

Digitalização do Chão de Fábrica numa Empresa do Setor Automóvel

Carla Sofia Alvim Gonçalves Bernardes Ferreira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Pedro Amorim



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2021-06-28

Resumo

Nos dias de hoje, particularmente no setor automóvel, a exigência ao nível da eficiência e qualidade das operações leva as empresas a procurar soluções inovadoras que permitam manter a sua posição no mercado. Por outro lado, à imagem das anteriores, a quarta revolução industrial promete transformar uma vez mais o setor e tornar obsoletas as empresas que se oponham à sua integração.

A empresa abordada no decorrer desta dissertação apresenta um elevado volume de negócios e dispersão geográfica, assim como uma vasta gama de produtos. O seu foco é a produção de componentes para automóveis, em conformidade com rígidas especificações, no menor período de tempo possível. Apesar de a organização procurar a melhoria contínua das suas operações, através de várias iniciativas já adotadas, o processo de recolha de informação do seu processo produtivo era ainda bastante rudimentar e dependente do colaborador, dificultando a identificação da causa-raiz de problemas e a tomada de ação rápida e incisiva sobre os mesmos.

Neste sentido, em conjunto com a proGrow, a Deloitte concebeu um projeto de digitalização progressivo do chão de fábrica da empresa, focando-se inicialmente nas operações de injeção e, seguidamente, nas operações de montagem, com vista a permitir a realização de manutenção preditiva no futuro. Para este propósito, foi associado um dispositivo IoT a cada máquina de injeção, responsável pela recolha de vários sinais em tempo real, por exemplo o estado de produção do equipamento. Os dados obtidos, assim como outros sistemas de informação da empresa, foram integrados numa plataforma *web* com várias funcionalidades, entre as quais *dashboards* para facilitar a visualização do panorama do chão de fábrica em tempo real. Por outro lado, foram automatizados registos de produção que anteriormente eram manuais, permitindo ao colaborador registar ocorrências com maior precisão e detalhe.

Durante o projeto foram: selecionados indicadores de desempenho relevantes para análise, de acordo com o contexto da empresa e o *benchmarking* conduzido; especificadas e configuradas *dashboards* intuitivas que permitem visualizar claramente o panorama geral a nível do chão de fábrica; e concebidos relatórios digitais que combinam diferentes indicadores e dimensões de análise face à audiência e propósito a que se destinam.

Em suma, com este projeto pretende-se atuar principalmente ao nível de três eixos de ação. Em primeiro lugar, na melhoria da eficiência operacional do processo produtivo, através da recolha de informação em tempo real e do uso de ferramentas avançadas de visualização. De seguida, na redução do trabalho administrativo, libertando os colaboradores de tarefas manuais e monótonas que não acrescentam valor. E, num horizonte mais alargado, no reforço das iniciativas de melhoria contínua, através de funcionalidades da plataforma que facilitam o acompanhamento da sua evolução.

Abstract

Shopfloor Digitalization in a Company in the Automotive Sector

Nowadays, particularly in the automotive sector, the demand for efficiency and quality in their operations leads companies to seek innovative solutions that allow them to maintain their position in the market. On the other hand, like the previous ones, the fourth industrial revolution promises to once again transform the sector's landscape and render obsolete the companies that are averse to its integration.

The company addressed in this dissertation has a high turnover and geographical dispersion, as well as a wide range of products. Its focus is on the production of automotive components in compliance with strict specifications, in the shortest possible time. Although the organization seeks the continuous improvement of its operations and has engaged in multiple initiatives, the process of collecting information on its production process was still very rudimentary and employee-dependent, making it difficult to identify the root cause of problems and act quickly and incisively on them.

Following this, together with proGrow, Deloitte devised a progressive digitization project of the company's shop floor, initially focusing on injection operations and, then, on the assembly operations, with the future goal of enabling predictive maintenance. For this purpose, an IoT device was associated with each injection machine, being responsible for collecting various signals in real-time, such as the production status of the equipment. The data obtained, as well as the company's other information systems, were integrated into a web platform that has multiple functionalities, among which several dashboards that provide an overview of the factory's shop floor in real-time. On the other hand, previously manual production records were automated, allowing the employee to record occurrences with greater precision and detail.

During the project: relevant performance indicators were selected for analysis, according to the company's context and the benchmarking carried out; intuitive dashboards were specified and configured to clearly visualize the overall picture at shop floor level; and digital reports that combine different indicators and dimensions of analysis according to their intended audience and purpose were developed.

To sum up, the project encompasses three main courses of action. Firstly, the improvement of the operational efficiency of the production process, through the collection of information in real-time and the use of advanced visualization tools. Next, the reduction of administrative work, freeing employees from manual and monotonous tasks that do not add value. And, on a broader horizon, the incentive for the creation of continuous improvement initiatives, through platform functionalities that facilitate the monitoring of their evolution.

Agradecimentos

Depois de quatro meses a evitar este capítulo, chegou finalmente o momento em que não pude adiar mais a escrita dos Agradecimentos. Não porque sinto que não tenho a quem agradecer, mas sim porque sinto que nem tenho palavras para o fazer.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Deloitte pela oportunidade e pela experiência que me proporcionaram, desafiante a vários níveis, e em particular ao meu orientador, Filipe Faria, pelo apoio profissional prestado. De igual modo, agradeço a toda a equipa de projeto em que me integrei pelo crescimento que me possibilitaram, e em especial ao José Ribeiro por toda a paciência, aconselhamento e motivação.

Agradeço também ao Professor Pedro Amorim pela orientação prestada na elaboração desta dissertação e pela sua prontidão de resposta, de modo a esclarecer as minhas dúvidas. Gostaria ainda de dar uma palavra de apreço a todos os Professores que me acompanharam ao longo do meu percurso académico e me ajudaram a conhecer a vastidão de caminhos que este curso permite tomar.

Não podia deixar de agradecer a todos os amigos e colegas com que partilhei estes últimos anos, em especial à Beatriz e à Ivânia que me fizeram perceber o significado de segunda família. Depois de um ERASMUS que mudou a minha vida, tenho de agradecer também à Sara por me ter acompanhado em momentos que mais ninguém iria compreender, e à Kelly por me fazer acreditar que sou capaz de tudo aquilo a que me propuser. Por fim, um agradecimento especial à Alexandra, a minha companheira de todas as horas que me ajudou a sobreviver a cinco anos de FEUP.

Mais que tudo, tenho de agradecer à minha família. À minha mãe que me acompanhou sempre e me ajudou a ultrapassar todos os momentos mais difíceis, mesmo quando lhe liguei às quatro da manhã no dia antes de um exame para me ajudar porque não conseguia dormir. Ao meu pai que acredita sempre em mim, não vê limites no meu futuro, e aponta o nome de todas as empresas boas que encontra para eu ir trabalhar. Ao meu irmão, que é tão diferente de mim e com isso me faz crescer tanto. E ao meu avô que, mais do que ninguém, dava tudo para estar aqui neste momento.

Por fim, agradeço à Rafaela e à Cláudia, que me conhecem desde os 5 anos quando sonhava em ser professora primária, me aturaram durante a adolescência quando pensei em ser médica, me compreenderam no último ano quando queria ser advogada, e me apoiaram quando, por alguma razão, decidi ser engenheira. Obrigada por me ensinarem o significado de amizade para a vida, já sei que vão estar comigo no que quer que eu resolva ser a seguir.

"The size of your dreams must always exceed your current capacity to achieve them. If your dreams do not scare you, they are not big enough."

Ellen Johnson Sirleaf

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Introdução à Deloitte e à proGrow	3
1.2	Objetivos do Projeto	3
1.3	Planeamento de Atividades	4
1.4	Estrutura da Dissertação	5
2	Enquadramento Teórico	6
2.1	Introdução à Indústria 4.0	7
2.2	Digitalização das Operações	8
2.3	Indústria 4.0 vs Melhoria Contínua	13
2.4	Gestão da Mudança	15
2.5	Contextualização da Dissertação	16
3	Panorama Atual do Setor e da Empresa	18
3.1	Visão Global do Setor Automóvel	18
3.1.1	Subsetor de Componentes para Automóveis	20
3.2	Análise da Situação Atual da Empresa	21
3.2.1	Processo Produtivo	22
3.2.2	Oportunidades de Melhoria	25
3.3	Plataforma proGrow	27
4	Projeto de Digitalização do Chão de Fábrica	32
4.1	Objetivos do Projeto	32
4.1.1	Fase 0	32
4.1.2	Fase 1	33
4.2	Metodologia	36
4.2.1	Definição do Âmbito do Projeto	37
4.2.2	Especificação e Configuração	39
4.2.3	Implementação e Testes	39
4.2.4	Fecho do Projeto	40
4.3	Integração da Informação	41
5	Resultados	42
5.1	KPIs	42
5.2	<i>Shopfloor</i>	47
5.2.1	Registo de Produção	47
5.2.2	Quadro TRS	51
5.2.3	Layout Fábrica	51
5.2.4	Resumo Módulo	53

5.2.5	Outras páginas do módulo <i>Shopfloor</i>	53
5.3	Relatórios	54
6	Conclusão e Próximos Passos	56
A	Moldagem de uma peça plástica	64
B	Códigos de Rejeição	65
C	Códigos de Paragem	67
D	Lista de Verificação	69
E	Interfaces dos módulos da plataforma proGrow	70
F	Guião de testes	72
G	Dispositivo IoT	73
H	Interfaces dos formulários da página Registo de Produção	74
I	Regras para o código de cores dos sinalizadores	79
J	Páginas do módulo Shopfloor	81
K	Relatórios	86

Acrónimos e Símbolos

CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
I4.0	Indústria 4.0
ICT	<i>Information and Communication Technology</i>
I&D	Investigação e Desenvolvimento
IoT	<i>Internet of Things</i>
IT	<i>Information Technology</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LM	<i>Lean Management</i>
LP	<i>Lean Production</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
OEE	<i>Overall Equipment Efficiency</i>
OOE	<i>Overall Operations Effectiveness</i>
OF	Ordem de Fabrico
PC	<i>Personal Computer</i>
PDCA	<i>Plan Do Check Act</i>
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
SMED	<i>Single-Minute Exchange of Dies</i>
TEEP	<i>Total Effective Equipment Performance</i>

Lista de Figuras

1.1	Cronologia de implementação do projeto de digitalização do chão de fábrica . . .	4
1.2	Diagrama de <i>Gantt</i> com o plano de desenvolvimento da dissertação	5
2.1	Estrutura do capítulo "Enquadramento Teórico"	6
2.2	Estrutura organizacional e modelo de <i>dashboard</i> correspondente a cada nível, baseada em International Society of Automation (2000)	10
2.3	Pilares comuns do <i>Lean Management</i> e da Indústria 4.0, baseado em Mayr et al. (2018)	14
3.1	Produção automóvel mundial estimada entre 2000 e 2020, baseada em Statista Research Department (2021a)	19
3.2	Gasto Total em Investigação e Desenvolvimento no setor automóvel entre 2017 e 2019, baseado em European Automobile Manufacturers' Association (2019) . . .	19
3.3	Exemplos de componentes exteriores para automóvel fabricados pela empresa . .	21
3.4	Constituição geral de uma máquina de injeção, baseada em Marina and Carvalho (2012)	22
3.5	Exemplo do quadro de registo correspondente a cada combinação de máquina e turno	23
3.6	Código de cores do sistema luminoso Andon associado a cada máquina de injeção	24
3.7	Matriz de escalonamento de problemas	24
3.8	Etapas envolvidas na metodologia PDCA, baseado em Realvázquez-Vargas et al. (2018)	25
3.9	Arquitetura do sistema de recolha de informação da plataforma proGrow	28
3.10	Exemplo da interface do módulo KPI	29
3.11	Exemplo de uma página relativa a um equipamento no módulo <i>Shopfloor</i>	29
3.12	Exemplo de uma página relativa ao panorama geral do contexto de produção no módulo <i>Shopfloor</i>	30
3.13	Exemplo da interface do módulo Relatórios	30
3.14	Exemplo da interface de uma lista de verificação do módulo Tarefas	31
4.1	Exemplo de aplicação da metodologia de desenvolvimento híbrida <i>Agile-Waterfall</i> , baseado em edraw (2021)	37
4.2	Metodologia usada em cada fase do projeto de digitalização do chão de fábrica .	37
4.3	Diagrama de <i>Gantt</i> com um exemplo de enquadramento das etapas de implementação do projeto	41
5.1	Interface do módulo KPI	42
5.2	Componentes intermédios usados no cálculo dos KPIs	43
5.3	Exemplo de contabilização do tempo de SMED	44

5.4	Componentes do cálculo do OEE, OOE, e TEEP, baseado em Metrics (2017) . . .	46
5.5	Interface da página "Registo Produção" do módulo <i>Shopfloor</i>	47
5.6	Interface da página "Histórico" do módulo <i>Shopfloor</i>	50
5.7	Interface da página "Quadro TRS Turno Atual" do módulo <i>Shopfloor</i>	51
5.8	Interface da página "Layout Fábrica" do módulo <i>Shopfloor</i>	52
5.9	Esquema do funcionamento do sistema de alertas e escalonamento	52
5.10	Interface da página "Resumo Módulo" do módulo <i>Shopfloor</i>	53
5.11	Interface do módulo Relatórios	54
A.1	Descrição das etapas do processo de moldagem de uma peça plástica	64
D.1	Exemplo de lista de verificação relativa à rotina de limpeza de uma máquina de injeção	69
E.1	Exemplo da interface do módulo Melhoria	70
E.2	Exemplo da interface inicial do módulo Tarefas	71
E.3	Exemplo da interface do módulo <i>Kanban</i>	71
F.1	Excerto do guião de testes usado para validar a plataforma proGrow	72
H.1	Interface do formulário "Iniciar Produção" do módulo <i>Shopfloor</i>	74
H.2	Interface do formulário "Fechar Produção" do módulo <i>Shopfloor</i>	75
H.3	Interface do formulário "Criar Peça Validada" do módulo <i>Shopfloor</i>	76
H.4	Interface do formulário "Criar Rejeições" do módulo <i>Shopfloor</i>	77
H.5	Interface do formulário "Criar Alteração Parâmetros" do módulo <i>Shopfloor</i>	78
J.1	Interface da página "Resumo Processos Críticos - Última Hora" do módulo <i>Shopfloor</i>	83
J.2	Interface da página "Layout Logística" do módulo <i>Shopfloor</i>	84
J.3	Interface da página "Layout Manutenção" do módulo <i>Shopfloor</i>	84
K.1	Excerto do relatório "Resumo Eficiência Mensal"	86
K.2	Excerto do relatório "Controlo Diário de Produção"	87

Lista de Tabelas

2.1	Cálculo dos componentes do OEE segundo Nakajima (1988) e De Groote (1995)	13
3.1	Volume de negócios e exportações de componentes para automóveis produzidos em Portugal entre 2015 e 2020, baseado em Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel (2021)	20
3.2	Fórmulas de cálculo dos indicadores Disponibilidade, <i>Performance</i> , Qualidade e <i>Overall Equipment Efficiency</i> (OEE)	26
5.1	Variáveis da página "Registo Produção" do módulo <i>Shopfloor</i>	48
B.1	Códigos de rejeição do tipo "Montagem", "Injeção", e "Arranque Injeção"	65
B.2	Códigos de rejeição do tipo "Tampografia e Pintura", "Forma/Geometria", "Aspeto", e "Revestimento"	66
C.1	Códigos de paragem do tipo "Produção", "Logística", e "SMED"	67
C.2	Códigos de paragem do tipo "Manutenção", "TNA", e "Qualidade"	68
G.1	Variáveis recolhidas pelo dispositivo IoT associado a cada máquina de injeção	73
I.1	Regras para o código de cores do sinalizador principal	79
I.2	Regras para o código de cores dos sinalizadores auxiliares	80
J.1	Variáveis da página "Quadro TRS" do módulo <i>Shopfloor</i>	81
J.2	Variáveis da página "Layout Fábrica" do módulo <i>Shopfloor</i>	82
J.3	Variáveis da página "Resumo Módulo" do módulo <i>Shopfloor</i>	82
J.4	Variáveis da página "Resumo Processos Críticos - Última Hora" do módulo <i>Shopfloor</i>	83
J.5	Variáveis da página "Layout Logística" do módulo <i>Shopfloor</i>	84
J.6	Variáveis da página "Layout Manutenção" do módulo <i>Shopfloor</i>	85

Capítulo 1

Introdução

Henry Ford afirmou na sua autobiografia que "Qualquer cliente pode ter um carro pintado da cor que quiser, desde que seja preto", aludindo ao seu "Modelo T", o primeiro carro verdadeiramente produzido em massa. Este modelo apenas estava disponível em preto, dado que pintar os carros de várias cores teria comprometido a eficiência e qualidade da linha de produção. Embora, na altura, esta tenha sido provavelmente a melhor decisão, hoje em dia o mercado é focado no consumidor, um indivíduo complexo com a sua própria personalidade, preferências e requisitos. Assim, as empresas de fabrico têm de lidar com a produção de um leque variado de produtos, frequentemente complexos, com diferentes taxas de produção, num mercado altamente globalizado e competitivo. Por todas estas razões, é exigido às empresas que continuem a fazer um esforço contínuo no sentido de otimizar os seus processos de fabrico, de modo a permanecer competitivas e continuar a prosperar.

As últimas tendências na indústria acompanharam a chegada da quarta revolução industrial, caracterizada por equipamentos interligados, sistemas e produtos inteligentes, e soluções inter-relacionadas (Tortorella and Fettermann, 2018), potenciando assim o estabelecimento de sistemas de produção inteligentes e dinâmicos e o fabrico em massa de produtos altamente personalizáveis (Shrouf et al., 2014). As iniciativas da Indústria 4.0 (I4.0) têm o potencial de impactar todo o ecossistema de consumidores, parceiros, fornecedores e trabalhadores. Por esta razão, as organizações devem ter uma perspetiva holística desta revolução e compreender que envolve não só tecnologias avançadas, como também a maneira pela qual essas tecnologias são conectadas e como as organizações podem aproveitá-las para impulsionar as suas operações e o seu crescimento (Cotteleer and Sniderman, 2017).

Burke et al. (2017) apontam que diversos fatores incitaram as fábricas inteligentes a tornarem-se recentemente um percurso viável para empresas de fabrico. Primeiramente, as capacidades tecnológicas limitadas, juntamente com os custos proibitivos de armazenamento, computação e largura de banda do passado, diminuíram consideravelmente, permitindo a expansão para uma rede mais ampla a um menor custo. Por outro lado, múltiplos obstáculos relacionados com a gestão de talento, tais como um mercado cada vez mais competitivo, uma mão-de-obra em envelhecimento, e a falta de trabalhadores jovens interessados em posições na indústria do fabrico, levaram

a uma elevada dificuldade em encontrar trabalhadores, qualificados e não qualificados, para vários fabricantes tradicionais. Consequentemente, muitas empresas estão a investir na capacitação das suas fábricas, de modo a mitigar o risco associado a esta possível escassez de mão-de-obra generalizada.

Num estudo para o *Digital Economy and Society Index* (DESI), em 2020, determinou-se que Portugal se posiciona abaixo da média, entre países europeus, no que diz respeito à integração de tecnologias digitais em empresas, e que as PME's (Pequenas e Médias Empresas) portuguesas são menos ativas na digitalização do que as suas homólogas de maior dimensão (European Commission, 2020). Atendendo a que a economia portuguesa é maioritariamente constituída por microempresas focadas em setores tradicionais, este facto é particularmente significativo. Adicionalmente, o estudo aponta para a lacuna de capacitação digital, causada pela reduzida literacia digital entre proprietários, gestores, e colaboradores, como um dos principais obstáculos à digitalização das PME's. Por outro lado, num índice providenciado pelo *World Economic Forum* de modo a avaliar a preparação das empresas para a implementação da Indústria 4.0, em 2019, Portugal obteve o 34º lugar, posicionando-se atrás da maioria das economias mais desenvolvidas do mundo e de outros países europeus, tais como a Holanda e a Suíça (Schwab, 2019).

De acordo com um inquérito conduzido por Wellener et al. (2019), embora 86% dos fabricantes acreditem que as iniciativas de fábricas inteligentes sejam a força motriz da competitividade a nível de fabrico nos próximos cinco anos, 50% dos mesmos não estão a investir ativamente em ditas iniciativas. Apesar da sua crescente notoriedade, muitas empresas apresentam ainda dificuldade em compreender como é que as práticas altamente tecnológicas associadas à I4.0 podem ser enquadradas com as suas operações (Sanders et al., 2016), e a exequibilidade e eficácia da integração da I4.0 com os sistemas de gestão da produção existentes ainda não foi suficientemente estudada (Kolberg et al., 2018). Segundo Schroeck et al. (2019), os três principais desafios na mudança de estratégia de modo a adaptar ao paradigma da Indústria 4.0 são: a falta de visão; a vasta extensão de escolhas de tecnologia; e os silos organizacionais e geográficos. Assim, é de extrema importância que as organizações definam claramente os seus objetivos, dado que o modo como estas optam por priorizar a eficiência das suas operações ou o seu crescimento pode guiá-las na decisão de que áreas merecem mais atenção e que novas tecnologias são dignas de investimento mais aprofundado.

Após avaliar a implementação de iniciativas da Indústria 4.0 em várias empresas, Breunig et al. (2016) concluíram que a maioria dos *players* perceciona a I4.0 como uma oportunidade, em oposição a uma ameaça, e realçam o quão imperativo é que os fabricantes comecem a introduzi-la, assim que possível, através de um conjunto de aplicações concretas. Assim, será construído o músculo organizacional e técnico para enfrentar projectos mais ambiciosos no futuro, tais como a integração completa de dados ao longo do ciclo de vida do produto. Neste âmbito, Portugal tem vindo a implementar ativamente medidas para promover a transformação digital das empresas, nomeadamente com a estratégia nacional "Indústria 4.0" para a digitalização da economia. A segunda fase desta iniciativa, implementada de 2019 a 2021, deverá gerar exportações adicionais no valor de cerca de 1,2 milhões de euros e tem três principais objetivos: requalificar, capacitar e

formar trabalhadores; promover a transição digital; e escalar projetos.

1.1 Introdução à Deloitte e à proGrow

A iniciativa portuguesa supramencionada contou com contribuições de múltiplas entidades públicas e privadas, nomeadamente a empresa Deloitte Touche Tohmatsu Services, doravante referenciada por Deloitte. Esta foi responsável pela: dinamização e gestão do processo; identificação das principais necessidades das empresas portuguesas; e determinação da informação necessária para as auxiliar no processo de tomada de decisão. A Deloitte providencia globalmente múltiplos serviços, por exemplo consultoria, tendo sido reconhecida pela sua capacidade de desafiar a cultura empresarial, maximizar o valor de um projeto, e recomendar mudança e inovação que produzem resultados (MarketScape, 2020). Este projeto enquadra-se no seu eixo de ação relativo a *Core Business Operations*, o qual se foca em suportar o coração do negócio, ao: transformar processos existentes e usar tecnologia para potenciar inovação; melhorar o desempenho financeiro; e acelerar a velocidade de introdução no mercado.

Dado que a Deloitte procura continuamente manter-se na vanguarda da Indústria 4.0, a empresa estabeleceu uma parceria com outro protagonista no panorama da implementação de fábricas inteligentes, a proGrow. Esta *startup* tirou partido das últimas tecnologias de *Big Data* e *Internet of Things* (IoT) para desenvolver uma plataforma *web* capaz de processar informação operacional proveniente de várias fontes, tais como sistemas de informação distintos, registos manuais ou dados recolhidos diretamente de equipamentos. O principal foco desta solução é permitir a digitalização do chão de fábrica, ao: providenciar ferramentas que permitem a monitorização em tempo real do estado dos equipamentos e do valor de métricas selecionadas; possibilitar que os utilizadores coloquem em prática ações corretivas; e facilitar a gestão de iniciativas de melhoria contínua.

A Deloitte é responsável pela recolha detalhada dos requisitos do cliente e compreensão do seu processo produtivo, bem como pela configuração e personalização da plataforma dinâmica e *user-friendly* desenvolvida pela proGrow. Por sua vez, para além do desenvolvimento contínuo do produto, a proGrow responsabiliza-se pela integração de informação na plataforma e outras atividades de teor mais técnico.

1.2 Objetivos do Projeto

Face à evolução da indústria no sentido de uma quarta revolução industrial, e de modo a manter-se competitiva, uma empresa no setor automóvel que dispõe de várias instalações geograficamente dispersas decidiu incorporar a transformação digital na sua estratégia interna. Para este efeito, contactou a Deloitte que, em colaboração com a proGrow, concebeu um projeto de digitalização do chão de fábrica nas várias instalações do cliente, segmentado em 4 fases e antecedido de uma fase piloto, de modo a testar o funcionamento da plataforma proGrow (Figura 1.1). Sendo este tema ainda relativamente pioneiro no contexto industrial português, e atendendo à escala do projeto,

o seu impacto é deveras determinante, não só para o futuro do cliente, como também para o desenvolvimento da parceria Deloitte-proGrow em projetos deste teor.

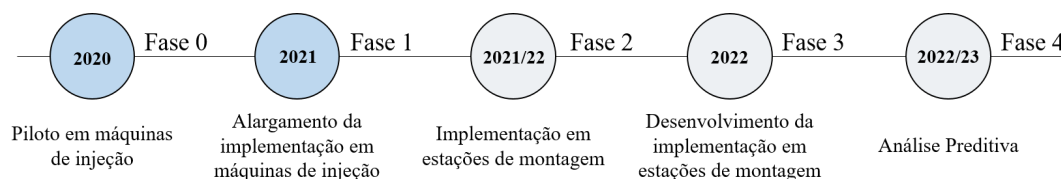


Figura 1.1: Cronologia de implementação do projeto de digitalização do chão de fábrica

Segundo Burke et al. (2017), "ao pensar em grande e considerar todas as possibilidades, começar em pequena escala com componentes controláveis, e escalar rapidamente para permitir o crescimento das operações, é possível atingir a promessa e os benefícios associados às fábricas inteligentes". Nesta mesma ótica, em primeiro lugar, a digitalização das operações foi focada apenas no processo de injeção. Na Fase 0, o processo de digitalização foi implementado num reduzido número de máquinas de injeção, terminando com uma minuciosa fase de validação e testes para aferir a viabilidade do projeto. Após esta verificação, foi impulsionada a Fase 1, promovendo o desenvolvimento e criação de novas funcionalidades na plataforma e alargando a implementação aos restantes equipamentos e instalações.

Futuramente, em paralelo à constante evolução e crescente complexidade da plataforma, está prospetivado o alargamento do âmbito de implementação do projeto às estações de montagem, nas Fases 2 e 3. Por fim, na Fase 4, estando já estabelecida a excelência operacional a nível da monitorização e visualização de informação recolhida do processo produtivo em tempo real, será objetivo o processamento destes dados de modo a permitir análises preditivas, cumprindo assim a dita promessa das fábricas inteligentes.

No período de tempo em que foi efetuado o estágio de dissertação, foi possível à autora acompanhar a avaliação dos resultados da Fase 0 e integrar a equipa de projeto na implementação da Fase 1, que até ao final do período de estágio ainda não havia sido concluída. Assim, dada a evolução do projeto, apenas as Fases 0 e 1 serão abordadas em maior detalhe no curso desta dissertação, cujo principal propósito é garantir a excelência operacional no processo de injeção.

1.3 Planeamento de Atividades

Atendendo aos objetivos enunciados, foi seguido o cronograma de atividades ilustrado na Figura 1.2. Em primeiro lugar, tomou lugar a integração da autora na Deloitte e a realização de formações internas da empresa, assim como a contextualização do projeto, dado que já tinha sido implementada a fase piloto. Em simultâneo, foi possível dar início à extensa pesquisa necessária para elaborar um enquadramento teórico dos principais temas englobados pelo projeto. No que concerne a terceira atividade, o cronograma apresentado é síncrono com a metodologia de implementação do projeto concebida pela Deloitte e explorada em maior profundidade no quarto capítulo.

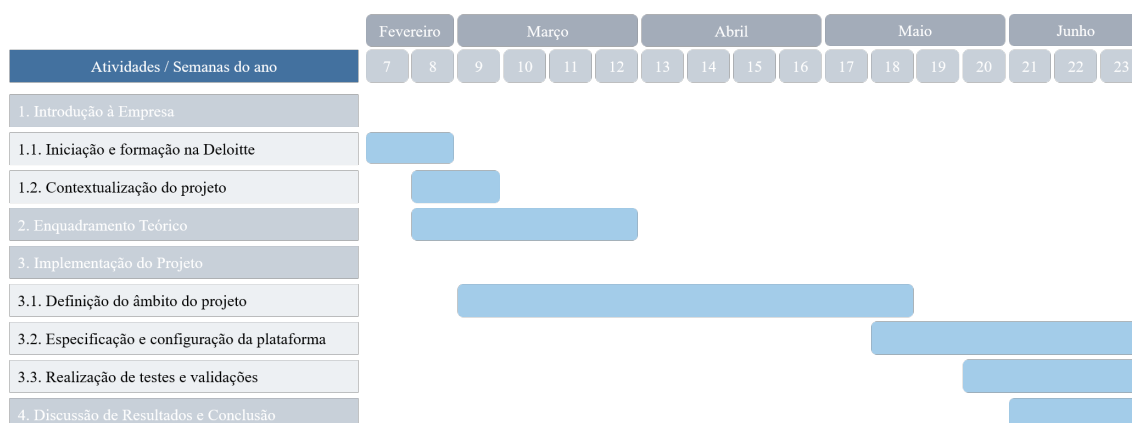


Figura 1.2: Diagrama de *Gantt* com o plano de desenvolvimento da dissertação

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos. Em primeiro lugar, no capítulo atual é explorado o panorama da indústria do fabrico face à integração de tecnologias digitais, quer a nível global, quer particularmente no contexto português. De seguida, as empresas intervenientes e o foco do seu trabalho são brevemente apresentados. Posteriormente, é introduzido o projeto que vai ser abordado ao longo da dissertação, incluindo a força motriz para a sua implementação, os seus objetivos gerais e, por fim, um cronograma com o plano de atividades seguido pela autora.

