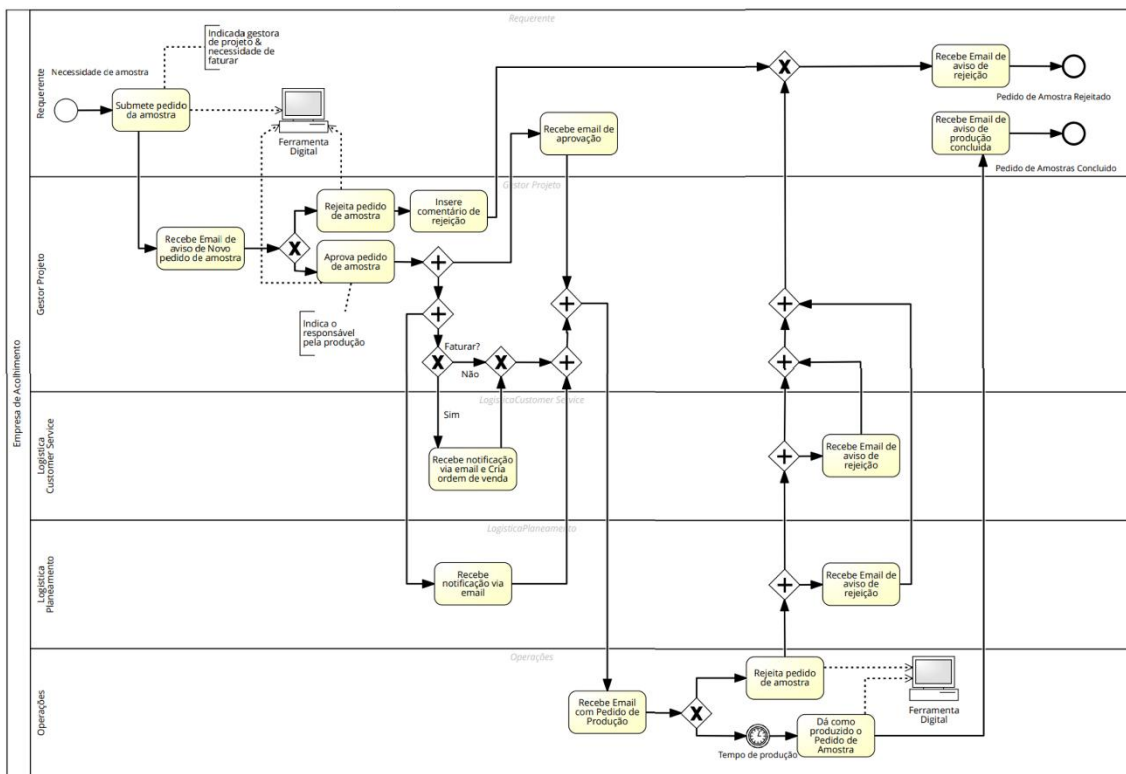


Figura 12 - Representação BPMN do processo de pedidos de amostras

Através da análise dos diagramas anteriores (Figuras 11 e 12), pode ver-se como acontece o processo de pedido de amostra, desde o momento em que o requerente o submete até à amostra ser produzida ou o pedido ser rejeitado. Existem diversas notificações que são enviadas pela ferramenta digital para diferentes atores. Quando o pedido é submetido pelo requerente, o gestor de projeto correspondente recebe a notificação e deve aprovar ou rejeitar o pedido. Se aprovar, são enviadas, pelo menos, três notificações: ao requerente, ao planeamento e ao responsável pela produção da amostra. Adicionalmente, se a amostra for para faturar (indicação dada pelo requerente durante a submissão do pedido), o *customer service* recebe a última notificação e emite a ordem de venda da amostra. Se o gestor de projeto rejeitar o pedido, este deve inserir um comentário sobre a rejeição e o sistema envia apenas uma notificação: ao requerente.

Quando o responsável pela produção da amostra, nas operações, recebe a aprovação do pedido de amostra por parte do gestor de projeto, este pode produzir a amostra, declarando formalmente a produção no sistema e notificando o requerente; ou rejeitar o pedido. No caso de o pedido ser rejeitado pelo responsável das operações, todos os utilizadores notificados aquando da aprovação do pedido pelo gestor de projeto são novamente notificados.

Para evitar a dupla notificação dos atores, seria lógico que os departamentos de planeamento e *customer service* recebessem as notificações apenas quando uma amostra é declarada como produzida. No entanto, devido a processos administrativos que demoram tempo, estes setores devem ser notificados assim que há intenção de se produzir uma amostra. Para além disso, não é frequente a rejeição de um pedido de amostra por parte de um utilizador das operações.

Na Figura 13 apresenta-se o diagrama de atividades de um registo de protótipo e impressão da respetiva etiqueta. Este diagrama permite representar o fluxo do processo através da definição de caminhos possíveis que podem ser levados a cabo desde o momento em que o utilizador acede à ferramenta para registar um protótipo, até ao envio do comando para impressão da etiqueta, e mostra as diferentes interações entre o utilizador e as plataformas envolvidas.

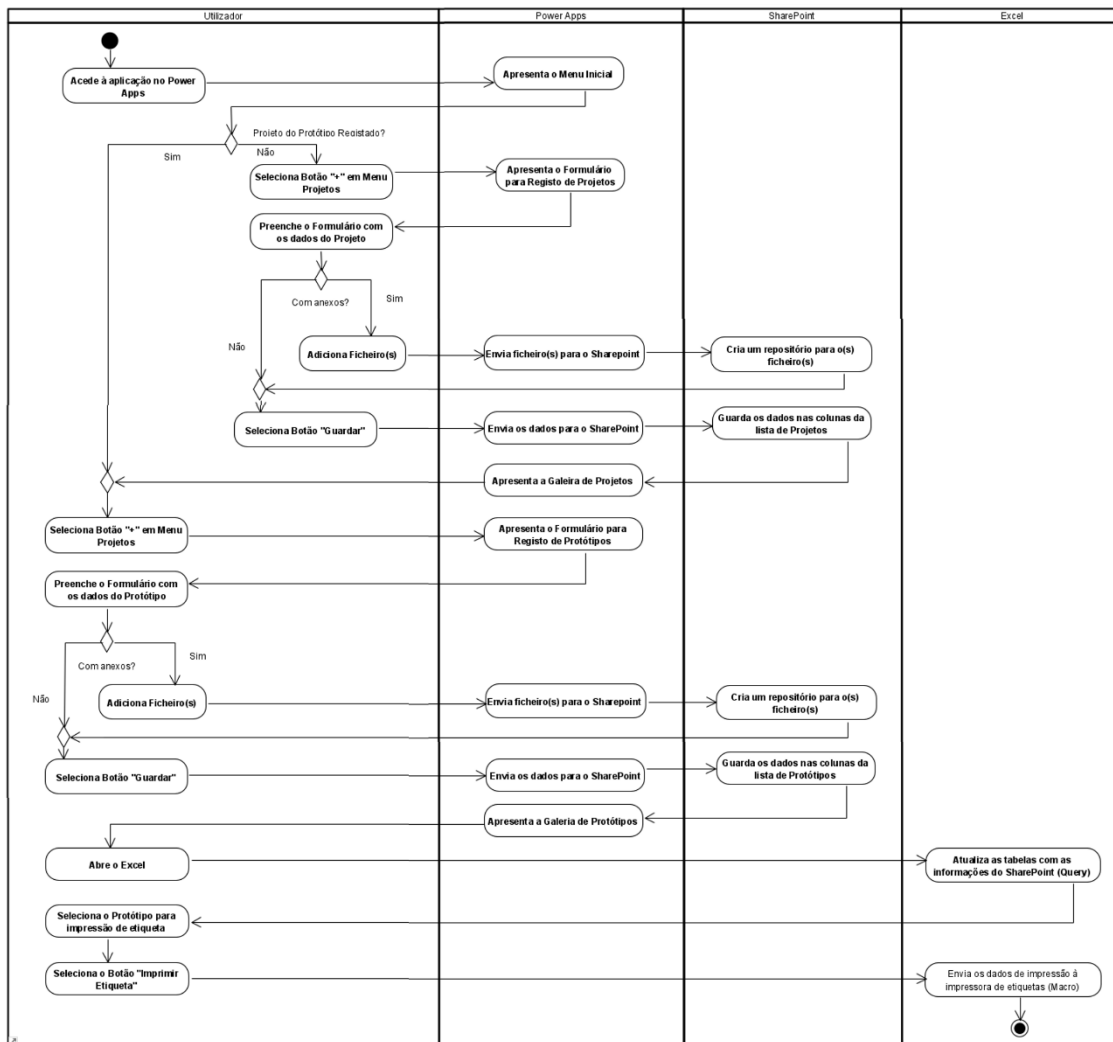


Figura 13 - Diagrama de Atividades do "Registo de Protótipo"

3.3.3.2. Escolha do software de desenvolvimento

Antes do início do desenvolvimento da ferramenta digital, procedeu-se a uma análise dos softwares disponíveis no mercado. Foram analisadas as características de softwares como o SharePoint, o Power Apps, o MySQL, o Access e o Excel. Inicialmente, escolheu-se desenvolver a ferramenta em Excel, com aplicação de VBA (Visual Basic for Applications) por dois motivos principais. Primeiro, porque a interface do Excel é conhecida por todos os utilizadores finais da ferramenta que, a dada altura, já trabalharam com Excel. Depois, porque a linguagem VBA, apesar de antiga, é relativamente simples e fácil de trabalhar, para além de que existem inúmeros fóruns de discussão e outras informações online onde é possível esclarecer dúvidas facilmente.

No entanto, com o desenvolvimento de mais e mais funcionalidades na ferramenta digital, e conseqüente aumento do volume de código VBA associado, o Excel deixou de conseguir, de forma rápida e eficaz, processar tudo o que lhe era requerido. Apesar de ser uma ferramenta matematicamente muito potente, quando falamos da sua capacidade de cruzamento de dados e processamento de código, o Excel deixa de ser tão eficiente. Assim, voltou-se a

analisar os *softwares* iniciais, com especial foco no *Power Apps*, *Access* e *Excel*, construindo-se uma tabela comparativa (Tabela 6).

Tabela 6 - Tabela comparativa dos diferentes softwares

| | <i>Acess</i> | <i>Excel + VBA</i> | <i>Power Apps</i> | |
|--|--------------|--------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Reconhecido pelos utilizadores finais | ✓ | ✓ | ✗ | |
| <i>User Friendly</i> (para o desenvolvedor) | ✓ | ✗ | ✓ | |
| Acesso <i>Online</i> | ✗ | ✓ | ✓ | |
| Flexível | ✓ | ✗ | ✓ | |
| Grande capacidade de cruzamento de informações | ✓ | ✗ | ✓ | |
| Guias de auxílio <i>online</i> | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Matematicamente potente | ✗ | ✓ | ✗ | |
| Avaliação | 7 / 14 | 7 / 14 | 9 / 14 | Legenda: ✓ = 2 ✓ = 1 ✗ = 0 |

Assim, através de uma análise mais cuidada das características chaves para o desenvolvimento da ferramenta, escolheu-se o *Power Apps*, um software pertencente à *Power Platform* da Microsoft, que engloba também outros *softwares*, nomeadamente o *Power BI*, o *Power Flow* e o *Power Virtual Agents*.

O *Power Apps* é um *software low-code* que funciona totalmente *online*, aproveitando-se da tecnologia IoT para disponibilizar as informações mais recentes, a qualquer altura e a qualquer utilizador com acesso à aplicação. Apesar de ser *low-code*, o *Power Apps* possibilita a utilização de outras linguagens de programação aos seus utilizadores e, para o desenvolvimento de uma vista mais complexa, foi utilizada a linguagem html.

Por si só, o *Power Apps* não tem capacidade de armazenar os dados e, por isso, é necessário escolher um local onde armazenar os dados que são recolhidos, visualizados e editados no *Power Apps*. Neste caso, para a solução desenvolvida no âmbito deste projeto, escolheu-se o *SharePoint*, uma plataforma pertencente à mesma empresa e com linguagem semelhante.

As informações são introduzidas e editadas no *Power Apps* através de formulários, e visualizadas em galerias. Quando se guarda um formulário, gera-se um fluxo automático que envia as informações introduzidas para o *SharePoint*. Na prática, é adicionada mais uma linha à tabela onde se querem armazenar os dados. O utilizador não necessita de aceder ao *SharePoint* para ver informações das tabelas uma vez que o *Power Apps* foi programado para, de forma centralizada, ter capacidade de recolher, editar e disponibilizar as informações.

No entanto, para além do *SharePoint*, existem outros *softwares* de apoio à aplicação desenvolvida. Nomeadamente, o *Power BI*, que é utilizado para tratamento dos dados armazenados no *SharePoint* e que está englobado num *screen* da aplicação onde se pode aceder aos *dashboards* criados. O cálculo de indicadores é realizado diretamente sobre as informações armazenadas no *SharePoint* e, uma vez que estas estão permanentemente *online*,

foi possível programar uma atualização automática dos dados, agendada para acontecer diariamente, mantendo os *dashboards* desenvolvidos com as informações mais recentes.

Há ainda outros *softwares*, como o *Outlook*, que recebe as notificações automáticas enviadas pelo sistema, via e-mail; e o *Excel*, que possui uma *query* para consultar os dados armazenados no *SharePoint* e uma macro para impressão automática de etiquetas, bastando seleccionar qual o registo a imprimir, quantidade de cópias e o botão programado para o efeito. O *Excel* é necessário porque o *Power Apps*, aquando do desenvolvimento da aplicação, não tinha a funcionalidade de impressão e, por isso, foi necessário criar uma macro.

De forma a facilitar a análise e compreensão das relações entre *softwares* e respetivos fluxos de informação, elaborou-se o esquema presente na Figura 14.

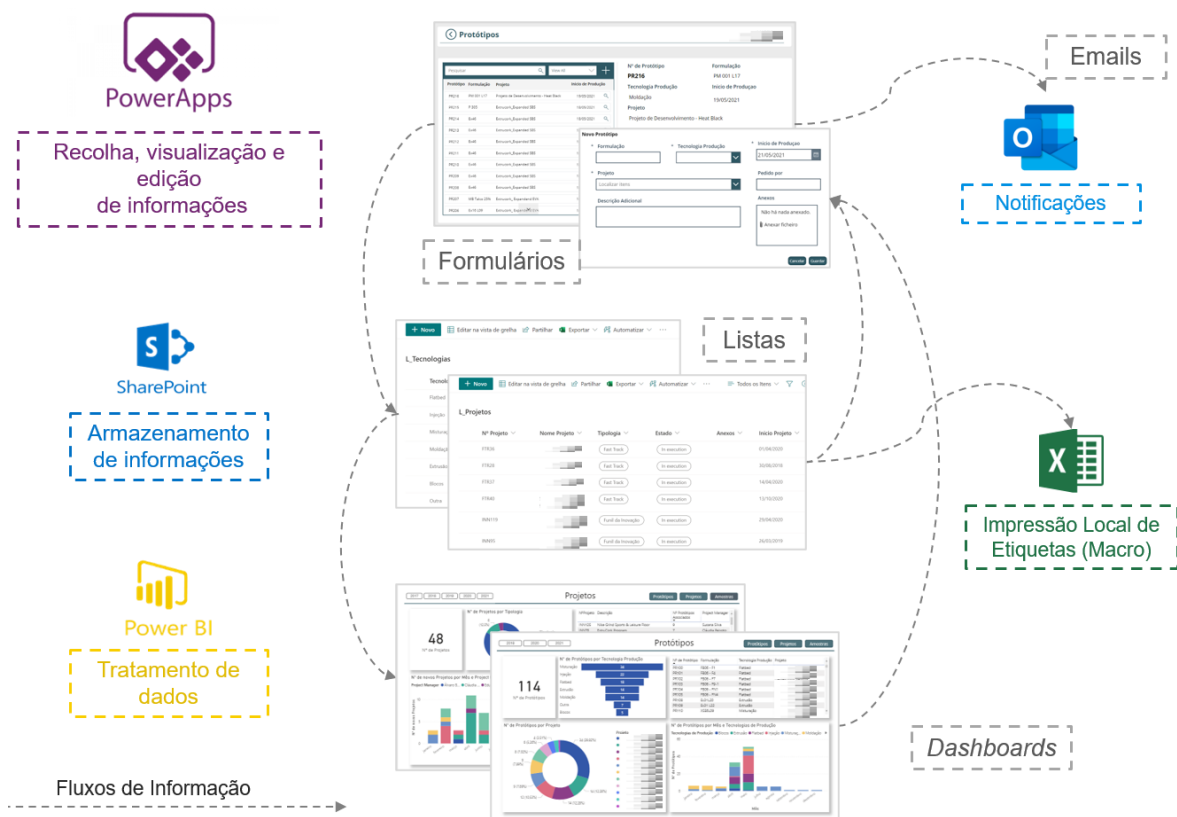


Figura 14 - Relação entre os *softwares* utilizados

3.3.3.3. Apresentação da aplicação desenvolvida

Nesta secção, apresenta-se o *front-end* da aplicação desenvolvida, ou seja, a sua “cara”. Até se chegar à versão final aqui apresentada, foram necessários vários testes para verificação dos fluxos de dados e a correta conexão entre as diferentes plataformas. Por motivos de confidencialidade, todas as figuras terão certas informações ocultas, referentes a dados específicos da entidade de acolhimento.

Ao entrar, a plataforma faz a verificação do utilizador que, por definição, tem de ser interno à organização. Após autenticação no sistema, o utilizador terá acesso a uma área no

sistema onde poderá ativar vários botões num menu lateral. De forma muito simples, o utilizador pode escolher qual o *screen* a que quer aceder de seguida – relacionado com o pedido de amostras (segundo, terceiro e quarto botões), registo de protótipos e projetos (quinto botão, que se subdivide em outros dois botões, tal como na figura abaixo), declaração de produção e controlo de *stocks* (sexto botão, também ele dividido em outros dois) e análise de KPI's (sétimo botão) (Figura 15).