No segundo capítulo, procurou-se fazer um enquadramento teórico aos principais temas englobados no âmbito do projeto, com uma abordagem em pirâmide invertida, aludindo às atuais tendências e desafios encontrados na indústria do fabrico e focando no potencial associado ao uso de uma plataforma digital, móvel e multifuncional no contexto da digitalização do chão de fábrica de uma empresa.

De seguida, no terceiro capítulo, é conduzida uma análise em particular ao setor da indústria em que o cliente se encontra e ao panorama atual das suas operações. Em virtude desta avaliação, são identificadas oportunidades de melhoria e é introduzida a ferramenta proGrow como um potencial meio de as concretizar.

No quarto capítulo, são aprofundados os objetivos das Fases 0 e 1 do projeto, atendendo às oportunidades identificadas. Para além disso, como já mencionado, é descrita a metodologia usada pela Deloitte e a proGrow na implementação de projetos deste teor. Por sua vez, como resultado desta implementação, no quinto capítulo são apresentados os entregáveis obtidos após a extensa fase de especificação e configuração levada a cabo pela equipa da Deloitte.

Por fim, no último capítulo, é efetuado um balanço global da implementação do projeto, destacando os obstáculos encontrados, como meio de suporte a projetos futuros de semelhante propósito, os resultados registados até ao momento, e os próximos passos.

Capítulo 2

Enquadramento Teórico

Burke et al. (2017) descrevem as fábricas inteligentes como sistemas flexíveis capazes de se adaptar a obstáculos encontrados, auto-otimizar o seu desempenho ao longo de uma vasta rede aproximadamente em tempo real, e executar processos produtivos de forma totalmente autónoma. No entanto, os autores ressaltam que este ideal está em constante mudança e representa uma jornada contínua no caminho da construção e manutenção de um sistema de aprendizagem flexível, oposto às abordagens de modernização usadas no passado. Assim, embora a literatura no âmbito do tema esteja em constante crescimento e evolução, procurou-se efetuar uma revisão extensiva dos conceitos mais relevantes, particularmente para o contexto do caso prático de aplicação que será apresentado no curso da dissertação. Foi adotada uma abordagem em pirâmida invertida, esquematizada na Figura 2.1, de modo a que os tópicos mais abrangentes fossem tratados em primeiro lugar.

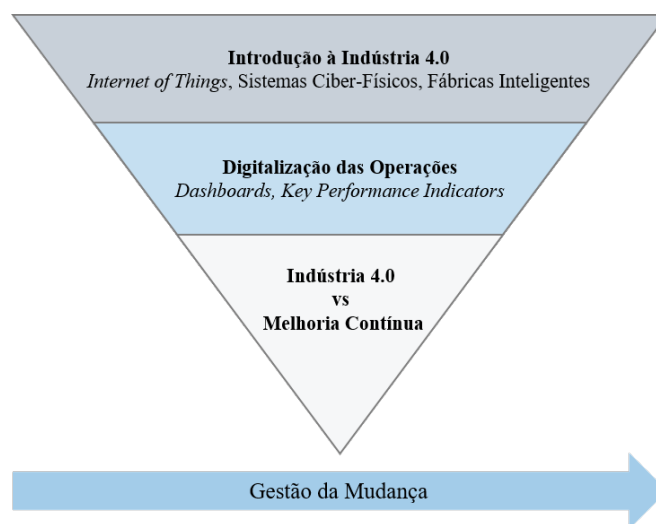


Figura 2.1: Estrutura do capítulo "Enquadramento Teórico"

Inicialmente, é introduzido o tópico da Indústria 4.0, com um esclarecimento dos conceitos de *Internet of Things* e Sistemas Ciber-Físicos (CPS) que a moldaram, e apresentação do potencial das fábricas inteligentes. De seguida, e partindo para o tópico principal desta dissertação, serão

apresentadas as várias etapas e parâmetros envolvidos no processo de digitalização das operações de uma empresa, com ênfase no uso de *dashboards* digitais de monitorização. Os potenciais benefícios desta abordagem serão analisados também na terceira secção, dedicada à compreensão da correlação entre a I4.0 e a Melhoria Contínua. O tópico de Gestão da Mudança será ainda brevemente discutido, dado estar inevitavelmente conectado a iniciativas de grande impacto numa organização. Por fim, de modo a interligar o tópico da dissertação com os temas debatidos no capítulo em questão, foi criada uma última secção de contextualização.

2.1 Introdução à Indústria 4.0

Fatorachian and Kazemi (2018) salientam que, embora a automação em ambiente industrial não seja uma tendência recente, esta era apenas implementada em alguns processos de fabrico, e os restantes sistemas funcionais existentes na empresa não eram integrados, assim que os benefícios obtidos eram limitados. Para além disso, Gruhier et al. (2017) realçam que o sucesso moderado das iniciativas se devia também à falta de interoperabilidade entre diferentes interfaces e mecanismos de comunicação, levando a um desalinhamento entre as tecnologias de automação. Face a isto, a I4.0 propõe-se a conectar e integrar o mundo físico e virtual, tomando partido de CPS e IoT, através de objetos inteligentes que comunicam e interagem constantemente entre si, de modo a ir de encontro a um objetivo estratégico previamente estabelecido (Öberg and Graham, 2016). Em concordância, Wollschlaeger et al. (2017) afirmam que as tendências de CPS e IoT representam mais um exemplo de tecnologias emergentes noutras áreas que foram integradas em redes de comunicação industriais para facilitar a troca de informação, levando à definição do conceito de Indústria 4.0.

Lu (2017) afirma que os CPS constituem o principal motor da I4.0, sendo baseados na integração de dados e informação heterogénea. Mais concretamente, Jazdi (2014) define os CPS como sistemas automatizados que permitem conectar as operações do mundo físico com infraestruturas de computação e comunicação. Deste modo, a IoT aplica-se quando os CPS estão conectados à *Internet*. Enquanto os sistemas integrados tradicionais são concebidos como dispositivos autónomos, o objectivo com os CPS é conectar em rede vários dispositivos e, por conseguinte, ter informação e serviços disponíveis em qualquer lugar. Um CPS é composto por uma unidade de controlo e habitualmente um ou mais micro-controladores que regulam os sensores e atuadores necessários para interagir com o mundo real e processar os dados obtidos. Para além disso, estes sistemas integrados necessitam também de uma interface de comunicação, de modo a possibilitar a troca de dados entre si ou com uma *cloud*, que corresponde à característica mais importante dos CPS, uma vez que os dados podem ser conectados e avaliados centralmente, por exemplo.

Por sua vez, Xhafa and Dobre (2016) explicitam que a IoT corresponde a uma rede de objetos físicos integrados com electrónica, *software*, sensores e uma rede de conexão, permitindo a estes objetos recolher e transmitir informação entre si. A IoT resulta da combinação de vários desenvolvimentos técnicos que, como um todo, providenciam capacidades tais como a comunicação e cooperação, identificação, detecção, atuação, e processamento de informação integrada.

Assim, a IoT permite que os objectos sejam detectados e controlados remotamente ao longo da infraestrutura de rede existente, facilitando a integração direta entre o mundo físico e os sistemas de computação, o que resulta em melhorias em precisão e eficiência e, consequentemente, em benefícios económicos.

Bisio et al. (2018) acrescentam que, à medida que a produção recorre cada vez mais a dados recolhidos através de sensores, e que a eficiência do ciclo de produção depende consideravelmente da capacidade de sistemas inteligentes para reagir e interagir com base em informação contextual proveniente das pessoas e do ambiente em si, a inteligência do ambiente torna-se cada vez mais um fator que impulsiona a revolução da I4.0. Por outro lado, a criação de produtos inteligentes incitada pela I4.0 também fomenta o desenvolvimento da IoT, levando a um crescimento simbiótico.

Embora haja uma clara tendência atual nas organizações no sentido da Indústria 4.0 e digitalização, Rajnai and Kocsis (2018) concluíram, após conduzir um questionário, que vários líderes na indústria se sentem incapazes de a introduzir, isto é, afirmam não saber como preparar a sua empresa para a implementação da I4.0. Nesta ótica, Cotteleer and Sniderman (2017) sugerem que três princípios devem ser considerados no que diz respeito à transição para a I4.0. Primeiramente, a organização deve compreender qual é o seu fator de diferenciação e considerar como é que pode ser introduzida inovação. De seguida, deve ser avaliada a maturidade digital da empresa, por forma a avaliar a viabilidade do projeto, considerando os recursos atuais e posteriormente adquiridos requeridos para construir as capacidades tecnológicas necessárias. Por fim, os autores recomendam que o âmbito do projeto seja inicialmente reduzido, de modo a que as estratégias possam ser testadas e refinadas com relativamente poucas consequências. Assim, sugerem que sejam priorizadas áreas que permitem desbloquear um elevado valor potencial, o que irá fomentar a implementação da I4.0 a uma escala superior e conduzir a uma maior disposição a incorrer em investimentos substanciais. Em concordância, Schumacher et al. (2018) reforçam que a implementação da I4.0 é uma decisão estratégica importante e que, antes de tomar esse passo decisivo, as organizações devem avaliar a sua preparação, frequentemente através de modelos criados para o efeito.

No que toca aos principais resultados esperados na sequência da aplicação de tecnologia física e digital no âmbito da I4.0, Cotteleer and Sniderman (2017) sugerem a divisão em duas categorias: melhorias a nível operacional e crescimento dos rendimentos. A nível operacional estão incluídos aumentos de produtividade, tais como a maximização da utilização de ativos e minimização do tempo de paragem. Estes conduzem de forma direta e indireta a uma superior eficiência no trabalho, garantindo a estabilidade e precisão da calendarização e planeamento. Adicionalmente, está ainda incluída a redução de risco, ao assegurar o preço e disponibilidade da matéria-prima, e gerindo garantias e reclamações eficientemente.

2.2 Digitalização das Operações

Kagermann et al. (2013) descrevem a Indústria 4.0 como um sistema de fabrico inteligente integrado com diferentes áreas de negócio e parceiros da cadeia de abastecimento. Na mesma ótica, Buer et al. (2021) destacam três principais aspetos envolvidos no processo de digitalização das

operações de fabrico: a digitalização do chão de fábrica; as tecnologias para integração horizontal e vertical; e a competência organizacional a nível de tecnologias de informação. Enquanto os dois primeiros fatores se focam na tecnologia, o terceiro reporta-se a fatores organizacionais que podem facilitar o processo de digitalização.

Digitalização do chão de fábrica

A digitalização do chão de fábrica permite criar a conexão necessária para integrar componentes e recursos físicos com o mundo digital de processamento de dados e informação, tendo os CPS um papel preponderante para tal. Através desta integração, é possível recolher dados relativos ao processo produtivo em tempo real, facilitando um processo de tomada de decisão rápido e preciso, através de sistemas inteligentes de apoio à tomada de decisão. Por outro lado, a capacidade de recolher continuamente informação relativa ao estado e potenciais alterações dos componentes, pessoas, equipamentos e processos permite efetuar um controlo e planeamento em tempo real das operações de fabrico (Ghobakhloo, 2018).

Tecnologias para integração horizontal e vertical

Segundo Wang et al. (2016), a integração vertical reporta-se à integração de sistemas de *Information Technology* (IT) correspondentes a distintos níveis hierárquicos numa mesma organização, por exemplo sensores e atuadores usados no processo produtivo, e sistemas de informação usados pela empresa, sendo considerada um aspeto fulcral da visão para a Indústria 4.0. Por sua vez, de acordo com Kagermann et al. (2013), a integração horizontal correspondente à integração de vários sistemas de IT usados em diferentes fases dos processos de fabrico e planeamento do negócio, podendo ocorrer a nível interno (desde a previsão de vendas até ao planeamento de armazenamento e logística) ou entre diferentes parceiros na cadeia de abastecimento.

Competência organizacional a nível de IT

Após Brynjolfsson (1993) revelar na sua pesquisa uma aparente falta de relação entre investimentos em IT e ganhos de produtividade, vários estudos procuraram determinar que fatores tinham um papel determinante na adoção bem sucedida de sistemas de IT. Neste sentido, alguns dos fatores que foram identificados como importantes no uso eficiente de IT foram: a qualidade técnica do departamento de IT de uma organização; o suporte da gestão de topo (Byrd and Davidson, 2003); e o uso de abordagens sistemáticas para processar e utilizar os dados disponíveis (Schmidt et al., 2015).

A implementação de fábricas inteligentes em que todos os componentes estão interligados e informação é continuamente recolhida só será verdadeiramente capaz de produzir resultados caso seja possível processar, visualizar e correlaciona-la adequadamente. Neste âmbito, Tokola et al. (2016) salientam que a popularidade das *dashboards* tem vindo a aumentar consideravelmente, em grande parte devido ao reduzido, e em decréscimo, custo do equipamento, como são exemplo os *tablets* e ecrãs inteligentes. Outro fator assinalável é a relevância cada vez maior do paradigma

lean no contexto da indústria do fabrico, o qual destaca o poder da visualização de modo a obter uma visão geral da situação de uma fábrica rapidamente.

Dois tipos de definição de *dashboards* digitais podem ser encontrados na literatura. No sentido mais restrito, Rainer and Cegielski (2011) consideram que o termo se aplica a ferramentas para a visualização gráfica de *Key Performance Indicators* (KPIs), complementadas por funcionalidades que permitem comunicar e reportar a níveis hierárquicos superiores. No sentido lato, o qual será considerado em diante, Eckerson (2010) caracteriza as *dashboards* digitais como interfaces intuitivas e *user-friendly* para a monitorização, análise e otimização de atividades críticas do negócio, facilitando o processo de tomada de decisão para os utilizadores em todos os níveis hierárquicos.

Partindo para a indústria do fabrico em particular, as *dashboards* podem ser estruturadas de acordo com o nível organizacional para o qual foram concebidas, tal como representado na Figura 2.2.



Figura 2.2: Estrutura organizacional e modelo de *dashboard* correspondente a cada nível, baseada em International Society of Automation (2000)

De acordo com McCoy (2002), o Nível de Controlo do Negócio está encarregue da supervisão global da atividade de negócio, beneficiando então de *dashboards* que permitam monitorizar KPIs em tempo real e transmitir alertas. Por sua vez, o Nível de Controlo da Produção é composto por gestores de produção, que necessitam de *dashboards* para gestão de operações, capazes de suportar planificação detalhada, monitorização de processos e gestão de recursos (Kletti, 2007). Gröger et al. (2013) acrescentam que estes painéis de controlo são tipicamente integrados no *Manufacturing Execution System* (MES) e são maioritariamente baseados em estatísticas simples e comunicação com serviços básicos de alerta. Na base da pirâmide, o mesmo autor sugere que o Nível Operacional abarca os processos físicos que ocorrem no chão de fábrica. Assim, uma *dashboard* operacional a este nível deve assegurar, em primeiro lugar, a transparência dos processos produtivos para todos os colaboradores, exibindo informação relativa à sua *performance* através de métricas relevantes.

Relativamente ao *design* da *dashboard*, a interface do utilizador deve ser intuitiva e de fácil utilização. Por outras palavras, deve poder ser compreendida num curto período de tempo e, idealmente, os vários componentes devem ser auto-explicativos. Few (2006) realça como esta deve diferir de outros sistemas de visualização, nomeadamente ao dispor apenas de um único ecrã. Adicionalmente, deve ser um ecrã maioritariamente estático, minimizando as funcionalidades distrativas, e a informação de maior relevo deve ser colocada nas zonas do topo à esquerda ou do centro.

Após conduzir uma extensa revisão no tema de *dashboard design*, Yigitbasioglu and Velcu (2012) concluíram também que informação tabular é superior a informação gráfica (Dilla and Steinbart, 2005), embora os gráficos permitam reduzir a sobrecarga de informação, comparativamente (Diamond and Lerch, 1992). Para além disso, a *dashboard* deve ser desenvolvida atendendo aos diferentes papéis e tarefas dos colaboradores envolvidos no processo (Tokola et al., 2016). Shelly and Vermaat (2012) enfatizam ainda que uma utilização flexível e móvel da *dashboard* proporciona consideráveis vantagens, dado que cada colaborador pode alternar a sua localização no interior da fábrica. Por fim, os autores sugerem que, dado que *Tablet PCs (Personal Computers)* permitem o fornecimento de informação com base num acesso sem fios à rede, e possibilitam um manuseamento intuitivo a partir de um ecrã tátil, representam uma plataforma adequada para a interface da *dashboard*.

Pauwels et al. (2009) delineiam as fases de desenvolvimento de uma *dashboard*, destacando, como primeiro passo, a seleção de métricas. Neste sentido, um inquérito exploratório foi levado a cabo por Tokola et al. (2016), de modo a compreender as funcionalidades desejadas pelos utilizadores para *dashboards* em contexto de fabrico, que KPIs são considerados mais relevantes para análise, e qual o modo preferencial de uso. Cinco distintas áreas de KPIs foram avaliadas, nomeadamente qualidade, produção, vendas, custos, e colaboradores e ambiente. Todavia, as duas primeiras foram claramente consideradas as mais importantes. Particularmente, os seguintes KPIs encontraram-se entre os melhor classificados: *lead time* de produção, índice de *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), taxa de utilização de recursos, e quantidade produzida que é considerada de boa qualidade.

Brundage et al. (2017) afirmam que os KPIs na indústria do fabrico podem ser calculados em tempo real, sob pedido ou periodicamente, conforme a audiência a que se destinam, enquanto Lepratti et al. (2013) realçam que a periodicidade de cálculo dos KPIs deve ser um fator preponderante aquando da sua escolha. Em particular, Cao et al. (2016) destaca que as operações a nível de chão de fábrica devem ser monitorizadas constantemente, através de KPIs em tempo real, para que seja possível detetar fatores de congestionamento e efetuar uma tomada de decisão rápida, o que não seria possível através de KPIs periódicos que não podem ser atualizados após cada evento de geração de dados.

Neste sentido, os períodos de tempo a que os KPIs devem ser aplicados também foram estudados por Tokola et al. (2016), concluindo que uma *dashboard* no Nível Operacional deveria ser enquadrada numa escala de um minuto a uma hora, e incluir KPIs que reflitam o estado do chão de fábrica e da *queue* de trabalho, tais como o tempo de ciclo, tempo de *setup*, e eficiência de produ-

ção. Por outro lado, uma *dashboard* tática no Nível de Controlo da Produção, usada por gestores de produção, deve possuir um período temporal de um dia a uma semana e focar-se em detalhes de utilização, tais como o OEE dos equipamentos mais relevantes, o *lead time* de produção, a eficiência das linhas de produção, e a fiabilidade de entrega.

Ericsson (1997) constatou que uma vasta proporção dos custos totais de fabrico podem ser atribuídos a perdas de produção e outros custos ocultos e indiretos. Por conseguinte, Nakajima (1988) sugeriu o OEE como uma tentativa de os revelar. Quando esta métrica é aplicada ao nível do chão de fábrica juntamente com ferramentas de controlo de qualidade, tais como gráficos *Pareto* e diagramas de causa e efeito, funciona como um complemento importante aos tradicionais sistemas de avaliação de desempenho com uma perspetiva em pirâmide invertida.

De modo a conseguir registar variáveis relevantes e investigar como o processo de fabrico em si contribui para o desempenho global da empresa, é importante compreender como executar medições de distúrbios. De acordo com Nord et al. (1997) e Jonsson and Lesshammar (1999), as perturbações podem ser divididas em duas categorias. Os distúrbios crónicos são habitualmente reduzidos, ocultos e mais complicados, pois resultam de múltiplas causas em simultâneo. Dado que podem ser encarados como o estado normal, são de difícil identificação, assim que é necessário comparar o desempenho atual do equipamento com o seu funcionamento teórico. Por outro lado, perturbações esporádicas são mais óbvias, dado que ocorrem rápida e irregularmente, representando desvios consideráveis do estado normal, assim que podem originar problemas sérios.

Ambos as categorias de distúrbio resultam em vários tipos de perda e desperdício, os quais absorvem recursos, mas não criam valor. Estas perdas podem ser divididas em seis amplas classes:

1. **Perdas por avaria**, incluindo perdas de tempo quando a produtividade é reduzida e perdas de quantidade causadas por produtos defeituosos;
2. **Perdas de configuração e ajustamento**, que resultam de paragens e produtos defeituosos que ocorrem quando a produção de um artigo termina e o equipamento é ajustado para satisfazer as especificações do seguinte;
3. **Perdas de inatividade e paragens reduzidas**, que ocorrem quando a produção é interrompida por uma avaria temporária ou quando uma máquina está inativa;
4. **Perdas de produção reduzida**, que se referem à diferença entre a taxa de produção teórica do equipamento e a taxa real a que está a operar;
5. **Perdas de qualidade**, causadas pelo mau funcionamento do equipamento de produção;
6. **Perdas de arranque**, representando perdas de rendimento que ocorrem durante a fase inicial de produção, desde o arranque da máquina até à sua estabilização.

Nakajima (1988) propôs uma abordagem com o intuito de medir estas perdas através do OEE, que combina medidas de disponibilidade, *performance* e qualidade, enquanto De Groote (1995) é um dos vários autores posteriores (Figura 2.1).

Tabela 2.1: Cálculo dos componentes do OEE segundo Nakajima (1988) e De Groote (1995)

	Nakajima (1988)	De Groote (1995)
Disponibilidade (D)	$\frac{\text{Tempo de Carga} - \text{Tempo de Paragem}}{\text{Tempo de Carga}}$	$\frac{\text{Tempo de Produção Planeado} - \text{Tempo de Paragem Não Planeado}}{\text{Tempo de Carga}}$
Performance (P)	$\frac{\text{Tempo de Ciclo Ideal} \times \text{Quantidade Produzida}}{\text{Tempo de Trabalho}}$	$\frac{\text{Quantidade Produzida}}{\text{Quantidade Planeada}}$
Qualidade (Q)	$\frac{\text{Input} - \text{Volume de Defeitos de Qualidade}}{\text{Input}}$	$\frac{\text{Quantidade Produzida} - \text{Quantidade em Não Conformidade}}{\text{Quantidade Produzida}}$
Overall Equipment Efficiency (OEE)	$(D) \times (P) \times (Q)$	

Por outro lado, Jonsson and Lesshammar (1999) realçam que a recolha de dados relativamente a perdas é um passo extremamente importante no caminho da melhoria contínua e medição de desempenho. Para além disso, os autores reforçam que deve ser conduzida por indivíduos que possam efetivamente afetar os parâmetros medidos, dado que a proximidade é muito relevante para a melhoria contínua. Por sua vez, Kang et al. (2016) referem que, através da monitorização contínua de KPIs, é possível identificar e quantificar aspetos significantes das atividades operacionais, facilitando e impulsionando esforços de melhoria contínua.

2.3 Indústria 4.0 vs Melhoria Contínua

Enquanto que a I4.0 parece ser uma abordagem promissora para enfrentar a crescente complexidade na indústria do fabrico, o *Lean Management* (LM) também tem comprovado, ao longo dos anos, a sua eficácia na redução de desperdício na cadeia de valor. Ambos os paradigmas de produção têm potencial para resolver futuros desafios, e a literatura dedicada ao assunto explora a forma como se podem complementar (Mayr et al., 2018). Dombrowski et al. (2017) sugerem que a literatura existente está estruturada em duas perspetivas, quer considerando as ferramentas da I4.0 como promotoras do LM, quer considerando o LM como um pré-requisito para implementar a I4.0.

Por um lado, a investigação de Wagner et al. (2017) revela que as aplicações da Indústria 4.0 permitem estabilizar e suportar princípios *lean*, o que também é sustentado pelas afirmações de Pokorni et al. (2017), os quais defendem que os processos *lean* podem ser estabilizados e refinados através da implementação da I4.0. Kolberg and Zühlke (2015) afirmam que a I4.0 pode ser integrada na *Lean Production* (LP) e mesmo melhorá-la, ao aumentar a integração de ICT, enquanto que Rüttimann and Stöckli (2016) concluem que a I4.0 torna a LP mais flexível, mas consideram que é necessário conduzir mais estudos para comprovar que há melhorias a nível de agilidade, regularização, precisão e estabilidade.

Numa outra perspetiva, vários autores posicionam-se segundo a máxima de Bill Gates, acreditando que a automação de processos ineficientes irá apenas ampliar a sua ineficiência. Assim, defendem que o LM tem um papel preponderante para permitir a introdução bem sucedida da I4.0 (Mayr et al., 2018). Huber (2016) e Staufen, A. G. (2016) referem que a execução de processos

normalizados, transparentes e reprodutíveis, possibilitada pelo LM, é extremamente significativa para a introdução da I4.0, enquanto que Huber (2016) acrescenta que, ao reduzir a complexidade dos produtos e processos, o LM permite a implementação económica e eficiente de ferramentas I4.0. Adicionalmente, Künzel, H. (2016) realça que são necessárias competências de LM para que os responsáveis pela tomada de decisão considerem o valor do processo para o consumidor e evitem desperdício.

Não obstante, uma perspetiva mais geral e amplamente reconhecida também é referida na literatura, sugerindo que a combinação de ambos os tópicos resulta em sinergias positivas (Mayr et al., 2018). Mrugalska and Wyrwicka (2017) afirmam que, enquanto que a LP pode conduzir a elevada flexibilidade dos sistemas produtivos e processos quando aplicada a produtos e cadeias de abastecimento complexas, também é recomendável a introdução da integração tecnológica do nível de produção com o nível de planeamento, os consumidores e os fornecedores através de CPS, possibilitada pela implementação da Indústria 4.0. Similarmente, o estudo de Sanders et al. (2016) realça o modo como as empresas podem comprometer-se com a Indústria 4.0 com vista a tornar o seu chão de fábrica *lean*. Laaper and Kiefer (2020) acrescentam que tecnologias digitais e princípios *lean* se estão a intersestar no que é denominado de "*digital lean*", o que pode complementar os benefícios do *lean* tradicional. Por exemplo, este permite acelerar a identificação de desperdício e mitigação ao providenciar informação detalhada e direcionada diretamente àqueles que possuem a capacidade de reduzir o desperdício.

Mayr et al. (2018) concluíram que a maioria dos autores aprova a compatibilidade geral do LM e da I4.0 devido às múltiplas semelhanças nos seus pilares centrais, o que está sintetizado na Figura 2.3. Para além disso, Huber (2016) destaca que, tanto o LM como a I4.0, se focam no papel essencial dos colaboradores. Em paralelo, os resultados de Kotter (1995) e Holtskog (2013) indicam que há uma relação positiva entre a introdução de melhoria contínua e a compreensão, comunicação, e aquisição de conhecimento por parte dos colaboradores. Hirzel et al. (2017) não só corroboram isto como concluem que os colaboradores têm uma elevada capacidade de modificar os seus princípios e práticas atuais de acordo com novos padrões comportamentais presentes na organização, e ainda que o nível de capacitação possibilitado pela melhoria contínua aumenta maioritariamente com o avanço da implementação.

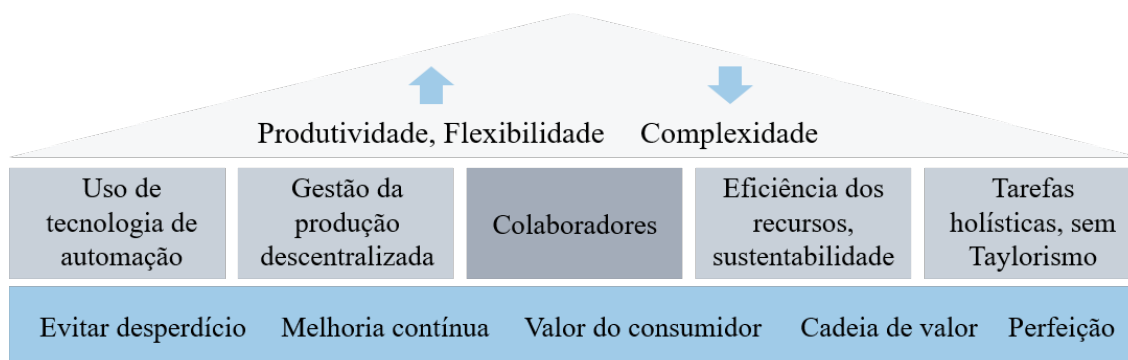


Figura 2.3: Pilares comuns do *Lean Management* e da Indústria 4.0, baseado em Mayr et al. (2018)

O estudo de Laaper and Kiefer (2020) assinala que, quando os fabricantes adotam soluções digitais combinadas com processos de gestão intensos, tais como *Lean* e *Kaizen*, estes conseguem atingir um maior retorno de investimento, em comparação com implementações menos intensivas ou projetos digitais implementados isoladamente. Para além disso, melhorias digitais *lean* têm o potencial de impactar medidas de desempenho já estabelecidas, tais como a melhoria do OEE, redução de custos, e melhoria da segurança e sustentabilidade. De modo a atingir um retorno de investimento mais elevado, os fabricantes devem focar as iniciativas digitais *lean* nas maiores áreas de oportunidade, por exemplo ao desbloquear ativos limitados, diminuir os custos associados a mão-de-obra e a baixa qualidade, e reduzir ou eliminar custos desnecessários com matérias-primas. Neste sentido, Laaper and Kiefer (2020) sugerem que benefícios potenciais, tais como uma melhoria da eficiência dos ativos de 10 a 20% e redução de custos de 20 a 30%, podem ser atingidos. No entanto, Stachová et al. (2019) reforçam que a Indústria 4.0 é acompanhada de várias mudanças a nível da gestão de recursos humanos e que a abordagem usada face a eventuais obstáculos irá ditar a existência e sustentabilidade dos negócios.

2.4 Gestão da Mudança

Tal como Charles Darwin afirmou, no que toca à evolução, "não são os mais fortes ou os mais inteligentes que sobrevivem, mas sim aqueles que conseguem gerir melhor a mudança". De acordo com Galli (2019), o modelo ADKAR (*Awareness, Desire, Knowledge, Ability, Reinforcement*), o modelo de Lewin e o modelo de oito etapas de Kotter são as abordagens de gestão da mudança mais frequentemente usadas. Os modelos de Lewin e Kotter são considerados bastante similares, dado que ambos reconhecem a importância de reduzir a resistência e preparar as pessoas para suportar a mudança antes de efetivamente a implementar. No entanto, o modelo de Kotter providencia uma clarificação mais profunda relativamente ao modo como a mudança deve ser enfrentada e é considerado o mais apropriado para situações complexas em que a gestão de topo possui o maior nível de conhecimento relativamente a uma iniciativa de melhoria.

Kotter (1996) definiu as oito etapas seguintes como necessárias para alcançar a mudança:

1. Estabelecer um sentido de urgência
2. Formar uma coligação orientadora
3. Desenvolver uma visão e iniciativas estratégicas
4. Transmitir a visão para o *buy-in*
5. Capacitar outros a tomar ação
6. Gerar vitórias a curto prazo
7. Sustentar a aceleração
8. Instituir mudança

O primeiro passo é considerado essencial por Kotter (1995) que declara que a necessidade de mudança deve ser compreendida, caso contrário os agentes de mudança não irão dispor do poder e credibilidade necessários para iniciar o programa de mudança requerido. Um estudo conduzido por Gist and Rosen (1989) suporta a asserção de que uma mensagem gerada por mais do que uma fonte, particularmente se for externa à organização, providencia um maior sentido de credibilidade e confirmação. Kotter (1996) vai mais além ao recomendar o uso de consultoras como uma tática para criar um sentido de urgência e desafiar o *status quo*.

Relativamente ao segundo passo, Cunningham and Kempling (2009) concluíram que, enquanto os outros princípios também se provaram úteis no esforço de mudança, foi a coligação orientadora que realmente impulsionou o progresso. Self et al. (2007) acrescentam que iniciativas de mudança apoiadas pelo líder têm uma maior probabilidade de ser suportadas pelos membros do grupo de trabalho, o que facilita a implementação.

Quebrar o *status quo* também apenas é possível através de uma visão eficaz, tal como destacado na terceira etapa. Flamholtz and Kurland (2006) confirmam esta asserção no seu estudo, o qual revelou que ter uma visão e um planeamento estratégico são necessários, não só para estender o pensamento dos órgãos de gestão para além de objetivos de melhoria de desempenho incrementais, mas também para atacar problemas de longa duração e alterar a dinâmica competitiva. Szabla (2007) inclusivamente estabelece uma relação significativa entre a perceção de mudança organizacional planeada e a resposta à mudança ao longo das dimensões emocional, cognitiva e intencional. Embora a literatura maioritariamente confirme estas afirmações, Cole et al. (2006) considera a claridade da visão como sendo de importância inferior à própria execução da mudança e a sua adequação.

Kotter (1995) define o sexto passo como crítico, assim como Pietersen (2002) defende que um número de vitórias antecipadas, mesmo que pequenas, criam auto-confiança e a crença de que é possível atingir um maior sucesso, criando assim a dinâmica para objetivos a longo prazo.

Relativamente ao tópico desta dissertação em particular, Wellener et al. (2019) reportam que 50% dos fabricantes gere a mudança desenvolvendo equipas centrais ou grupos de trabalho encarregados com a investigação, desenvolvimento e implementação de iniciativas de fábricas inteligentes. Como de costume, inclusive a este nível, as empresas que estão a liderar a transformação digital diferenciam-se por aplicar múltiplas abordagens para gerir a mudança, tais como: desenvolver centros de excelência para coordenar e conectar iniciativas de fábricas inteligentes; criar um plano de medição para avaliar o progresso comparativamente com objetivos definidos; e até incluir terceiros externos para auxiliar na gestão de iniciativas. Estes fatores têm um papel considerável, permitindo aos chamados *Trailblazers* movimentar-se mais rapidamente na curva de adoção e colher maiores benefícios.

2.5 Contextualização da Dissertação

Respeitando a recomendação de que o âmbito do projeto seja inicialmente reduzido, foi imperterível adotar uma abordagem sistemática para processar e utilizar os dados obtidos, começando

por uma secção particular das operações da empresa. De modo a facilitar a visualização da informação obtida, serão usadas várias *dashboards*, disponíveis numa plataforma *web*, que podem ser acedidas através de *tablets*, dada a sua elevada mobilidade e facilidade de utilização.

A plataforma dispõe de várias funcionalidades, permitindo que se adapte a níveis organizacionais diferentes, embora o seu foco seja o Nível Operacional, conferindo transparência aos processos e facilitando a tomada de decisão. Esta permitirá ainda acompanhar a evolução de vários KPIs, enquadrados maioritariamente nas áreas de produção e qualidade, consoante a periodicidade indicada ao nível organizacional em que serão analisados.

Atendendo a que a empresa já implementava várias iniciativas de melhoria contínua, a sua combinação com soluções digitais tem o potencial de gerar um maior retorno de investimento e permitir a melhoria de indicadores de desempenho, nomeadamente o OEE. Por fim, dada a escala e elevado impacto do projeto, é fundamental que a gestão da mudança seja adequada, assim que o projeto foi implementado com o apoio externo de uma consultora. Deste modo, foi possível criar um sentido de urgência e auxiliar os colaboradores a compreender a necessidade de mudança e participar na sua implementação.

Capítulo 3

Panorama Atual do Setor e da Empresa

Esta dissertação foca-se numa empresa que se enquadra no setor dos componentes para automóveis, assim que, neste capítulo, será analisada a sua evolução em primeiro lugar. Embora o crescimento do setor automóvel parecesse promissor até 2020, a introdução de uma pandemia à escala global teve um impacto consideravelmente negativo e tornou incertas as previsões de recuperação. Posteriormente, será analisado em detalhe o processo produtivo da empresa, procurando tornar claras as oportunidades de melhoria identificadas de seguida. Por fim, serão apresentadas as várias funcionalidades da plataforma proGrow, algumas das quais serão integradas neste projeto em particular, de acordo com o seu âmbito.

3.1 Visão Global do Setor Automóvel

A indústria automóvel é considerada um setor promissor em todos os países mais desenvolvidos do mundo. Esta engloba dois tipos de fabricantes: os fabricantes de automóveis e os seus fornecedores. No contexto da montagem de um automóvel, são utilizados múltiplos componentes, dispondo dos mais variados materiais, tais como: aço, alumínio, vidro, plástico, borracha, e têxteis, entre outros. Tendo em consideração os dados estatísticos recolhidos nas últimas décadas, é observável um crescimento praticamente estável do volume de carros produzidos (Figura 3.1), o que impacta positivamente o desempenho da empresa em estudo.

Embora seja evidenciada uma tendência de crescimento no setor, nomeadamente devido ao aumento da procura em países em desenvolvimento, é claramente visível o impacto do abrandamento da economia global causado pela pandemia do coronavírus em todas as principais economias. Enquanto num cenário pré-pandémico se esperava que o total de vendas a nível mundial ascendesse continuamente, é agora claro o impacto deste contratempo na indústria, tendo a procura por novos automóveis reduzido consideravelmente (Statista Research Department, 2021b).

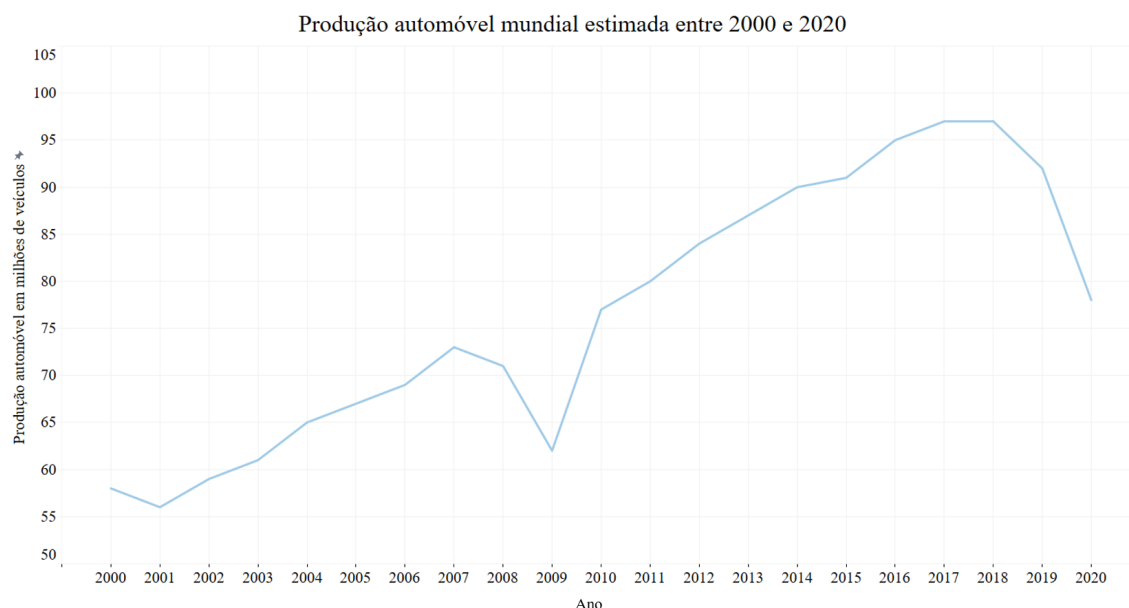


Figura 3.1: Produção automóvel mundial estimada entre 2000 e 2020, baseada em Statista Research Department (2021a)

Numa outra perspetiva, o setor automóvel é sem dúvida uma das principais forças motrizes para a inovação, investindo consideravelmente na investigação e desenvolvimento (I&D) de veículos cada vez mais sustentáveis, assim como na melhoria de processos de fabrico, logística, e gestão da mobilidade. A nível mundial, a tendência de crescimento está ilustrada na Figura 3.2, sendo a Europa e o Japão os investidores de maior peso e tendo contribuído com 24% e 27%, respetivamente, do investimento global no setor (Statista Research Department, 2019).

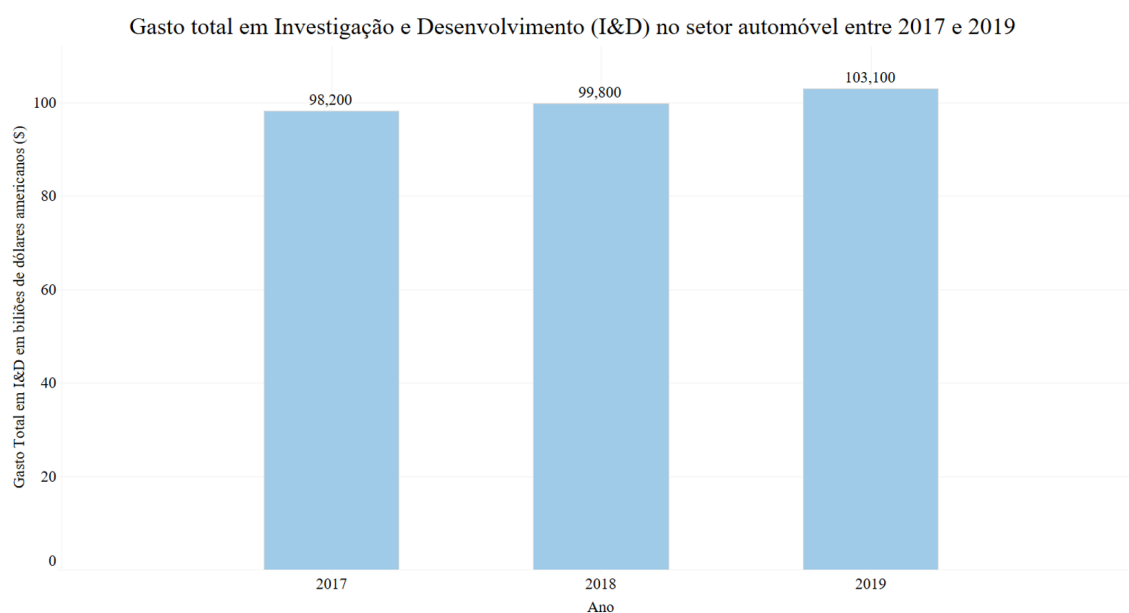


Figura 3.2: Gasto Total em Investigação e Desenvolvimento no setor automóvel entre 2017 e 2019, baseado em European Automobile Manufacturers' Association (2019)

Note-se que o setor automóvel é o principal investidor em I&D na União Europeia, sendo responsável por 28% do investimento total (European Automobile Manufacturers' Association, 2019). As estradas mais seguras e veículos mais sustentáveis e eficientes disponibilizados hoje em dia são o resultado directo de investimentos passados em I&D e comprovam a capacidade e potencial disruptivo que caracterizam um setor automóvel europeu altamente competitivo. Por exemplo, em 2019, a Europa liderou o mundo em patentes de veículos de condução autónoma, sendo responsável por 33,3% de todas as candidaturas (European Automobile Manufacturers' Association, 2019).

É de realçar que, sendo a I&D um processo estratégico e a longo prazo, está consideravelmente dependente de investimentos significativos e parcerias com *stakeholders*. Deste modo, é necessário um extenso período de tempo para conduzir investigações e realizar testes exaustivos, de modo a fornecer tecnologias disponíveis para produção e, apenas posteriormente, preparar a sua introdução no mercado.

3.1.1 Subsetor de Componentes para Automóveis

Este subsetor engloba empresas que fornecem direta ou indiretamente a indústria automóvel. Os fornecedores diretos ocupam-se do fabrico e venda de componentes finais aos fabricantes de automóveis. Por sua vez, os fornecedores indiretos são responsáveis pelo desenvolvimento de ferramentas, frequentemente moldes, essenciais aos fornecedores diretos para cumprir o seu papel.

A indústria dos componentes para automóveis em Portugal tem aumentado de dimensão a um ritmo acelerado, assim que, de modo a manter a sua competitividade, as empresas portuguesas se viram obrigadas a atingir rigorosas normas internacionais. Como se pode concluir pela Tabela 3.1, e seguindo o padrão já assinalado, verifica-se um aumento do volume de negócios, excetuando o ano atípico de 2020.

Tabela 3.1: Volume de negócios e exportações de componentes para automóveis produzidos em Portugal entre 2015 e 2020, baseado em Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel (2021)

Ano	Volume de Negócios (bilhões de euros)	Mercado Português (bilhões de euros)	Exportações (bilhões de euros)	Fração de Exportações (%)
2015	8,8	1,5	7,3	82,95 %
2016	9,3	1,3	8	86,02 %
2017	10,3	1,7	8,6	83,5 %
2018	11,4	2,2	9,2	80,7 %
2019	11,9	2,2	9,7	81,51 %
2020	10,4	1,8	8,6	82,69 %

Dada a dimensão limitada do mercado português, as empresas compreenderam a necessidade de focar as suas vendas nos mercados internacionais, com as exportações a assumir um valor

superior a 80%. Numa ótica global, pode realçar-se ainda que as exportações neste setor ocupam 16,1% do total de exportações portuguesas de bens transacionáveis (Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel, 2021).

Neste sentido, é notável o papel deste setor para a economia portuguesa em particular, comprovando o reconhecimento do país como produtor de moldes e componentes automóveis. Embora se tenha registado uma crise neste setor há uns anos atrás, derivada da competição existente com a China, onde é possível encontrar postos de trabalho com baixo salário e reduzidos custos, a generalidade dos maiores fabricantes retornou a Portugal graças ao rácio de preço/qualidade proporcionado (Canas, 2014).

3.2 Análise da Situação Atual da Empresa

A empresa em estudo enquadra-se na classe dos fornecedores diretos, e o foco do seu negócio é a produção de peças de plástico, através da injeção em moldes de aço. Estes garantem maior estabilidade e qualidade num contexto em que o volume de produção é considerável, em oposição a ligas mais leves que podem ser usadas para séries de produção de volume inferior. A totalidade do volume de produção da empresa está destinada à indústria automóvel, sendo produzidos múltiplos componentes, tais como: para-choques, painéis de instrumentos e de portas, e arcos de rodas (Figura 3.3). Consequentemente, as peças produzidas são de considerável dimensão e requerem moldes de até 100 toneladas. Com a sua tecnologia de ponta e profundo conhecimento da matéria que permite desenvolver estudos de *design* e monitorizar projetos complexos, a empresa é uma das poucas no setor que tem a capacidade de produzir diretamente para os principais fabricantes da indústria.

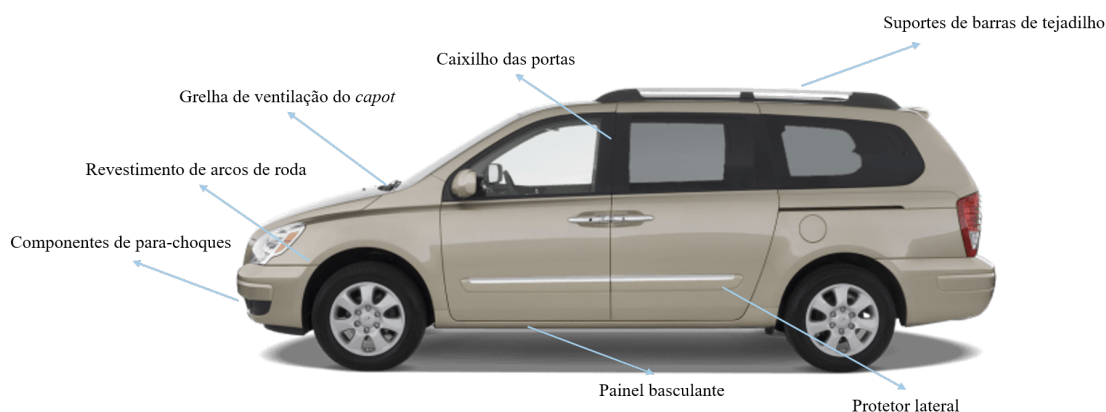


Figura 3.3: Exemplos de componentes exteriores para automóvel fabricados pela empresa

A empresa possui múltiplas fábricas geograficamente dispersas, sendo que, embora o horário de trabalho possa variar entre as mesmas, a produção está ativa na totalidade das fábricas 24 horas por dia, ao longo de 3 turnos, durante 5 dias da semana. Cada fábrica está dividida em diversos módulos, cada um dos quais alberga vários equipamentos. O alvo das Fases 0 e 1 do projeto serão as máquinas de injeção, equipamentos fabricados pela Engel e KraussMaffei com gamas entre 150 a 3200 toneladas de força de fecho.

3.2.1 Processo Produtivo

Alterando o foco para o fluxo de produção, o processo é iniciado no momento de receção da matéria-prima, a qual se enquadra na classe dos polímeros termoplásticos e, de acordo com os requisitos do cliente, poderá ser sujeita a transformação posterior, com a adição de corantes ou outros produtos. De seguida, a matéria-prima é redirecionada para a zona de produção, onde é aspirada para uma unidade funcional da máquina, denominada de tremonha, e introduzida numa câmara de plastificação. Aqui ocorre aquecimento através de resistências, para o material posteriormente arrefecer e solidificar sob a forma da cavidade desejada, originando as peças de plástico pretendidas (Peralta, 2001). Este processo tem o intuito de produzir componentes em conformidade com as especificações no menor intervalo de tempo possível. Assim, quando comparado com outros métodos, acarreta múltiplos benefícios, tais como: permitir a produção em massa, facilitar a automação de processos, requerer uma finalização mínima, e possuir considerável flexibilidade em termos de geometria e dimensão das peças produzidas. A constituição geral de uma máquina usada no processo de injeção está ilustrada no esquema da Figura 3.4.

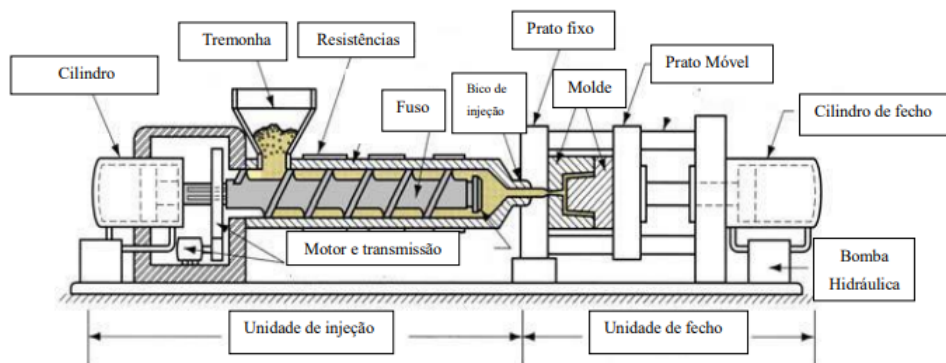


Figura 3.4: Constituição geral de uma máquina de injeção, baseada em Marina and Carvalho (2012)

Numa perspetiva mais detalhada, pode descrever-se o processo de moldagem de uma peça plástica com as sete etapas fundamentais descritas na Figura A.1 do Apêndice A.

De acordo com a encomenda de cada cliente, múltiplas ordens de fabrico (OF) serão geradas, cada uma especificando uma combinação de máquina e molde que permite o fabrico de determinadas peças. Cada molde pode possuir até quatro cavidades e permite o fabrico de um certo número de referências, consideradas a granularidade mínima, que representam cada peça distinta.

Deste modo, pode haver mais do que uma cavidade com capacidade para produzir cada referência. Por exemplo, num molde com quatro cavidades, duas das mesmas podem adequar-se à produção do painel lateral esquerdo de um automóvel, e as duas restantes permitirem a produção do painel lateral direito. Note-se ainda que a utilização de todas as cavidades não é obrigatória, assim que a OF deve especificar quantas cavidades deverão ser consideradas para o seu propósito em concreto.

Em suma, para cada OF é especificado que máquina e molde devem ser utilizados, assim como a quantidade a ser produzida de cada referência e o número de cavidades a considerar. Consequentemente, é assumido que o número de cavidades especificado pode ser dividido igualmente pelo número de referências, de modo a saber quantas cavidades deverão ser destinadas à produção de cada referência. Por outro lado, a quantidade a ser produzida para cada referência, no caso de um certo molde, não é necessariamente a mesma. Cada injeção na máquina corresponde a um ciclo, e é identificada através de um rótulo, constituído por um número de série, considerando que os identificadores para a primeira (rótulo de início) e última (rótulo de fim) injeções são particularmente importantes para efeitos de controlo da produção.

Após o processo de injeção, as peças produzidas são submetidas a um sensor, o qual conduz uma avaliação, de modo a detetar qualquer possível superfície com acabamento não conforme. Nesse caso, a peça é redirecionada por um robô para um contentor específico para peças em não conformidade. Ao invés, a peça é colocada de novo no tapete para o colaborador realizar um controlo de qualidade adicional. Durante o processo, o colaborador é também responsável por registar quaisquer ocorrências, tais como rejeições e paragens, num quadro de registo, tal como o apresentado na Figura 3.5, para cada combinação de máquina e turno.

Quadro de Controle de Produção							Máquina - KM 850 II					
Hora	Operadores	Molde	Designação	Nº Peças Objetivo	Nº Peças Real	Alteração de Parâmetros	Rejeições		Paragens			
		Nº Cavidades	Nº Ordem Fabrico				Código - Designação	Nº Rejeições	Código - Designação	Início	Fim	1ª Peça OK
16/17	1034	8247 2	Suporte Lateral D 3825349	134	134			0				16:10
17/18	1034	8247 2	Suporte Lateral D 3825349	134	134			0				17:03
18/19	1034	8247 2	Suporte Lateral D 3825349	134	134			0				18:11
19/20	1034	8247 2	Suporte Lateral D 3825349	68	68		9A	3	1H 3D	19:30 19:55	19:35 19:58	19:01
20/21	1034	8629 1	Barra Superior E 3826476	54	54		9E	3	3B	20:27	20:33	20:03
21/22	1034	8629 1	Barra Superior E 3826476	85	85			0				21:06
22/23	1034	8629 1	Barra Superior E 3826476	85	85			0				22:09
23/24	1034	8629 1	Barra Superior E 3826476	85	85			0				23:05
Total:				779	779	Total de Rejeições :		6	Qualidade (turno) : 99.2%		PPM (turno) : 7702	

Figura 3.5: Exemplo do quadro de registo correspondente a cada combinação de máquina e turno

Na eventualidade de uma rejeição, o colaborador deve indicar o número de peças rejeitadas, assim como o motivo para a sua rejeição, através de um código (Figuras B.1 e B.2 do Apêndice B). Similarmente, no caso de uma paragem, o início e término do respetivo intervalo de tempo devem ser registados, assim como o código que reflete o motivo para tal ocorrência (Figuras C.1 e C.2 do Apêndice C).

No que diz respeito a paragens, estas podem ser classificadas em vários tipos conforme a sua

causa raiz: Produção, Logística, SMED, Manutenção, Qualidade, ou TNA. Contrariamente às restantes, as paragens TNA são planeadas e correspondem a períodos de fim-de-semana, manutenção programada, ou ensaios faturáveis, nos quais o equipamento é usado para produção de ordens de fabrico exteriores à empresa, entre outros.

Adicionalmente, cada máquina é acompanhada de um sistema luminoso Andon, acionado pelo colaborador, o qual reflete a situação atual do equipamento segundo o código de cores esquematizado na Figura 3.6.

Mudança de Molde / Cor / Versão		A produzir Chamar Controlo + Qualidade	
Produção OK		A produzir Chamar Controlo + Logística	
Avaria de Máquina / Molde / Robot		Ensaio	
Parado por problemas de Qualidade		A produzir Chamar Controlo + Qualidade + Logística	
Parado por problemas de Logística		Paragem Programada	

Figura 3.6: Código de cores do sistema luminoso Andon associado a cada máquina de injeção

No caso de ser detetado um problema, deve ser seguida a matriz de escalonamento hierárquico esquematizada na Figura 3.7. Assim, em primeiro lugar, o colaborador deverá procurar avaliar o desvio da normalidade e restabelecer o funcionamento padrão. Caso não tenha capacidade para tal, deverá contactar pessoalmente o supervisor que, novamente, procurará solucionar o problema e, caso não seja capaz de o fazer num período de 60 minutos, deverá contactar o responsável de produção, e assim sucessivamente.

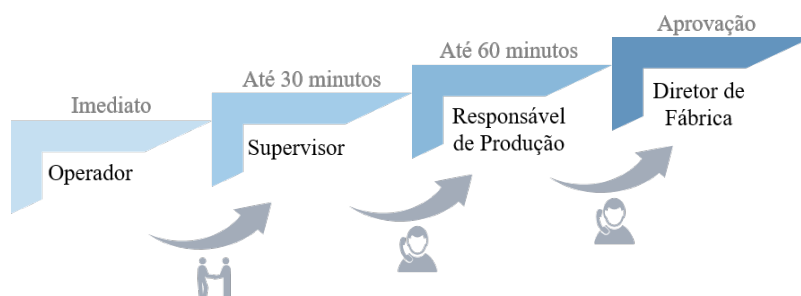


Figura 3.7: Matriz de escalonamento de problemas

Por fim, destacam-se algumas ferramentas utilizadas pela empresa com o intuito de garantir a eficiência e melhoria contínua dos seus processos. Desta maneira, é fomentada a formação e

desenvolvimento de competências dos colaboradores, assim como a sua sensibilização para responsabilidades individuais e coletivas, de modo a atingir o máximo de satisfação por parte de todos os *stakeholders*.