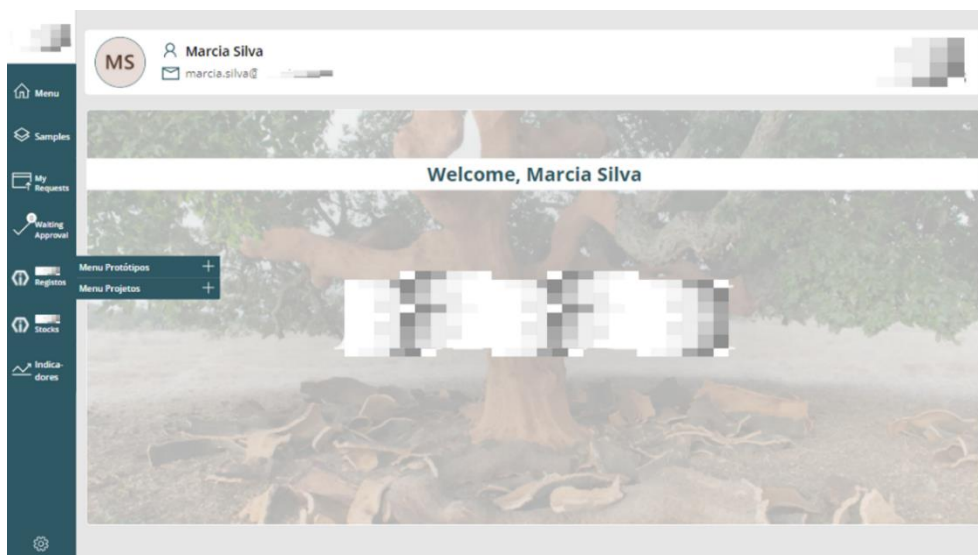


Figura 15 - Screen do menu principal da aplicação

Ao selecionar o segundo botão, “Samples” o programa navega para o formulário referente ao pedido de amostras (Figura 16). Aqui, e em todos os formulários apresentados neste relatório, os campos (que, na linguagem UML, representam os atributos da tabela) com * são de preenchimento obrigatório. A chave primária desta tabela, idpedido, é atribuída automaticamente pelo sistema, quando um novo registo é guardado. O mesmo acontece para as restantes chaves primárias das outras tabelas em todo o SI desenvolvido.

Figura 16 - Screen “Samples and Catalogs Request”

O terceiro botão, "My requests" apresenta ao utilizador todos os pedidos de amostras que lhe estão associados, seja porque é o requente, o gestor de projeto associado ou o utilizador das operações responsável pela produção da amostra (Figura 17). Se um utilizador que não é o requente, o gestor de projeto ou o responsável das operações de pelo menos um pedido de amostra, então, ao aceder a este *screen*, verá a galeria de informações totalmente vazia. Se existir alguma linha na galeria apresentada com uma cor avermelhada, como na Figura 17, isso significa que a produção da amostra está atrasada.





| SCR N° | Requested Date | Product Description | Qty. | Unit | Client | Status | Date of the Request | Requested by |
|---------|----------------|---------------------|------|--------|--------|----------------------|---------------------|--------------|
| SCR1054 | 18/05/2021 | | 1 | | | Waiting for Approval | 23/05/2021 16:05 | |
| SCR1041 | 30/04/2021 | | 2 | Kg | | Concluded | 13/04/2021 17:37 | |
| SCR1040 | 30/04/2021 | | 2 | Kg | | Rejected | 11/04/2021 12:07 | |
| SCR1039 | 21/04/2021 | | 20 | Kg | | Concluded | 11/04/2021 11:55 | |
| SCR1038 | 21/04/2021 | | 20 | Bag | | Waiting for Approval | 09/04/2021 11:45 | |
| SCR1037 | 21/04/2021 | | 20 | Bag | | Rejected | 07/04/2021 16:15 | |
| SCR1036 | 22/03/2021 | | 5 | Bag | | Concluded | 07/04/2021 13:51 | |
| SCR1035 | 24/03/2021 | | 5 | Bag | | Concluded | 07/04/2021 13:50 | |
| SCR1034 | 25/03/2021 | | 25 | Meters | | Concluded | 07/04/2021 13:49 | |
| SCR1033 | 23/03/2021 | | 3 | Meters | | Concluded | 06/04/2021 14:50 | |
| SCR1032 | 20/03/2021 | | 440 | Kg | | Concluded | 06/04/2021 10:34 | |

Figura 17 - Screen "My Requests"

O último botão relacionado com os pedidos de amostras é denominado "Waiting for Approval" e o acesso a este *screen* está bloqueado a qualquer utilizador que não tenha o perfil de gestor de projeto ou administrador. Aqui, é possível aprovar (botão ✓) ou rejeitar (botão ✗) o pedido (Figura 18). Qualquer que seja o caso, notificações pop-up são apresentadas pelo sistema, seja para delegar a produção da amostra num responsável das operações, seja para inserir o comentário de rejeição do pedido.

| SCR N° | Requested Date | Product Description | Qty. | Unit | Client | Date of the Request | Requested by |
|---------|----------------|---------------------|------|------|--------|---------------------|--------------|
| SCR1054 | 18/05/2021 | | 1 | | | 23/05/2021 16:05 | |
| SCR1038 | 21/04/2021 | | 20 | Bag | | 09/04/2021 11:45 | |

Figura 18 - Screen "Waiting for Approval"

Ao selecionar o quinto botão “Registos” e a opção “Menu Protótipos”, é apresentado o *screen* representado na Figura 19. Aqui, é possível pesquisar e visualizar informações na galeria (secção esquerda do *screen*), adicionar um novo registo (botão **+**) ou editar um registo (botão ). Existem ainda outras funcionalidades que permitem ao utilizador ver as informações do projeto associado ao protótipo apresentado (botão ), receber essas informações via e-mail (botão ), ou apagar o registo (botão ). Os formulários para registo e edição de informações sobre os protótipos estão representados na Figura 20.

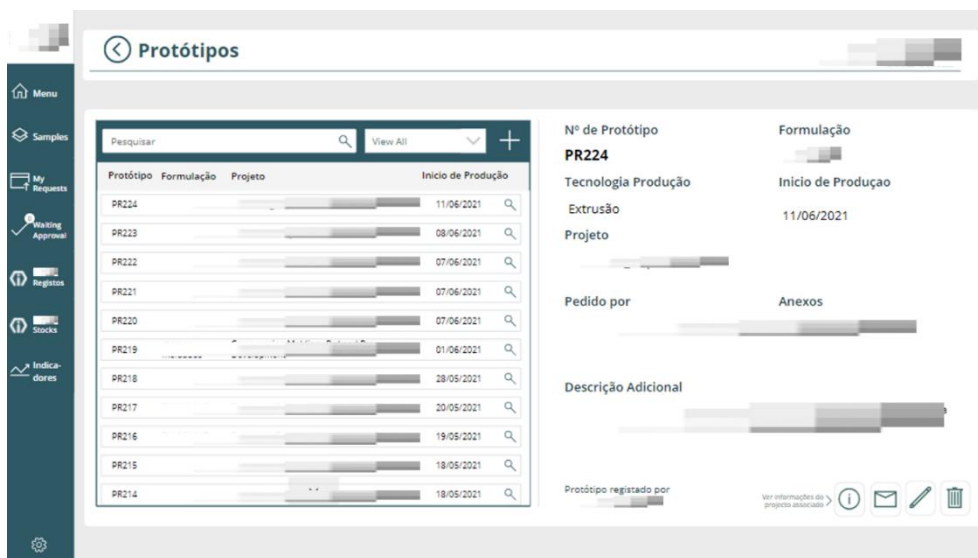


Figura 19 - Screen “Protótipos”

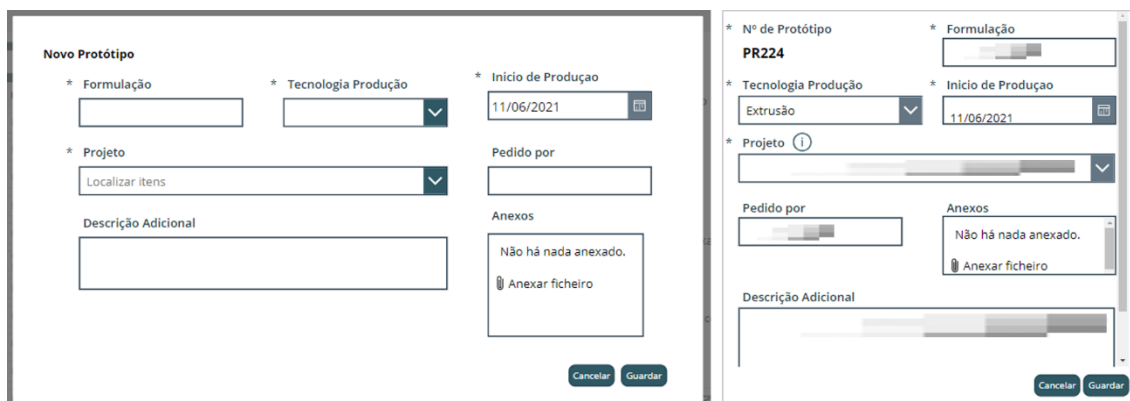


Figura 20 - Formulários para registo e edição de informações

As funcionalidades referentes à pesquisa, registo ou edição de informações sobre os projetos são bastante semelhantes às da secção de protótipos, como é possível verificar na Figura 21.

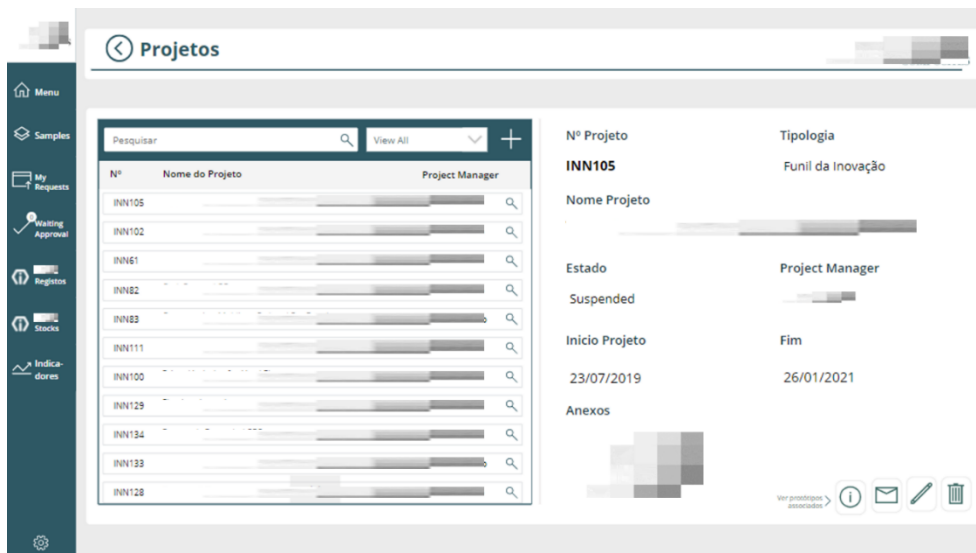




Figura 21 - Screen “Projetos”

O sétimo botão, denominado “Stocks”, divide-se em dois botões: “Lista de Materiais” (Figura 22) e “Declaração de Produção” (Figura 23).

A galeria em “Lista de Materiais” pode ser filtrada segundo a tipologia de material, através dos botões na secção superior; para declarar entrada de material o utilizador deve seleccionar o botão , sendo-lhe apresentado um menu *pop-up* com um formulário para preenchimento. Para ver mais detalhes sobre o material e associar-lhe uma localização, o utilizador deve seleccionar .

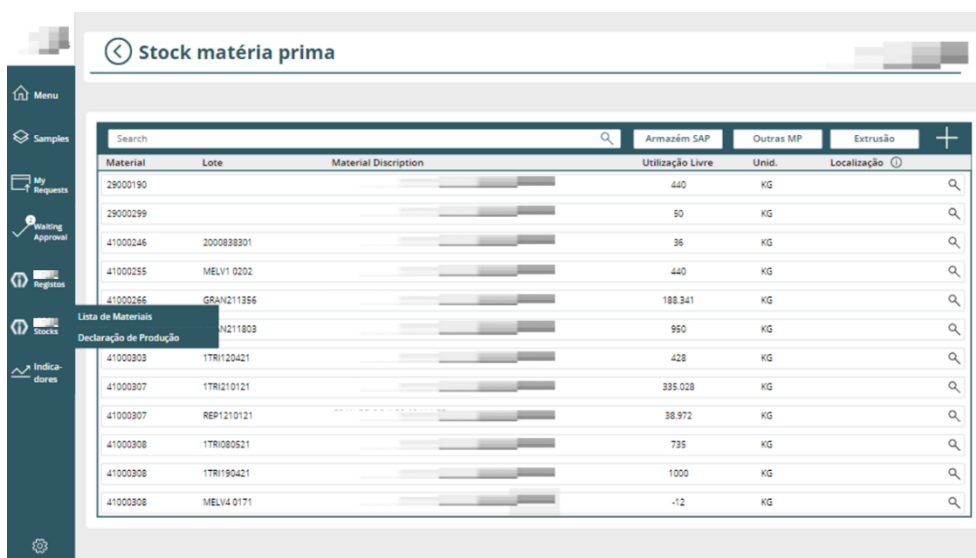


Figura 22 - Screen "Lista de Materiais"

O *screen* referente à “Declaração de Produção” tem diversas funcionalidades, havendo *slides* de alteração, entradas de texto, caixas de combinação, caixa de listagem e opções de rádio (Figura 23). Aqui, o utilizador deve proceder ao preenchimento de todos os campos por cada tipo de material a declarar e adicionar à galeria, que aparece do lado direito do ecrã, até a declaração estar completa e pronta a enviar.

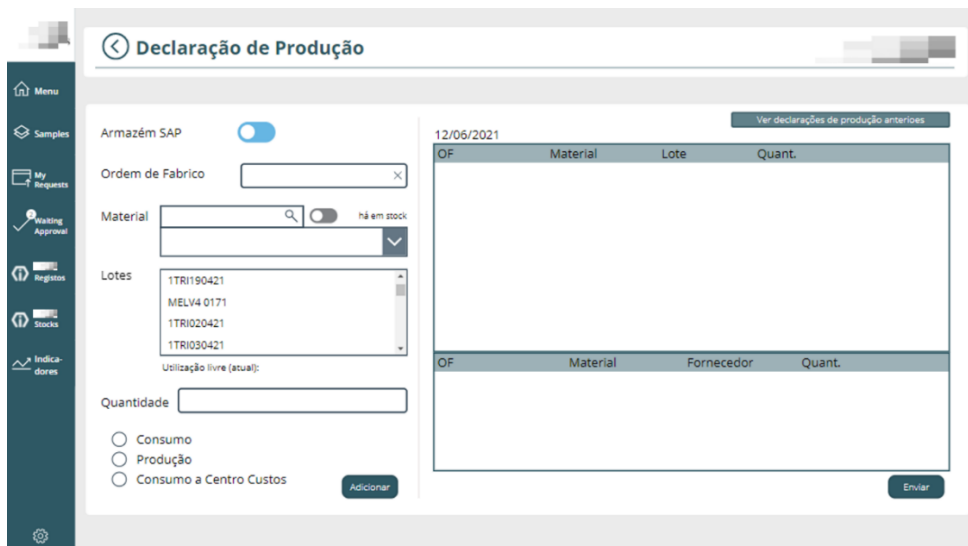


Figura 23 - Screen "Declaração de Produção"

O penúltimo botão, referente aos indicadores de performance, apresenta os *dashboards* criados em *Power BI* e inseridos na aplicação (Figura 24). Tendo em conta os novos dados gerados pela aplicação e a sua utilidade para os *decision makers*, foram criados um conjunto de indicadores que estão representados em três *dashboards* distintos, um referente à produção de protótipos, outro para acompanhar o desenvolvimento dos projetos e, por último, um relativo à requisição de amostras. Para idealização do conjunto de indicadores foram realizadas reuniões com as partes interessadas, nomeadamente o diretor do DIGP e supervisores, numa perspetiva de encontrar os indicadores-chave a serem acompanhados. O tratamento de dados em *Power BI* e consequentemente apresentação dos mesmos, através dos *dashboards*, permitiu analisar temporalmente diferentes dados, como a produção de protótipos de diferentes tecnologias de produção e projetos ou a requisição de amostra de diferentes *clusters*. Até ao término do projeto, a aplicação esteve em uso, sensivelmente, 20 dias, pelo que, quando o volume de dados aumentar, decorrente do normal funcionamento da fábrica piloto, espera-se que as informações transmitidas sejam ainda mais valiosas. Os *dashboards* são dinâmicos e é possível utilizá-los tal e qual como aconteceria se o utilizador acesse diretamente em *PowerBI*. A alteração entre diferentes *dashboards* é feita através dos botões no canto superior direito do ecrã (Figura 24).

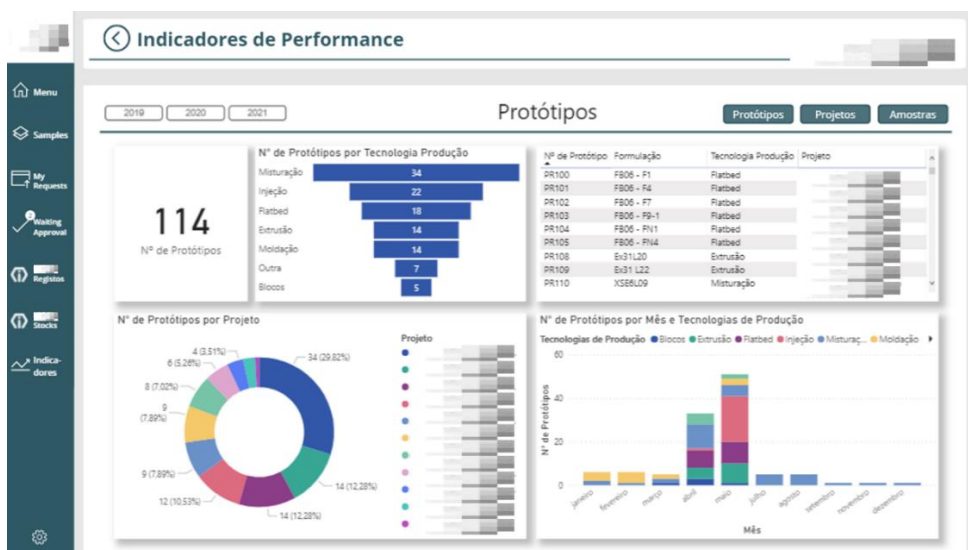


Figura 24 - Screen "Indicadores de Performance"

Finalmente, o último botão na barra lateral da aplicação diz respeito ao menu de configurações (Figura 25). Neste menu, o administrador pode seguir para diferentes *screens* e adicionar utilizadores e editar informações sobre os mesmos (Figura 37, Anexo III), reportar um erro na aplicação (Figura 38, Anexo III), editar outros parâmetros do sistema (Figura 39, Anexo III) e editar os diferentes menus *dropdown* que surgem ao longo da aplicação e em vários formulários, como o tipo de produto, tipo de embalagem, tecnologias de produção ou tipologia de projetos. Para estes casos, o menu de edição é idêntico, mudando apenas a fonte de dados, e está representado, de forma exemplificativa, na Figura 40, no Anexo III.