Single Minute Exchange of Dies (SMED)

Este é um de vários métodos de produção *lean* utilizados de modo a reduzir o desperdício num processo de fabrico, dado que esta metodologia visa tornar mais rápida e eficiente a alternância entre a conceção do artigo atual e do seguinte. No contexto da empresa e em virtude da dimensão dos moldes, este método foi condensado no objetivo “Mudança de ferramenta em menos de 10 minutos”. Assim, esta metodologia é utilizada para analisar e, consequentemente, reduzir o tempo de preparação, troca e afinação de moldes, e ferramentas. A agilização do processo de transição é de considerável relevância no contexto do setor em questão, dado que permite alcançar operações flexíveis e de baixo custo em simultâneo (Tharisheneprem, 2008).

Ainda neste tópico, são utilizadas listas de verificação para garantir a conformidade e uniformidade de certos processos, nomeadamente procedimentos SMED e rotinas de limpeza, exemplificadas na Figura D.1 do Apêndice D.

PDCA

Por sua vez, o PDCA consiste numa outra ferramenta de melhoria contínua que toma partido de uma equipa multidisciplinar para definir o problema através de uma abordagem sistematizada e suportada por outras ferramentas. Os passos envolvidos em concreto são descritos na Figura 3.8.

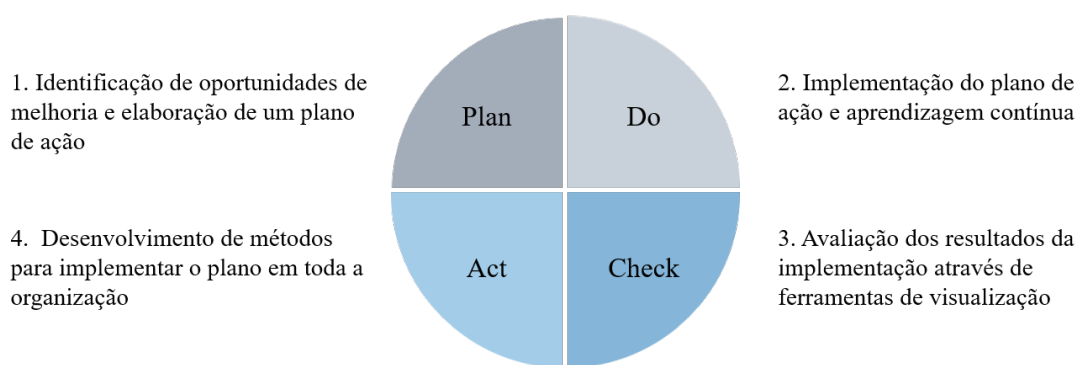


Figura 3.8: Etapas envolvidas na metodologia PDCA, baseado em Realyvásquez-Vargas et al. (2018)

3.2.2 Oportunidades de Melhoria

Ao examinar minuciosamente as operações da empresa, foram identificadas múltiplas oportunidades de melhoria, em grande parte devido à reduzida automação do processo de recolha de dados. Sendo o registo de informação manual e altamente dependente do colaborador, há inevitavelmente um maior risco associado de se incorrer em erro ou omissão. Neste sentido, serão destacadas as

principais oportunidades de melhoria identificadas, sob o foco de três indicadores que compõem o OEE (Figura 3.2), refletindo as perspectivas da disponibilidade, da *performance* e da qualidade.

Tabela 3.2: Fórmulas de cálculo dos indicadores Disponibilidade, *Performance*, Qualidade e *Overall Equipment Efficiency* (OEE)

Disponibilidade (D)	$\frac{\text{Tempo de Trabalho}}{\text{Tempo de Abertura Planeado}}$
<i>Performance</i> (P)	$\frac{\text{Número de Peças Real}}{\text{Número de Peças Teórico}}$
Qualidade (Q)	$\frac{\text{Número de Peças OK}}{\text{Número de Peças Real}}$
OEE	$(D) \times (P) \times (Q)$

Em primeiro lugar, não é efetivamente realizada a contagem do número de peças produzidas, assim que o número de peças real é considerado igual ao número de peças teórico na maioria dos registos, excetuando se houver uma ocorrência de elevado impacto, como uma paragem consideravelmente longa. No entanto, verificou-se posteriormente que a quantidade produzida é frequentemente superior à quantidade teórica. Dado que o número de peças teórico é regularmente baseado em dados históricos que podem não estar ajustados à realidade atual, a *Performance* atinge valores superiores a 100% em alguns casos.

Em termos de comunicação, o fluxo de informação é particularmente ineficiente quando ocorre uma paragem, sendo que é comunicada entre vários intervenientes até que seja efetivamente atacada a causa raiz de tal ocorrência. Primeiramente, a paragem é detetada pelo colaborador que, não sendo providenciado com dados concretos, irá registar valores aproximados para o seu início e término, e deverá refletir a situação através do código de cores do sistema luminoso. De seguida, o supervisor tem de tomar conhecimento desta mudança de estado, o que pode ser um processo demorado, e analisar, em conjunto com o colaborador, qual poderá ser a causa da paragem. Caso necessário, o supervisor deve comunicar a informação ao responsável de produção que terá de mobilizar técnicos para resolver o problema. Em suma, uma intervenção neste processo poderia conduzir a uma melhoria acentuada do tempo de trabalho e, conseqüentemente, da Disponibilidade.

Similarmente, o fluxo de informação é ineficiente no que toca a rejeições. Após a rejeição de uma peça, a produção é continuada, o que pode levar à acumulação de peças rejeitadas sem se atacar a causa para as mesmas. Tendo em conta que o supervisor apenas tem visibilidade sobre a situação quando o alerta é dado pelo colaborador, frequentemente a magnitude total do problema só é realmente reconhecida no final do turno ou até do dia. Com uma deteção mais precoce da força motriz das rejeições, o número de peças em conformidade (Peças OK) deverá aumentar e conduzir a uma Qualidade superior.

Por outro lado, as métricas que providenciam informação relativamente ao rendimento do processo apenas são calculadas, manualmente, no final de cada turno, o que dificulta a deteção de problemas e leva a um maior tempo de reação a ineficiências. De modo a armazenar a informação registada em cada turno, há um colaborador unicamente encarregado de apontar os dados de cada quadro de registo, para cada máquina e turno, e fazer o carregamento dos mesmos para uma base de dados.

Com base nos dados obtidos, são criados em *Excel* relatórios, os quais apresentam reduzida granularidade e flexibilidade de análise para os responsáveis de produção. De igual modo, as listas de verificação são usadas unicamente para propósitos de conformidade e não são analisadas em detalhe, com vista a detetar possíveis problemas e ineficiências.

3.3 Plataforma proGrow

Por fim, serão doravante descritas a estrutura e funcionalidades gerais da plataforma proGrow, com base em documentação interna da empresa. Para além de permitir centralizar o conhecimento operacional de uma organização e facilitar a análise do mesmo, a plataforma proGrow possui uma componente colaborativa que possibilita a gestão de projetos e ações individuais através da metodologia PDCA, promovendo uma cultura de melhoria contínua ao longo de toda a cadeia de abastecimento. A proposta de valor da empresa, focada na digitalização das operações do cliente, engloba quatro eixos principais:

1. **Integração:** recolha e correlação de dados de diferentes fontes de informação em tempo real;
2. **Indicadores de desempenho:** definição e digitalização de indicadores de desempenho operacionais alinhados com os objetivos estratégicos do cliente;
3. **Dashboards:** definição e digitalização de *dashboards* para acompanhamento, apoio à tomada de decisão, e visualização do estado das operações no chão de fábrica em tempo real;
4. **Colaboração:** promoção da colaboração através da plataforma, com a digitalização de listas de verificação e ferramentas para gestão de projetos de melhoria contínua.

Em virtude das suas características, a plataforma possibilita que se registem melhorias em diversas áreas. Por um lado, ao suprimir a necessidade de alocar recursos humanos à elaboração de relatórios, monitorização manual de indicadores de desempenho e gestão de projetos de melhoria contínua, é possível reduzir o trabalho humano entre 50% a 100%. Nesta mesma perspetiva, a digitalização de atividades relativas a melhoria contínua promove o aumento do número de projetos e ações de melhoria levados a cabo pelo cliente, estimando-se novamente ganhos entre 50% a 100%. Por último, são palpáveis os ganhos a nível da eficiência operacional, estimando-se valores entre 15% a 30%. Esta é atingida através da monitorização em tempo real de KPIs, acelerando e fundamentando o processo de tomada de decisão, e da definição clara de objetivos que conduzem a um aumento da produtividade dos equipamentos e colaboradores.

De um modo geral, a plataforma proGrow é integrada de acordo com o esquema de recolha de informação descrito na Figura 3.9.

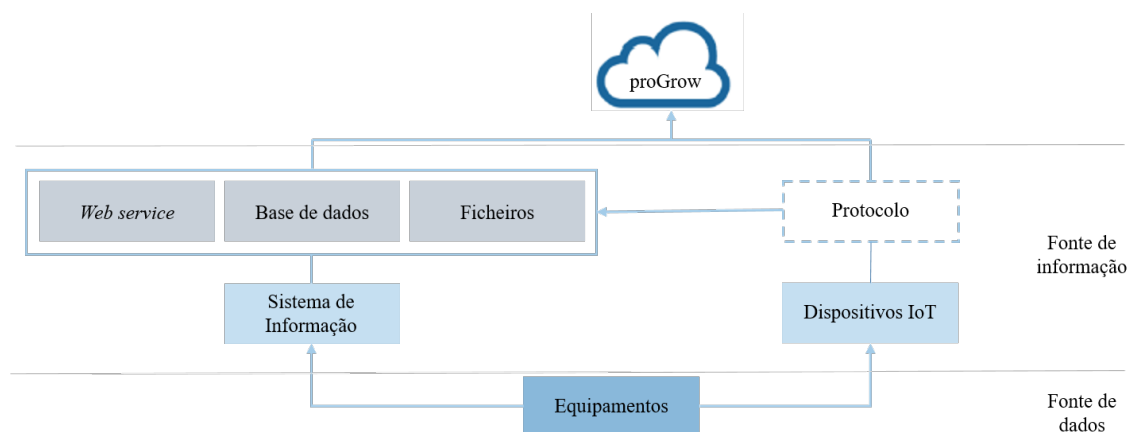


Figura 3.9: Arquitetura do sistema de recolha de informação da plataforma proGrow

As fontes de dados correspondem aos equipamentos, sendo responsáveis pela geração de dados que podem ser utilizados por várias fontes de informação, nomeadamente dispositivos IoT e sistemas de informação.

No que concerne os sistemas de informação, podem destacar-se as bases de dados, o *web service*, e os ficheiros. As bases de dados permitem o armazenamento de informação em tabelas, as quais estão inter-relacionadas, e é necessária uma autorização do proprietário das mesmas para aceder aos seus dados. Por sua vez, um *web service* é uma aplicação de interface para programação web (API - *Application Programming Interface*), a qual permite que sejam efetuadas perguntas e obtidas respostas de uma fonte primitiva de dados, tal como uma base de dados ou um dispositivo IoT. Neste caso, a acessibilidade a estes dados é possibilitada através de permissões pelo proprietário do *web service*. Por fim, é possível gerar e atualizar os ficheiros de forma automática ou manual e aceder aos mesmos através da sua disponibilização num servidor.

Relativamente a dispositivos IoT, são englobados, por exemplo, sensores e PLCs (*Programmable Logic Controllers*), os quais devem estar conectados à rede interna de uma organização, de modo a possibilitar o acesso aos dados por si recolhidos. Para este efeito, surge a necessidade da utilização de um protocolo de comunicação típico de IoT que permite também a exportação dos dados colectados para um sistema de informação. Todos os acessos supramencionados são facultados quando a organização disponibiliza à proGrow o acesso à sua rede privada (VPN - *Virtual Private Network*) ou uma máquina virtual para ser gerida pela plataforma.

Partindo para a análise das funcionalidades da plataforma proGrow, esta encontra-se dividida em seis módulos distintos. Em primeiro lugar, o módulo KPI, cuja interface está exemplificada na Figura 3.10, permite a visualização gráfica de múltiplos indicadores de desempenho, seleccionados e agrupados conforme as necessidades do cliente, sob o foco de várias perspetivas e filtros. A informação pode ser providenciada de forma manual ou automática, caso em que será obtida em

tempo real à medida que é gerada em contexto de chão de fábrica, sempre que haja ligação ao local onde os dados estão a ser armazenados.

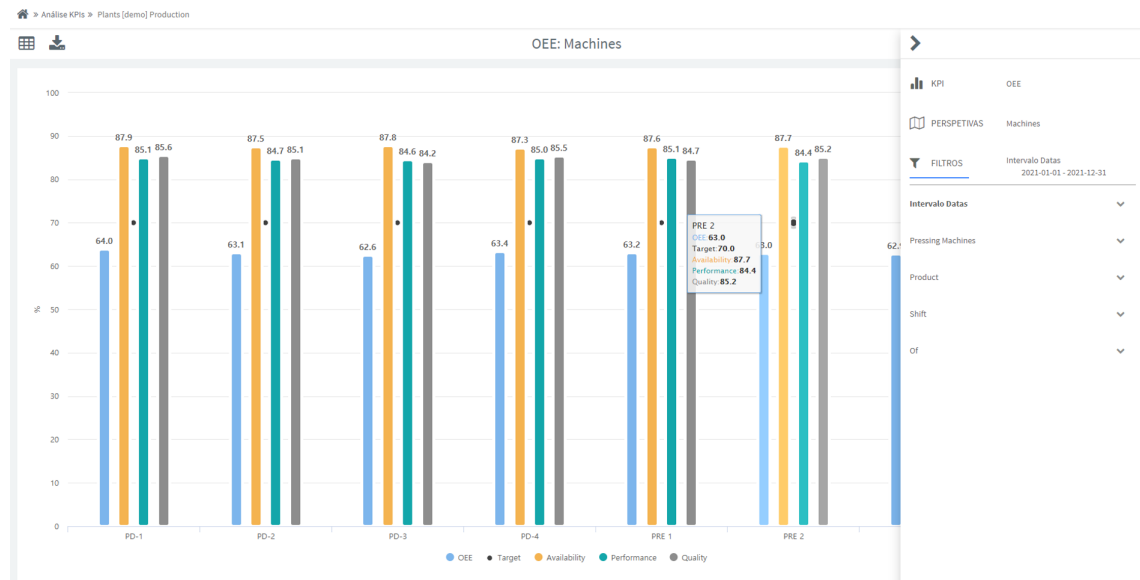


Figura 3.10: Exemplo da interface do módulo KPI

O seguinte módulo, designado por *Shopfloor*, permite uma visualização mais detalhada do contexto de chão de fábrica, que pode conter informação em tempo real caso a frequência de atualização dos dados e acessibilidade aos mesmos o permita (Figuras 3.11 e 3.12).

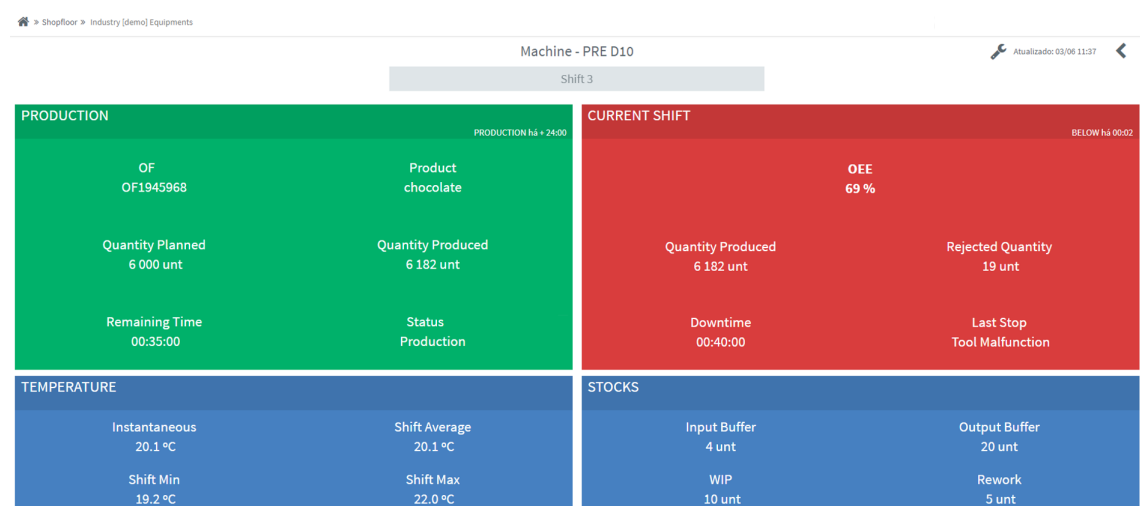


Figura 3.11: Exemplo de uma página relativa a um equipamento no módulo *Shopfloor*

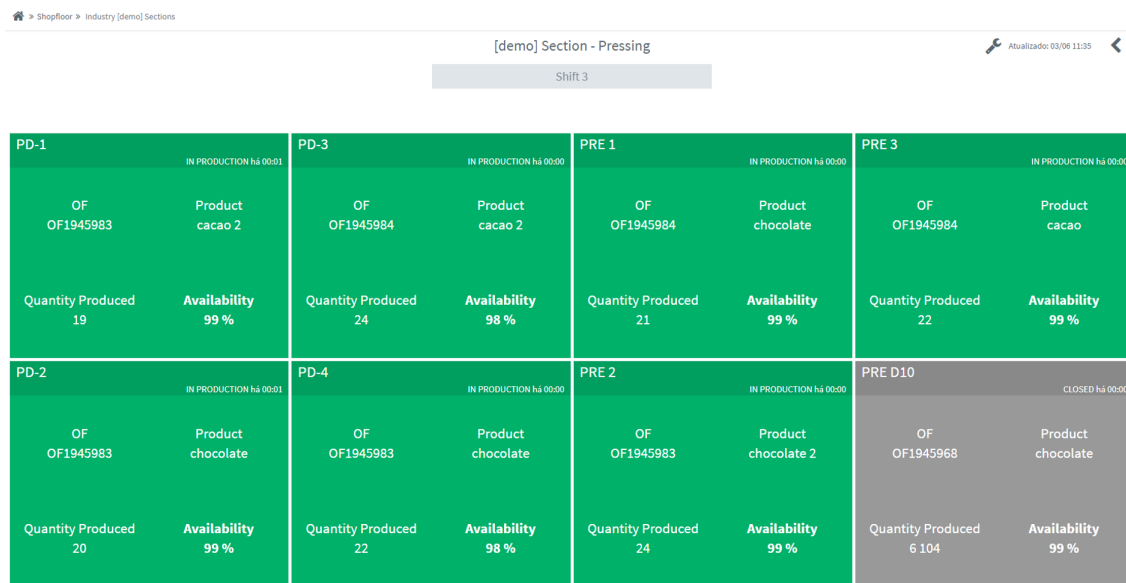


Figura 3.12: Exemplo de uma página relativa ao panorama geral do contexto de produção no módulo *Shopfloor*

Este módulo apresenta a maior versatilidade de configuração, permitindo condensar a informação-chave relativa a uma determinada máquina, e ainda obter uma visão do panorama geral do contexto de produção. Por fim, é ainda possível aplicar aos vários blocos, denominados de cartões, um código de cores em função do valor de um determinado KPI face ao seu valor objetivo.

O terceiro módulo, Relatórios, é dedicado a uma visualização gráfica dos dados recolhidos, com elevado poder de customização. Assim, é possível monitorizar e acompanhar a evolução de vários indicadores de desempenho de forma automática, com a granularidade desejada, seja esta diária ou até anual. Um exemplo desta interface está representado na Figura 3.13.

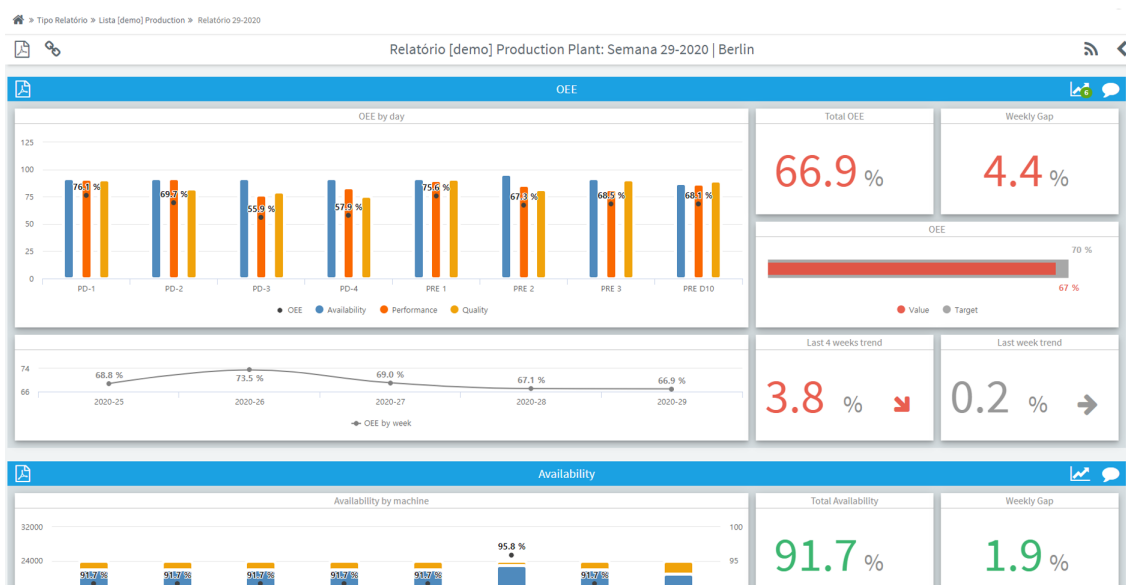


Figura 3.13: Exemplo da interface do módulo Relatórios

Partindo para outro eixo de ação mencionado, relativo à colaboração e melhoria contínua, surgem três módulos dedicados ao tópico. Promovendo o envolvimento dos trabalhadores, o módulo Melhoria possibilita que qualquer colaborador formalize uma sugestão de melhoria. Esta será sujeita a revisão e poderá ser promovida a ação ou marcada como não aplicável, caso haja algum motivo impeditivo à sua realização. No caso de uma oportunidade ser promovida a ação, será utilizada a metodologia PDCA para gerir a sua evolução. Adicionalmente, é possível associar um KPI à ação, permitindo uma monitorização mais concreta do seu impacto e evolução, e atribuir uma avaliação à mesma. A agregação de várias ações, possivelmente pelo seu objetivo comum, constitui um projeto (Figura E.1 do Apêndice E).

O módulo Tarefas tem como intuito auxiliar na gestão de atividades comuns na empresa, sendo que a cada tarefa é atribuído um responsável e um estado de implementação, baseado no ciclo PDCA (Figura E.2 do Apêndice E). Este módulo permite também a criação de listas de verificação digitais, que podem ser analisadas conforme as métricas desejadas para detetar possíveis problemas (Figura 3.14).

Nº	Pergunta	Resposta
1	1 - Verificar ordem de produção	✓ X □
2	2 - Separar cartões pull de matéria-prima e componentes	✓ X □
3	3 - Preparar matéria-prima	✓ X □
4	4 - Preencher quadro de estufagem	✓ X □
5	5 - Verificação de necessidade de matéria-prima de limpeza	✓ X □
6	6 - Verificação de necessidade de estufa/desumidificador	✓ X □
7	7 - Validar a correta limpeza da estufa/desumidificador	✓ X □
8	8 - Medição do teor de humidade da MP estufada antes da alocação da estufa junto à máquina	✓ X □
9	9.1 - Preparação do equipamento: Bico definido	✓ X □
10	9.2 - Preparação do equipamento: Caixas de Aquecimento	✓ X □
11	9.3 - Preparação do equipamento: Sequencial	✓ X □
12	9.4 - Preparação do equipamento: Refrigerador	✓ X □
13	9.5 - Preparação do equipamento: Aparelhos de Água	✓ X □
14	9.6 - Preparação do equipamento: Aparelhos de Óleo	✓ X □
15	9.7 - Preparação do equipamento: Periféricos/ Bancadas/ Bases	✓ X □
16	9.8 - Preparação do equipamento: Mão-Presa	✓ X □
17	10 - Verificar estado do molde	✓ X □

Figura 3.14: Exemplo da interface de uma lista de verificação do módulo Tarefas

Por fim, no módulo *Kanban*, é possível ter uma visão global das ações, projetos ou outras atividades em curso na empresa, divididas pelas quatro fases de implementação associadas à metodologia PDCA (Figura E.3 do Apêndice E).

Capítulo 4

Projeto de Digitalização do Chão de Fábrica

Dado que até ao momento de finalização do estágio apenas havia sido implementada na íntegra a Fase 0, enquanto que a Fase 1 se encontrava em progresso, o projeto de digitalização apenas será abordado até então. Neste capítulo, serão descritos em maior pormenor os objetivos para as fases supramencionadas. Como a Fase 0 é uma fase piloto, permitiu avaliar a situação atual da empresa e estabelecer objetivos mais concretos e extensos na Fase 1, segundo três eixos: eficiência operacional; trabalho administrativo; e melhoria contínua. De seguida, será apresentada a metodologia híbrida usada em cada fase do projeto, e descritas as atividades correspondentes a cada etapa, desde a definição do âmbito do projeto até ao seu fecho. Por fim, a última secção será dedicada à especificação das fontes de informação necessárias para atingir os objetivos propostos para as fases abordadas. Os entregáveis produzidos como resultado da aplicação da metodologia em cada fase, nomeadamente KPIs, *dashboards* do módulo *Shopfloor*, e Relatórios, serão apresentados no capítulo cinco.

4.1 Objetivos do Projeto

4.1.1 Fase 0

Tal como já mencionado, a implementação do projeto de digitalização do chão de fábrica no cliente teve uma fase piloto, cujo principal foco foi testar a experiência de utilização das *dashboards* do módulo *Shopfloor* da plataforma proGrow, em conjunto com as funcionalidades de registos manuais de produção. Para este efeito, foi considerada uma reduzida amostra de máquinas de injeção, em apenas uma das fábricas do cliente, tendo sido definidos os seguintes objetivos:

- Validação das funcionalidades dos registos manuais de produção realizados pelos colaboradores, por exemplo a iniciação de uma ordem de fabrico, através de *tablets*;
- Disponibilização das principais páginas do módulo *Shopfloor*, nomeadamente o Registo de Produção e o Quadro TRS;

- Integração da plataforma proGrow com os vários sistemas de informação;
- Recolha de sinais das máquinas de injeção através de dispositivos IoT.

4.1.2 Fase 1

Em virtude dos resultados positivos obtidos no decorrer da fase piloto, optou-se por prosseguir com a implementação do projeto, alargando faseadamente o seu âmbito aos restantes equipamentos enquadrados no processo de injeção, nas várias fábricas da empresa. Com um maior conhecimento do processo produtivo, foi então possível definir em maior detalhe os objetivos e resultados esperados para esta fase, atendendo às especificidades e necessidades do cliente. Não obstante, a definição do âmbito do projeto careceu também de uma pesquisa extensa relativamente às práticas atuais no setor em questão.

Em 2019, a Deloitte e a MAPI (*Manufacturer's Alliance for Productivity and Innovation*) conduziram um estudo sobre o conceito de fábricas inteligentes, analisando iniciativas relacionadas em curso em várias empresas que, apesar de sediadas nos EUA, possuíam instalações a nível global. Neste sentido, foram inquiridos mais de 600 executivos destas empresas, através de entrevistas presenciais e da criação de *focus groups*, de modo a identificar tendências e oportunidades no paradigma das fábricas inteligentes. Consequentemente, concluiu-se que, no período de 2015 a 2018, estas empresas conseguiram incrementar a capacidade de utilização das suas fábricas em 11% e a quantidade produzida em cerca de 10%, em virtude da implementação deste tipo de iniciativas (Wellener et al., 2019).

Como resultado do estudo, foram categorizados doze possíveis casos de uso que combinam iniciativas de fábricas inteligentes, sendo que três dos mesmos foram incorporados no projeto em desenvolvimento no cliente:

- **Deteção e controlo de qualidade:** reporta-se à monitorização de equipamentos em tempo real e análise de dados com variadas técnicas de visualização;
- **Centros de comando:** pressupõe o uso da análise e visualização de dados, assim como a inclusão da perspetiva dos utilizadores, como auxílio no processo de tomada de decisão;
- **Sincronização da fábrica e rastreamento de ativos em tempo real:** refere-se à utilização de sensores ativos e passivos de rastreamento de ativos, de modo a ajustar dinamicamente o planeamento de produção.

Similarmente, no projeto em questão, o principal motor de benefícios operacionais é o aumento da capacidade de utilização da fábrica, o qual é quantificado através do OEE. Com base na experiência da Deloitte, e ajustando a estimativa à aplicação dos três casos de uso mencionados em concreto, é previsto um aumento do OEE entre 1% e 1,5% para o cliente.

Não obstante, um projeto desta natureza permite também à empresa atingir resultados noutras vertentes, assim que foram definidos três eixos de ação distintos: melhoria do desempenho operacional; redução do trabalho administrativo; e aumento dos esforços de implementação de iniciativas de melhoria contínua.

4.1.2.1 Desempenho Operacional

De maneira a atingir a melhoria do desempenho operacional, será realizado um acompanhamento em tempo real de alguns KPIs, acelerando e facilitando o processo de tomada de decisão quanto a situações críticas. Para este efeito, a plataforma proGrow será desenvolvida e configurada, de modo a permitir uma maior flexibilidade de análise e incluir novos indicadores. Assim, os utilizadores possuem mais ferramentas para concluir sobre a causa raiz de eventuais problemas e atuar sobre os mesmos de forma mais célere.

Por um lado, através da obtenção de informação em tempo real e de um resumo dos processos críticos para cada equipa, os respetivos responsáveis são dotados da informação necessária para atacar de imediato os problemas mais prioritários, potenciando o aumento do OEE. Para além disso, a maior fiabilidade dos dados possibilita uma tomada de decisão mais robusta e eficaz. Por outro lado, as análises dinâmicas e personalizadas, de acordo com as necessidades de cada utilizador, facultadas pela plataforma, potenciam a identificação de tendências e problemas recorrentes. Por sua vez, o desempenho operacional pode ser repartido em três componentes:

Performance

Este indicador reporta-se à cadência de produção e encontra-se, neste caso em concreto, muito próximo de 100%, assim que não foram identificadas oportunidades de melhoria significativas neste sentido. No entanto, a obtenção de informação mais precisa e granular concedida pela plataforma permitirá refinar o seu cálculo.

Mais concretamente, a maior fiabilidade no cálculo do tempo de ciclo real permite identificar e ajustar o tempo de ciclo teórico de cada molde, de modo a que sejam traçados objetivos mais ambiciosos e realmente alinhados com a capacidade de produção das máquinas de injeção.

Disponibilidade

A disponibilidade dos equipamentos é outro dos componentes e pode ser melhorada como resultado da diminuição do tempo de paragem. O projeto em implementação no cliente prevê um grande impacto neste sentido, dado que as paragens serão detetadas em tempo real. De seguida, a informação correspondente será instantaneamente transmitida a todos os intervenientes, por meio de duas vias:

- *Dashboards* com informação em tempo real relativa ao tempo de paragem e causa raiz;
- Um sistema de alerta e escalonamento hierárquico de problemas, que alerta gradualmente os utilizadores, consoante a criticidade do problema.

Assim, o fluxo de informação entre ocorrência e resposta é agilizado, levando a menores tempos de reação; e o próprio tempo de resolução dos problemas será positivamente influenciado, sendo criada uma "pressão positiva" sobre os técnicos.

Qualidade

Tal como o nome indica, este indicador refere-se à qualidade do processo produtivo, sendo diretamente afetado pela quantidade de peças produzidas que são rejeitadas. Com a implementação deste projeto, a acumulação de rejeições é imediatamente detetada pelo colaborador, que será responsável por as caracterizar e registar na plataforma.

Consequentemente, a informação relativa ao número e causa das rejeições é destacada em tempo real nas *dashboards* designadas para o efeito, evitando que a ocorrência se prolongue. Por conseguinte, será possível diminuir o tempo de reação ao problema e evitar a produção continuada de peças que não se encontram em conformidade.

4.1.2.2 Trabalho administrativo

Numa outra perspetiva, através da digitalização de quadros de registo, tal como o apresentado no capítulo anterior (Quadro TRS), e da automatização do cálculo de indicadores e da criação de relatórios, é estimada uma redução considerável das necessidades de trabalho administrativo. Este impacto refletir-se-á de três modos:

- **Registos:** a gestão e inserção de novos registos no Quadro TRS será efetuada instantaneamente de modo digital, assim que é eliminada a necessidade de o colaborador registar as informações da produção no final de cada hora/turno e calcular manualmente os principais indicadores;
- **Escrita:** tendo em conta que a escrita de informação noutros sistemas é automatizada, elimina-se a necessidade de ter um colaborador exclusivamente dedicado à recolha e inserção manual de dados nos sistemas de informação da empresa, libertando-o para trabalho de maior valor acrescentado;
- **Relatórios:** com a geração automática de relatórios de suporte à gestão permitida pela plataforma, elimina-se a necessidade de despendar tempo dos quadros de gestão da empresa na elaboração de relatórios diários e semanais que sumariam a informação da produção.

Mais concretamente, a quantificação do impacto descrito foi estimada do seguinte modo:

- **Registos:** uma poupança de quinze minutos, por máquina e por dia, em termos de registos dos colaboradores no Quadro TRS;
- **Escrita:** uma poupança de oito horas, por fábrica e por dia, em termos de inserção manual de dados nos sistemas de informação da empresa;
- **Relatórios:** uma poupança de três horas e trinta minutos, por fábrica e por dia, em termos de elaboração de relatórios de apoio à gestão.

4.1.2.3 Melhoria contínua

Por fim, embora o cliente já implementasse medidas no sentido do terceiro eixo de ação, prevê-se que a maior facilidade de criação, controlo e acompanhamento de iniciativas de melhoria permitirá aumentar o impacto nas poupanças a si associadas.

Através dos módulos Kanban, Melhoria, e Tarefas, é possível criar, acompanhar, e destacar iniciativas de qualquer tipologia, nomeadamente quanto a melhoria de processos, de indicadores operacionais, ou até do desempenho de equipamentos e ferramentas, fomentando assim a cultura de melhoria contínua. Os benefícios esperados nesta ótica derivam:

- Da possibilidade de ter uma maior visibilidade, controlo e rigor sobre as iniciativas implementadas e respetivos resultados alcançados;
- Da maior facilidade de gestão das iniciativas em curso;
- Da capacidade de valorizar e destacar as melhores iniciativas;
- Do carácter *user-friendly* e interativo da plataforma;
- Do tempo libertado em trabalho administrativo, já abordado anteriormente, que pode ser rentabilizado para a criação e desenvolvimento de sugestões de melhoria.

Em suma, de acordo com a experiência da Deloitte e da proGrow, é estimado um potencial de poupança entre 5% a 20% derivado da implementação de iniciativas de melhoria contínua, sendo o valor precisado em 5% no caso da empresa em questão.

4.2 Metodologia

Para a implementação de cada uma das fases do projeto, foi utilizada uma metodologia híbrida de *Agile* e *Waterfall*.

A técnica *Waterfall* é uma metodologia de gestão de projeto em que é seguido um conjunto sequencial de passos, desde a recolha de requisitos até ao lançamento do produto. Esta alternativa é considerada de fácil compreensão e gestão, conduzindo a menos problemas de produção e uma melhor gestão orçamental. No entanto, é de difícil adaptação a projetos complexos ou de longa duração, dada a sua inflexibilidade.

Por sua vez, o *Agile* é uma abordagem que valoriza o desenvolvimento em prol da evolução, baseando-se num conjunto de valores e princípios que priorizam a flexibilidade, as necessidades do cliente, a qualidade do produto, e a colaboração. Assim, toma partido de equipas multifuncionais que colaboram para melhorar e iterar continuamente o produto, ajustando-o durante o processo para corresponder às necessidades do cliente ou solucionar problemas que surjam durante as iterações.

Apreciada pelo seu *mindset* de "falhar rapidamente", esta metodologia aplica-se principalmente a projetos sem prazo ou orçamento definido, em que a equipa de desenvolvimento do produto consegue contactar diretamente com o cliente e é possível evoluir o produto através de iterações.

Tal como definido por Erick Bergmann e Andy Hamilton (Schuh et al., 2017), a abordagem híbrida *Agile-Waterfall*, exemplificada na Figura 4.1, permite que as equipas responsáveis pelo desenvolvimento de *software* adotem a metodologia *Agile*, enquanto que a nível de gestão de projeto seja usada uma estratégia *Waterfall*. Esta opção revela-se particularmente útil quando

um projeto tem um orçamento e prazo de entrega definidos, mas beneficiaria da velocidade de definição, análise e planeamento associada ao *Agile*.



Figura 4.1: Exemplo de aplicação da metodologia de desenvolvimento híbrida *Agile-Waterfall*, baseado em edraw (2021)

Como resultado desta abordagem, surgiu a metodologia sumarizada na Figura 4.2, utilizada em ambas as fases do projeto, a qual engloba quatro etapas.

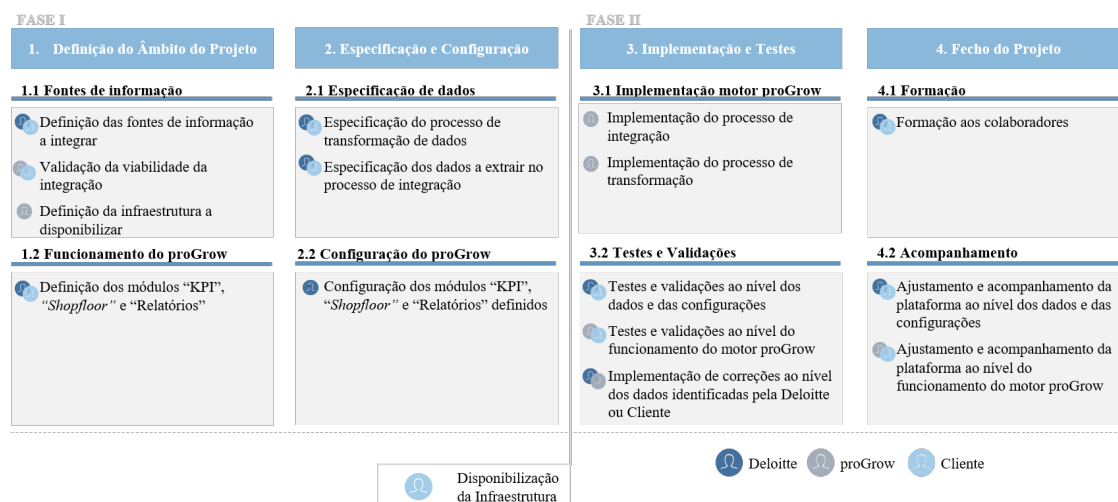


Figura 4.2: Metodologia usada em cada fase do projeto de digitalização do chão de fábrica

4.2.1 Definição do Âmbito do Projeto

A etapa inicial prende-se com a definição do âmbito do projeto, sendo para isso necessário avaliar a situação corrente da empresa, nomeadamente a nível dos sistemas de informação. Em primeiro lugar, a Deloitte colabora com o cliente no sentido de definir a informação que necessita de ser integrada na plataforma face aos objetivos do projeto.

Posteriormente, é conduzido um diagnóstico em conjunto com a proGrow à situação atual da empresa, intitulado de definição *as-is*, em que duas perspetivas são analisadas:

- **Estado da informação:** avaliação do tipo de dados disponível e da acessibilidade aos mesmos;
- **Fluxo atual de informação:** compreensão de onde, como, e quando é que a informação é gerada e usada.

Em virtude desta análise, é proposto um modelo de informação que acompanhará a implementação do proGrow na área dos equipamentos de injeção, constituindo a definição *to-be*, que engloba dois pontos essenciais:

- **Áreas de produção:** avaliação das áreas, departamentos e equipamento que devem ser incluídos no âmbito da implementação da plataforma proGrow;
- **Modelo de dados:** elaboração de uma representação simplificada dos dados a ser utilizados pela plataforma.

Finalmente, é elaborado colaborativamente um documento detalhando todos os aspetos do projeto acordados entre o cliente, a Deloitte, e a proGrow, e por fim delineado como e quando é que a informação deve ser apresentada na plataforma. Mais concretamente, o documento deve incluir: o diagnóstico do *as-is* da empresa; os KPIs que poderão ser analisados na plataforma; e a definição e estruturação da informação que deve estar presente nas páginas dos módulos *Shopfloor* e Relatórios. Por fim, é preparado um caso de estudo, realçando as várias vertentes de impacto e resultados esperados com a implementação do projeto de digitalização. Note-se que, nesta sub-etape, o cliente, a Deloitte, e a proGrow têm papéis de igual destaque e a implementação da plataforma apenas prossegue após a aprovação da primeira parte.

KPI

Apesar de ser recolhido um vasto leque de informação proveniente de variadas fontes e serem calculadas métricas intermédias, só os indicadores de desempenho definidos neste ponto em particular possuem elevada relevância para a empresa e poderão ser analisados no módulo KPI da plataforma proGrow, com uma interface semelhante à apresentada no capítulo anterior. Assim, para cada KPI, poderão ser seleccionadas diferentes dimensões de análise, através de:

- **Perspetivas:** permitem alterar a granularidade de análise, por exemplo ao nível da fábrica, módulo, ou máquina, entre outros;
- **Filtros:** permitem filtrar os dados consoante vários critérios, tais como um intervalo de datas ou um turno específico, por exemplo.

Adicionalmente, estes KPIs poderão ser integrados em *dashboards* do módulo Relatórios, e ser novamente analisados sob diferentes dimensões. A seleção dos KPIs tem em consideração uma multitude de fatores, nomeadamente os objetivos do projeto, as normas e requisitos do setor, e ainda as funcionalidades da plataforma proGrow. Deste modo, primeiramente foram considerados os KPIs correntemente monitorizados pela empresa e, de seguida, foi efetuado um *benchmarking* para avaliar outros potenciais indicadores que se adaptassem ao processo produtivo da empresa e demonstrassem ter um papel relevante na medição do seu desempenho.

Shopfloor

À luz dos dois exemplos ilustrados no capítulo anterior, o propósito das *dashboards* do módulo *Shopfloor* é apresentar informação concreta, direcionada aos colaboradores no chão de fábrica,

permitindo que identifiquem potenciais problemas de forma mais expedita e facilitando o seu processo de tomada de decisão.

Para este efeito, foram estruturadas várias *dashboards* com informação relativa ao processo produtivo, quer para cada equipamento em específico, quer numa perspetiva macroscópica para todo o módulo ou até fábrica. De modo a assegurar a compreensão e utilidade da informação apresentada para os futuros utilizadores, este processo exigiu particularmente um contacto próximo com o cliente e regular validação do mesmo.

Dado o potencial de configuração deste módulo ser elevado, o *design* das *dashboards* foi cuidadosamente planeado, atendendo aos princípios abordados no enquadramento teórico, de maneira a obter uma plataforma de fácil e agradável utilização. Para além da estrutura e posicionamento dos vários cartões, foi ainda aplicado um código de cores para refletir o posicionamento dos resultados atuais face aos valores objetivo correspondentes.

Relatórios

Neste módulo, serão disponibilizados vários relatórios configurados com recurso a JSON (*JavaScript Object Notation*). Apesar de estarem em formato digital, é também possível extrair os mesmos em formato PDF. Em cada *dashboard* será possível analisar um ou mais dos KPIs previamente selecionados, consoante o horizonte temporal desejado. Para além disso, é ainda possível selecionar a periodicidade de geração e o âmbito dos relatórios, isto é, se será apresentada informação relativa a uma fábrica em específico ou a todo o grupo.

Contrariamente ao anterior, este módulo tem um carácter mais estratégico, sendo principalmente direcionado a responsáveis de produção ou a níveis hierárquicos superiores. Assim, os KPIs, a periodicidade de geração, e o âmbito de cada relatório foram projetados de forma a dar resposta às necessidades do cliente a cada nível organizacional.

4.2.2 Especificação e Configuração

A etapa subsequente consiste na componente mais minuciosa da implementação, na qual os dados que devem ser extraídos no processo de integração são especificados em maior detalhe, de modo a permitir o funcionamento acordado para a plataforma na primeira etapa. Após toda a estrutura de dados estar claramente definida, é possível iniciar a configuração da plataforma, personalizando os vários módulos disponíveis, nomeadamente o KPI, *Shopfloor* e Relatórios. As especificações exigidas e interfaces obtidas após a configuração dos mesmos serão exploradas em detalhe no capítulo cinco.

4.2.3 Implementação e Testes

Após ter sido definida a estrutura de dados, será efetivamente levada a cabo a integração dos mesmos na plataforma. Este procedimento está maioritariamente a cargo da proGrow e segue uma sequência de três passos:

- **Partilha de acesso:** o cliente faculta acesso aos dados à equipa técnica da proGrow;
- **Integração de dados:** a equipa da proGrow interliga as diversas fontes de informação e disponibiliza-as por meio da plataforma;
- **Validação de dados:** a Deloitte e a proGrow validam todo o processo de integração de dados, de modo a garantir a eficiência máxima no curso das restantes etapas.

Finda a implementação do motor proGrow, a plataforma já se encontra inteiramente funcional. Não obstante, são realizados múltiplos testes operacionais, primeiramente a cargo da proGrow, de modo a corrigir de imediato pequenos problemas técnicos e, posteriormente e de forma mais extensiva, pela equipa da Deloitte, com vista a assegurar a qualidade do produto. Para conduzir esta fase de testes, a equipa da Deloitte prepara antecipadamente uma planificação detalhada de todos os testes que devem ser realizados, assim como o procedimento para os efetuar e o resultado esperado dos mesmos (Figura F.1 do Apêndice F).

Durante esta etapa, a plataforma é usada em ambiente de teste, de modo a não interferir com o processo produtivo das fábricas, sendo individualmente testadas todas as suas funcionalidades e resposta a potenciais ocorrências, quer em ambiente remoto, quer através de visitas às instalações do cliente. Neste processo, o intuito é garantir que os dados das fontes de informação estão a ser devidamente integrados, que o cálculo de métricas e indicadores está correto, e que a estrutura e funcionamento das várias *dashboards* vai de encontro ao planeado. No caso de se registar algum funcionamento anormal, este é detalhado num documento criado para o efeito em colaboração com a proGrow, de maneira a que a sua equipa técnica possa compreender facilmente a ocorrência e potencialmente averiguar a causa raiz do problema.

4.2.4 Fecho do Projeto

Após uma avaliação positiva das funcionalidades disponibilizadas, é providenciado um manual de utilizador, assim como sessões de formação para os vários níveis hierárquicos envolvidos. No final desta fase, a plataforma torna-se acessível para o cliente. No decorrer da utilização das diversas funcionalidades da plataforma, o cliente é incentivado a providenciar *feedback* relativamente ao produto e sugerir ajustes que podem facilitar a sua compreensão e utilização. Neste contexto, o acompanhamento é realizado de modo remoto.

Dada a natureza da proGrow, focada em desenvolver um produto cada vez mais completo e inovador, é extremamente importante o levantamento dos requisitos do cliente e partilha regular de *feedback*, de modo a criar uma plataforma verdadeiramente adequada às necessidades de uma empresa de fabrico da atualidade que pretende desenvolver-se no sentido da Indústria 4.0. Assim, enquanto numa perspetiva macroscópica é utilizada uma metodologia *Waterfall*, no decorrer do projeto é seguido um ciclo iterativo de definição do âmbito do projeto, especificação e configuração das funcionalidades desejadas para a plataforma, partilha de *feedback*, e reformulação, até que seja desenvolvido um produto totalmente apto a corresponder às necessidades do cliente. Como referência, na Figura 4.3 está exemplificado o enquadramento das várias etapas de implementação.

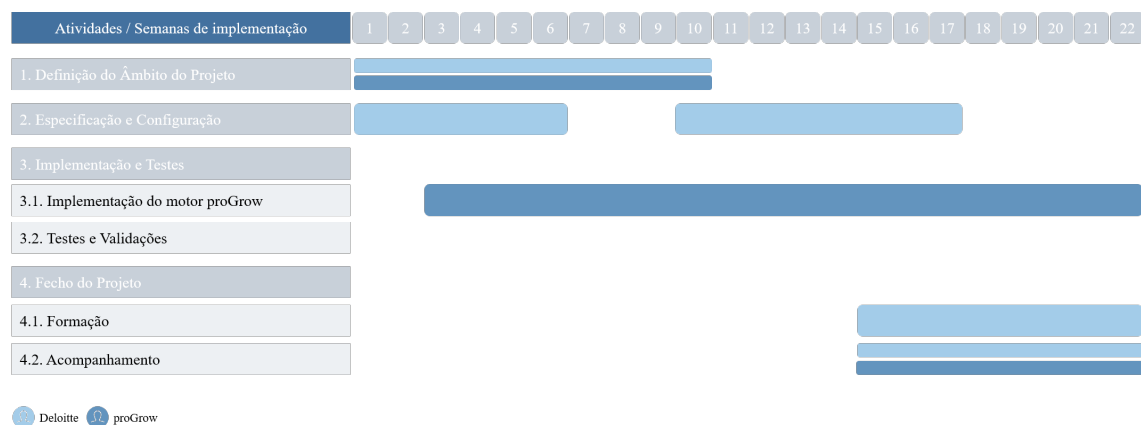


Figura 4.3: Diagrama de *Gantt* com um exemplo de enquadramento das etapas de implementação do projeto

4.3 Integração da Informação

Antes de apresentar, no capítulo que se segue, os entregáveis obtidos após a aplicação da metodologia descrita, será brevemente abordado o processo de integração da informação. No que diz respeito às fontes de informação, estão incluídas no âmbito a:

- **Escrita em Sistemas de Informação:** a informação obtida diariamente através de registos na plataforma é compilada e armazenada;
- **Leitura de Sistemas de Informação:** a plataforma necessita de integrar a informação ERP do cliente, assim como a informação proveniente do seu *software* de gestão da produção, entre outros;
- **Leitura e escrita em dispositivos IoT:** corresponde à informação recolhida e transmitida ao dispositivo IoT associado a cada um dos equipamentos.

No que concerne a informação ERP a obter do cliente, destaca-se a tabela OFPROGROW, que contém a informação relativa a cada ordem de fabrico. Para além de interfaces para integração com o ERP e outros sistemas de informação, a empresa deve garantir um conjunto de requisitos de infraestrutura. Assim sendo, a nível de equipamento de suporte, a cada máquina de injeção deve estar associado: um dispositivo IoT, que recolhe informação relativa ao processo produtivo no equipamento em tempo real; um *tablet*, através do qual o colaborador responsável pelo equipamento poderá efetuar registos; e ainda um monitor, de modo a facilitar a visualização das várias *dashboards* disponibilizadas. O sistema de informação relativo ao dispositivo IoT é providenciado por uma empresa externa, a Prosistav, assim que é necessária coordenação com a mesma para possibilitar a recolha das variáveis elencadas na Figura G.1 do Apêndice G. Através do dispositivo IoT, é possível determinar qual o período de tempo realmente necessário para que ocorra uma injeção (tempo de ciclo real), aferir qual o estado do equipamento, e ainda obter informação relativa aos sinais luminosos, a qual será posteriormente refletida numa *dashboard* através de um código de cores, entre outros.

Capítulo 5

Resultados

Como principal resultado da aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior, foram especificados e posteriormente configurados os módulos KPI, *Shopfloor*, e Relatórios na plataforma proGrow. Apesar de ambas as fases terem produzido, conforme os objetivos delineados, os seus próprios entregáveis, estes serão apresentados em conjunto dado que o trabalho desenvolvido na Fase 0 foi sujeito a testes, validações, e posterior desenvolvimento e reformulação.

5.1 KPIs

Atendendo às necessidades do cliente, requisitos do setor e funcionalidades da plataforma proGrow, foram definidos vários KPIs descritos nesta secção, que posteriormente poderão ser graficamente visualizados e analisados no respetivo módulo da plataforma proGrow, tal como exemplificado na Figura 5.1. Note-se que os valores exibidos nas várias interfaces da plataforma proGrow referidas neste capítulo são apenas exemplificativos, não correspondendo à realidade do cliente.



Figura 5.1: Interface do módulo KPI

No entanto, primeiramente, é necessário descrever os vários componentes intermédios utilizados no cálculo dos KPIs, assim como as fontes de informação que permitem obtê-los (Figura 5.2).

Componente	Fonte de Informação	Observações
Tempo de Paragem	Dispositivo IoT	Período de tempo desde que a produção da máquina é interrompida até que é reiniciada
Número de Paragens	Dispositivo IoT	Contabilização de cada registo de paragem da máquina
Número de Injeções	Dispositivo IoT	Contabilização de cada ciclo de injeção efetuado
Número de Cavidades Efetivo	Registo de Produção	Número de cavidades efetivamente usado na produção da OF
Número de Cavidades Teórico	Tabela OFPROGROW	Número de cavidades planeado para a produção da OF
Tempo de Ciclo Teórico	Tabela OFPROGROW	Período de tempo previsto para a ocorrência de um ciclo de injeção
Tempo de Ciclo Real	Dispositivo IoT	Período de tempo necessário para a ocorrência de um ciclo de injeção
Tempo de Abertura	Calendário	Totalidade do tempo disponível (24 horas por dia, 7 dias por semana)
Tempo de Abertura Planeado	Registo de Produção	Tempo de Abertura – Tempo de Paragem Planeado
Tempo de Trabalho	Dispositivo IoT	Período de tempo em que a máquina se encontra em produção

Figura 5.2: Componentes intermédios usados no cálculo dos KPIs

Tempo Total de Paragem e Percentagem de Paragem

É possível calcular o Tempo Total de Paragem através da soma dos vários períodos de tempo em que um equipamento não se encontra em produção (tempo de paragem), e são agregados todos os tipos de paragem. Este indicador será calculado a partir da informação providenciada pelo dispositivo IoT associado a cada equipamento. Por outro lado, considerou-se relevante a possibilidade de obter a percentagem de tempo de paragem face ao tempo disponível, quer numa perspetiva global, quer particularmente para um certo tipo ou código de paragem (Equação 5.1).

$$\text{Percentagem de Paragem} = \frac{\text{Tempo de Paragem}}{\text{Tempo de Abertura}} \quad (5.1)$$

Tempo Médio de SMED

Sendo o método SMED uma das ferramentas utilizadas pelo cliente de modo a aumentar a eficiência dos seus processos, considerou-se relevante incluir um indicador que permita avaliar a progressão das operações da empresa neste sentido. Na prática, os seus componentes serão obtidos filtrando o Tempo Total de Paragem e o Número de Paragens apenas para o tipo de paragem SMED (Equação 5.2).

$$\text{Tempo Médio de SMED} = \frac{\text{Tempo Total de SMED}}{\text{Número de Paragens SMED}} \quad (5.2)$$

Neste contexto, o cálculo do tempo de SMED envolve a consideração de vários aspetos e situações. A contabilização do tempo de paragem SMED deve ser iniciada no momento em que ocorre uma paragem de código 3A, 3F ou 3G, e finalizada aquando da validação da primeira peça em conformidade (Peça OK). Assim, quando a plataforma deteta uma paragem, deverá surgir um *pop-up* no *tablet* do colaborador de modo a que este a possa justificar. Neste sentido, caso a paragem em questão seja do tipo SMED, o colaborador deverá indicar um dos códigos supramencionados. Note-se ainda que, na eventualidade de ocorrer uma outra paragem durante a contabilização do tempo de SMED, poderão esperar-se dois resultados:

- Caso a paragem também corresponda ao tipo SMED, esta deverá ser considerada na computação do tempo de SMED;
- Caso a paragem corresponda a qualquer outro dos possíveis tipos, o seu período de tempo correspondente deverá ser deduzido do tempo de SMED.

Em suma, o tempo de SMED deverá corresponder à soma de todos os tempos de paragem cujo tipo é SMED, juntamente com o tempo de produção após a ocorrência de um dos três códigos acima discriminados até que seja validada a primeira peça OK, tal como exemplificado na Figura 5.3.

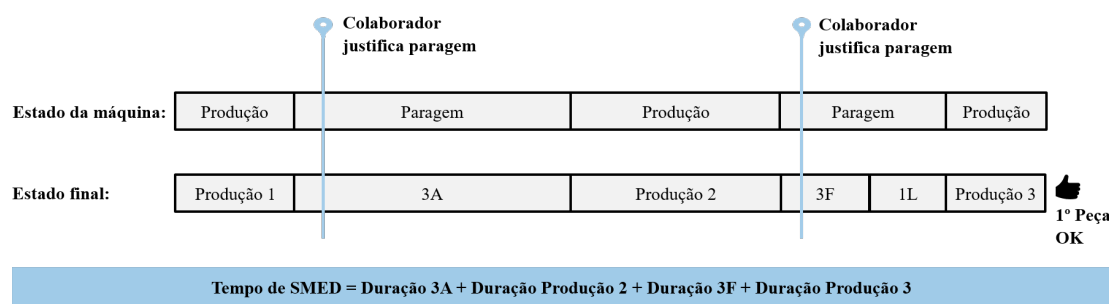


Figura 5.3: Exemplo de contabilização do tempo de SMED

Número de Peças, Número de Rejeições, e PPM

O indicador Número de Peças reporta-se à quantidade realmente produzida pelo equipamento, assim que é calculado em função do número de injeções registado pelo dispositivo IoT e do número de cavidades efetivo usado na produção da OF (Equação 5.3). Por sua vez, o Número de Rejeições deverá ser incrementado a cada novo registo do colaborador, indicando que a peça em análise não se encontra em conformidade com os parâmetros especificados. Derivado deste raciocínio, afigurou-se relevante incluir um outro indicador que permita avaliar o número de peças rejeitadas face à totalidade das peças produzidas. A taxa de rejeições é um dos principais indicadores de qualidade utilizados, frequentemente expressa em partes por milhão. Deste modo, é calculado o número de peças rejeitadas por não conformidade para cada um milhão de peças produzidas, através do indicador PPM (Equação 5.4).

$$\text{Número de Peças} = \text{Número de Injeções} \times \text{Número de Cavidades Efetivo} \quad (5.3)$$

$$\text{PPM} = \frac{\text{Número de Rejeições} \times 1000000}{\text{Número de Peças}} \quad (5.4)$$

Desvio de Ciclo e Tempo de Ciclo Real Médio

O tempo de ciclo corresponde ao tempo necessário para a conclusão de um ciclo de injeção. Por sua vez, o Desvio de Ciclo permite comparar o tempo de ciclo teoricamente previsto com o tempo de ciclo que se verificou na realidade, medido pelo dispositivo IoT e transmitido à plataforma (Equação 5.5). Note-se que, para este efeito, só se considerará a ocorrência de um Desvio de Ciclo caso o tempo de ciclo real seja superior ao tempo de ciclo teórico sem, no entanto, ultrapassar os dois minutos acima do mesmo.

$$\text{Desvio de Ciclo} = \text{Tempo de Ciclo Real} - \text{Tempo de Ciclo Teórico} \quad (5.5)$$

De modo a monitorizar a evolução do período de tempo realmente necessário para a ocorrência de um ciclo de injeção, será usado o indicador Tempo de Ciclo Real Médio (Equação 5.6).

$$\text{Tempo de Ciclo Real Médio} = \frac{\text{Tempo de Trabalho}}{\text{Número de Injeções}} \quad (5.6)$$

OEE, OOE, e TEEP

Seguindo o padrão da indústria explorado no Enquadramento Teórico, o OEE (*Overall Equipment Efficiency*) é o principal indicador usado para medir a produtividade de uma fábrica, comparando o seu desempenho atual com o seu pleno potencial, apenas durante o período de tempo em que está planeada a sua atividade (tempo de abertura planeado), assim que é descontado do tempo de abertura o período de tempo associado a paragens planeadas (Equação 5.7).

$$\text{OEE} = \frac{\text{Número de Peças OK} \times \text{Tempo de Trabalho}}{\text{Número de Peças Teórico} \times \text{Tempo de Abertura Planeado}} \quad (5.7)$$

No entanto, há dois outros indicadores de desempenho semelhantes e também frequentemente utilizados, o OOE e o TEEP (Equação 5.8). O cálculo do OOE (*Overall Operations Effectiveness*) é bastante semelhante, embora a nível da disponibilidade seja tomado também em consideração o tempo de paragem planeado. Assim, no caso de um equipamento estar em paragem para propósitos de manutenção, e deste modo não estivesse planeado o seu trabalho, o período de tempo correspondente será considerado no OOE, embora não o fosse no OEE.