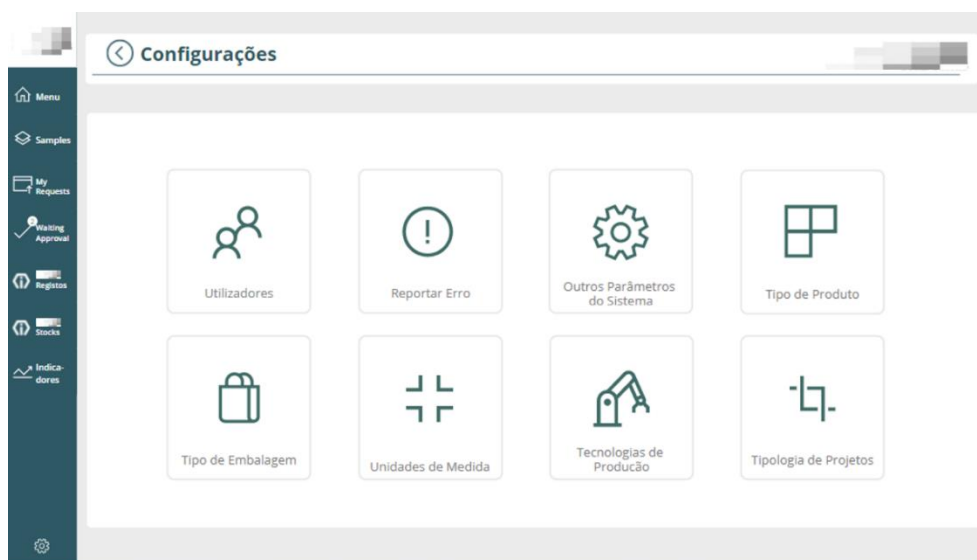


Figura 25 - Screen "Configurações"

3.3.3.4. Implantação da aplicação desenvolvida

A ferramenta digital apresentada, desenvolvida sob a forma de uma aplicação *web* em *Power Apps*, é bastante *user-friendly*. Bastou uma sessão de formação aos utilizadores da aplicação para que esta começasse a ser utilizada na sua totalidade e o *feedback* foi bastante positivo. Na ótica dos utilizadores finais, as principais vantagens que advém da utilização do SI desenvolvido são a facilidade na requisição de amostras e o acompanhamento do estado do pedido, a rastreabilidade de protótipos, o conhecimento sobre cada protótipo de cada projeto, a facilidade no preenchimento da declaração de produção e o acompanhamento de *stock* e a possibilidade de acompanhar novos indicadores de performance, que anteriormente eram inexistentes.

De forma a transmitir as ideias essenciais a cada tipologia de utilizador (ou, na linguagem UML, a cada tipo de ator), foram feitas diferentes sessões de formação. Para além disso, de forma a promover o conhecimento organizacional, foi elaborado e partilhado um guia explicativo com os passos a seguir na realização de diferentes tarefas associadas à aplicação desenvolvida, com especial foco nas tarefas mais complexas.

Adicionalmente, de forma a promover o rápido registo de dados, foi instalada uma estação informática na fábrica piloto, com um computador e uma impressora de etiquetas. Assim, não é necessário que o utilizador se dirija à sua secretária, mais distante da zona de trabalho, para que este possa aceder a todas as funcionalidades do sistema. A colocação da estação informática era essencial para garantir que todos os operadores tinham acesso à aplicação e para que a impressora de etiquetas ficasse localizada numa zona central, de que todos pudessem usufruir.

3.3.4. Considerações Finais

O trabalho realizado focou-se na construção de uma ferramenta digital, sob a forma de uma aplicação *web*, de auxílio ao registo de informações e gestão interna do DIGP da entidade de acolhimento. Ao longo do desenvolvimento da ferramenta, foram identificadas novas necessidades e requisitos, tais como o registo de informações relativas aos projetos e a possibilidade de se submeter pedidos de amostras de protótipos. Uma vez que se seguiu uma abordagem de desenvolvimento iterativa e incremental, o RUP, procedeu-se facilmente à adaptação da ferramenta para incluir estas funcionalidades e continuar o processo de melhoria contínua da aplicação desenvolvida.

O uso da notação UML foi essencial para o desenvolvimento deste SI, auxiliando na apresentação da especificação da ferramenta, nomeadamente dos diferentes pontos de vista funcionais. Complementando a notação UML com a notação BPMN, foi ainda possível mapear diferentes fluxos de informação, que contêm a identificação dos atores intervenientes no processo, as suas responsabilidades e, em certos casos, os diferentes passos a seguir, de forma a garantir a sustentabilidade da ferramenta.

A solução proposta foi desenvolvida em *Power Apps*, um *software low-code* da *Microsoft*, e envolveu a utilização de outros *softwares* de suporte, nomeadamente o *SharePoint*, o *Power BI* e, em situações mais pontuais, o *Outlook* e o *Excel*.

São vários os resultados positivos que advém da implementação deste SI, dos quais se destacam a melhoria da gestão de informação, que passa a estar centralizada e estruturada formalmente, a criação de novos KPI's e o aumento da satisfação dos colaboradores. A centralização de informações que anteriormente eram registadas em diferentes locais e em diferentes formatos permitiu melhorar não só o acesso à informação, mas também a qualidade da mesma, o cruzamento de dados e a rapidez de comunicação entre diferentes colaboradores.

Uma das principais vantagens identificada pelos utilizadores foi a capacidade de a aplicação gerar códigos sequenciais e identificadores dos registos criados, seja dos protótipos, dos projetos ou dos pedidos de amostras, que possibilitam a identificação contínua dos mesmos. Em especial, no caso dos protótipos, esse código sequencial é impresso, automaticamente, numa etiqueta e colado no protótipo que depois é armazenado na fábrica. Desta forma, garante-se que existe um fluxo contínuo de informações entre o que está fisicamente na fábrica piloto e virtualmente, na aplicação. Mais que isso, combate-se a retenção de elevadas informações nos colaboradores, uma vez que os protótipos passam a estar identificados e não são apenas os colaboradores que estiveram envolvidos na produção do protótipo que têm conhecimento sobre o mesmo.

Algumas limitações do trabalho desenvolvido prendem-se essencialmente com a linguagem de programação que, por vezes, é simples de mais e, noutras ocasiões, um grande desafio.

Como trabalho futuro, seria interessante desenvolver a aplicação em formato de telemóvel, colocando-a à distância de um simples clique no aparelho que transportamos diariamente, e adicionar novas funcionalidades que continuem a facilitar o acesso e compreensão de informações de qualidade e pertinentes por parte dos utilizadores. Num âmbito mais alargado de implementação da aplicação, há a possibilidade de estender a utilização do SI desenvolvido a outros departamentos da entidade de acolhimento, adaptando os formulários e a estrutura de conexão de dados a cada realidade.

3.4. Aplicação de Ferramentas *Lean*

3.4.1. Problema e Objetivos

Tal como referido anteriormente, o ambiente de produção da fábrica piloto da entidade de acolhimento está em constante mutação, obrigando à sistemática adaptação de processos e equipamentos. Aquando do principiar do projeto, a implementação de práticas *Lean* no ambiente produtivo do DIGP encontrava-se num estado muito embrionário de implementação.

No entanto, é importante ressaltar que, porque a principal matéria-prima da entidade de acolhimento é a cortiça, o ideal de ter exatamente a quantidade de matéria necessária para a produção, com redução de inventário e de ocupação de espaço não se aplica. A cortiça, retirada da árvore sobreiro, só pode ser colhida de 9 em 9 anos, o que significa que tem de se armazenar a matéria-prima em excesso de um ano para o outro. Pelo histórico da organização, até é possível saber quais os anos em que haverá um baixo número de toneladas recolhidas. Adicionalmente, a cortiça só pode ser extraída do sobreiro entre os meses de maio e setembro, o que significa que, para além de armazenar a matéria-prima de uns anos para os outros, também tem de se armazenar nos meses de verão para consumir nos meses de inverno. Assim, apesar de estratégias *Lean* associadas ao inventário poderem ser economicamente viáveis em algumas indústrias, noutras esta abordagem não é exequível devido às características particulares de cada organização.

Por outro lado, uma vez que o projeto foi desenvolvido sob a alçada do departamento de inovação, é importante ter em mente que, para uma boa fluidez das ideias e dos procedimentos de desenvolvimento, é necessário um ambiente produtivo flexível que consiga responder à alta volatilidade de processos e baixas previsibilidades sobre os projetos de inovação. Assim, com a aplicação de ferramentas *Lean*, não se pretende fechar portas à pluralidade de procedimentos e processos que acontecem na fábrica piloto, mas sim aplicar medidas que facilitem a organização de espaços e métodos de trabalho.

Compreendidas as especificidades do ambiente industrial, foram identificadas duas ferramentas *Lean* para uma implementação inicial na fábrica piloto:

- os 5S, uma ferramenta simples que requer menos tempo de planeamento e implementação, mas exige um grande comprometimento por parte de toda a estrutura organizacional;
- o TPM, com especial foco nas atividades de manutenção autónoma, uma ferramenta que procura atribuir mais responsabilidades de manutenção ao operador, passando este a atuar como fator chave na prevenção de eventuais problemas nos equipamentos.

3.4.2. Metodologia

A metodologia seguida durante a aplicação de ferramentas *Lean* teve em atenção os pontos críticos para a eficácia e sustentabilidade dos princípios *Lean*, identificados por Bhamu & Sangwan (2014) (Tabela 1).

Primeiramente, foi necessário desenvolver um forte trabalho de comunicação no chão de fábrica de forma a construir definirem-se objetivos claros e, em equipa, proceder ao levantamento completo das oportunidades de melhoria ao nível da organização e qualidade do ambiente de trabalho.

Após a identificação das oportunidades de melhoria, passou-se à elaboração de um plano de ações a serem tomadas, tendo sido avaliadas diferentes ferramentas e técnicas *Lean* e selecionadas aquelas que, para o DIGP, faziam mais sentido. O plano de ações foi apresentado a diferentes níveis hierárquicos na organização, revisto e validado pelos mesmos.

Finalmente, procedeu-se à implementação das ações planeadas e auditoria das ações implementadas, avaliando a implementação das práticas e identificando novas oportunidades de melhoria.

Durante todo o projeto, houve um trabalho de consciencialização para as práticas *Lean* nos diferentes níveis hierárquicos do DIGP, com o objetivo de combater o ceticismo existente sobre os resultados e sustentabilidade das mesmas.

3.4.3. Resultados

Em seguida, apresentam-se as ações levadas a cabo relacionadas com a implementação das ferramentas 5S e Manutenção Total Produtiva (TPM).

5S

Um dos aspetos detetados que condicionava a atividade produtiva na fábrica piloto foi a falta de organização dos espaços de trabalho. Neste sentido, a aplicação da metodologia 5S era de máxima relevância, uma vez que falhas associadas à ineficiência da organização eram responsáveis por uma grande porção de tempo improdutivo.

No sentido de avaliar e quantificar o estado inicial do ambiente produtivo, foi realizada uma auditoria 5S no chão de fábrica, obtendo-se um resultado de 26,67%. Este resultado, bastante baixo, é, em parte, justificado pelo facto desta auditoria ter acontecido antes da implementação dos 5S e, conseqüentemente, não havia padronização de muitos procedimentos ou técnicas de disciplina em funcionamento. No entanto, mostrou que havia uma margem de progressão muito elevada. É possível verificar quais os campos avaliados e a estrutura da auditoria através da análise da Figura 41, presente no Anexo IV.

A primeira etapa da metodologia envolveu a triagem dos materiais, ferramentas, mesas, armários e até estantes nas áreas de trabalho. Foram retirados objetos suficientes para encher cinco paletes com materiais identificados como desnecessários/inúteis nas áreas, sendo que os objetos de duas das paletes foram para o lixo ou reciclagem, enquanto que aos objetos das restantes paletes foram atribuídas outras localizações. A Figura 26 mostra algumas fotos que capturam o processo de triagem levado a cabo.



Figura 26 - Processo de triagem

De seguida, passou-se à organização da desordem nas mesas, estantes de arrumação e estações de trabalho, segundo a lógica "um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar". Durante este processo, definiram-se locais e limites para o armazenamento de materiais, equipamentos e ferramentas, usando indicadores como linhas e placas de identificação colocados para delinear diferentes áreas de armazenamento. Especificamente, definiram-se zonas para embalagem, receção, expedição, arrumação de diferentes tipos de cortiça, arrumação de protótipos, arrumação de materiais de economia circular e arrumação de recipientes e paletes vazios. As imagens na Figura 27 mostram alguns antes e depois do senso de organização.

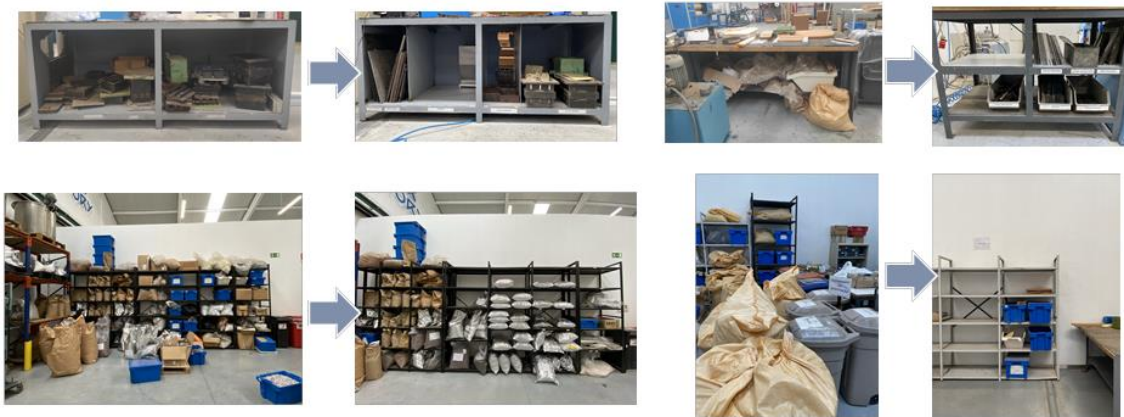


Figura 27 - Antes e depois do senso de organização

Durante a fase de levantamento de oportunidades de melhoria, e resultante da observação do trabalho executado pelos operadores, verificou-se que havia uma quantidade demasiado elevada de tempo despendido à procura de ferramentas. Inicialmente, havia um armário, localizado no centro da fábrica piloto, onde as ferramentas de trabalho deviam estar armazenadas. No entanto, o nível de organização do armário era bastante reduzido e, na maioria das situações, as ferramentas não eram colocadas de volta no armário. Assim, de forma a minimizar o tempo despendido na procura de ferramentas, no âmbito do senso de organização, procedeu-se à elaboração de seis quadros de ferramentas, um por cada macro zona (extrusão, moldação, injeção, etc.) da fábrica piloto. Cada quadro de ferramentas foi identificado com uma cor e todas as ferramentas desse quadro identificadas com a respetiva cor, como é possível verificar na Figura 28.

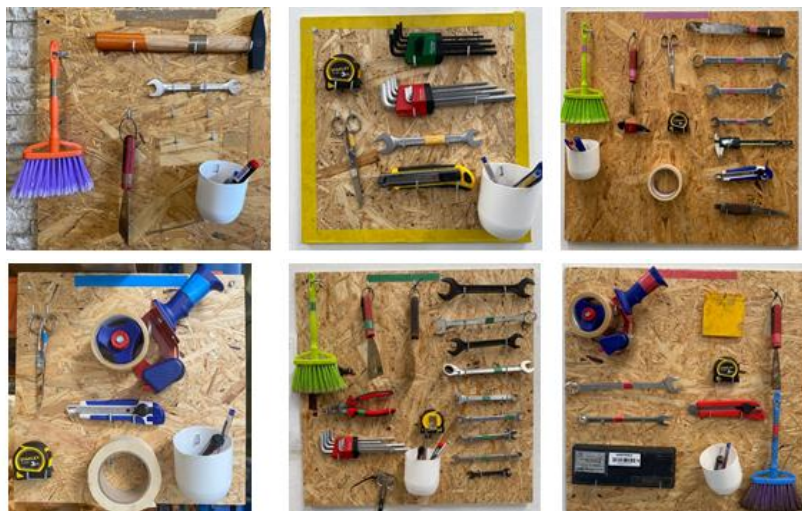


Figura 28 - Quadros de ferramentas

A etapa seguinte foi a da limpeza, uma meta importante para a remoção de resíduos diversos e óleo. Na entidade de acolhimento já existia um responsável pela limpeza que, todos os dias, procedia à remoção dos resíduos do chão e dos depósitos de lixo. No entanto, a limpeza das ferramentas, mesas de trabalho e equipamentos fica é da responsabilidade de cada operador e a limpeza destas áreas era premente.

Durante o senso de normalização/padronização procurou-se garantir que as práticas de trabalho implementadas nos últimos 3S estivessem em vigor e que todos os operadores da área tivessem formação sobre os procedimentos a seguir e entendessem as vantagens da abordagem 5S. Para isso, foi realizada uma sessão de formação com os operadores do chão de fábrica e supervisores, tendo surgido novas oportunidades de melhoria sob a forma de cinco sugestões concretas, das quais quatro foram possíveis de colocar em prática no tempo útil deste projeto.