Deste modo, o OEE avalia o desempenho de um equipamento como uma fração do tempo de produção planeado, excluindo intervalos de tempo inativo, ao passo que o OOE compara o seu desempenho com a totalidade do tempo disponível para trabalho na fábrica (tempo de abertura, restringido ao horário de funcionamento de cada fábrica).

Por sua vez, no cálculo do TEEP (*Total Effective Equipment Performance*) é considerada a totalidade do tempo disponível, mais concretamente 24 horas por dia durante os 365 dias do ano (tempo de abertura).

Assim, o TEEP providencia uma perspetiva sobre a verdadeira capacidade do processo de fabrico, ao ter em consideração perdas devidas ao equipamento, tal como o OEE, e perdas relacionadas com o horário de utilização.

$$\text{OEE} / \text{TEEP} = \frac{\text{Número de Peças OK} \times \text{Tempo de Trabalho}}{\text{Número de Peças Teórico} \times \text{Tempo de Abertura}} \quad (5.8)$$

O âmbito e cálculo dos três indicadores poderá ser compreendido em maior detalhe através do esquema da Figura 5.4.

TEEP		Tempo Total Disponível (Tempo de Abertura - 24 horas por dia, 365 dias por ano)			
OOE		Tempo Total de Operação (Tempo de Abertura - consoante o horário das fábricas)			Tempo Fora do Período Operacional
OEE	Disponibilidade	Tempo de Produção Teórico (Tempo de Abertura Planeado)		Perdas de tempo: • Paragens • <i>Changeover</i> • Restrições na linha de produção	
		Tempo de Produção Real (Tempo de Trabalho)			
	Performance	Quantidade Produzida Teórica		Perdas de eficiência: • Paragens • Reduzida produtividade	
		Quantidade Produzida Real			
	Qualidade	Quantidade Produzida Real		Perdas de qualidade: • Rejeições • Reprocessamento	
		Quantidade Produzida OK			

Figura 5.4: Componentes do cálculo do OEE, OOE, e TEEP, baseado em Metrics (2017)

MTTR e MTBF

O tempo médio de reparação (*Mean Time to Repair*) corresponde ao tempo médio necessário para proceder a uma reparação após a ocorrência de uma avaria, que neste caso é equiparada a uma paragem do tipo Manutenção com o código 6A, 6B, 6C ou 6D (Equação 5.9).

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tempo Total de Paragem}}{\text{Número de Paragens}} \quad (5.9)$$

Por sua vez, o tempo médio entre avarias (*Mean Time Between Failures*) corresponde, na verdade, ao tempo médio de trabalho, sendo que cada período de tempo de trabalho é limitado pela ocorrência de duas avarias, ou paragens neste contexto (Equação 5.10).

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tempo de Trabalho}}{\text{Número de Paragens}} \quad (5.10)$$

Para além dos indicadores de maior relevância já descritos, foram ainda definidos os seguintes que têm um foco particular no colaborador e permitem avaliar uma possível correlação entre o seu desempenho e os resultados obtidos:

- Número de colaboradores;
- Tempo de trabalho por colaborador;
- Tempo de paragem por colaborador;
- Número de peças por colaborador;
- Número de rejeições por colaborador.

5.2 Shopfloor

5.2.1 Registo de Produção

Tal como indicado no quarto capítulo, o principal foco da Fase 0 foi o desenvolvimento da página "Registo Produção" no módulo *Shopfloor*, que representa o ponto de partida para a digitalização das operações de registo a nível do chão de fábrica. Contudo, dada a sua complexidade, a página exigiu posterior desenvolvimento na Fase 1 (Figura 5.5).



Figura 5.5: Interface da página "Registo Produção" do módulo *Shopfloor*

Neste sentido, cada equipamento dispõe da sua própria página, uma *dashboard* interativa em que o colaborador encarregue da produção no momento pode registar de forma precisa e cómoda todas as ocorrências relevantes no que toca à sua máquina de injeção, monitorizar vários KPIs, e ainda planear a produção seguinte.

No seguimento destes objetivos, a página encontra-se repartida em três blocos:

- **Em Curso:** neste bloco encontra-se informação relativa à ordem de fabrico que se encontra em produção no equipamento;
- **Ordem de Fabrico Seguinte:** a informação deste bloco reporta-se à ordem de fabrico que se planeia produzir em seguida no equipamento;

- **Turno Atual:** este bloco disponibiliza informação relativa à totalidade do período de tempo ocorrido desde o início do turno.

De modo mais detalhado, a Tabela 5.1 sintetiza a informação disponibilizada em cada um dos blocos.

Tabela 5.1: Variáveis da página "Registo Produção" do módulo *Shopfloor*

Bloco	Variável	Descrição
Em Curso	Colaboradores	Código e nome do(s) colaborador(es) encarregue(s) da produção no equipamento
	Ordem de Fabrico	OF que se encontra em produção no equipamento
	Molde	Molde associado à OF
	Referências	Referências em produção associadas à OF
	Objetivo Hora	Quantidade que se planeia produzir no período de uma hora
	Acumulado Hora	Quantidade que se produziu na hora atual até ao momento
	Qtd. Produzida	Quantidade total produzida com a OF atual
	Qtd. Planeada	Quantidade total planeada para a OF atual
	Qtd. em Falta	Quantidade que ainda é necessário produzir para atingir o valor planeado na OF (Qtd. Planeada - Qtd. Produzida + Qtd. Rejeitada da OF atual)
	Tempo em Falta	Tempo necessário para produzir a Qtd. em Falta
	Tempo de Ciclo Teórico	Duração prevista para um ciclo de injeção da OF
	Tempo de Ciclo Real	Duração real de um ciclo de injeção da OF
OF Seguinte	Ordem de Fabrico	OF que se planeia produzir no equipamento em seguida
	Referências	Referências associadas à OF planeada
	Molde	Molde associado à OF planeada
	Início	Início previsto para a produção da OF planeada
Turno Atual	OEE	OEE do equipamento durante o turno atual
	Qtd. Produzida	Quantidade total produzida no equipamento durante o turno atual
	Paragens	Tempo total de paragem do equipamento durante o turno atual
	Qtd. Rejeitada	Quantidade total produzida no equipamento que foi rejeitada durante o turno atual

Para além de facilitar a visualização de informação atualizada e relevante para o processo produtivo, a página "Registo Produção" disponibiliza múltiplas funcionalidades. Estas são acessíveis através de botões, representados por ícones, visíveis na Figura 5.5. Para cada botão, surge um formulário com os campos necessários a preencher para efetuar o registo.

1. Iniciar e Fechar Produção

O formulário "Iniciar Produção" permite ao colaborador criar um novo registo de produção, assim que deve preencher o seu nome/código e a ordem de fabrico que pretende iniciar. Seguidamente, com base na informação da tabela OFPROGROW, as referências, a quantidade planeada, e o número de cavidades teórico correspondentes serão preenchidos automaticamente. No entanto, caso o colaborador decida usar um número de cavidades distinto do planeado na produção, poderá alterar o campo em questão, levando a que o número de cavidades efetivo difira do teórico. Adicionalmente, o colaborador é responsável pelo preenchimento dos rótulos de início e de fim, de modo a controlar os ciclos de injeção. Em virtude desta operação, os campos da secção "Em Curso" serão alterados em conformidade. Por sua vez, o formulário "Fechar Produção" permite ao colaborador validar e fechar a produção de uma determinada ordem de fabrico, inserindo o rótulo de fim caso não o tivesse feito anteriormente. Após este passo, terá acesso a um novo formulário de início de produção (Figuras H.1 e H.1 do Apêndice H).

2. Peça Validada

Ao aceder a este formulário, o colaborador poderá efetuar um registo individual de uma peça em conformidade. Em primeiro lugar, o colaborador deverá selecionar a data e hora em que a ocorrência deve ser registada, sendo que é possível efetuar registos *a posteriori*. De seguida, terá de identificar o colaborador responsável pelo registo, e ainda preencher o rótulo e a ordem de fabrico correspondentes, sendo que a última será automaticamente preenchida conforme a OF em produção. Em termos práticos, apenas a primeira peça em conformidade é registada (1ª Peça OK) (Figura H.3 do Apêndice H).

3. Rejeições

Através deste formulário, o colaborador poderá efetuar um registo individual de uma peça que não se encontra em conformidade e, consequentemente, será rejeitada. Novamente, o colaborador deverá selecionar a data e hora em que a ocorrência se registou, assim como a ordem de fabrico correspondente, que é automaticamente preenchida, e a referência em causa, no caso de haver mais do que uma. De seguida, o colaborador deverá selecionar qual o motivo (tipo de rejeição) e sub-motivo (código de rejeição) que conduziu ao seu registo (Figura H.4 do Apêndice H).

4. Alteração de Parâmetros

No caso de o colaborador desejar alterar algum parâmetro da máquina durante a produção, por exemplo a pressão da água ou a pressão de fecho do molde, deverá selecionar esta opção e descrever a situação no campo "Observações" do formulário (Figura H.5 do Apêndice H).

5. Paragens

Sempre que seja detetada uma paragem através do Dispositivo IoT associado ao equipamento, surgirá um *pop-up* para que o colaborador possa justificar a paragem, nomeando o seu motivo (tipo de paragem) e sub-motivo (código de paragem). Caso o colaborador assim o deseje, poderá ignorar o *pop-up* e justificar posteriormente a paragem, sendo que será emitido um aviso para o lembrar de tal. Adicionalmente, o cartão "Em Curso" está sujeito a um código de cores, assumindo a cor verde enquanto a máquina estiver em produção e assinalando que está em paragem com a cor vermelha, ou cinzenta se for uma paragem do tipo SMED.

6. Histórico

Por fim, a página permite, novamente através de um botão, aceder ao Histórico (Figura 5.6), uma nova página que permite consultar todas as ocorrências já registadas, assim como efetuar edições às mesmas, estando dividida em cinco separadores: "Registos", "Estados", "Rejeições", "Peça Validada" e "Alteração Parâmetros".

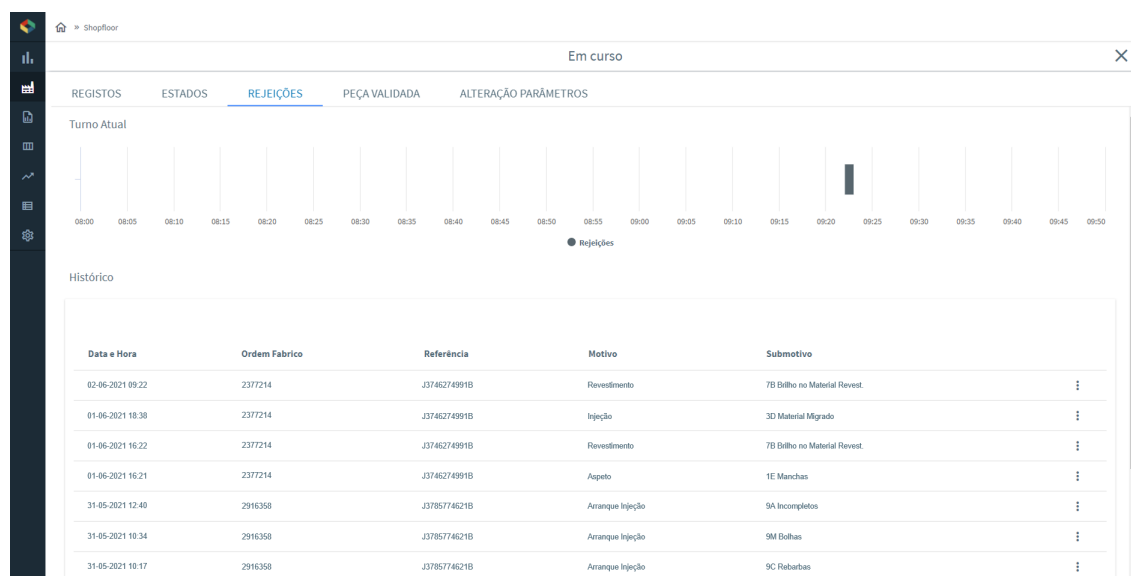


Figura 5.6: Interface da página "Histórico" do módulo *Shopfloor*

Sendo as funcionalidades dos três últimos separadores intuitivas, serão explicitados os restantes. No separador "Registos", são listados todos os registos de produção, gerados sempre que é alterado um campo que produz uma modificação no bloco "Em Curso", por exemplo, alteração da ordem de fabrico, do colaborador, ou do número de cavidades efetivo. Por sua vez, no separador "Estados" é criado um novo registo sempre que o estado da máquina alterna entre "Produção" e "Paragem". No caso desta última, o colaborador poderá editar *a posteriori* o registo e classificar a ocorrência quanto ao seu motivo e sub-motivo.

5.2.2 Quadro TRS

A informação registada por meio da página anteriormente descrita será sintetizada e exibida, ao longo do turno, numa outra página intitulada de "Quadro TRS"(Figura 5.7), homónima do quadro de registos ilustrado no capítulo três. Neste quadro, o colaborador estava responsável por registar manualmente os resultados do turno, aumentando a sua carga de trabalho e diminuindo a precisão dos registos. Mais uma vez, cada equipamento dispõe de três páginas, correspondendo a cada turno, assim como uma adicional que condensa a informação de todo o conjunto.

Por sua vez, cada página está dividida em dois blocos:

- **Turno Atual:** sendo que cada turno é composto por oito horas de trabalho, este bloco possui oito linhas representadas pela hora de início (ex. 8:00), onde são sintetizadas as principais ocorrências para o correspondente período de uma hora;
- **Resumo:** neste bloco, é possível monitorizar o valor de vários KPIs, calculados para o turno até ao momento atual.

Mais uma vez, os campos onde é exibida a quantidade produzida por hora, o tempo de paragem, e o número de rejeições estão sujeitos a um código de cores, permitindo assinalar visivelmente quando os valores se encontram fora dos limites desejáveis. A informação apresentada está descrita com maior detalhe na Tabela J.1 do Apêndice J.

Quadro TRS Turno Atual										Resumo	
Hora	Molde Plan.	Molde Atual	Ref.	1ª Peça	Alter. Parâm.	Qtd. Obj.	Qtd. Real	Paragens	Rejeições	OEE	
08:00	3524	8627	J1634361827B	-	-	120	128	00:05 1L	0	70.0%	
09:00	3524	8627	J1634361827B	OK	-	120	120	00:00 -	2 6A, 1F	Performance	83.6%
10:00	3524	8627	J1634361827B	-	10:13	120	130	00:00 -	0	Availability	84.8%
11:00	4209	3524	J1634361827B	OK	-	200	167	00:24 6A, 1N	6 2B, 9E, 9D	Quality	98.7%
12:00	4209	3524	J1634361827B	OK	-	200	90	00:12 4F	0	Nº Peças Obj	760
13:00	-	-	-	-	-	0	0	00:00 -	0	Nº Peças Real	635
14:00	-	-	-	-	-	0	0	00:00 -	0	Nº Rejeições	8
15:00	-	-	-	-	-	0	0	00:00 -	0	Tempo Paragem	00:41
										PPMs	12598

Figura 5.7: Interface da página "Quadro TRS Turno Atual" do módulo *Shopfloor*

5.2.3 Layout Fábrica

De modo a obter uma visão global do estado da produção nos vários equipamentos presentes na fábrica, foi desenvolvida a página "Layout Fábrica"(Figura 5.8). Cada equipamento é representado por um bloco, o qual está dividido em três cartões: um sinalizador principal, que é o cartão

superior; e dois sinalizadores auxiliares, correspondentes aos cartões inferiores. A informação desta página está especificada na Tabela J.2 do Apêndice J.



Figura 5.8: Interface da página "Layout Fábrica" do módulo *Shopfloor*

Replicando a função do sistema luminoso Andon introduzido no capítulo três, foram definidas regras para a gestão visual das cores dos cartões, permitindo refletir um vasto conjunto de situações. Este funcionamento está descrito nas Figuras I.1 e I.2 do Apêndice I.

Neste mesmo ponto, foi também desenvolvido um novo sistema de alertas e escalonamento espoletado pelo sinal do Andon. Deste modo, quando ocorrer um sinal do Andon, representando um evento não planeado, será enviada uma notificação para um grupo pré-definido de colaboradores em cada nível hierárquico, de acordo com os períodos temporais definidos na Figura 5.9. A notificação, enviada via e-mail, deverá conter a seguinte informação: sinal do Andon em vigor; máquina; molde; estado da máquina; código atual; e período de tempo desde o início do escalonamento.

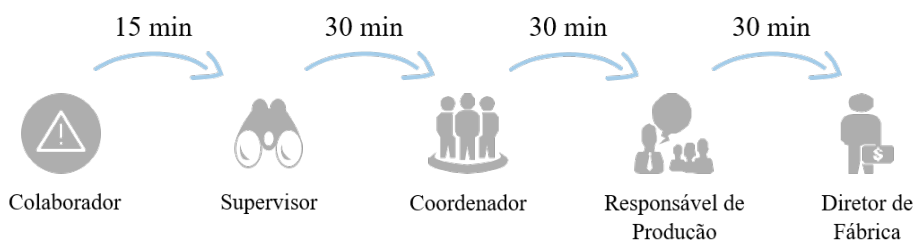


Figura 5.9: Esquema do funcionamento do sistema de alertas e escalonamento

O fluxo de notificação deverá ser interrompido aquando do surgimento de um sinal do Andon de evento planeado (mudança de molde/cor/versão, produção OK, ensaio faturável, ou paragem programada) com duração superior a dois minutos. Por outro lado, no caso de, no decorrer do

fluxo, se suceder uma alternância entre sinais do Andon sujeitos a alerta, o processo de escalonamento deverá prosseguir, sendo que a notificação enviada reflete o código atualmente em vigor.

5.2.4 Resumo Módulo

Por fim, destaca-se a página "Resumo Módulo", onde é possível obter informação detalhada relativamente aos equipamentos presentes num determinado módulo da fábrica, assim que deverá ser criada uma página semelhante para cada módulo (Figura 5.10). Dada a variedade da informação apresentada, com distintos modos de *reset*, as variáveis representadas serão exploradas na Tabela J.3 do Apêndice J.

	Molde	OEE 00-24h	PPM 00-24h	OEE Molde/Turno	TC Teórico Molde	TC Real Inst.	PPM Molde/Turno	Rejeições Molde/Turno	Paragens Molde/Turno	Status	P. S/ Just Turno	Status Inj	Peça OK Molde/Turno	Alt. Param. Molde/Turno	Formação
MÁQUINA A	2746	75%	0	72%	50"	44"	0	0	00:46	OK	3	OK	OK	-	P
MÁQUINA B	8945	78%	89450	82%	48"	49"	100000	15	0	OK	0	OK	OK	-	C
MÁQUINA C	4746	94%	0	90%	58"	57"	0	0	0	OK	0	OK	-	-	A
MÁQUINA D	7284	88%	0	92%	81"	90"	0	0	00:08	-	1	OK	OK	12:36	A
MÁQUINA E	4729	85%	40720	90%	50"	55"	50000	3	0	OK	0	OK	OK	-	P
MÁQUINA F	3547	87%	120000	94%	45"	52"	0	0	0	OK	1	OK	-	13:04	D
MÁQUINA G	2784	92%	0	84%	68"	59"	0	0	0	OK	2	OK	OK	-	D
MÁQUINA H	6192	90%	92900	91%	74	76"	0	0	0	OK	0	OK	-	-	C
MÁQUINA I	3749	86%	0	80%	85"	85"	0	0	00:21	2A	0	NOK	OK	-	C

Figura 5.10: Interface da página "Resumo Módulo" do módulo *Shopfloor*

5.2.5 Outras páginas do módulo *Shopfloor*

Para além das páginas já caracterizadas, foram ainda desenvolvidas as seguintes:

- **Resumo de Processos Críticos - Última Hora:** providencia um resumo das operações mais críticas no período da última hora, relativamente a cinco indicadores: OEE, PPM, Tempo de Paragem, Tempo de Paragem SMED, e Tempo de Ciclo Real. Assim, é possível agir de forma rápida e incisiva nos processos produtivos mais problemáticos (Figura J.1 e Tabela J.4 do Apêndice J).
- **Layout Logística - Últimas 24 horas:** confere uma visão geral do panorama a nível de Logística, destacando as operações mais críticas, na última hora, e para cada um dos quatro códigos de paragem de Logística mais recorrentes, nas últimas 24 horas. Adicionalmente, são indicadas as combinações máquina-molde correspondentes às ordens de fabrico com início mais próximo (Figura J.2 e Tabela J.5 do Apêndice J).

- **Layout Manutenção - Últimas 24 horas:** de modo semelhante, evidencia as operações mais críticas, nas últimas 24 horas, para cada um dos códigos de paragem de Manutenção (6A, 6B, 6C e 6D) e de Produção (1C e 1L) mais recorrentes. Para além disso, permite uma visão global das combinações máquina-molde com maior tempo de paragem por motivos de Produção e de Manutenção na última hora (Figura J.3 e Tabela J.6 do Apêndice J).

5.3 Relatórios

No módulo Relatórios, foram desenvolvidas várias páginas, geradas com diferentes periodicidades, permitindo visualizar de forma gráfica alguns dos KPIs selecionados. Neste âmbito, foram criadas quatro categorias de relatórios (Figura 5.11), descritas em seguida:

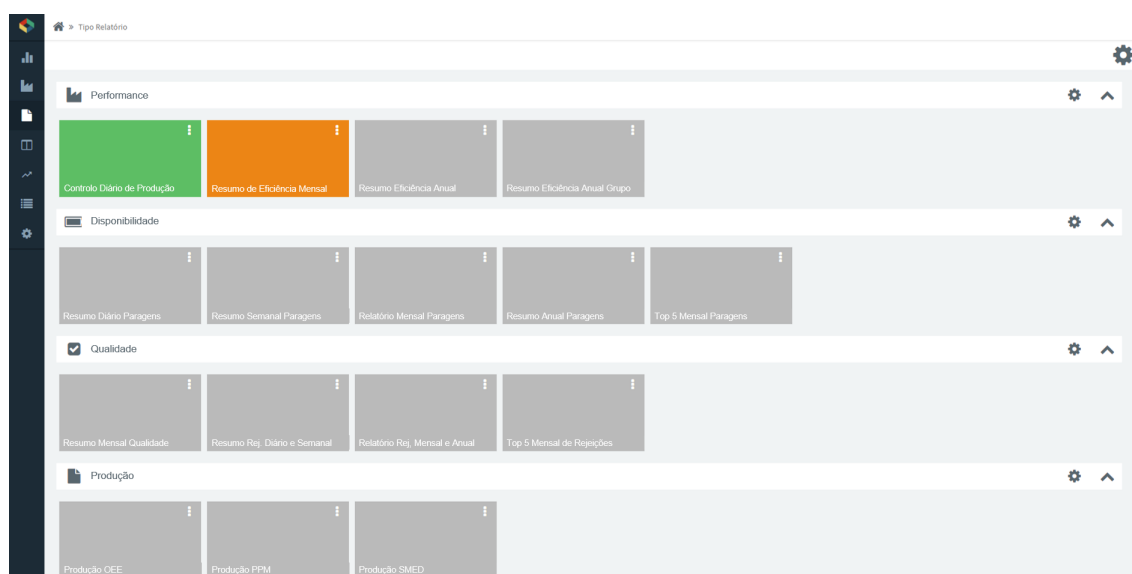


Figura 5.11: Interface do módulo Relatórios

- **Relatórios de Performance:** permitem analisar a *performance* global das fábricas e dos vários equipamentos, sendo analisados vários KPIs, tais como o OEE, o PPM, o OOE, e o tempo total de paragem. Estes relatórios são usados principalmente por níveis hierárquicos superiores, de modo a obter uma visão macroscópica do desempenho das fábricas.
- **Relatórios de Disponibilidade:** conferem uma análise aprofundada de KPIs que afetam a disponibilidade, tais como o tempo total de paragem e a percentagem de paragem, permitindo também monitorizar em maior detalhe a evolução destes KPIs na perspetiva dos diferentes tipos e códigos de paragem.
- **Relatórios de Qualidade:** similarmente, estes relatórios providenciam uma análise aprofundada de KPIs que afetam a qualidade, tais como o número de rejeições e o PPM, permitindo ainda monitorizar em maior detalhe a evolução destes KPIs na perspetiva dos diferentes tipos e códigos de rejeição.

- **Relatórios de Produção:** nestes relatórios é agregada informação relativa a três indicadores de principal relevo, o OEE, o PPM, e o tempo médio de SMED, analisando a sua evolução ao longo do tempo e, no caso dos dois últimos, destacando os códigos de rejeição e paragem, respetivamente, mais impactantes.

No Apêndice K é possível encontrar excertos dos relatórios "Resumo Eficiência Mensal"(Figura K.1) e "Controlo Diário de Produção"(Figura K.2) exportados em formato PDF.

Capítulo 6

Conclusão e Próximos Passos

No setor do fabrico de componentes para automóveis, é imperativo garantir a eficiência e qualidade das operações ao nível do chão de fábrica. Enquanto abordagens como a automatização de processos e aplicação de diferentes metodologias e filosofias de trabalho permitiram às empresas prosperar no passado, a procura de um novo meio de se destacar e garantir a sua posição no mercado assombra-as no presente. De modo semelhante, apesar de a empresa em estudo já estar estabelecida no mercado e implementar atualmente várias iniciativas de melhoria contínua, foram identificadas oportunidades de melhoria que apenas poderiam ser suplantadas com a digitalização dos seus processos ao nível do chão de fábrica. Consequentemente, foi concebido pela Deloitte e pela proGrow um projeto de caráter progressivo, de modo a alcançar a transformação digital da empresa.

A definição do âmbito do projeto constituiu a fase mais desafiante e extensa, dado que a digitalização das operações da empresa exigiu uma profunda compreensão do seu processo produtivo, estrutura organizacional, e método de trabalho. Só assim foi possível compreender quais as suas limitações, oportunidades de melhoria, e em quais destas é realmente possível intervir com um projeto desta natureza. Por outro lado, esta etapa exigiu uma sinergia positiva entre os vários intervenientes no projeto: o cliente, a proGrow, a Deloitte, e a Prosistav.

A ambiciosa amplitude do projeto representou também um desafio a vários níveis, dado que a plataforma foi desenvolvida tendo em mente o posterior alargamento do âmbito às fábricas geograficamente dispersas da empresa, que operam em diferentes horários e requerem que a plataforma se encontre no seu idioma materno. Ademais, a vasta gama de peças plásticas produzidas pelo cliente requer que a plataforma esteja, não só adaptada aos seus processos correntes, como também preparada para as suas operações futuras.

Numa outra perspetiva, a gestão da mudança é extremamente relevante no setor em questão, em que a monotonia associada às operações no chão de fábrica pode tornar os colaboradores avessos à inovação. Assim, é essencial que seja desenvolvida uma plataforma efetivamente útil e intuitiva, e que seja clarificado o seu objetivo e potencial, nomeadamente ao incluir os colaboradores no projeto e investir na sua formação. O contributo dos colaboradores revelou-se essencial para garantir que o funcionamento do módulo *Shopfloor* é facilmente compreensível e vai de encontro

às suas necessidades. Para além disso, foi necessário assegurar que todos os KPIs e Relatórios incluem as dimensões de análise necessárias e possuem informação enquadrada com a sua audiência.

Dado que a fase atual de implementação do projeto ainda não se encontra finalizada, não foi possível avaliar verdadeiramente o seu impacto ao nível dos objetivos quantitativos inicialmente propostos. Não obstante, já são observáveis resultados positivos, tais como a adaptação bem sucedida dos colaboradores à plataforma, a redução do trabalho administrativo mencionado, e a deteção de paragens de curta duração pelos dispositivos IoT que anteriormente não eram identificadas e analisadas.

Em virtude da metodologia híbrida usada, o desenvolvimento do produto é um processo contínuo, assim que futuramente serão corrigidas ineficiências detetadas durante a fase de testes e validações. Para além disso, serão implementadas novas funcionalidades, nomeadamente a integração na plataforma dos dados fornecidos por uma balança digital, onde serão pesadas as peças plásticas produzidas, e a criação de um KPI destinado a monitorizar estes valores. Adicionalmente, embora no decorrer das Fases 0 e 1 tenha sido explorado o potencial dos módulos da plataforma dedicados à colaboração e gestão de iniciativas de melhoria contínua, a sua integração com as operações da empresa está projetada para fases futuras, por exemplo através da digitalização das listas de verificação no módulo Tarefas. Embora não seja possível quantificar os resultados obtidos até que todas as funcionalidades projetadas para a plataforma sejam colocadas em prática e os colaboradores sejam capazes de a utilizar na sua plenitude, a implementação do projeto até ao momento foi bem sucedida e está previsto o alargamento do seu âmbito aos equipamentos de montagem na próxima fase.

Bibliografia

- Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel (2021). Auto components industry. <https://afia.pt/en/statistics/>. Acedido a 10 de Junho de 2021.
- Bisio, I., Garibotto, C., Grattarola, A., Lavagetto, F., and Sciarrone, A. (2018). Exploiting context-aware capabilities over the internet of things for industry 4.0 applications. *IEEE Network*, 32(3):101–107.
- Breunig, M., Kelly, R., Mathis, R., and Wee, D. (2016). Industry 4.0 after the initial hype: Where manufacturers are finding value and how they can best capture it. Technical report, McKinsey Digital.
- Brundage, M. P., Bernstein, W. Z., Morris, K. C., and Horst, J. A. (2017). Using graph-based visualizations to explore key performance indicator relationships for manufacturing production systems. In *24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, volume 61, page 451–456. Elsevier.
- Brynjolfsson, E. (1993). The productivity paradox of information technology. *Communications of the ACM*, 36(12):66–77.
- Buer, S. V., Strandhagen, J., Semini, M., and Strandhagen, J. (2021). The digitalization of manufacturing: investigating the impact of production environment and company size. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3):621–645.
- Burke, R. and Mussomeli, A., Laaper, S., Hartigan, M., and Sniderman, B. (2017). The smart factory: responsive, adaptive, connected manufacturing. Technical report, Deloitte Insights.
- Byrd, T. and Davidson, N. (2003). Examining possible antecedents of it impact on the supply chain and its effect on firm performance. *Information and Management*, 41(2):243–255.
- Canas, R. (2014). *SIMOLDES - The Impact of Additive Manufacturing: 3D Printing Technology*. Master’s thesis, Católica Lisbon School of Business & Economics, Palma de Cima, 1649-023 Lisboa.
- Cao, Z., Liu, X., Hao, J., and Liu, M. (2016). Simultaneous prediction for multiple key performance indicators in semiconductor wafer fabrication. *Chinese J. Electron.*, 25:1159–1165.
- Cole, M., Harris, S., and Bernerth, J. (2006). Exploring the implications of vision, appropriateness, and execution of organizational change. *Leadership and Organization Development Journal*, 27:352–367.
- Cotteleer, M. and Sniderman, B. (2017). Forces of change: Industry 4.0. Technical report, Deloitte Insights.

- Cunningham, J. and Kempling, J. (2009). Implementing change in public sector organizations. *Management Decision*, 47:330–344.
- De Groote, P. (1995). Maintenance performance analysis: a practical approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1:4–24.
- Diamond, L. and Lerch, F. J. (1992). Fading frames: Data presentation and framing effects. *Decision Sciences*, 23(5):1050.
- Dilla, W. N. and Steinbart, P. J. (2005). The effects of alternative supplementary display formats on balanced scorecard judgments. *International Journal of Accounting Information Systems*, 6(3):159–176.
- Dombrowski, U., Richter, T., and Krenkel, P. (2017). Interdependencies of industrie 4.0 & lean production systems: A use cases analysis. *Procedia Manufacturing*, 11:1061–1068.
- Eckerson, W. W. (2010). *Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business*. Wiley.
- edraw (2021). Hybrid agile and waterfall methodology template. <https://www.edrawsoft.com/template-hybrid-agile-and-waterfall-methodology.html>. Acedido a 10 de Junho de 2021.
- Ericsson, J. (1997). *Disruption Analysis – An Important Tool in Lean Production*,. Lund University Publications.
- European Automobile Manufacturers’ Association (2019). Research and innovation. <https://www.acea.auto/fact/research-and-innovation/>. Acedido a 10 de Junho de 2021.
- European Comission (2020). Portugal in the digital economy and society index. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-portugal>. Acedido a 10 de Junho de 2021.
- Fatorachian, H. and Kazemi, H. (2018). A critical investigation of industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, 29(8):1–12.
- Few, S. (2006). *Information dashboard design*. O’Reilly.
- Flamholtz, E. and Kurland, S. (2006). Making strategic planning work: a case study of countrywide financial. *Handbook of Business Strategy*, 7:187–193.
- Galli, B. J. (2019). An engineering manager’s guide for commonly used change management approaches—from one practitioner’s experience. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3):118–126.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6):910–936.
- Gist, M. and Schwoerer, C. and Rosen, B. (1989). Effects of alternative training methods on self-efficacy and performance in computer software training. *Journal of Applied Psychology*, 74:884–891.
- Gruhier, E., Demoly, F., and Gomes, S. (2017). A spatiotemporal information management framework for product design and assembly process planning reconciliation. *Computers in Industry*, 90(1):17–41.

- Gröger, C., Hillmann, M., Hahn, F., Mitschang, B., and Westkämper, E. (2013). The operational process dashboard for manufacturing. *Elsevier*.
- Hirzel, A., Leyer, M., and Moormann, J. (2017). The role of employee empowerment in the implementation of continuous improvement: Evidence from a case study of a financial services provider. *International Journal of Operations & Production Management*, 37:1563–1579.
- Holtskog, H. (2013). Continuous improvement beyond lean understanding. *Procedia CIRP*, 7:575–579.
- Huber, W. (2016). *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion: Ein Praxisbuch*. Springer Vieweg.
- International Society of Automation (2000). Isa-95-1 standard: Enterprise-control system integration. part 1: Models and terminology. *ISA-95*.
- Jazdi, N. (2014). Cyber physical systems in the context of industry 4.0. In *2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, pages 1–4.
- Jonsson, P. and Lesshammar, M. (1999). Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of oee. *International Journal of Operations & Production Management*, 19:55–78.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., and Wahlster, W. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. Acatech.
- Kang, N., Zhao, C., Li, J., and Horst, J. A. (2016). A hierarchical structure of key performance indicators for operation management and continuous improvement in production systems. *International Journal of Production Research*, 54:6333–6350.
- Kletti, J. (2007). *Manufacturing Execution System - MES*. Springer.
- Kolberg, D., Knobloch, J., and Zühlke, D. (2018). Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research*, 55(10):2845–2856.
- Kolberg, D. and Zühlke, D. (2015). Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 48:1870–1875.
- Kotter, J. P. (1995). Leading change: why transformation efforts fail. *Harvard Business Review*, pages 59–67.
- Kotter, J. P. (1996). *Leading Change*. Harvard Business Review Press.
- Künzel, H. (2016). *Erfolgsfaktor Lean Management 2.0: Wettbewerbsfähige Verschlankung auf nachhaltige und kundenorientierte Weise*. Springer Gabler.
- Laaper, S. and Kiefer, B. (2020). Digital lean manufacturing. Technical report, Deloitte Insights.
- Lepratti, R., Berger, U., Creutzmacher, T., and Minhas, S. (2013). Dynamic cycle times for adaptive manufacturing control in automotive flow shops. In *24th International Conference on Information, Communication and Automation Technologies*, volume 61, pages 1–5.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6(1):1–10.

- Marina, C. and Carvalho, S. (2012). *Manutenção Produtiva Total: Implementação na Simoldes Plásticos, SA*. Master's thesis, Universidade de Aveiro, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, 3810-193 Aveiro.
- MarketScape, I. (2020). Idc marketscape: Business analytics consulting services 2020. <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/technology/articles/idc-marketscape-business-analytics-consulting-services-2020.html>. Acedido a 10 de Junho de 2021.
- Mayr, A., Weigelt, M., Kühl, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., and Franke, J. (2018). Lean 4.0 - a conceptual conjunction of lean management and industry 4.0. *51st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 72:622–628.
- McCoy, D. (2002). *Business Activity Monitoring: Calm before the Storm*. Gartner Research.
- Metrics, M. (2017). Oee, ooe, and teep - what's the difference? <https://www.machinemetrics.com/blog/oe-oe-teep>. Acedido a 10 de Junho de 2021.
- Mrugalska, B. and Wyrwicka, M. K. (2017). Towards lean production in industry 4.0. *Procedia Engineering*, 182:466–473.
- Nakajima, S. (1988). *An Introduction to TPM*. Productivity Press.
- Nord, C., Pettersson, B., and Johansson, B. (1997). *TPM: Total Productive Maintenance med Erfarenhet fran Volvo (in Swedish)*. Molndal : Institutet for verkstadsteknisk forskning (IVF).
- Pauwels, K., Ambler, T., Clark, B. H., LaPointe, P., Reibstein, D., Skiera, B., Wierenga, B., and Wiesel, T. (2009). Dashboards as a service: Why, what, how, and what research is needed? *Journal of Service Research*.
- Peralta, R. (2001). Optimização e controlo do processo de moldação por injeção. *Licenciatura, Universidade de Aveiro*.
- Pietersen, W. (2002). The mark twain dilemma: the theory and practice of change leadership. *The Journal of Business Strategy*, 23:32–37.
- Pokorni, B., Schlund, S., Findeisen, S., Tomm, A., Euper, D., Mehl, D., Brehm, N., Ahmad, D., Ohlhausen, P., and Palm, D. (2017). Produktionsassessment 4.0. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 112:20–24.
- Rainer, R. and Cegielski, C. (2011). *Introduction to information systems. Supporting and transforming business*. Wiley, Hoboken.
- Rajnai, Z. and Kocsis, I. (2018). Ieee 16th world symposium on applied machine intelligence and informatics (sami). In *24th International Conference on Information, Communication and Automation Technologies*, pages 225–230.
- Realyvásquez-Vargas, A., Arredondo-Soto, K. C., and Carrillo-Gutiérrez, T. (2018). Applying the plan-do-check-act (pdca) cycle to reduce the defects in the manufacturing industry. a case study. *Applied Sciences*, 8(11).
- Rüttimann, B. G. and Stöckli, M. T. (2016). Lean and industry 4.0—twins, partners, or contenders? a due clarification regarding the supposed clash of two production systems. *Journal of Service Science and Management*, 9:485–500.

- Sanders, A., Elangeswaran, C., and 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.
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P., and P., J. (2015). *Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results*. Springer.
- Schroeck, M. and Kwan, A., Kawamura, J., Stefanita, C., and Sharma, D. (2019). Digital industrial transformation: Reinventing to win in industry 4.0. Technical report, Deloitte Insights.
- Schuh, G., Rebentisch, E., Riesener, M., Diels, F., Dölle, C., and Eich, S. (2017). Agile-waterfall hybrid product development in the manufacturing industry — introducing guidelines for implementation of parallel use of the two models. In *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*.
- Schumacher, A., Erol, S., and Sihm, W. (2018). A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52(1):161–166.
- Schwab, K. (2019). The Global Competitiveness Report 2019. Technical report, World Economic Forum.
- Self, D., Armenakis, A., and Schraeder, M. (2007). Organizational change content, process, and context: a simultaneous analysis of employee reactions. *Journal of Change Management*, 7:211–229.
- Shelly, G. B. and Vermaat, M. E. (2012). *Enhanced Discovering Computers. Complete 2012. Your Interactive Guide to the Digital World*. Course Technology.
- Shrouf, F., Ordieres, J., and Miragliotta, G. (2014). Smart factories in industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the internet of things paradigm. In *2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pages 697–701.
- Stachová, K., Papula, J., Stacho, Z., and Kohnová, L. (2019). External partnerships in employee education and development as the key to facing industry 4.0 challenges. *Sustainability*, 11:345.
- Statista Research Department (2019). Total global research and development (r&d) spending on automotive from 2017 to 2019. <https://www.statista.com/statistics/1102932/global-research-and-development-spending-automotive/>. Acedido a 10 de Junho de 2021.
- Statista Research Department (2021a). Estimated worldwide automobile production from 2000 to 2020. <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/>. Acedido a 10 de Junho de 2021.
- Statista Research Department (2021b). Number of cars sold worldwide between 2010 and 2021. <https://www.statista.com/statistics/200002/international-car-sales-since-1990/>. Acedido a 10 de Junho de 2021.
- Staufen, A. G. (2016). *25 Jahre Lean Management: Lean gestern, heute und morgen*. Staufen AG.

- Szabla, D. (2007). A multidimensional view of resistance to organizational change: exploring cognitive, emotional, and intentional responses to planned change across perceived change leadership strategies. *Human Resource Development Quarterly*, 18:525–558.
- Tharisheneprem, S. (2008). Achieving full fungibility and quick changeover by turning knobs in tape and reel machine by applying smed theory. In *2008 33rd IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Conference (IEMT)*, pages 1–5.
- Tokola, H., Gröger, C., Järvenpää, E., and Niemi, E. (2016). Designing manufacturing dashboards on the basis of a key performance indicator survey. *Elsevier*, 57:619–624.
- Tortorella, G. and Fettermann, D. (2018). Implementation of industry 4.0 and lean production in brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8):2975–2987.
- Wagner, T., Herrmann, C., and Thiede, S. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. *50th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 63:125–131.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., and Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1):1–10.
- Wellener, P., Shepley, S., Dollar, B., Laaper, S., Manolian, H. A., and Beckoff, D. (2019). 2019 Deloitte and MAPI Smart Factory Study. Technical report, Deloitte Insights.
- Wollschlaeger, M., Sauter, T., and Jasperneite, J. (2017). The future of industrial communication. *IEEE industrial electronics magazine*.
- Xhafa, F. and Dobre, C. (2016). *Pervasive Computing: Next Generation Platforms for Intelligent Data Collection*. Intelligent Data Centric Systems. Elsevier.
- Yigitbasioglu, O. M. and Velcu, O. (2012). A review of dashboards in performance management: Implications for design and research. *International Journal of Accounting Information Systems*, 13(1):41–59.
- Öberg, C. and Graham, G. (2016). How smart cities will change supply chain management: a technical viewpoint. *Production Planning & Control*, 27(6):529–538.

Apêndice A

Moldagem de uma peça plástica

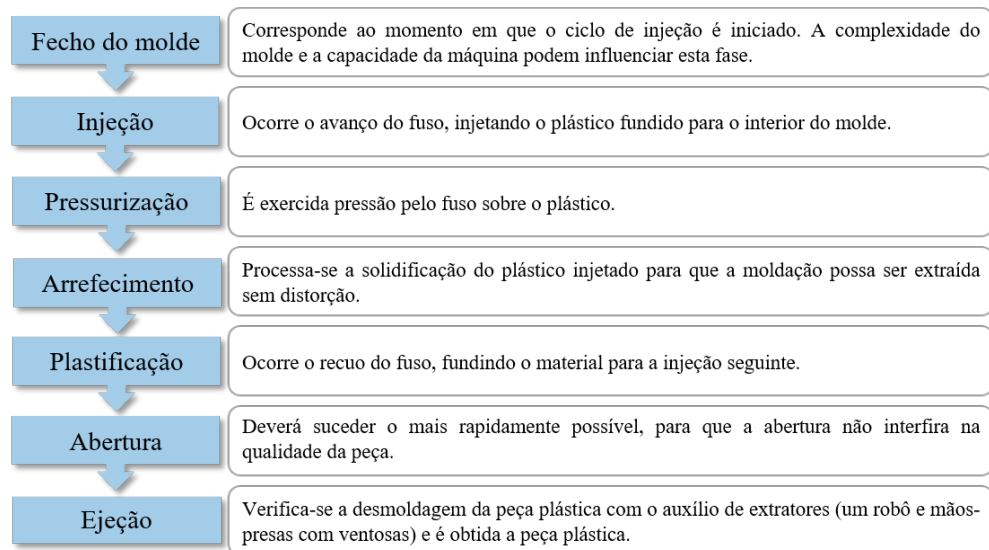


Figura A.1: Descrição das etapas do processo de moldagem de uma peça plástica

Apêndice B

Códigos de Rejeição

Tabela B.1: Códigos de rejeição do tipo "Montagem", "Injeção", e "Arranque Injeção"

Montagem		Injeção		Arranque Injeção	
4A	Componentes Trocados	1A	Incompletos	9A	Incompletos
4B	Falta Componentes	1F	Chupados	9B	Queimados
4C	Soldadura não Conforme	1J	Marcas de Extracção	9C	Rebarbas
4D	Marcas Criadas pelo Equipamento	1T	Peças Fim de Lote	9D	Empenos ou Deformações
4E	Soldadura Descentrada	2A	Sem Gás	9E	Manchas ou Brilhos
4F	Peça não Soldada	2B	Paredes Finas	9F	Chupados
4G	Montagem Incorreta	2C	Excesso de Gás	9G	Pintas
4H	Picagem (PY) não Conforme	2F	Infiltração de Gás	9H	Gorduras
4K	Ruídos	2H	Falta IMD / IML	9I	Marcas de Extracção / Forçados
4L	Charneira NOK	2I	Impurezas no IMD / IML	9J	Raiados
4M	Componente Defeituoso	2J	IMD / IML Descentrada	9K	Uniões de Material
4N	Mau Funcionamento	2K	IMD / IML Cortada	9L	Cor não conforme
4O	PVC Danificado	2L	Peças sem Inserto	9M	Bolhas
4P	Rosca Esmagada	2M	EPDM Rasgado	9N	Rugas
4Q	Rebitagem não Conforme	2N	Invasão do 2º Material	9O	Tecido Descentrado
4R	Perpendicularidade não Conforme	3C	Sem Tecido	9Q	Projeções / Migrações
4S	Torque não conforme	3D	Material Migrado	9S	Peças de Purga
4T	Aperto não conforme	3H	Projecção de Tecido		
4U	Filme Proteção Mal Montado	3I	Peça sem Corte		
		3J	Excesso de Cola		
		3L	Tecido Rasgado		
		3M	Fios Puxados do Tecido		
		3O	Padrão de Tecido NOK		
		3P	Falta Aderência / Adesividade		

Tabela B.2: Códigos de rejeição do tipo "Tampografia e Pintura", "Forma/Geometria", "Aspetto", e "Revestimento"

Tampografia e Pintura		Forma / Geometria		Aspetto		Revestimento	
5A	Falta de Tinta	1C	Rebarbas	1B	Queimados	7A	Incorreta Mistura Cola
5B	Posição do Print	1D	Peça Deformada	1E	Manchas	7B	Brilho no Material Revest.
5C	Cor do Print / Má Cobertura	1M	Partidas	1G	Riscos	7C	Cola na Superf. Visível
6A	Grumos	1Q	Dimensional NOK	1H	Pintas	7D	Rebordagem Incorreta
6B	Escorridos	1R	Corte Gito NOK	1I	Gorduras	7E	Formato Mal Posicionado
6C	Impurezas	2G	Peso NOK	1K	Bolhas	7F	Peça Inacabada
6D	Defeito Lixagem	3B	Formato NOK	1L	Raiados		
6E	Água Cortinas	3G	Formato Descentrado	1N	Unões de Material		
6G	Falta de Verniz	3K	Corte NOK	1P	Cor não Conforme		
6I	Ataque Pulverização	4I	GAP NOK	1S	Sujidade		
6K	Catalizado	4J	Afloramento NOK	1U	Brilhos		
				1V	Brilho NOK		
				2D	Rugosidade Superficial		
				3A	Rugas		
				3F	Casca de Laranja		
				3N	Marcas		
				3Q	Textura NOK		

Apêndice C

Códigos de Paragem

Tabela C.1: Códigos de paragem do tipo "Produção", "Logística", e "SMED"

Produção		Logística		SMED	
1A	Afinação	4A	Atraso Fornecimento Embalagem	1A	Mudar Ferramenta
1B	Espera Afinador	4B	Atraso Fornecimento Componentes	1B	Afinação Robot/M. Presa
1C	Afinação Equipamento	4C	Atraso Fornecimento M.P.	1C	Afinação Equipamento
1D	Falta Operador	4D	M.P. Trocada	1D	Afinação Arranque
1E	Falta Equipamento (Especificar)	4E	Falta Embalagem em Armazém	1E	M.P. Mal Estufada
1F	Falta Rendição	4F	Falta Componentes em Armazém	1F	Mudança Não Planificada
1H	Limpeza Ferramenta	4G	Falta M.P. em Armazém	1G	Ferramenta Não Alocada
1I	Erro Operação			1H	Limpeza do Fuso
1J	Arranque Semanal			1I	Mudar Versão
1K	M.P. Mal Estufada			1J	Mudar Cor
1L	Afinação Robot				
1M	Descarga Peças da Linha				
1N	Descarga Peças da Cabine				
1P	Formação Operador				
1V	Carga Peças da Linha				
1W	Limpeza Equipamento				
1X	Formato Encravado				
1Y	Adicionar Cola				
1A	Afinação				

Tabela C.2: Códigos de paragem do tipo "Manutenção", "TNA", e "Qualidade"

Manutenção		TNA		Qualidade	
6A	Avaria Ferramenta	1G	Ensaio Faturável	5A	Paragem Qualidade (Especificar)
6B	Avaria Máquina	2A	Maquina sem Carga	5B	Validação de Arranque
6C	Avaria Robô	2B	Fim de Semana		
6D	Avaria Equipamento	2C	Ensaio Interno		
6F	Falta Energia	6E	Manutenção Programada		

Apêndice D

Lista de Verificação

ROTINAS DE LIMPEZA									
MÁQ./SECTOR: MÁQUINA DE INJEÇÃO									
Nº	OPERAÇÕES	QUEM	FERRAMENTAS REFERÊNCIAS	TEMPOS	QUANDO	FREQUÊNCIA	Mudança de Molde Nº OP	2ª Feira (08h - 16h) Nº OP	6ª Feira (08h - 08h) Nº OP
1	LIMPAR TODA A ÁREA ENVOLVENTE DA MÁQUINA (CHÃO) (MATÉRIA-PRIMA, GITOS, CARTÕES, PAPÉIS, ETC.)	Operador de máquina	VASSOURA E PA DE TERGENTE DO CHÃO ESFREGONA PRODUTO LIMPEZA ÓLEOS	10 min	Cada Mudança de Molde + 2ª F + 6ª F				
2	ELIMINAR MATERIAL NÃO NECESSÁRIO À FABRICAÇÃO (POSTO DE TRABALHO: PARAFUSOS, VENTOSAS, FITA-ADESIVA, DESPERDÍCIO, ETC.)	Operador de máquina	ACÇÃO MANUAL	10 min	Cada Mudança de Molde + 2ª F				
3	LIMPAR TODA A ZONA DA UNIDADE DE INJEÇÃO (ÁREA SUPERIOR), ASPIRAR RESTOS DE MP. E LIMPAR (ÓLEOS, DESPERDÍCIOS, ETC.)	Operador de máquina	ASPIRADOR DE SÓLIDOS ASPIRADOR DE LÍQUIDOS DE TERGENTE DESPERDÍCIOS	10 min	Cada Mudança de Molde + 6ª F				
4	LIMPAR TODA A ZONA DA UNIDADE DE INJEÇÃO (ÁREA INFERIOR), ABRIR AS PORTAS E ASPIRAR TODO O ÓLEO QUE EXISTA JUNTO ÀS BOMBAS. (DESPERDÍCIOS, PURGAS, ETC.)	Operador de máquina	ASPIRADOR DE SÓLIDOS ASPIRADOR DE LÍQUIDOS DE TERGENTE DESPERDÍCIOS LIMPEZA ÓLEOS	10 min	Cada Mudança de Molde + 6ª F				
5	LIMPAR TODA A ÁREA EXTERIOR (PORTAS E ESTRADOS)	Operador de máquina	DE TERGENTE DESPERDÍCIOS	10 min	6ª F				
6	LIMPAR TODA A ZONA INTERIOR DA MÁQUINA (ÁREA DO MOLDE), ASPIRAR, LIMPAR ÁGUAS E TODO O ÓLEO QUE POSSA EXISTIR, RETIRAR ESTRADOS, GITOS, PEÇAS, PURGAS, ETC.	Operador de máquina	VASSOURA E PA DE TERGENTE DO CHÃO ESFREGONA ASPIRADOR DE LÍQUIDOS PRODUTO LIMPEZA ÓLEOS	10 min	Cada Mudança de Molde + 6ª F				
7	LIMPAR TODA A ZONA INTERIOR DA UNIDADE DE FECHO DA MÁQUINA, ASPIRAR, LIMPAR TODO O ÓLEO QUE POSSA EXISTIR	Operador de máquina	ASPIRADOR DE SÓLIDOS ASPIRADOR DE LÍQUIDOS DE TERGENTE DESPERDÍCIOS PRODUTO LIMPEZA ÓLEOS	10 min	Cada Mudança de Molde + 6ª F				
8	LIMPAR TODA A ZONA EXTERIOR DA UNIDADE DE FECHO	Operador de máquina	DE TERGENTE DESPERDÍCIOS	10 min	6ª F				
9	LIMPAR TODO O OBRAÇO DO ROBOT	Operador de máquina	DE TERGENTE DESPERDÍCIOS	10 min	6ª F				
10	LIMPAR AS BANCADAS EXISTENTES NO POSTO-DE-TRABALHO (LIXO, ETIQUETAS, RÓTULOS, FITAS, AGRAFOS, ETC.)	Operador de máquina	ACÇÃO MANUAL	10 min	Cada Mudança de Molde				
11	LIMPAR OS PERIFÉRICOS E EQUIPAMENTOS AGREGADOS AOS MESMOS (APARELHOS DE ÁGUA, ESTUFAS / POLISECCOES, TREMONHAS, FILTROS, ETC.) NOTA: AQUANDO DESTA LIMPEZA, VERIFICAR O ESTADO DOS PERIFÉRICOS E EQUIPAMENTOS	Operador de máquina	DE TERGENTE DESPERDÍCIOS	10 min	Cada Mudança de Molde + 2ª F				
EM CASO DE PROBLEMA DURANTE UMA OPERAÇÃO DE LIMPEZA, PREVENIR A CHEFIA. NO DECORRER DA LIMPEZA USAR O EQUIPAMENTO DE PROTECÇÃO INDIVIDUAL NECESSÁRIO DE ACORDO COM A OPERAÇÃO.									
SÍMBOLOS/LEGENDA:			VASSOURA	PÁ	DETERGENTE	ASPIRADOR DE LÍQUIDOS	DESPERDÍCIO	1 VEZ / SEMANA	
					PRODUTO LIMPEZA ÓLEOS	ACÇÃO MANUAL	ASPIRADOR DE SÓLIDOS	2 VEZES / SEMANA	

Figura D.1: Exemplo de lista de verificação relativa à rotina de limpeza de uma máquina de injeção

Apêndice E

Interfaces dos módulos da plataforma proGrow

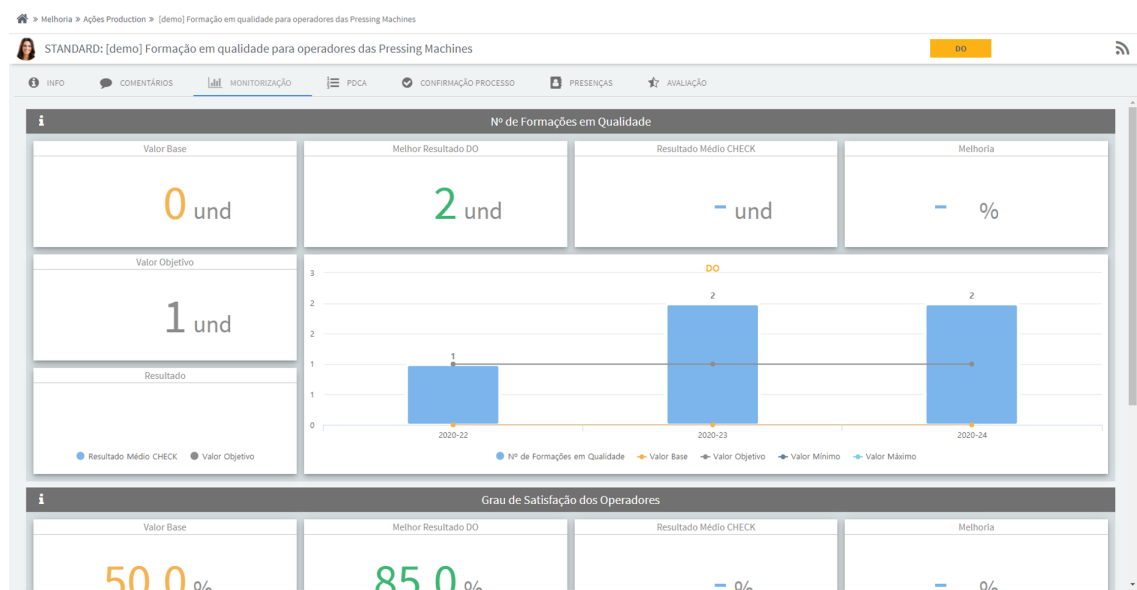


Figura E.1: Exemplo da interface do módulo Melhoria

» Tarefas » Todas Corrective Actions

☐ Motivo	Responsável	Estado	Operation	Product
☐ [demo] Lack of Spare Parts	Mark Harris	CHECK	OPR002	Product 2
☐ Lack of Material	Jennifer Scott	PLAN	OPR002	Product 1
☐ Damaged material	Anderson Parker	PLAN	OPR002	Product 1
☐ Lack of Manpower	Mark Harris	ACT	OPR005	Product 1
☐ Breakdown	Anderson Parker	DO	OPR001	Product 3
☐ Alarm	Susan Gibson	CHECK	OPR001	Product 3
☐ Damaged material	Jennifer Scott	CHECK	OPR001	Product 1
☐ Breakdown	Susan Gibson	DO	OPR002	Product 2

10 1-8 de 8

Figura E.2: Exemplo da interface inicial do módulo Tarefas

» Kanban

Ações

PLAN	DO	CHECK	ACT
Aumento salarios Health & Safety ● 04-06-2020	[empty EN] PD-1 components replacement Production ● 24-03-2020	[empty EN] Introduction of new team performance ... Production ● 01-05-2020	[empty EN] Upgrading the humidity removal syste... Production ● 11-05-2020
[empty] Trocar o alarme PD-3 Maintenance ● 12-02-2020	[demo EN] Quality Workshops for Pressing Machine... Production ● 13-04-2020	[empty] Introdução de novas medidas de performa... Production ● 01-05-2020	[empty EN] Installing covers over PD-1 machine Production ● 04-05-2020
[empty] Introdução de métodos de gestão visual na... Logistics ● 22-04-2020	[empty EN] Visual Management methods in the Pre... Production ● 31-05-2020	[empty] Implementação de auditorias 5S na área d... Maintenance ● 14-04-2020	[empty EN] AC Installation in Pressing section Production ● 30-04-2020
[empty] Formação 5S secção Pressing Production ● 05-04-2020	[empty] Introdução de métodos de gestão visual na... Production ● 31-05-2020	[empty] Standardização do Processo de Procurement Logistics ● 30-04-2020	[demo EN] Swapping Tool Changeover Sensors Maintenance ● 28-04-2020
[empty] Introdução de métodos de Gestão Visual n...	[empty] Aquisição de EPIs e desinfetante	[empty] Formação Kaizen na Área Comercial	[empty] Upgrade do sistema de remoção de humid...