Para dar suporte às melhorias realizadas na fábrica piloto, foi elaborado um sistema de auditoria 5S periódico e sistemático. Este sistema de auditoria é utilizado para garantir que os 5S sejam realizados continuamente na área e que os procedimentos e quadros de ferramentas se mantenham atualizados. Para além disso, durante as auditorias, é promovido um ambiente de *feedback* onde se procura que os operadores tenham um papel ativo na sugestão de melhorias ao processo. Um fator chave do sucesso da manutenção dos 5S é a autodisciplina. É impossível verificar a toda a hora o cumprimento dos procedimentos e, por isso, os operadores têm que estar alinhados, motivados e comprometidos.

A aplicação dos 5S permitiu minimizar o tempo investido por parte dos colaboradores em deslocamentos desnecessários na busca de materiais ou ferramentas de trabalho e a definição e identificação de estantes, áreas de arrumação e zonas de trabalho, aumentando a disponibilidade dos trabalhadores para o desempenho de atividades que acrescentam valor ao produto final e á organização geral da fábrica piloto.

A última auditoria realizada durante o período de tempo deste projeto obteve a classificação de 71,67%, o que representa uma melhoria bastante significativa.

TPM – Manutenção Total Produtiva

A aplicação de estratégias de manutenção é de extrema relevância para a entidade de acolhimento, uma vez que para conseguir responder à elevada volatilidade de processos na fábrica piloto os equipamentos devem estar disponíveis e no melhor estado de conservação. Neste campo, a aplicação do TPM é uma abordagem possível que visa a melhoria das atividades de manutenção e procura a redução de não conformidades. A par de outras metodologias *Lean*, a aplicação do TPM na fábrica piloto está ainda a começar havendo muito trabalho a realizar até se chegar aos patamares ideais.

Para o cumprimento dos objetivos relacionados com o TPM, começou-se por reunir com os responsáveis do departamento de manutenção da área das operações da empresa de acolhimento. A este respeito é importante referir que o DIGP não faz parte do departamento das operações e, por isso, o departamento de manutenção não atua diretamente nos problemas da fábrica piloto. No entanto, as ações a implementar na fábrica piloto já se encontravam em desenvolvimento na área das operações e a experiência transmitida pelo responsável do departamento de manutenção foi bastante útil.

Para iniciar a implementação da metodologia TPM, foi necessário conhecer todos os equipamentos existentes na fábrica piloto da empresa de acolhimento. Para isso, procedeu-se a algum trabalho de campo que culminou na identificação de 61 equipamentos. Durante esse

trabalho, foram recolhidas informações sobre o fabricante, número de série ou denominação tipo de cada equipamento para, posteriormente, efetuar o seu registo no sistema integrado de gestão da empresa, o SAP. Após o cadastro dos equipamentos em SAP, uma etiqueta com um código único identificador foi colocado em cada equipamento, facilitando a sua identificação no futuro (Figura 29). Esta etapa de identificação dos equipamentos foi importante para garantir uma boa gestão dos ativos da empresa.



Figura 29 - Etiqueta identificadora dos equipamentos

Adicionalmente, os equipamentos foram categorizados de acordo com a sua tipologia - bomba, caldeira, estufa, prensa, tapete, extrator, injetora, entre muitas outras. Verificou-se que existe uma alta variabilidade de tecnologias de produção na fábrica piloto e que grande parte dos equipamentos são únicos, o que significa que se houver falhas num determinado equipamento, a fase de teste ou a produção de determinado material fica comprometido. Existem ainda vários casos em que os equipamentos são flexíveis e podem ser alterados para produzirem de uma ou outra forma. Por exemplo, as prensas têm uma enorme variedade de moldes que, praticamente todas as semanas, são mudados para se poder responder a um projeto diferente; também na extrusora é possível mudar algumas peças e com isso processarem-se diferentes tipos de matéria-prima.

Perante esta realidade, a aplicação de medidas de TPM era urgente e, numa primeira fase, decidiu-se começar pela implementação de medidas de manutenção autónoma, atribuindo aos operadores mais responsabilidades sob tarefas associadas a um nível mais superficial de manutenção.

Para isso, procedeu-se à definição dos equipamentos para os quais deviam ser elaborados planos de manutenção, tendo sido dada prioridade aos equipamentos com maior taxa de utilização e aos equipamentos únicos que, só por si, representam uma tecnologia de fabrico. Posteriormente, foi feito o levantamento das necessidades de manutenção junto dos operadores de cada equipamento e analisados os documentos dos equipamentos, caso estes possuíssem documentação. Apesar da fábrica piloto ser recente e possuir as mais recentes tecnologias de produção no mercado, ainda existem muitas máquinas antigas, sem qualquer documentação formal do fornecedor. Paralelamente, analisaram-se outros planos de manutenção autónoma em vigor na entidade de acolhimento, para que a elaboração dos planos de manutenção autónoma na fábrica piloto fosse ao encontro da realidade na área das operações.

Finalmente, passou-se à elaboração dos planos de manutenção autónoma, apresentação, revisão e validação dos mesmos por parte da entidade de acolhimento.

Os planos de manutenção autónoma, na entidade de acolhimento, possuem uma estrutura pré-definida e de fácil análise, indicando o equipamento, o tipo de intervenção (inspeção

visual, lubrificação, limpeza ou intervenção mecânica), o órgão do equipamento que sofre a intervenção, as ferramentas necessárias, uma breve descrição sobre a instrução de manutenção e a frequência necessária. A Figura 42, no Anexo V, mostra um dos planos elaborados e, pela sua análise, é possível verificar que existe um sistema de gestão visual associado às tarefas de manutenção. Para cada tipo de intervenção há um símbolo associado e para as frequências das atividades de manutenção existe uma cor pré-determinada, originando figuras simples e de fácil interpretação (Figura 30).



Figura 30 - Sistema de gestão visual dos planos de manutenção autónoma

Os planos elaborados foram apresentados aos operadores durante uma sessão de formação e prontamente disponibilizados para que qualquer trabalhador pudesse verificá-los.

A elaboração dos planos de manutenção autónoma permitiu o registo formal de procedimentos de manutenção e a instauração de rotinas de manutenção, ainda que a um nível superficial, de equipamentos que, em última análise, são a base da esmagadora maioria dos processos produtivos na fábrica piloto.

3.4.4. Considerações Finais

O trabalho realizado nesta secção focou-se no início da aplicação de ferramentas *Lean* na fábrica piloto. Observou-se que, servindo como objeto de sustentação de inúmeras práticas associadas à Produção *Lean*, a abordagem 5S e a implementação de práticas de manutenção autónoma podem refletir-se em ganhos de grande expressividade, seja na redução de deslocações desnecessárias, no aumento da disponibilidade dos equipamentos ou na melhoria da qualidade no ambiente de trabalho.

A criação de espaços mais eficientes e mais orientados para a atividade produtiva teve consequências relevantes na motivação dos operadores, assim como o incentivo à sua participação e colaboração em melhorias ao processo. No âmbito das auditorias 5S, para além destas controlarem o cumprimento das normas, permitem ainda verificar a pertinência das mesmas e estimular a continuidade da aplicação da metodologia.

No âmbito da abordagem TPM, a execução de procedimentos de manutenção autónoma permitiu melhorias ao nível da produtividade, relevando-se útil no diagnóstico antecipado de problemas de manutenção maiores e na diminuição de falhas nos equipamentos. Para além disso, um dos benefícios principais foi o desenvolvimento de uma cultura de prevenção de acidentes e de identificação de problemas.

Apesar das reservas iniciais, com este estudo, verificou-se que embora as práticas de pensamento *Lean* não potenciem, diretamente, ambientes de inovação mais ágeis, a aplicação

de ferramentas *Lean* estimulou a criação de um ambiente organizacional propício às inovações, incentivando a aprendizagem, criatividade, mudança, trabalho em equipa e formação.

As principais limitações sentidas durante o decorrer da implementação de ferramentas *Lean* foram a falta de tempo para realizar tarefas de 5S e manutenção autónoma pelos operados e a resistência à mudança. Apesar destas ferramentas serem amplamente reconhecidas pelos benefícios que trazem às organizações, a mudança de hábitos e formas de pensar é um processo complexo em qualquer contexto organizacional.

Em termos de trabalho futuro, e no sentido de orientar a equipa para o *mindset* que a filosofia *Lean* pressupõe, seria interessante implementar mecanismos de compensação dos colaboradores pelo alcance de objetivos e consistência na aplicação das normas em vigor.

Capítulo 4

Projeto II

O presente capítulo apresenta o segundo projeto desenvolvido na entidade de acolhimento, nomeadamente no departamento logístico. Neste estudo, um modelo de simulação de um sistema de transporte interno de produtos foi desenvolvido usando o software *Arena Simulation*. A apresentação e análise do projeto divide-se em dois subcapítulos principais: o contexto industrial e o processo de simulação do sistema.

4.1. Contexto Industrial

O trabalho desenvolvido e apresentado neste capítulo do relatório enquadra-se nas funções do Departamento de Logística da mesma entidade de acolhimento.

A logística atual da organização é essencialmente baseada em tapetes e outros sistemas de transporte, como um *mizusumashi* e vários empilhadores. Esses sistemas de transporte, apesar de proporcionarem ao transporte de materiais alguma flexibilidade, requerem trabalhadores qualificados para a sua realização. Para além disso, uma vez que o transporte é efetuado por operadores, existe alguma variabilidade quanto aos tempos de transporte e medidas de desempenho. Por isso, a entidade de acolhimento decidiu investir num AGV por acreditar que ele permite definir uma taxa fixa de entrega de produtos, com vantagens associadas ao seu custo, qualidade e produtividade a longo prazo. Com a implantação desse sistema, espera-se obter um sistema de produção mais flexível e reduzir o desperdício nas operações que envolvem o transporte.

Para iniciar a implantação do AGV na unidade, a entidade selecionou um conjunto específico de transportes onde o veículo executará as suas funções. Outros sistemas de transporte continuarão a existir, nomeadamente o *mizusumashi*, e por enquanto, o propósito da organização é explorar e estudar as possíveis complicações e vantagens associadas à utilização do AGV, e então prosseguir (ou não) para uma implementação mais ampla.

De momento, a organização possui dez locais de carregamento diferentes, que marcam o final de várias linhas de produção, espalhados por toda a fábrica. Existe um sistema de transporte destinado a cada um dos dez locais, responsável pela realização da movimentação do produto entre o final da linha de produção e uma máquina de embalagem, localizada no armazém de produtos acabados, onde os itens são embalados e preparados para envio. Atualmente, um *mizusumashi* transporta os itens de oito locais diferentes para o armazém de produto acabado e um empilhador é responsável por transportar os itens dos outros dois pontos.

O objetivo da organização é que o AGV substitua o transporte realizado pelo empilhador, libertando os recursos associados para outras necessidades da empresa.

4.2. Simulação de um processo de transporte na logística interna da fábrica

4.2.1. Problema e Objetivos

Este trabalho teve como foco a simulação do transporte realizado pelo AGV entre duas estações de trabalho específicas (linhas de produção de rolos e placas) até à máquina de embalagem, localizada no armazém de produto acabado (APA). Além disso, pretendeu-se

estudar a interação que ocorre na máquina de embalagem, que, além de processar os itens transportados pelo AGV, também processa os itens transportados pelo *mizusumashi*.

O *layout* apresentado na Figura 31 corresponde ao *layout* do chão de fábrica onde decorreu este projeto.

Sobre o sistema a simular, é importante observar que:

- Este é composto por dois *conveyors* (antes das estações A e B), dois recursos (embaladora e operador, na estação M), uma estação que representa as restantes oito linhas de produção (estação X) e dois transportadores (AGV e *mizusumashi*).
- Cada carga e descarga dos transportadores leva 60 segundos, em qualquer local.
- O processo na máquina de embalagem leva 72 segundos.
- Os tempos de chegada dos produtos ao sistema são apresentados na Tabela 7.
- As distâncias entre as estações são fornecidas na Tabela 8, como medidas em metros.
- Existem três pontos onde as entidades entram no sistema. A dinâmica de entrada no sistema está representada na Figura 32, assim como o restante *workflow* (de forma simplificada).
- Os transportadores movem-se a 3 m/s.
- O *mizusumashi* tem capacidade para transportar 5 entidades de cada vez.
- O AGV tem capacidade para transportar 1 entidade de cada vez.

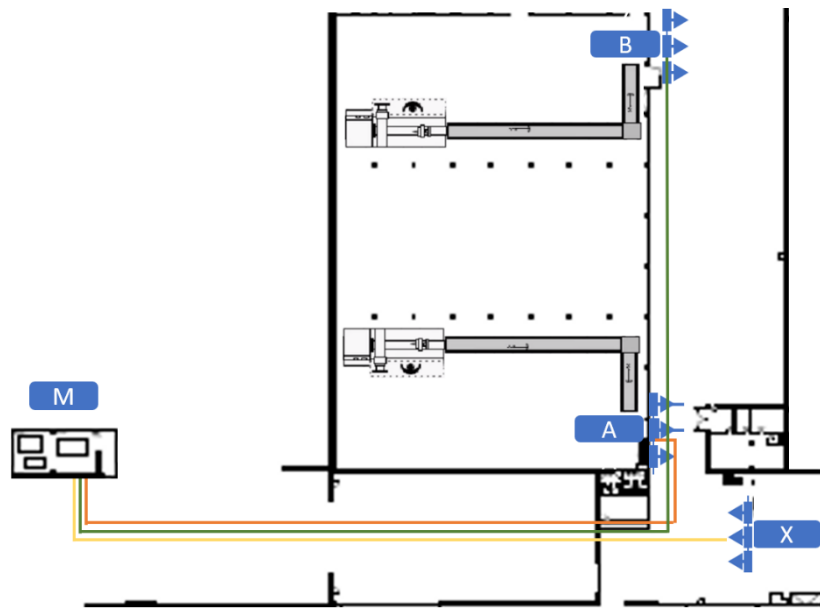


Figura 31 - Layout do chão de fábrica

Tabela 7 - Intervalos de tempo entre chegadas

| Estação | Intervalos entre chegadas (min.) | Entidades por chegada |
|---------|----------------------------------|-----------------------|
| A | 20 | 1 |
| B | 30 | 1 |
| X | 30 | 5 |

Tabela 8 - Distância entre estações

| Estação inicial | Estação final | Distância (m) |
|-----------------|---------------|---------------|
| A | M | 115 |
| B | M | 152 |
| X | M | 100 |

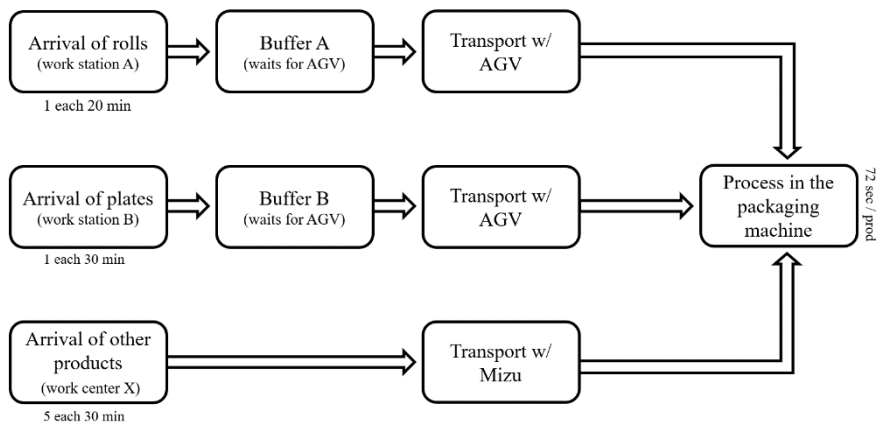


Figura 32 - Workflow do sistema

O projeto realizado pretendeu resolver o problema levantado pela decisão de implementação de um novo sistema de transporte e visou prever o comportamento desse mesmo sistema. Deu-se especial atenção ao dimensionamento de *buffers*, definição da melhor posição de estacionamento e avaliação da necessidade de prioridades. Uma vez que realizar testes em um modelo de simulação é mais barato e seguro do que testar num sistema real (Małopolski, 2014), a concretização dos objetivos foi feita recorrendo a um DES para modelar a produção local e o transporte dentro da empresa, usando o *Arena Software*.

Numa primeira fase, o modelo de simulação teve como objetivo:

- permitir um melhor conhecimento do sistema;
- ganhar a confiança das partes interessadas quanto à abordagem utilizada; e
- validar as suposições feitas durante a construção do modelo de simulação.

O objetivo da segunda fase do projeto foi a avaliação do impacto da implementação do AGV no sistema de logística interna por meio da análise de medidas de desempenho específicas:

- WIP (work-in-process):
 - número médio e máximo de entidades em filas de espera; e
 - tempo médio e máximo de espera em filas de espera;
- utilização de recursos (máquina de embalagem e operador); e
- tempo total das entidades no sistema.

Por fim, com o objetivo de otimizar o sistema, foi aplicada uma análise “*what if*” para criar um conjunto de alternativas ao modelo inicial e analisar:

- a necessidade de abordagens de agendamento ou prioridades;
- o tamanho dos *buffers*;
- o posicionamento do veículo durante o estado ocioso;
- e, em última instância, a eficiência do sistema.

4.2.2. Metodologia

Foi seguida uma série de etapas para estudar e resolver o problema. Law & Kelton (1983) fornecem uma metodologia de simulação, considerada fundamental para o alcance de resultados satisfatórios, que inclui as seguintes etapas:

1. Formular o problema e planejar o estudo;
2. Recolher dados e definir o modelo conceptual;
3. Validação do modelo conceptual;
4. Construção do modelo lógico;

5. Efetuar testes piloto;
6. Validação do modelo lógico;
7. Efetuar o desenho de experiências;
8. Executar o modelo para obter resultados;
9. Análise dos dados de saída;
10. Documentar, apresentar e implementar resultados.

Neste estudo, foram seguidas as primeiras 9 etapas. Durante a realização do projeto não foi possível implementar os resultados, os quais são necessários para efetuar a etapa 10.

4.2.3. Resultados

4.2.3.1. Suposições do modelo de simulação

A ação de simular requer, em primeira instância, o desenvolvimento de um modelo. O modelo representa o próprio sistema, quer este exista ou não, enquanto que a simulação representa o sistema ao longo do tempo (Ghaleb et al., 2015). Conforme apresentado anteriormente, a modelação requer simplificação e abstração. Portanto, para representar o sistema, um conjunto de suposições foram feitas. Essas suposições são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Suposições do Modelo de Simulação

| Sistema Real | Modelo de Simulação |
|--|---|
| A velocidade do AGV pode variar. | A velocidade do AGV é a mesma, quer esteja carregado ou descarregado. |
| AGV pode ser acelerado. | A velocidade do AGV é fixada durante a simulação; a aceleração não é permitida. |
| Há intervalos durante o horário de trabalho. | Trabalha 24 horas por dia em 3 turnos de 8 horas cada. |
| O posicionamento do veículo em modo ocioso (ou seja, quando não está em utilização) não está definido. | O posicionamento do veículo em modo ocioso é na última localização onde foi necessário que, neste caso, será na embaladora. |
| AGV transporta diversos tipos de produtos. O volume geralmente é o mesmo, mas o peso varia dependendo do produto. | O AGV transporta dois tipos de produtos com as mesmas características. No modelo, só importa se o AGV está carregado, ou não, e qual é o seu destino. |
| À entrada da máquina de embalagem, os itens aguardam na fila de espera enquanto a máquina está a ser descarregada/libertada pelo operador. | Um processo de "hold" cria a fila na entrada da máquina de embalagem. Uma condição é definida para garantir que o próximo item é processado apenas quando o processo de descarregamento for concluído. Para isso, a condição definida no "hold" foi { NQ(Process Unloading Packaging Machine.Queue) == 0 && STATE(Operator) == IDLE_RES }. |
| O AGV precisará de trocar/carregar a bateria. | A troca/carregamento da bateria do AGV é indefinida/o; deve ocorrer durante os momentos ociosos do AGV. |

| | |
|--|---|
| Os processos nas estações A e B possuem tempos de produção específicos para cada item. | O tempo real de processamento de produtos não é especificado porque, neste caso, apenas importa a frequência com que um item está pronto para ser transportado. Por exemplo, na estação A, a duração do processo é cerca de 3 horas, mas a cada 20 minutos, um produto está pronto. |
| O <i>mizusumashi</i> tem tempos de carregamento específicos em cada linha de produção por onde passa e cada linha de produção tem tempos de chegada entre produtos particulares. | A rota do <i>mizusumashi</i> não é especificada. No modelo, importa apenas o tempo entre as chegadas do <i>mizu</i> à embaladora e quantos itens este transporta. |
| Podem ocorrer avarias. | As atividades de avaria e manutenção de máquinas e veículos são negligenciadas. |

O modelo foi simulado por um período de 8 dias (duração de cada simulação). Recomenda-se definir um período transitório (de aquecimento) para atingir um estado estacionário, evitando que o sistema inicie vazio no tempo zero (Abdulmalek & Rajgopal, 2007). Assim, foi definido um período de *set-up* de um dia.

A determinação do número apropriado de replicações para um modelo de simulação é um fator chave para garantir a validade do modelo (Altiok & Melamed, 2010; Hoad et al., 2010; Law & Kelton, 1983). No entanto, como não há muitas orientações sobre quantas replicações um modelo deve ter, foi usada uma abordagem de tentativa e erro. Concluiu-se que um número aceitável de replicações seria 20. Este número de replicações permite obter, para a maioria das medidas de desempenho definidas, intervalos de confiança de 95% (construídos pelo *software*) com uma faixa aceitável.

No Anexo VI encontra-se o modelo lógico do sistema (Figura 43) e uma figura que mostra, de forma estática, como a animação foi construída (Figura 44).

4.2.3.2. Verificação e Validação

A verificação da operacionalidade do modelo de simulação é feita para garantir a sua validação. Primeiramente, foram feitos testes piloto para analisar se o modelo estava programado corretamente e se não continha erros ou *bugs*.

Depois, para validar o modelo, é geralmente necessário comparar os dados fornecidos pelo modelo desenvolvido com os dados do sistema atual. No entanto, como o AGV não foi implementado, a validação explícita torna-se impossível, uma vez que os dados reais de algumas partes do modelo não estão disponíveis (Kesen & Baykoç, 2007). No entanto, foi possível comparar os resultados com alguns dados reais que existiam, nomeadamente aqueles que estão relacionados com a produção das linhas A e B e o tempo de chegada dos *mizusumashi*. Por fim, uma animação detalhada foi utilizada para verificar se o modelo estava a funcionar de forma suficientemente próxima do sistema real.

Como os resultados numéricos da simulação estavam dentro da faixa dos dados reais e a animação mostrava o funcionamento esperado do sistema, o modelo foi considerado uma boa representação do sistema.

4.2.3.3. Resultados e Discussão

Após concluir a simulação, é gerado um relatório automaticamente. A partir do relatório, realizou-se uma análise de sensibilidade, tendo sido analisadas as principais medidas de desempenho. Foi possível mostrar que:

- O tempo total dos rolos (produtos para a estação A) no sistema é (em média) 9,608 minutos.
- O tempo total das placas (produtos para a estação B) no sistema é (em média) 9,168 minutos.
- O tempo médio de espera nos *buffers* após as linhas de produção A e B é (em média) inferior a um minuto. Este valor não é problemático uma vez que o tempo de espera é menor que o tempo total de transporte.
- O número máximo em fila nos *buffers* após as linhas de produção A e B é 1. Novamente, isso mostra que o transporte realizado pelo AGV é efetivo e não há acumulação de itens na saída das linhas de produção.
- O problema surge na fila de espera para entrar na máquina de embalagem. Aqui, as entidades esperam, em média, 5.532 minutos e foi registado um máximo de 15.328 minutos.
- O número de entidades na fila de entrada na embaladora é, em média, de 1 entidade e, no máximo, 5 entidades. Este é um número importante porque nos diz o tamanho do *buffer* que precisa de ser implementado neste ponto – neste caso, de 5 unidades.
- A máquina de embalagem tem uma taxa média de utilização de 30%. Uma parte importante desta taxa é justificada pelas operações de carga e descarga - a soma dos tempos de carga e descarga é maior que o tempo de processamento. Na verdade, a máquina está ocupada, mas não está a funcionar. Estes são os tipos de processos que não agregam valor ao sistema e devem ser diminuídos ou, idealmente, eliminados.

Neste estudo, a este cenário inicial chamar-se-á [Cenário A].

4.2.3.4. Desenvolvimento de alternativas

Uma das maiores vantagens da simulação é a capacidade de desenvolver facilmente várias alternativas para obter um sistema melhor. Com base na análise do modelo, dois cenários foram desenvolvidos:

- [Cenário B] Mudança da localização do AGV quando não está a ser utilizado (posicionamento do veículo ocioso) para um local mais próximo das linhas de produção. Embora não haja uma grande acumulação de itens na saída das linhas de produção, espera-se que esta mudança diminua o tempo dos itens dentro do sistema e, portanto, diminua o seu *lead time* total (quantidade de tempo que passa desde o início de um processo até sua conclusão).
- [Cenário C] Diminuição do tempo de descarregamento na máquina de empacotamento de 60 segundos para 40 segundos. Essa mudança só é possível com o aumento de um recurso humano, o que implicaria custos adicionais.

4.2.3.5. Comparação de alternativas

Para comparação das alternativas constituídas pelos [Cenário B] e [Cenário C], foi utilizada a ferramenta *ARENA Process Analyzer*. Os resultados da comparação dos cenários, presentes na Tabela 10 - Resultados do *Arena process analyzer*, mostram que:

- Não há alteração em relação ao número máximo de entidades nas filas de espera. O dimensionamento dos buffers deve, portanto, ser conforme discutido anteriormente – de 1 unidade à saída das estações A e B e de 5 unidades à entrada da embaladora.
- O tempo médio de espera e o número médio de entidades nos buffers depois das linhas de produção A e B diminuíram com a implementação do cenário B e é aproximadamente o mesmo no cenário C.
- Em todos os cenários, a taxa média de uso da máquina de embalagem é a mesma - aproximadamente 30% - mesmo depois de diminuir o tempo de descarga [Cenário C].
- A média e o valor máximo do tempo de espera e a média do número de entidades na fila de espera para entrar na máquina de embalagem diminuiu com a implementação do cenário C e é aproximadamente o mesmo no cenário B.

Em última análise, o que decidirá a melhor escolha é o tempo total dos itens no sistema - duas últimas colunas da Tabela 10 – (devido às limitações de espaço, para uma melhor compreensão dos resultados, esta tabela mostra apenas os indicadores onde houve variação, mesmo que pequena). Como se pode observar, a redução do tempo de descarga na máquina (por meio do aumento dos recursos disponíveis e dos custos associados) - Cenário C -, não é suficiente para chegar aos mesmos resultados de uma correta colocação do AGV após a libertação – Cenário B -. Uma análise mais detalhada destes valores pode ser feita usando a Figura 33 abaixo.

Tabela 10 - Resultados do *Arena process analyzer*

| Scenario Properties | | | | Responses | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|--------------|------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|
| S | Name | Program File | Reps | Hold 2.AV.Waiting Time | Hold 2.Max.Waiting Time | Hold 2.AV.Number InQueue | Request A.AV.Number InQueue | Request A.AV.Waiting Time | Request A.MAX.Waiting Time | Request B.AV.Number InQueue | Request B.AV.Waiting Time | Request B.MAX.Waiting Time | P_Plates.TotalTime | P_Rolls.TotalTime |
| 1 | Scenario A | 1 : . | 20 | 5.532 | 15.328 | 0.925 | 0.011 | 0.229 | 3.637 | 0.009 | 0.264 | 3.236 | 9.608 | 9.168 |
| 2 | Scenario B | 26 : m | 20 | 5.497 | 15.196 | 0.914 | 0.008 | 0.157 | 2.981 | 0.006 | 0.189 | 2.585 | 8.976 | 8.507 |
| 3 | Scenario C | 1 : mo | 20 | 4.532 | 13.042 | 0.757 | 0.012 | 0.231 | 3.622 | 0.009 | 0.272 | 3.239 | 9.153 | 8.702 |

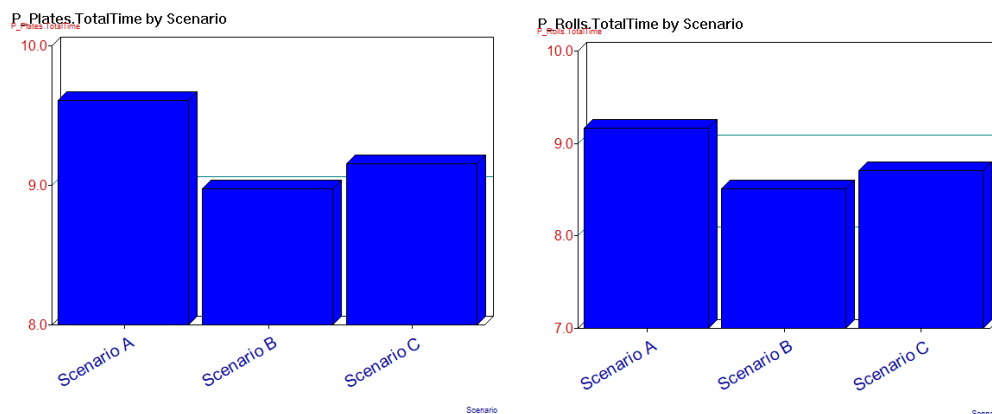


Figura 33 - Tempo total no sistema, por cenário

Por fim, de acordo com os critérios de desempenho seguidos neste estudo, pode concluir-se que a implementação do Cenário B é a mais benéfica para a organização. O projeto de simulação permitiu perceber que a correta colocação do “parque de estacionamento” do AGV é mais importante do que o aumento de recursos; além disso, permitiu à entidade de acolhimento poupar dinheiro caso este seja o cenário escolhido, uma vez que se evita alocar mais um recurso àquela atividade.

4.2.4. Considerações Finais

O modelo de simulação desenvolvido e descrito neste Projeto II possibilitou testar a interação entre diferentes recursos e o desempenho de um sistema de transportes a implementar na entidade de acolhimento. Perante a situação inicialmente idealizada, apresentada através do cenário A, a solução alternativa proposta permite a melhoria das principais medidas de desempenho e, portanto, também a melhoria da eficiência de todo o sistema.

A utilização da simulação foi essencial para a compreensão da dinâmica do sistema logístico e teste de um conjunto de diferentes cenários. Os resultados do trabalho desenvolvido foram satisfatórios, permitindo aos *stakeholders* entender o melhor cenário para a implantação do AGV na empresa. Um dos outputs mais importantes do processo de simulação foi a capacidade de visualizar, de forma dinâmica, o sistema modelado através de uma animação que permite captar, por exemplo, a ocupação das filas de espera, a ocupação dos recursos e o deslocamento dos veículos de transporte.

Com este projeto, foi possível chegar à conclusão de que um modelo de simulação pode ser utilizado para avaliar as principais medidas de desempenho, analisar o projeto e as operações de um sistema e fornecer informações que facilitem e validem a tomada de decisões.

Durante o projeto, foram sentidas algumas limitações relativamente à recolha de dados e à definição de suposições. Como apenas uma parte do sistema era real e tangível (a implementação do AGV será feita após o desenvolvimento deste estudo), a construção e validação do sistema foram difíceis de alcançar.

Durante o tempo útil do projeto não foi possível acompanhar a implementação do AGV na entidade de acolhimento e comparar os resultados obtidos pelo simulador aos dados reais gerados pela sua utilização.

Capítulo 5

Conclusões, limitações e propostas de trabalho futuro

Durante a elaboração do presente relatório de projeto procurou-se entender a relação entre a transformação digital e as práticas de pensamento *Lean*. Para isso, começou-se por realizar uma revisão bibliográfica que permitiu a criação das bases teóricas para o desenvolvimento dos dois projetos práticos descritos nos capítulos 3 e 4. O primeiro destes projetos focou-se na reestruturação da fábrica piloto da entidade de acolhimento, de uma forma abrangente, e com objetivos de âmbito alargado, enquanto o segundo tinha um objetivo mais contido e bem definido, que passava pela simulação de um processo logístico a implementar no futuro próximo da organização.

O DIGP onde o primeiro projeto foi desenvolvido apresentava baixos níveis de maturidade digital e de aplicação de práticas *Lean*, permitindo que o trabalho desenvolvido produzisse resultados interessantes. A par disso, o facto de a entidade de acolhimento pretender iniciar um processo de digitalização e reestruturação da organização de dados foi determinante no rumo tomado para o projeto.

O sistema de informação desenvolvido, sob a forma de uma aplicação *web*, permitiu um maior conhecimento sobre os processos do chão de fábrica, uma vez que os dados sobre a produção (quantidade de protótipos e consumo de matérias-primas) passaram a ser recolhidos de uma forma estruturada e tratados segundo uma sequência temporal. O processo de tratamento de dados e a subsequente atribuição de significado aos mesmos, forneceu uma visão mais integrada do estado do chão de fábrica, permitindo inclusivamente prever o comportamento futuro dos processos através de uma análise temporal dos dados. O SI desenvolvido é capaz de executar o tratamento de dados de uma forma sistemática, no *Power BI*, e apresentá-los para que estes possam produzir informações valiosas e apoiar a tomada de decisões de diferentes utilizadores, independentemente da sua localização e momento de acesso.

Analisando as consequências da implantação do sistema de informação de uma forma mais abrangente, percebe-se que este não é apenas uma tecnologia que auxilia a transformação digital nas organizações e, do ponto de vista do negócio, é também um importante instrumento de criação de valor pois permite colecionar dados e transmiti-los, quase instantaneamente, em vários aplicativos e a diversos utilizadores. As informações geradas potenciam o aumento da receita ou diminuição de custos na organização, fornecendo informações valiosas que auxiliam a tomada de decisão ou que melhoram a execução dos processos de negócio. Assim, a correta utilização de sistemas de informação é essencial para que uma organização se mantenha competitiva, eficiente e em contínua melhoria dos seus processos.

As medidas de transformação digital aplicadas no âmbito deste projeto de estágio têm impacto ao nível do *Lean*, eliminando diferentes tipos de desperdício. A aplicação permitiu mitigar as quatro categorias de desperdício identificadas por Hicks (2007) no âmbito do *Lean Information Management*. Uma vez que a informação está permanentemente disponível para consulta e por qualquer utilizador autorizado, há eliminação dos primeiro e segundo desperdícios: a falha na procura e a procura de informação que não flui. O excesso de informações é combatido através da criação e representação visual de indicadores de performance e o quarto e último desperdício identificado, a existência de informação imprecisa, é mitigado pela estrutura formal de introdução de dados que foi criada e que apenas autoriza a introdução de dados em determinados formatos (número, única linha de texto, múltiplas linhas de texto ou data).

Por outro lado, as ferramentas *Lean* aplicadas no chão de fábrica, têm a possibilidade de impactar a transformação digital em curso promovendo a criação de uma cultura de responsabilidade, disciplina e respeito pelas normas. A adoção de ferramentas *Lean*, seja no âmbito da aplicação dos 5S ou no âmbito do TPM, permitiu o desenvolvimento de um ambiente organizacional mais padronizado, mais transparente, reduzido ao trabalho essencial e, por isso, menos complexo, essencial para a implementação de soluções relacionadas com a transformação digital. Para além disso, o ambiente de *feedback* que se criou assegura o fluxo de sugestões e, conseqüentemente, a filosofia de melhoria contínua exigida pela filosofia *Lean* e desejada por todos os que decidem iniciar processos de transformação digital.

No âmbito do segundo projeto desenvolvido e apresentado neste relatório, criou-se um modelo de simulação de um processo de transporte logístico que permitiu a compreensão da dinâmica de um sistema ainda intangível. Através da simulação de diferentes cenários, conseguiu-se avaliar as principais medidas de desempenho e chegar-se àquele com melhor eficiência.