Figura E.3: Exemplo da interface do módulo Kanban

Apêndice F

Guião de testes

ID Teste	Módulo	Página	Foco do Teste	Descrição	Guião	Resultado Esperado
1	Shopfloor	Resumo Módulo	PPM	Validar a inserção de rejeições	1- Iniciar OF 2- Inserir várias rejeições no Registo Manual de Rejeições 3- Analisar o PPM	PPM deverá ser igual a N° Rejeições*1 000 000 / N° Peças
2	Shopfloor	Resumo Módulo	PPM	Validar a eliminação de rejeições	1- Para a mesma OF, eliminar várias rejeições no Histórico de Rejeições 2- Analisar o PPM	PPM deverá ser igual a N° Rejeições*1 000 000 / N° Peças
3	Shopfloor	Resumo Módulo	PPM	Validar a edição de rejeições	1- Para a mesma OF, editar o tipo e código de várias rejeições no Histórico de Rejeições 2- Analisar o PPM	PPM deverá ser igual a N° Rejeições*1 000 000 / N° Peças
4	Shopfloor	Resumo Módulo	PPM	Validar a inserção de rejeições <i>a posteriori</i>	1- Para a mesma OF, inserir várias rejeições com hora anterior à atual no Registo Manual de Rejeições 2- Analisar o PPM	PPM deverá ser igual a N° Rejeições*1 000 000 / N° Peças
5	Shopfloor	Resumo Módulo	PPM	Validar o <i>reset</i> ao turno	1- Aguardar pela mudança de turno 2- Analisar o PPM	O PPM deverá sofrer um <i>reset</i> no momento de mudança de turno
6	Shopfloor	Resumo Módulo	PPM	Validar a edição do número de cavidades	1- Para a mesma OF, alterar o número de cavidades da OF no Histórico de Registos 2- Analisar o PPM	PPM deverá ser igual a N° Rejeições*1 000 000 / N° Peças
...						
27	Shopfloor	Registo Produção	Código de cores (Em Curso)	Validar o código de cores conforme o estado da máquina	1- Analisar uma máquina em produção e verificar o código de cores 2- Forçar uma paragem não SMED e verificar o código de cores 3- Forçar uma paragem SMED e verificar o código de cores	verde - Produção vermelho - Paragem não SMED cinzento - Paragem SMED
28	Shopfloor	Registo Produção	Código de cores (Turno Atual)	Validar o código de cores conforme o valor do OEE	1- Analisar uma situação em que o OEE esteja acima do objetivo e verificar código de cores 2- Analisar uma situação em que o OEE esteja abaixo do objetivo e verificar código de cores	verde - OEE acima do objetivo vermelho - OEE abaixo do objetivo
...						
52	Shopfloor	Registo Manual	Funcionalidades de Alteração de Parâmetros	Verificar se a alteração de parâmetros fica corretamente registada	1- Para uma determinada OF em produção, inserir uma alteração de parâmetros 2- Verificar se a informação se reflete nesta e nas restantes páginas (Resumo Módulo e Quadro TRS) e no Histórico de Alteração de Parâmetros	As informações devem refletir-se.
53	Shopfloor	Registo Manual	Funcionalidades de Validação de Peças	Verificar se a validação de peças fica corretamente registada	1- Para uma determinada OF em produção, validar uma peça 2- Verificar se a informação se reflete nesta e nas restantes páginas (Resumo Módulo e Quadro TRS) e no Histórico de Peça Validada	As informações devem refletir-se.

Figura F.1: Excerto do guião de testes usado para validar a plataforma proGrow

Apêndice G

Dispositivo IoT

Tabela G.1: Variáveis recolhidas pelo dispositivo IoT associado a cada máquina de injeção

Variável	Tipo de comunicação
Número do Ciclo	Leitura
Tempo de Ciclo Real	Leitura
Tempo de Paragem	Leitura
Presença do Molde (0/1)	Leitura
Cor Andon 1	Leitura
Cor Andon 1	Leitura
Cor Andon 1	Leitura
Cor Andon 1	Leitura
Cor Andon 1	Leitura
Referência	Bidirecional
Molde	Bidirecional
Máquina	Bidirecional
Tempo de Ciclo Teórico	Bidirecional

Apêndice H

Interfaces dos formulários da página Registo de Produção

Iniciar Produção

Colaboradores*

13040 – MARIA SILVA

Ordem Fabrico *	Quantidade Planeada *
2357173	800
Referência 1 *	Número Cavidades 1 *
J2366459279B	2
Rótulo Início 1 *	Rótulo Fim 1
A374631627	
Referência 2 *	Número Cavidades 2 *
J2366453258B	2
Rótulo Início 2 *	Rótulo Fim 2
A374631615	

INICIAR PRODUÇÃO

Figura H.1: Interface do formulário "Iniciar Produção" do módulo *Shopfloor*

Fechar Produção

Colaboradores

13040 – MARIA SILVA

Ordem Fabrico	Quantidade Planeada
2357173	800
Referência 1	Número Cavidades 1
J2366459279B	2
Rótulo Início 1	Rótulo Fim 1 *
A374631627	A374631672
Referência 2	Número Cavidades 2
J2366453258B	2
Rótulo Início 2	Rótulo Fim 2 *
A374631615	A374631717

VALIDAR E INICIAR NOVA

Figura H.2: Interface do formulário "Fechar Produção" do módulo *Shopfloor*

Criar Peça Validada  

Data e Hora*

02-06-2021 08 : 45

Colaborador* 13040 – MARIA SILVA

Ordem Fabrico* 2631485

Rótulo 1* A183649281

Rótulo 2* A167735182

Figura H.3: Interface do formulário "Criar Peça Validada" do módulo *Shopfloor*

Criar Rejeições  

Data e Hora*

02-06-2021 08 : 45

Ordem Fabrico* 2575412

Referência* J3746183829B

Motivo* Aspeto

Submotivo* 1B - Queimados

Figura H.4: Interface do formulário "Criar Rejeições" do módulo *Shopfloor*

Criar Alteração Parâmetros



Data e Hora*

02-06-2021

08

45

▲

▼

▲

▼

Colaborador*

13040 – MARIA SILVA

Ordem Fabrico*

2631485

Observações*

TC = 60

Rótulo 1*

A253716283

Rótulo 2*

A253716138

Figura H.5: Interface do formulário "Criar Alteração Parâmetros" do módulo *Shopfloor*

Apêndice I

Regras para o código de cores dos sinalizadores

Tabela I.1: Regras para o código de cores do sinalizador principal

Descrição da Situação	Cor exibida
Mudança de molde/cor/versão	Cinzeno Claro
Equipamento em produção	Verde
Avaria da máquina/molde/robô	Vermelho
Paragem por qualidade	Laranja
Paragem por logística	Azul
Ensaio faturável	Laranja
Equipamento sem energia	Cinzeno escuro
Paragem programada	Cinzeno escuro

Tabela I.2: Regras para o código de cores dos sinalizadores auxiliares

Descrição da Situação	Cor exibida
Mudança de molde/cor/versão	Cinzeno Claro
Equipamento em produção	Verde
Avaria da máquina/molde/robô	Vermelho
Paragem por qualidade	Laranja
Paragem por logística	Azul
Ensaio faturável	Branco
Equipamento sem energia	Cinzeno escuro
Paragem programada	Cinzeno escuro
Chamar controlo + qualidade	Laranja
Chamar controlo + logística	Azul
Chamar controlo + qualidade + logística	1º cartão - Laranja 2º cartão - Azul

Apêndice J

Páginas do módulo Shopfloor

Tabela J.1: Variáveis da página "Quadro TRS" do módulo *Shopfloor*

Bloco	Variável	Descrição
Turno Atual	Hora	Período de 01:00 iniciado na hora indicada
	Molde Plan.	Molde associado à OF que se planeia produzir em seguida
	Molde Atual	Molde associado à OF em produção
	Ref.	Referência(s) associada(s) à OF em produção
	1ª Peça	Indica "OK" quando é validada a primeira peça
	Alter. Parâm.	Indica a hora exata em que foi efetuada uma alteração de parâmetros
	Qtd. Obj.	Quantidade teoricamente produzida no total do período
	Qtd. Real	Quantidade efetivamente produzida no período até ao momento
	Paragens	Indica o tempo total de paragem no período e os códigos de paragem correspondentes
	Rejeições	Indica o número total de rejeições no período e os códigos de rejeição correspondentes
Resumo	OEE	OEE calculado para o turno até ao momento atual
	<i>Performance</i>	<i>Performance</i> calculada para o turno até ao momento atual
	<i>Availability</i>	Disponibilidade calculada para o turno até ao momento atual
	<i>Quality</i>	Qualidade calculada para o turno até ao momento atual
	Nº Peças Obj	Quantidade teoricamente produzida no turno até ao momento atual
	Nº Peças Real	Quantidade realmente produzida no turno até ao momento atual
	Nº Rejeições	Número de rejeições registadas no turno até ao momento atual
	Tempo Paragem	Tempo de paragem registado no turno até ao momento atual
	PPMs	PPM calculado para o turno até ao momento atual

Tabela J.2: Variáveis da página "Layout Fábrica" do módulo Shopfloor

Variável	Descrição
OEE Turno	OEE calculado para a máquina no momento atual
OF	OF em produção
Qtd. OK	Quantidade produzida que se encontra em conformidade (não rejeitada)
Qtd. Planeada	Quantidade que se planeia produzir para a OF em produção
T. Falta	Tempo necessário para produzir a quantidade em falta
Cód. Paragem	Indica "OK" caso a máquina esteja em produção ou "-" caso esteja em paragem
Início Planeado	Hora planeada para o início da produção da OF
Início Real	Hora em que ocorreu efetivamente o início da produção da OF

Tabela J.3: Variáveis da página "Resumo Módulo" do módulo Shopfloor

Variável	Descrição	Reset
Molde	Molde usado na OF em produção	Molde
OEE (00-24h)	Cálculo do indicador OEE desde o início do dia corrente	Dia
PPM (00-24h)	Cálculo do indicador PPM desde o início do dia corrente	Dia
OEE (Molde/Turno)	Cálculo do indicador OEE para o molde e turno correntes	Molde e Turno
Tempo de Ciclo Teórico	Tempo de ciclo teórico para a OF em produção	Molde
Tempo de Ciclo Real	Tempo de ciclo real para a OF em produção	Molde
PPM (Molde/Turno)	Cálculo do indicador PPM para o molde e turno correntes	Molde e Turno
Rejeições	Quantidade de peças rejeitadas com o molde e turno correntes	Molde e Turno
Paragens	Tempo total de paragem no molde e turno correntes	Molde e Turno
Status	Indica se a máquina está em produção ou o código de paragem caso seja interrompida	Instantâneo
Paragens Sem Justificação	Número de paragens registadas que não foram ainda justificadas	Turno
Status Injeção	Indica se a máquina está ou não em processo de injeção ou ainda desligada	Molde
Peça OK	Indica se a primeira peça em conformidade já foi validada	Molde e Turno
Alteração de Parâmetros	Indica a hora em que foi efetuada uma alteração de parâmetros	Molde e Turno
Formação	Indica o nível de formação do colaborador com menor nível	Instantâneo

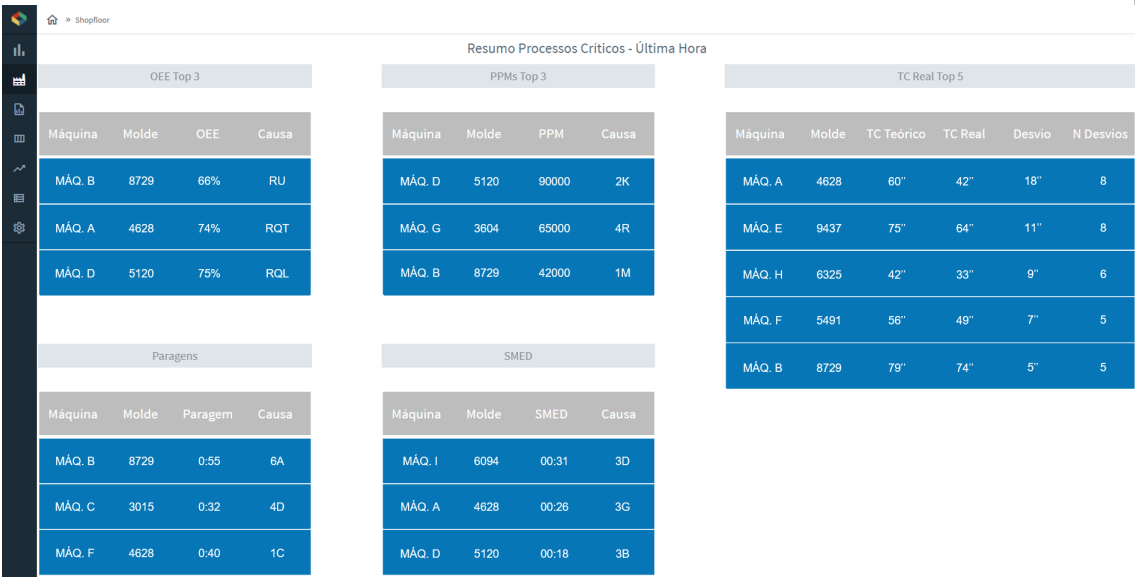


Figura J.1: Interface da página "Resumo Processos Críticos - Última Hora"do módulo *Shopfloor*

Tabela J.4: Variáveis da página "Resumo Processos Críticos - Última Hora"do módulo *Shopfloor*

Bloco	Descrição	Observações
OEE Top 3	TOP 3 de combinações máquina-molde que apresentam menor valor de OEE, na última hora	A Causa corresponde à componente do OEE (RQT, RU, ou RQL) com valor inferior para a respetiva combinação máquina-molde
PPMs Top 3	TOP 3 de combinações máquina-molde que apresentam maior valor de PPM, na última hora	A Causa corresponde ao código de rejeição mais frequente para a respetiva combinação máquina-molde
Paragens	TOP 3 de combinações máquina-molde que apresentam maior valor de tempo total de paragem, na última hora	A Causa corresponde ao código de paragem com maior peso para a respetiva combinação máquina-molde
SMED	TOP 3 de combinações máquina-molde que apresentam maior valor de tempo total de paragem do tipo SMED, na última hora	A Causa corresponde ao código de paragem com maior peso para a respetiva combinação máquina-molde
TC Real Top 5	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior valor de soma de desvios de ciclo, na última hora	-

Layout Logística - Últimas 24h															
4A - Atraso forn. emb.				4B - Atraso forn. comp.				Logística - Última Hora							
Máquina	Molde	Tempo	Nº Ocorr.	Máquina	Molde	Tempo	Nº Ocorr.	Máquina	Molde	Tempo	Causa				
MÁQ. B	9164	00:58	2	MÁQ. E	4464	00:48	2	MÁQ. D	2093	00:59	4C				
MÁQ. D	2093	00:46	3	MÁQ. B	5882	00:45	1	MÁQ. F	1685	00:53	4D				
MÁQ. C	9527	00:44	2	MÁQ. F	1685	00:44	2	MÁQ. B	5882	00:28	4B				
MÁQ. H	3651	00:38	2	-	-	-	-	MÁQ. A	8729	00:24	4C				
MÁQ. E	4464	00:32	2	-	-	-	-	MÁQ. E	4464	00:20	4B				
4C - Atraso forn. M.P.				4D - M.P. trocada				Próximas Produções							
Máquina	Molde	Tempo	Nº Ocorr.	Máquina	Molde	Tempo	Nº Ocorr.	Máquina	Molde Atual	T. Falta	Molde Seg.				
MÁQ. A	8729	01:24	3	MÁQ. C	7262	01:16	2	MÁQ. F	3606	00:09	1739				
MÁQ. D	2093	01:13	2	MÁQ. F	1685	01:09	3	MÁQ. B	5882	00:13	2839				
MÁQ. F	3606	00:42	2	MÁQ. A	4307	00:45	2	MÁQ. H	3651	00:18	4011				
MÁQ. A	4307	00:24	1	MÁQ. B	5882	00:43	1	MÁQ. D	2093	00:22	3725				
-	-	-	-	MÁQ. H	3651	00:21	1	MÁQ. C	7262	00:24	9064				

Figura J.2: Interface da página "Layout Logística" do módulo Shopfloor

Tabela J.5: Variáveis da página "Layout Logística" do módulo Shopfloor

Bloco	Descrição
4A - Atraso forn. emb.	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com o código 4A, nas últimas 24 horas
4B - Atraso forn. comp.	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com o código 4B, nas últimas 24 horas
4C - Atraso forn. M. P.	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com o código 4C, nas últimas 24 horas
4D - M.P. trocada	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com o código 4D, nas últimas 24 horas
Logística - Última Hora	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com código 4A, 4B, 4C ou 4D, na última hora
Próximas Produções	TOP 5 de combinações máquina-molde que serão produzidas em seguida com menor tempo de produção em falta

Layout Manutenção - Últimas 24h															
1C - Ajustagem Equipamento				1L - Ajustagem Robot				Processo - Última Hora							
Máquina	Molde	Tempo	Nº Ocorr.	Máquina	Molde	Tempo	Nº Ocorr.	Máquina	Molde	Tempo	Causa				
MÁQ. B	3517	01:47	4	MÁQ. D	4783	01:36	3	MÁQ. B	3517	00:47	1C				
MÁQ. D	4783	01:16	2	MÁQ. A	8463	01:32	4	MÁQ. D	4783	00:42	1L				
MÁQ. C	2203	01:09	3	MÁQ. B	5048	01:17	3	MÁQ. B	5048	00:35	1L				
MÁQ. H	3294	00:56	2	MÁQ. F	1837	01:03	3	MÁQ. F	1837	00:27	1L				
MÁQ. F	1837	00:48	2	-	-	-	-	MÁQ. C	2203	00:24	1C				
6A - Avaria Ferramenta				6B - Avaria Máquina				Manutenção - Última Hora							
Máquina	Molde	Tempo	Nº Ocorr.	Máquina	Molde	Tempo	Nº Ocorr.	Máquina	Molde	Tempo	Causa				
MÁQ. E	4912	01:02	2	MÁQ. C	2496	01:42	2	MÁQ. H	3294	00:43	6D				
MÁQ. A	9635	00:47	2	MÁQ. A	8463	01:36	5	MÁQ. E	4912	00:42	6A				
MÁQ. C	2203	00:38	1	MÁQ. B	5048	01:18	3	MÁQ. C	2496	00:37	6B				
-	-	-	-	MÁQ. I	5418	01:06	2	MÁQ. F	1837	00:31	6D				
-	-	-	-	MÁQ. B	3517	00:37	1	MÁQ. I	5418	00:26	6C				
6C - Avaria Robot				6D - Avaria Equipamentos											
Máquina	Molde	Tempo	Nº Ocorr.	Máquina	Molde	Tempo	Nº Ocorr.								
MÁQ. I	5418	01:21	2	MÁQ. E	4912	00:52	2								
MÁQ. E	4912	01:18	2	MÁQ. H	3294	00:46	1								
MÁQ. A	8463	00:54	2	MÁQ. F	1837	00:43	2								
MÁQ. H	7824	00:50	1	-	-	-	-								
MÁQ. A	9635	00:47	2	-	-	-	-								

Figura J.3: Interface da página "Layout Manutenção" do módulo Shopfloor

Tabela J.6: Variáveis da página "Layout Manutenção" do módulo Shopfloor

Bloco	Descrição
1C - Afinação Equipamento	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com o código 1C, nas últimas 24 horas
1L - Afinação Robot	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com o código 1L, nas últimas 24 horas
6A - Avaria Ferramenta	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com o código 6A, nas últimas 24 horas
6B - Avaria Máquina	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com o código 6B, nas últimas 24 horas
6C - Avaria Robot	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com o código 6C, nas últimas 24 horas
6D - Avaria Equipamentos	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com o código 6D, nas últimas 24 horas
Processo - Última Hora	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com código 1C ou 1L, na última hora
Manutenção - Última Hora	TOP 5 de combinações máquina-molde que apresentam maior tempo total de paragem com código 6A, 6B, 6C ou 6D, na última hora

Apêndice K

Relatórios

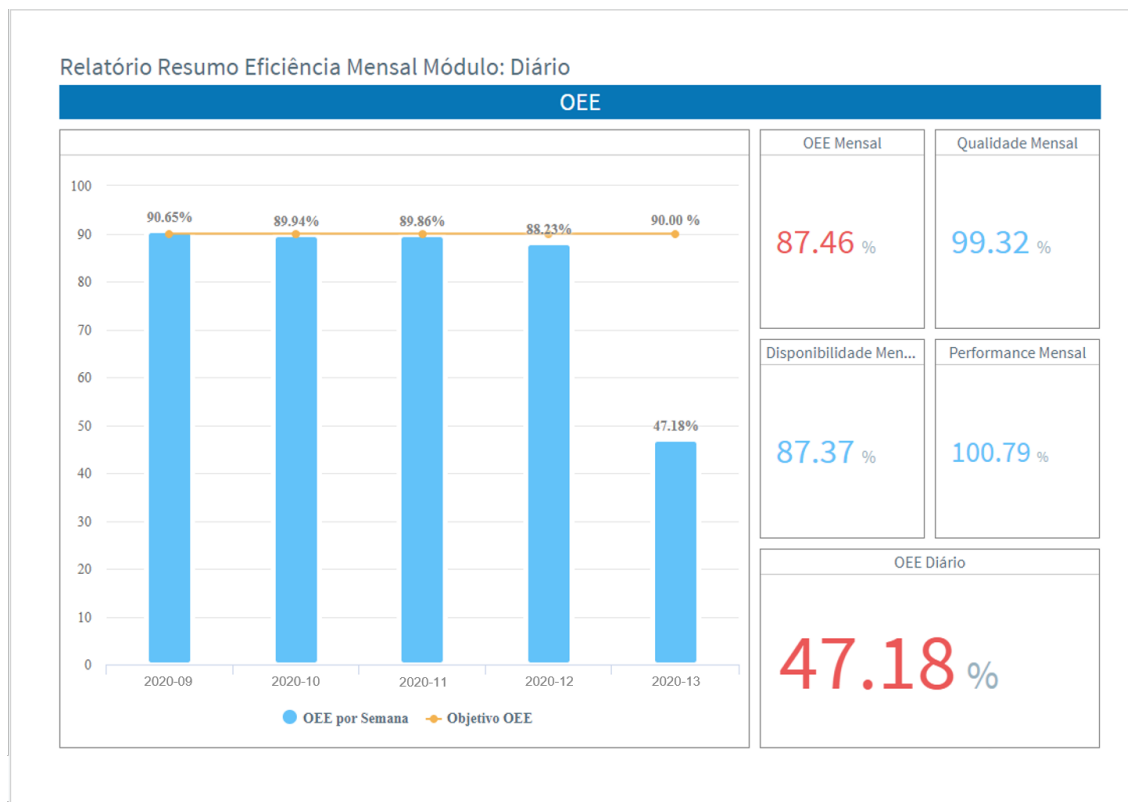


Figura K.1: Excerto do relatório "Resumo Eficiência Mensal"

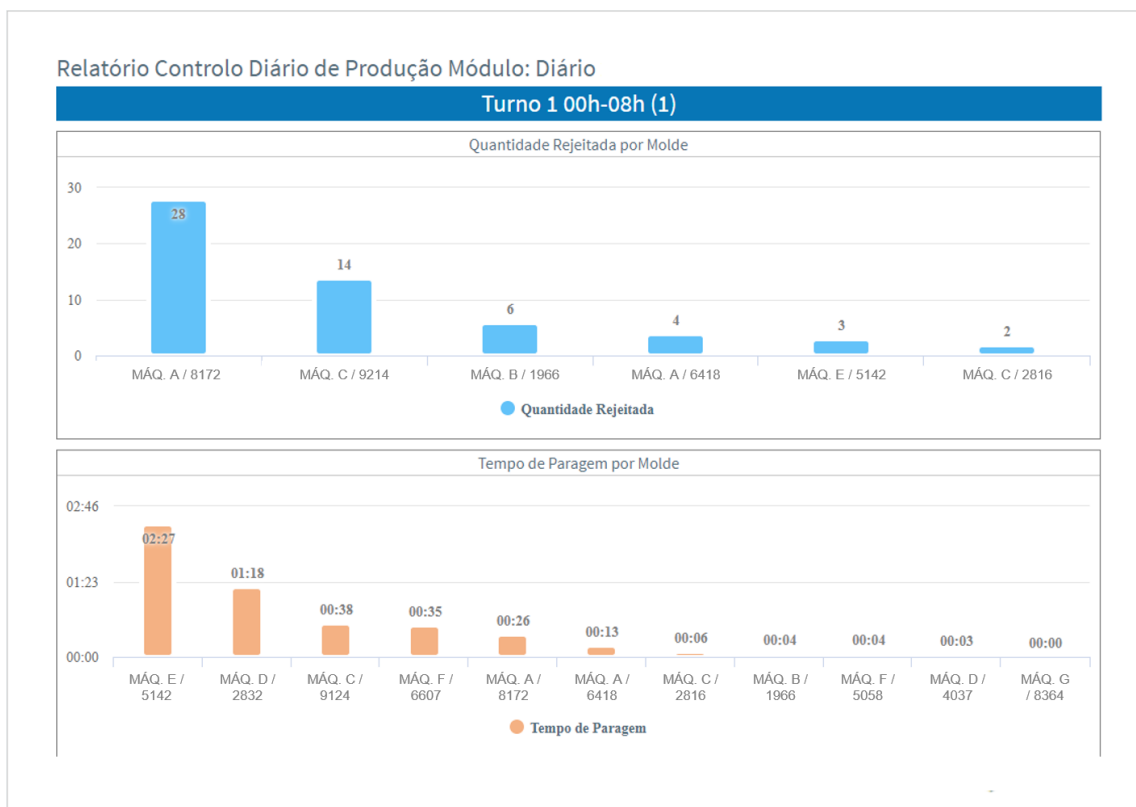


Figura K.2: Excerto do relatório "Controlo Diário de Produção"