Na literatura científica, a simulação é identificada como uma das nove tecnologias facilitadoras da transformação digital, com capacidade para testar diferentes soluções e aumentar a produtividade e otimização das operações, fatores de elevada importância em ambientes *Lean*. Para além disso, a simulação tem capacidade de preencher a lacuna existente na abordagem tradicional *Lean*, que negligencia a variabilidade, aleatoriedade e dependências de tempos nos processos e, mais que isso, tem capacidade para validar propostas de mudanças e transformações *Lean*, através da análise de diferentes modelos e do desenho de diferentes propostas de solução que aumentem a assertividade das metodologias *Lean*.

Apesar de um processo de mudança tradicional não incluir a validação do futuro estado do sistema, a simulação de processos provou ser uma ferramenta eficaz nesse sentido, fornecendo evidências quantificáveis de que o sistema responderá (ou não) aos objetivos definidos, seja em termos de performance ou de custos.

Muito do valor de uma organização depende da sua capacidade de criar e gerir conhecimento. Durante o projeto, procurou-se promover uma boa gestão do conhecimento através da captura de conhecimento que ficava retido nos colaboradores e que era perdido sempre que um colaborador deixava a organização. A aplicação desenvolvida é capaz de fornecer informações em tempo real, as ferramentas *Lean* implementadas envolveram a padronização e o registo formal de procedimentos e a simulação permitiu perceber a dinâmica do sistema e conhecer os diferentes cenários possíveis para o mesmo.

Através do trabalho desenvolvido, verificou-se que a transformação digital pode dar origem a bases sólidas para as práticas de pensamento *Lean*, e vice-versa. Apesar de representarem abordagens diferentes, têm objetivos coincidentes, nomeadamente a excelência operacional, a criação de processos/estruturas simples e o envolvimento dos colaboradores/utilizadores em processos e novas estratégias de negócio. A aplicação das duas abordagens (transformação digital e *Lean*) têm capacidade para alcançar melhores resultados organizacionais e eliminar perdas de forma minuciosa e sistemática, gerando elevado valor nas organizações, segundo um ciclo de mútua influência (Figura 34).

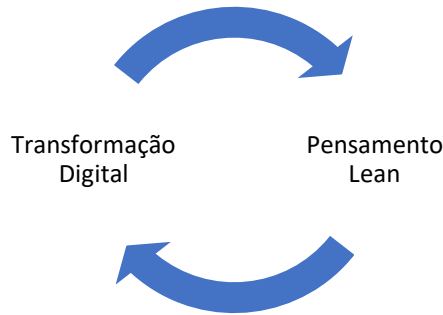


Figura 34 - Ciclo TD e Lean

Dado o âmbito de ação alargado e a natureza do trabalho realizado para dar resposta aos problemas encontrados (inexistência de processos padronizados de registo e comunicação da informação e inexistência de métricas de desempenho, seja na fábrica piloto, seja sobre o sistema logístico) tornou-se difícil a medição quantitativa do desempenho dos sistemas após implementação das medidas. Contudo, verificaram-se melhorias a diferentes níveis, nomeadamente na gestão visual, na acessibilidade, fluidez e uniformização de informações, na melhoria da eficiência de diferentes processos (seja dos fluxos de informação, dos processos relacionados com os 5S, TPM ou de logística) e, conseqüentemente, um ganho de vantagem competitiva.

As principais limitações ao trabalho desenvolvido foram abordadas ao longo dos capítulos anteriores. No entanto, salienta-se a natureza exploratória do mesmo, que se cingiu à realidade de uma empresa portuguesa, e, a nível prático, a resistência à mudança por parte dos colaboradores perante situações de alteração organizacional.

A nível de trabalho futuro, será importante clarificar, em ambientes e sistemas distintos, com diferentes níveis de maturidade tecnológica e distintas fases de implementação de práticas *Lean*, qual a relação e os efeitos bilaterais entre a transformação digital e as práticas *Lean* e aprofundar o uso de simulação para validação de mudanças no âmbito de implementação de práticas *Lean*.

Bibliografia

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>
- Abolhassani, A., Layfield, K., & Gopalakrishnan, B. (2016). Lean and US manufacturing industry: popularity of practices and implementation barriers. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 65(7), 875–897. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2014-0157>
- Ahuja, I., Khamba, J., & Choudhary, R. (2006). Improved Organizational Behavior Through Strategic TPM Implementation. *Manufacturing Engineering and Textile Engineering*, 3, 91–98.
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7), 709–756. <https://doi.org/10.1108/02656710810890890>
- Aitken, J., Christopher, M., & Towill, D. (2002). Understanding, Implementing and Exploiting Agility and Leanness. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 5(1), 59–74. <https://doi.org/10.1080/13675560110084139>
- Altiok, T., & Melamed, B. (2010). *Simulation Modeling and Analysis with ARENA* (1st ed.). Elsevier Inc.
- Anand, G., & Kodali, R. (2010). Analysis of lean manufacturing frameworks. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 9(1), 1–30. <https://doi.org/10.1142/S0219686710001776>
- Antonucci, Y. L., Fortune, A., & Kirchmer, M. (2020). An examination of associations between business process management capabilities and the benefits of digitalization: all capabilities are not equal. *Business Process Management Journal*. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-02-2020-0079>
- Anwar, A. (2014). A Review of RUP (Rational Unified Process). *International Journal of Software Engineering*, 5(2), 8–24. <http://www.cscjournals.org/library/manuscriptinfo.php?mc=IJSE-142>
- Banks, J. (1998). *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. <https://doi.org/10.1002/9780470172445>
- Bertelsen, S., & Koskela, L. (2005). Approaches to Managing Complexity in Project Production. *13th International Group for Lean Construction Conference, 19?21st July 2005, Sydney, Australia*. <https://doi.org/10.1201/9780203912928.axa>
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations and Production Management*, 34(7), 876–940. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
- Boyle, T. A., & Scherrer-Rathje, M. (2009). An empirical examination of the best practices to ensure manufacturing flexibility. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(3), 348–366. <https://doi.org/10.1108/17410380910936792>
- Brown, N., & Brown, I. (2019, September 17). From digital business strategy to digital transformation - How?: A systematic literature review. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3351108.3351122>
- Bruce, M., Daly, L., & Towers, N. (2004). Lean or agile: A solution for supply chain management

in the textiles and clothing industry? *International Journal of Operations and Production Management*, 24(1–2), 151–170. <https://doi.org/10.1108/01443570410514867>

- Brunet, A. P., & New, S. (2003). Kaizen in Japan : an empirical study. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(12), 1426–1446. <https://doi.org/10.1108/01443570310506704>
- Burton, T. T., & Boeder, S. M. (2003). *The Lean Extended Enterprise: Moving beyond the four walls to value stream excellence* (B. Raton (ed.)). J. Ross Publishers.
- Butt, J. (2020). A conceptual framework to support digital transformation in manufacturing using an integrated business process management approach. *Designs*, 4(3), 1–39. <https://doi.org/10.3390/designs4030017>
- Cambridge University Press. (2020). *Cambridge Dictionary*. <https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/business-process-management>
- Cândido, C. J. F., & Santos, S. P. (2015). Strategy implementation: What is the failure rate? *Journal of Management and Organization*, 21(2), 237–262. <https://doi.org/10.1017/jmo.2014.77>
- Carr, W. (2006). Philosophy, methodology and action research. *Journal of Philosophy of Education*, 40(4), 421–435. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9752.2006.00517.x>
- Castle, A., & Harvey, R. (2009). Lean information management: The use of observational data in health care. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58(3), 280–299. <https://doi.org/10.1108/17410400910938878>
- Cha, H., & Lee, D. (2018). Framework Based on Building Information Modelling for Information Management by Linking Construction Documents to Design Objects. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 17(May), 329–336. <https://doi.org/10.3130/jaabe.17.329>
- Chiarini, A., Belvedere, V., & Grando, A. (2020). Industry 4.0 strategies and technological developments. An exploratory research from Italian manufacturing companies. *Production Planning and Control*, 31(16), 1385–1398. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1710304>
- Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 220–240. <https://doi.org/10.1108/01443570210417515>
- Demian, P., & Walters, D. (2014). The advantages of information management through building information modelling. *Construction Management and Economics*, 32(12), 1153–1165. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.777754>
- Dumas, M., Mendling, J., La Rosa, M., & Reijers, H. A. (2012). Fundamentals of Business Process Management. In Springer Nature (Ed.), *Information Systems* (2ª, Vol. 37, Issue 6). <https://doi.org/10.1016/j.is.2011.10.008>
- European Commission. (2020). *The Digital Economy and Society Index (DESI)*. EU Digital Strategy 2020. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/digital-economy-and-society-index-desi>
- Ferreira, W., Armellini, F., & Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers and Industrial Engineering*, 149(January), 106868. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>

- Ghaleb, M. A., Suryahatmaja, U. S., & Alharkan, I. M. (2015). Modeling and simulation of queuing systems using Arena software: A case study. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/IEOM.2015.7093945>
- Gobinath, V. M. (2021). An Overview of Industry 4.0 Technologies and Benefits and Challenges That Incurred While Adopting It. *International Conference on Advances in Industrial Automation and Smart Manufacturing, ICAIASM 2019*, 1–13. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4739-3_1
- Hajian, H., & Astani, S. (2009). A Research Outlook for Real-time Project Information Management by Integrating Advanced Field Data Acquisition Systems and Building Information Modeling. *Proceedings of the 2009 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering*, 83–94. [https://doi.org/10.1061/41052\(346\)9](https://doi.org/10.1061/41052(346)9)
- Hallgren, M., & Olhager, J. (2009). Lean and agile manufacturing: External and internal drivers and performance outcomes. *International Journal of Operations and Production Management*, 29(10), 976–999. <https://doi.org/10.1108/01443570910993456>
- Hammer, D. (1997). Lean Information Management. *Journal of Computing and Information Technology*, 5(3), 145–157.
- Hicks, B. J. (2007). Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, 27(4), 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2006.12.001>
- Hoad, K., Robinson, S., & Davies, R. (2010). Automated selection of the number of replications for a discrete-event simulation. *Journal of the Operational Research Society*, 61(11), 1632–1644. <https://doi.org/10.1057/jors.2009.121>
- Hodge, G. L., Ross, K. G., Joines, J. A., & Thoney, K. (2011). Adapting lean manufacturing principles to the textile industry. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 22(3), 237–247. <https://doi.org/10.1080/09537287.2010.498577>
- Ibbitson, A., & Smith, R. (2011). *The Lean Information Management Toolkit*. Ark Group.
- Jacquemont, D., Maor, D., & Reich, A. (2015). *How to beat the transformation odds*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/organization/our-insights/how-to-beat-the-transformation-odds>
- Kemmis, S. (1988). Action Research, in: J. P. Keeves. In *Educational Research Methodology and Measurement: An International Handbook* (pp. 42–49).
- Kenneth, C. L., & Jane, P. L. (2012). *Management Information Systems*. www.myMISlab.com
- Kesen, S. E., & Baykoç, Ö. F. (2007). Simulation of automated guided vehicle (AGV) systems based on just-in-time (JIT) philosophy in a job-shop environment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(3), 272–284. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2006.11.002>
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *International Federation of Automatic Control Journal*, 28(3), 1870–1875. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>
- Koning, H. de, Verver, J. P. S., Heuvel, J. van den, Bisgaard, S., & Does, R. J. M. M. (2006). Lean Six Sigma in Healthcare. *Journal for Healthcare Quality*, 28(3), 4–11. <https://doi.org/10.1111/j.1945-1474.2006.tb00596.x>
- Kraljić, T., Kraljić, A., Poels, G., & Devos, J. (2014). Business process modelling in ERP

- implementation: Literature review. *Proceedings of the 8th European Conference on Information Management and Evaluation, ECIME 2014*, 298–308.
- Kruchten, P. (2002). Introduction to the Rational Unified Process. *Proceedings - International Conference on Software Engineering, 2000*, 703.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1983). Simulation Modeling & Analysis. In *Winter Simulation Conference Proceedings* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1201/9781351074681-5>
- Małopolski, W. (2014). Cost optimization in manufacturing system with unidirectional AGVs. *Applied Mechanics and Materials*, 555, 822–828. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.555.822>
- Mantravadi, S., & Møller, C. (2019). An overview of next-generation manufacturing execution systems: How important is MES for industry 4.0? *Procedia Manufacturing*, 30, 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.083>
- Martínez, E. C., Dujé, D., & Pérez, G. A. (1997). On performance modeling of project oriented production. *Computers and Industrial Engineering*, 32(3), 509–527. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(97\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(97)00005-3)
- Mason-Jones, R., Naylor, B., & Towill, D. R. (2000). Lean, agile or leagile? Matching your supply chain to the marketplace. *International Journal of Production Research*, 38(17), 4061–4070. <https://doi.org/10.1080/00207540050204920>
- McKone, E. K., Schroeder, R. G., & Cua, K. O. (2001). The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance. *Journal of Operations Management*, 19, 39–58.
- McLean, R., & Antony, J. (2014). Why continuous improvement initiatives fail in manufacturing environments? A systematic review of the evidence. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(3), 370–376. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2013-0124>
- Narasimhan, R., Swink, M., & Kim, S. W. (2006). Disentangling leanness and agility: An empirical investigation. *Journal of Operations Management*, 24(5), 440–457. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.11.011>
- Nash, M., Poling, S. R., & Ward, S. (2006). *Using Lean for Faster Six Sigma Results* (P. Press (ed.)). Productivity Press.
- Oborski, P. (2018). Integration of machine operators with shop floor control system for industry 4.0. *Management and Production Engineering Review*, 9(4), 48–55. <https://doi.org/10.24425/119545>
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. CRC Press.
- Osada, T. (1991). *The 5S's: five keys to a total quality environment*. Asian Productivity Organization.
- Ould, M. a. (2005). Business Process Management: A Rigorous Approach. *Business, May*, 1–363.
- Ozkaya, M., & Erata, F. (2020). A survey on the practical use of UML for different software architecture viewpoints. *Information and Software Technology*, 121(February), 106275. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106275>
- Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K., & Jambekar, A. B. (2003). Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, 41(13), 3075–3090. <https://doi.org/10.1080/0020754021000049817>

- Radnor, Z. (2011). Implementing Lean in Health Care: Making the link between the approach, readiness and sustainability. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIE)*, 2(1), 1–12. <http://www.ftn.uns.ac.rs/ijiem/>
- Rajabi, B. A., & Lee, S. P. (2009). Change management in business process modeling survey. *Proceedings - 2009 International Conference on Information Management and Engineering, ICIME 2009*, 37–41. <https://doi.org/10.1109/ICIME.2009.25>
- Ramdass, K. (2015). Integrating 5S principles with process improvement: A case study. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, 1908–1917*. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2015.7273045>
- Randhawa, J. S., & Ahuja, I. S. (2017). 5S – a quality improvement tool for sustainable performance: literature review and directions. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 34(3), 334–361. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2015-0045>
- Redeker, G. A., Kessler, G. Z., & Kipper, L. M. (2019). Lean information for lean communication: Analysis of concepts, tools, references, and terms. *International Journal of Information Management*, 47(October 2018), 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.12.018>
- Rosing, M. von, White, S., & Man, H. de. (2012). Business Process Model and Notation—BPMN. *The Complete Business Process Handbook*, 1, 429–453. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-33155-8>
- Sanchez, M., Exposito, E., & Aguilar, J. (2020). Industry 4.0: survey from a system integration perspective. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(10–11), 1017–1041. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1775295>
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 811–833. <https://doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Santos, C. H. dos, de Queiroz, J. A., Leal, F., & Montevechi, J. A. B. (2020). Use of simulation in the industry 4.0 context: Creation of a Digital Twin to optimise decision making on non-automated process. *Journal of Simulation*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1811172>
- Schmidt, J. W., & Taylor, R. E. (1970). *Simulation and Analysis of Industrial Systems* (R. D. Irwin (ed.)).
- Scholz, R. W., Bartelsman, E. J., Diefenbach, S., Franke, L., Grunwald, A., Helbing, D., Hill, R., Hilty, L., Höjer, M., Klauser, S., Montag, C., Parycek, P., Prote, J. P., Renn, O., Reichel, A., Schuh, G., Steiner, G., & Pereira, G. V. (2018). Unintended side effects of the digital transition: European scientists' messages from a proposition-based expert round table. *Sustainability (Switzerland)*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/su10062001>
- Schönig, S., Ackermann, L., Jablonski, S., & Ermer, A. (2020). IoT meets BPM: a bidirectional communication architecture for IoT-aware process execution. *Software and Systems Modeling*, 19(6), 1443–1459. <https://doi.org/10.1007/s10270-020-00785-7>
- Şenaras, A. E. (2019). Parameter optimization using the surface response technique in automated guided vehicles. *Sustainable Engineering Products and Manufacturing Technologies*, 187–197. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816564-5.00008-6>
- Sharma, V., Dixit, A. R., & Qadri, M. A. (2016). Modeling Lean implementation for manufacturing sector. *Journal of Modelling in Management*, 11(2), 405–426. <https://doi.org/10.1108/JM2-05-2014-0040>
- Singh, R., Gohil, A. M., Shah, D. B., & Desai, S. (2013). Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop : A Case Study. *Procedia Engineering*, 51, 592–599.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.084>

- Soares, S., & Teixeira, L. (2014). Lean information management in industrial context: An experience based on a practical case. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(2), 107–114.
- Sohal, A. S., & Egglestone, A. (1994). Lean Production: Experience among Australian Organizations. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(11), 35–51. <https://doi.org/10.1108/01443579410068639>
- Song, S., & Zhong, Y. (2021). Exploration of Interactive Urban Sculpture Based on Augmented Reality. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1233 AISC, 1233 AISC, 438–443. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51431-0_63
- Sujová, E., Vysloužilová, D., Čierna, H., & Bambura, R. (2020). Simulation Models of Production Plants as a Tool for Implementation of the Digital Twin Concept into Production. *Manufacturing Technology*, 20(4), 527–533. <https://doi.org/10.21062/mft.2020.064>
- Takács-Sánta, A. (2004). The major transitions in the history of human transformation of the biosphere. *Human Ecology Review*, 11(1), 51–66.
- Tako, A. A., & Robinson, S. (2012). The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems*, 52(4), 802–815. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2011.11.015>
- Teixeira, L., Ferreira, C., & Santos, B. (2019). An Information Management Framework to Industry 4.0: A Lean Thinking Approach. *International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications*, 1063–1069. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02053-8_162
- Thawesaengskulthai, N. (2010). An empirical framework for selecting quality management and improvement initiatives. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(2), 156–172.
- Tupa, J., & Steiner, F. (2019). Industry 4.0 and Business Process Management. *The Journal Tehnički Glasnik - Technical Journal*, 13(4), 349–355. <https://doi.org/10.31803/tg-20181008155243>
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_7
- Von Rosing, M., & Etzel, G. (2020). Introduction to The Digital Transformation Lifecycle. *CEUR Workshop Proceedings*, 2574(2018), 92–99.
- Von Rosing, M., Von Scheel, H., & Scheer, A. W. (2014). *The Complete Business Process Handbook: Body of Knowledge from Process Modeling to BPM* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1016/C2013-0-13596-9>
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP*, 63, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>
- Wallace, M. (1987). A Historical Review of Action Research: some implications for the education of teachers in their managerial role. *Journal of Education for Teaching*, 13(2), 97–115. <https://doi.org/10.1080/0260747870130201>
- Wan, J., Cai, H., & Zhou, K. (2015). Industrie 4.0: Enabling technologies. *Proceedings of 2015 International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things, ICIT 2015*, 135–140. <https://doi.org/10.1109/ICAOT.2015.7111555>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your*

Corporation (G. P. Publishing (ed.)).

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). The Machine That Changed the World. In *Harper Perennial* (Vol. 28, Issue 08). <https://doi.org/10.5860/choice.28-4589>

Wong, Y. C., Wong, K. Y., & Ali, A. (2009). A Study on Lean Manufacturing Implementation in the Malaysian Electrical and Electronics Industry. *European Journal of Scientific Research*, 38(4), 521–535.

Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

Zelenović, D. M. (1982). Flexibility—a condition for effective production systems. *International Journal of Production Research*, 20(3), 319–337. <https://doi.org/10.1080/00207548208947770>

Zur Muehlen, M., & Indulska, M. (2010). Modeling languages for business processes and business rules: A representational analysis. *Information Systems*, 35(4), 379–390. <https://doi.org/10.1016/j.is.2009.02.006>

Anexos

Anexo I

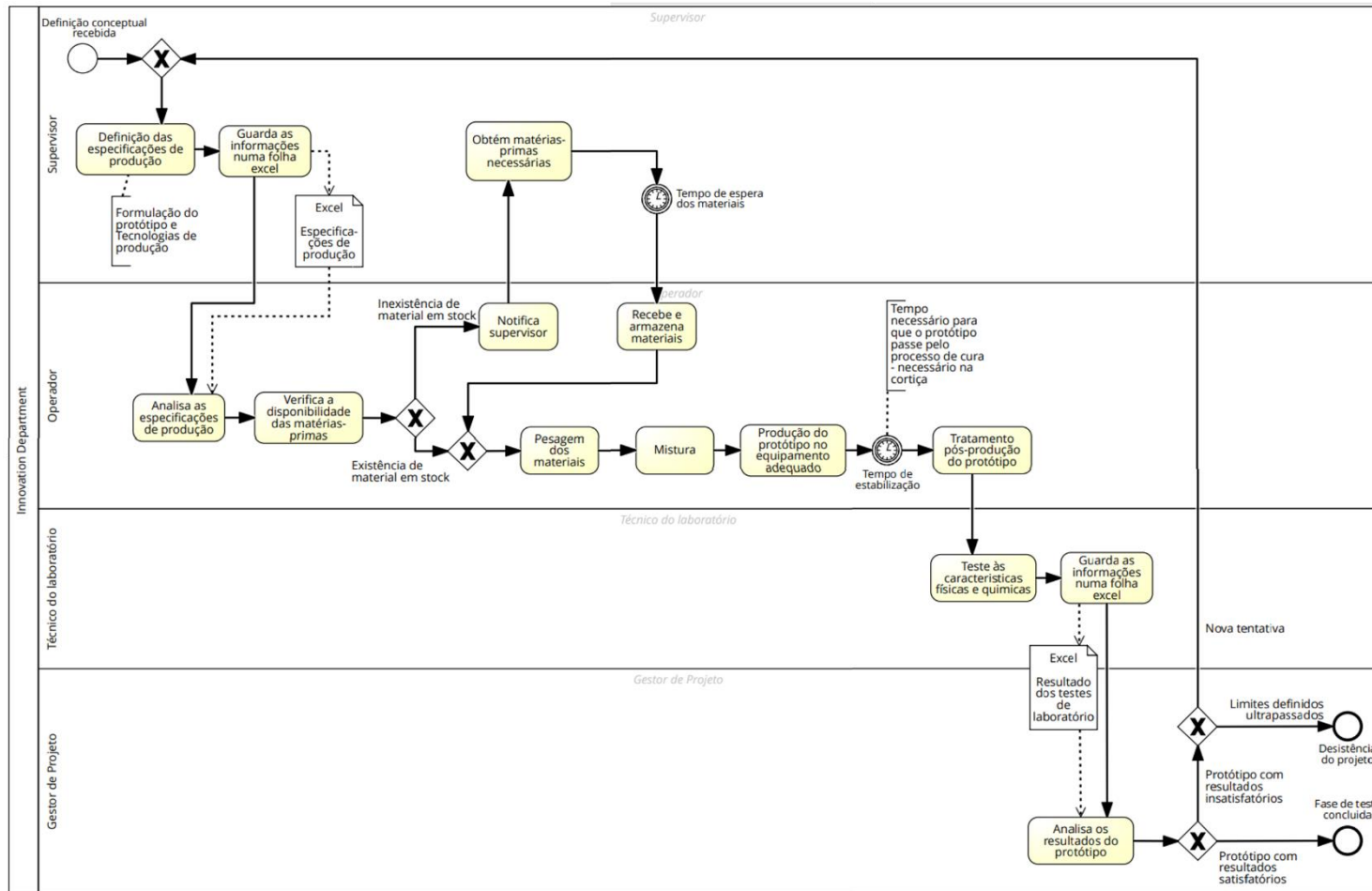


Figura 35 – Modelo AS-IS da fase teste do macroprocesso

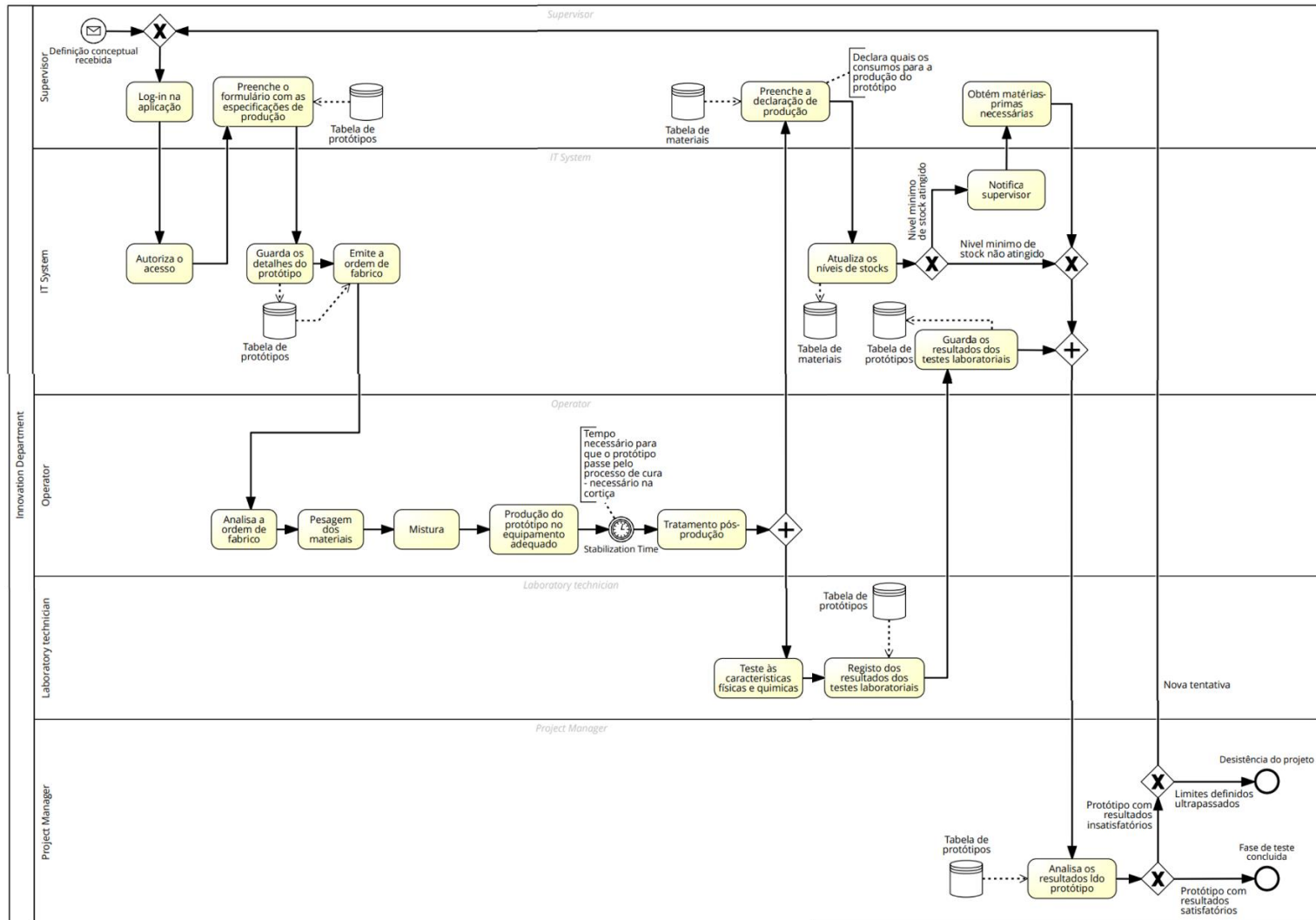


Figura 36 – Modelo TO-BE da fase teste do macroprocesso

Anexo II

Tabela 11 - Modelo Relacional

| Tabela | Atributo |
|-------------------------|---|
| Utilizador | <u>idUser</u> , nomeUtilizador, status, email, dataRegisto |
| Regista_Utilizador | <u>idUserRegista</u> , <u>idUserRegistado</u> |
| Perfil_Utilizador | <u>idPerfil</u> , descricaoPerfil, dataRegisto |
| Modifica_Perfil | <u>idModPerfil</u> , dataModificacao, justificacao, <i>idUser</i> , <i>idPerfil</i> |
| Material | <u>idMaterial</u> , referencia, lote, quantidadeEmStock, marca/Fornecedor, tipologia, dataRegisto, <i>idUser</i> , <i>idUnidade</i> |
| Modifica_Material | <u>idModMaterial</u> , dataModificacao, <i>idUser</i> , <i>idMaterial</i> |
| Declaracao_Producao | <u>idDeclaracaoProducao</u> , ordemDeFabrico, tipologia, dataRegisto, <i>idUser</i> |
| Consumo | <u>idConsumo</u> , quantidadeDeclarada, <i>idMaterial</i> , <i>idDeclaracaoProducao</i> |
| Localizacao | <u>idLocalizacao</u> , macroArea, microArea, dataRegisto |
| Localizacao_do_Material | <u>idRegistoLocalizacao</u> , dataSaida, dataRegisto, <i>idMaterial</i> , <i>idLocalizacao</i> |
| Prototipo | <u>nrPrototipo</u> , formulacao, pedidoPor, descricaoAdicional, inicioProducao, anexos, dataRegisto, <i>idProjeto</i> , <i>idTecnologia</i> , <i>idUser</i> |

| | |
|---------------------|---|
| Modifica_Prototipo | <u>idModPrototipo</u> , dataModificacao, <i>idUser</i> , <i>nrPrototipo</i> |
| Tecnologia_Producao | <u>idTecnologia</u> , nomeTecn, dataRegisto |
| Projeto | <u>nrProjeto</u> , nomeProjeto, anexos, inicioProjeto, fimProjeto, estado, projectManager, dataRegisto, <i>idTipoProjeto</i> , <i>idUser</i> |
| Modifica_Projeto | <u>idModProjeto</u> , dataModificacao, <i>idUser</i> , <i>nrProjeto</i> |
| Tipologia_Projeto | <u>idTipologia</u> , nomeTipologia, criado, modificado |
| Pedido_Amostra | <u>idPedido</u> , generalStatus, cliente, referenciaProduto, quantidade, descricaoProduto, observacoesGerais, etiquetaEmbalagem, localEntrega, dataExpedicaoPretendida, comFatura?, centroDeCustos, delegadoA, dataRejeicao/Aprovacao, rejeitado/AprovadoPor, comentarioRejeicao, dataExecucao, dataExpedicao, dataRegisto, <i>idUser</i> , <i>idUnidade</i> , <i>idTipoPedido</i> , <i>idTipoProduto</i> , <i>idTipoEmbalagem</i> , <i>idCluster</i> |
| Modifica_Pedido | <u>idModPedido</u> , dataModificacao, <i>idUser</i> , <i>idPedido</i> |
| Unidade_Medida | <u>idUnidade</u> , descricao, dataRegisto |
| Tipo_Pedido | <u>idTipoPedido</u> , nomeTipoPedido, dataRegisto |
| Tipo_Produto | <u>idTipoProduto</u> , nomeTipoProduto, dataRegisto |
| Tipo_Embalagem | <u>idTipoEmbalagem</u> , nomeTipoEmbalagem, dataRegisto |
| Cluster | <u>IdCluster</u> , nomeCluster, emailResponsavel, dataRegisto |

Anexo III

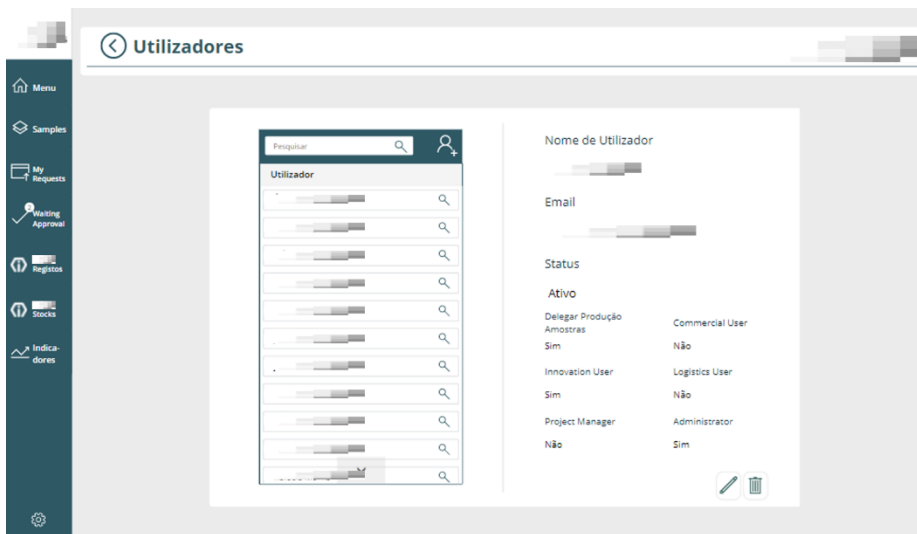


Figura 37 - Screen "Utilizadores"

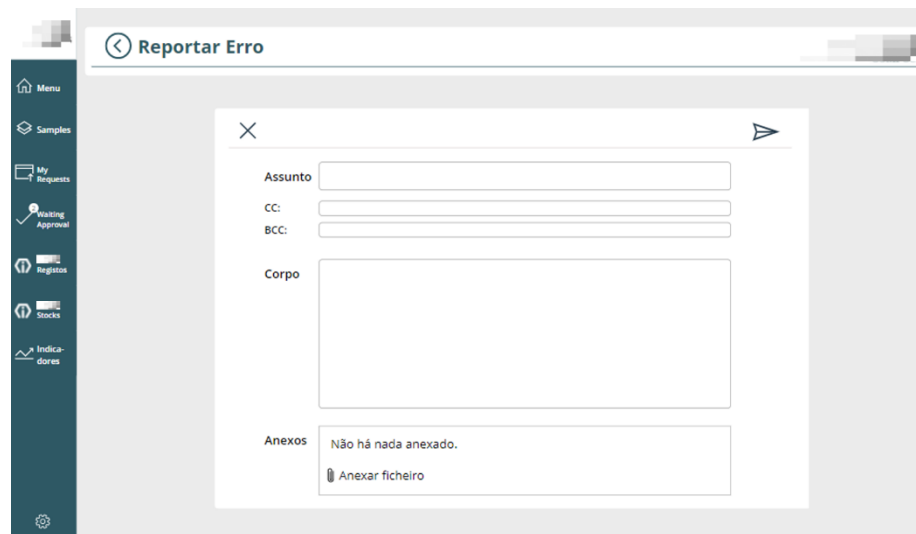


Figura 38 - Screen "Reportar Erro"

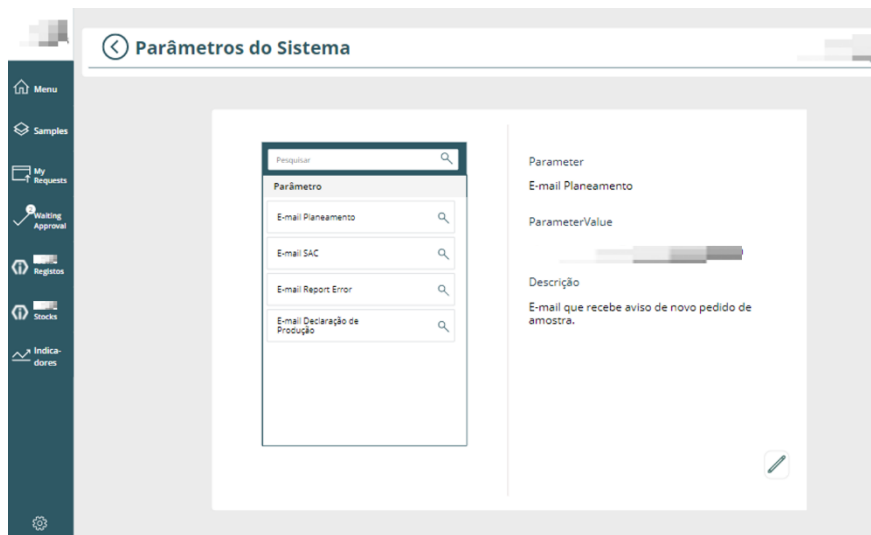


Figura 39 - Screen "Parâmetros do Sistema"

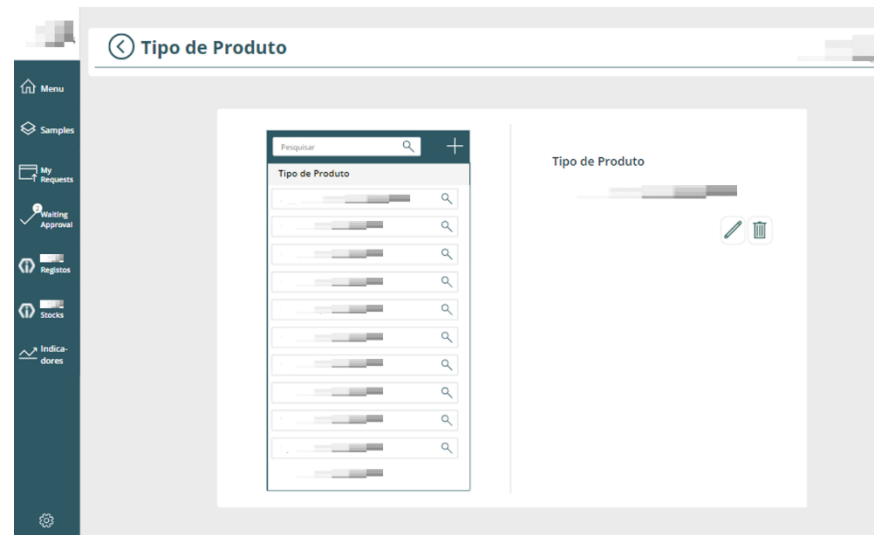


Figura 40 - Screen "Tipo de Produto"

Anexo IV

| Auditoria 5S | | | | | | |
|---------------|----|--|---|--|--|--|
| Departamento: | | | Data: | | | |
| Área: | | | Responsável: | | | |
| 1S | # | Check Item | Descrição | Pontuação | | |
| | | | | 0 <small>A maioria sem utilização</small> | 1 <small>Alguns sem utilização</small> | 2 <small>Todos em utilização</small> |
| Triagem | 1 | Materiais ou produtos | Existe produto acabado/em curso/matéria prima desnecessário? | x | | |
| | 2 | Mesas de trabalho, bancadas ou armários | Para que serve esta mesa? É necessária? | | x | |
| | 3 | Máquinas e Equipamentos | A máquina ou equipamento é utilizado? | | | x |
| | 4 | Ferramentas | Para que serve esta ferramenta? Existem itens similares à volta? | x | | |
| | 5 | Documentos | Para que serve este documento? É necessário? | x | | |
| | 6 | Área de trabalho | Para que serve este espaço? | | x | |
| | | | | Total | 0 | 2 |
| 2S | # | Check Item | Descrição | Pontuação | | |
| | | | | 0 <small>Alguns s/ marcação</small> | 1 <small>Marcado s/ sinalização clara</small> | 2 <small>Marcado e sinalizado</small> |
| Organização | 7 | Recipientes e paletes para materiais ou produtos | O produto acabado/em curso/matéria prima tem localização definida e assinalada? | x | | |
| | 8 | Mesas de trabalho, bancadas ou armários | As zonas de trabalho e arrumação estão marcadas? | | x | |
| | 9 | Máquinas e Equipamentos | As máquinas e equipamentos têm localização definida e assinalada? | | x | |
| | 10 | Ferramentas | As ferramentas têm localização definida e assinalada? | x | | |
| | 11 | Área de trabalho | Há livre acesso? | | x | |
| | 12 | Espaço e pavimento | As áreas de passagem estão marcadas de forma clara? | | | x |
| | 13 | Indicadores | As quantidades máxima e mínima permitida são indicadas? | x | | |
| | | | Total | 0 | 3 | 2 |
| 3S | # | Check Item | Descrição | Pontuação | | |
| | | | | 0 <small>Mais de 5 locais sujos</small> | 1 <small>1 a 5 locais sujos</small> | 2 <small>Limpo sem suidade</small> |
| Limpeza | 14 | Recipientes e paletes para materiais ou produtos | Os recipientes e paletes estão limpos e sem resíduos? | x | | |
| | 15 | Mesas de trabalho, bancadas ou armários | As zonas de trabalho e arrumação estão limpas e sem resíduos? | x | | |
| | 16 | Máquinas e Equipamentos | A máquina é limpa frequentemente e mantida livre de aparas, lascas e óleo? | x | | |
| | 17 | Ferramentas | As ferramentas estão limpas e sem resíduos? | | | x |
| | 18 | Espaço e pavimento | Os pisos estão limpos e sem resíduos? | | | x |
| | | | Total | 0 | 0 | 4 |

| 4S | # | Check Item | Descrição | Pontuação | | |
|--|----|---------------------------------|--|-----------|----------------------|---------------------|
| | | | | 0 | 1 | 2 |
| | | | | Não | Não, em alguns casos | Sim, na maioria dos |
| Padronização | 19 | Ideias de Melhoria | As ideias de melhoria a ser colocadas em prática? | | x | |
| | 20 | Documentos | Os documentos estão atualizados com a última versão e devidamente preenchidos? | | x | |
| | 21 | Standardização de procedimentos | Os procedimentos padrão estão definidos e são claros para todos? | | x | |
| | 22 | Documentação de procedimentos | Os procedimentos padrão estão definidos estão documentados e visíveis? | x | | |
| | 23 | Primeiros 3Ss | Os primeiros três Ss (triagem, organização e limpeza) estão a ser mantidos? | x | | |
| | 24 | Atribuição de responsabilidades | Existe uma pessoa responsável por supervisionar a manutenção dos primeiros 3 Ss? | x | | |
| | | | Total | 0 | 3 | 0 |
| 5S | # | Check Item | Descrição | Pontuação | | |
| | | | | 0 | 1 | 2 |
| | | | | Não | Não, em alguns casos | Sim, na maioria dos |
| Disciplina | 25 | Formação | Todos os trabalhadores estão treinados e conhecem o procedimento padrão? | x | | |
| | 26 | Auditorias | Existem auditorias 5S regulares e estão definidos os responsáveis? | x | | |
| | 27 | Materiais ou produtos | A organização dos materiais e produtos está a ser respeitada? | x | | |
| | 28 | Área de trabalho | A organização da área de trabalho está a ser respeitada? | x | | |
| | 29 | Ferramentas | As ferramentas estão a ser armazenadas corretamente? | x | | |
| | 30 | Procedimentos | Os procedimentos estão atualizados e são revistos regularmente? | x | | |
| | | | Total | 0 | 0 | 0 |
| Pontual Total Geral | | | | 16 | | |
| Pontual Total Percentual | | | | 26,67% | | |
| Observações: | | | | | | |
| É normal que a avaliação dos últimos 2Ss seja tão baixa, uma vez que esta auditoria aconteceu antes da implementação dos 5Ss e, conseqüentemente, não havia padronização de muitos procedimentos ou técnicas de disciplina em funcionamento. | | | | | | |
| Esta auditoria serviu para analisar o estado inicial do ambiente produtivo na fábrica piloto. | | | | | | |

Figura 41 - Estrutura da auditoria 5S

Anexo V

| Linha: [REDACTED] | | PLANO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA | | | | | |
|-----------------------|-------------|-----------------------------------|---|---|---|--|--------------------|
| Legenda dos Símbolos: | | Legenda das cores (Frequência): | | | | | |
| | | | | | | | |
| Nº | Equipamento | Tipo de intervenção | Órgão | Ferramentas | Instrução | Observações | Quando Fazer? |
| 1 | Extrusora | | Motor/Bomba | - | Verificação de ruídos anormais. | Clique; cavitação; Assobio; vedação do eixo seca; Trituração/Moagem; problemas no rolamento | Antes do arranque. |
| 2 | | | Sistemas de segurança | - | Teste e verificação dos sistemas de segurança do equipamento e proteções mecânicas. | | Antes do arranque. |
| 3 | | | Regulador de temperatura | - | Verificar temperatura | -20 a + 40 °C | Antes do arranque. |
| 4 | | | Manómetro | - | Verificar estado do manómetro | | Antes do arranque. |
| 5 | | | Vedação do eixo | - | Verificação visual de vazamentos | | Antes do arranque. |
| 6 | | | Sistema de arrefecimento | - | Verificação do abastecimento e descarga de água | | Antes do arranque. |
| 7 | | | Mangueiras | - | Verificação visual de vazamentos | | Antes do arranque. |
| 8 | | | Fleira | Espátula | Limpeza da fleira | | Final de turno. |
| | | | Bomba de vácuo | Panos de limpeza | Limpeza da bomba de vácuo | | Final de turno. |
| | | | Área envolvente e equipamento | Aspirador, ar comprimido, panos de limpeza, etc | Limpeza da área envolvente e alimentadores | | Final de turno. |
| 9 | | | Válvulas de controlo | - | Verificação visual de vazamentos | | Antes do arranque. |
| 10 | | | Filtros e armadilhas de sujidade | Aspirador, ar comprimido, panos de limpeza, etc | Limpeza geral | | Antes do arranque. |
| 11 | | | Equipamento geral | - | Verificar os parafusos e, se necessário, apertar | | Antes do arranque. |
| 12 | | | Rolamentos | - | Verificar ruído de rolamento e a folga do eixo | | Antes do arranque. |
| 13 | | | Embreagem | - | Verificar o funcionamento suave da embreagem e, se necessário, alinhar | | Antes do arranque. |
| 14 | | | Sistema de arrefecimento | - | Verificação do sistemas de arrefecimento | Água - indicadores recomendados para evitar corrosão: (1) pH: 7,5 - 9,5 (2) O ₂ : < 0,1 mg/l (3) Cl: < 5 mg/l (4) SO ₄ : < 50 mg/l | Antes do arranque. |
| 15 | | | Equipamento geral | - | Verificação do estado da estrutura da máquina (fissuras) | | Final de turno. |
| 16 | | | Rede de tubos - juntas flangeadas | - | Verificar possíveis fugas | | Final de turno. |
| 17 | | Rede de tubos - encaixes de fecho | - | Verificar se os fusos se movem livremente | | Final de turno. | |
| 18 | | Equipamento geral | Aspirador, ar comprimido, panos de limpeza, etc | Limpeza geral do equipamento | | Final de turno. | |

Figura 42 - Exemplo de um plano de manutenção autónoma

Anexo VI

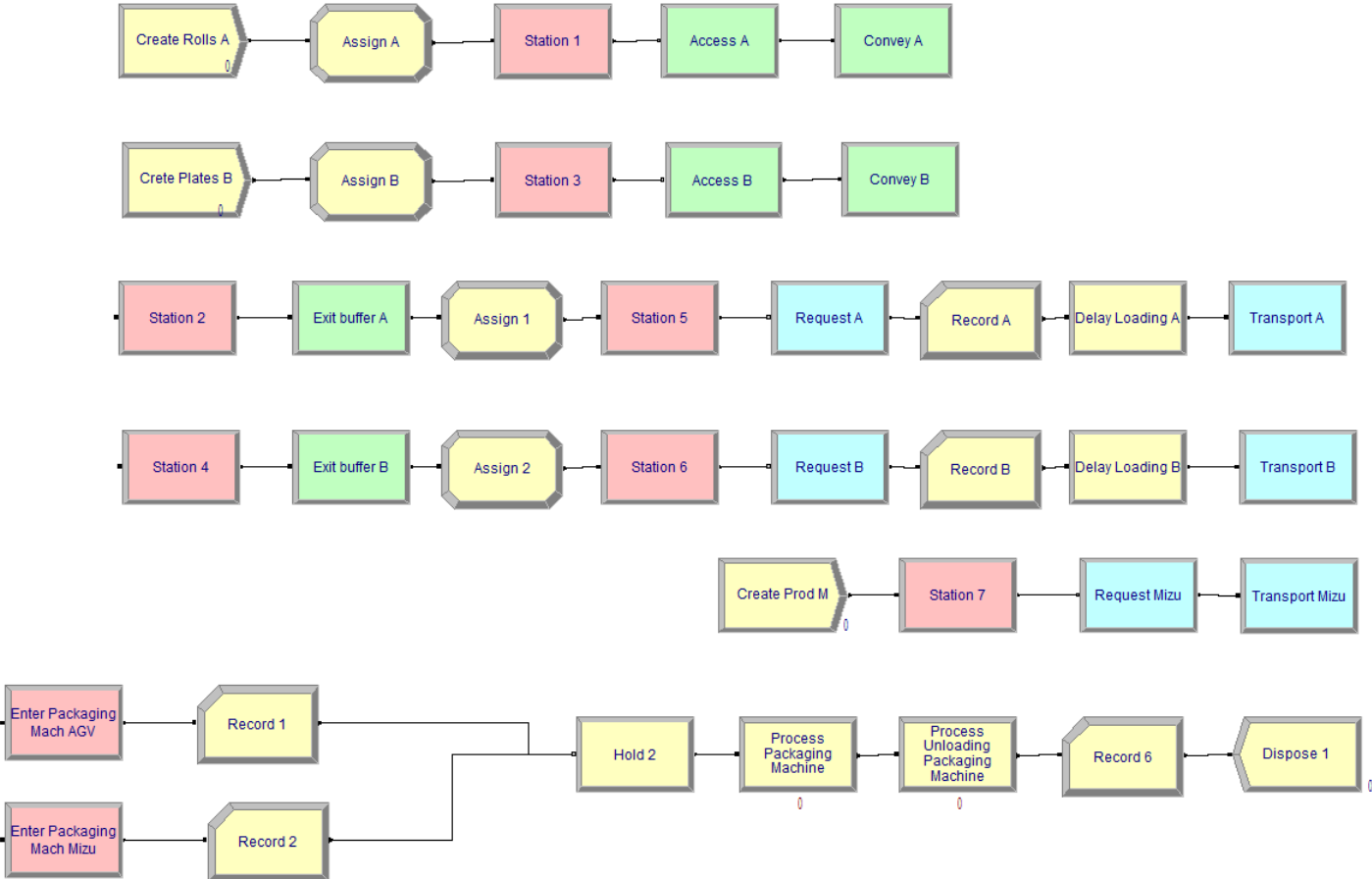


Figura 43 - Modelo Arena

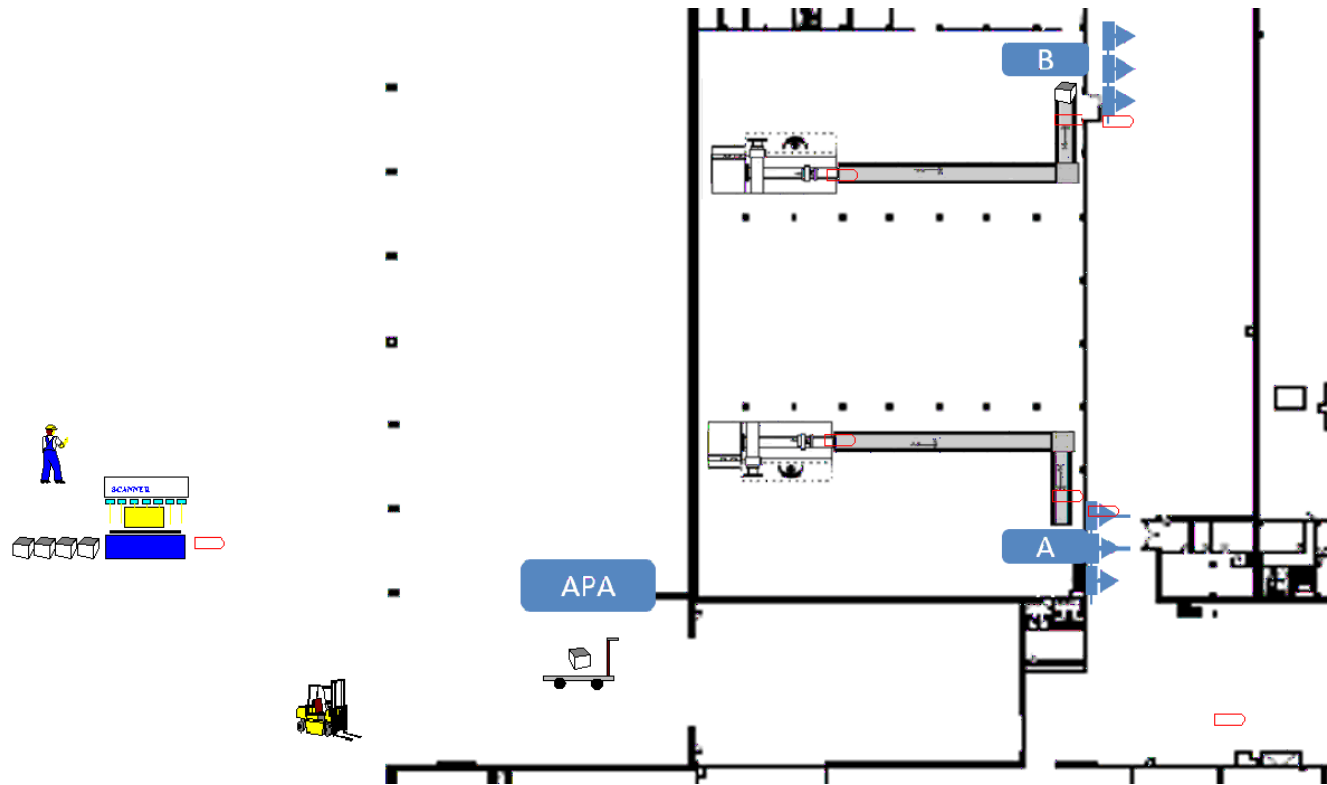


Figura 44 - Animação Arena