

Digitalização de informação e aplicação de metodologia SMED

Sofia Chibante Teixeira Rodrigues

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Manuel Pina Marques



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2019-07-01

“Nobody else can take you to the place you want to end up. You have to get there yourself.”

- Tia-Clair Toomey

Resumo

Num ambiente empresarial cada vez mais competitivo, as empresas identificam a necessidade de agilizarem os seus processos para se tornarem mais eficazes e eficientes. Neste contexto a produção *lean* e o conceito de digitalização agregado à Indústria 4.0, surgem como filosofias e ferramentas que potenciam o desempenho geral de uma empresa.

A empresa cliente apresentou dois problemas, sendo o primeiro o desaproveitamento de informação crítica para a gestão do negócio. O segundo consistia na elevada percentagem de ocupação do tempo disponível para produção em processos de mudança de ferramenta. A presente dissertação procura aplicar os conceitos de produção *lean* e digitalização de informação como suporte à realização de dois projetos distintos com o objetivo de mitigar os problemas identificados.

De forma a aumentar a informação disponível para a gestão da empresa, o primeiro projeto consistiu na digitalização e centralização da informação disponível em várias fontes. No desenvolvimento deste projeto foi implementada uma plataforma que permite a definição de indicadores, painéis de gestão e a alimentação automática dos mesmos. Esta ferramenta permitiu a incorporação de uma componente colaborativa que facilita a comunicação entre departamentos em situações críticas que ocorrem durante o processo produtivo. Para além destas funcionalidades, foi disponibilizada uma estrutura de gestão de ações e projetos de melhoria contínua com base no ciclo PDCA.

Com a realização deste primeiro projeto, o trabalho administrativo alocado à construção manual de indicadores e painéis de gestão foi reduzido, e foi implementada uma cultura prática de melhoria contínua, antes inexistente. A motivação dos colaboradores aumentou devido à visualização de indicadores de performance no chão de fábrica.

O segundo projeto consistiu na aplicação da metodologia SMED sugerida pela filosofia de produção *lean*. Com a externalização e paralelização de tarefas do processo de *setup* e implementação de outras medidas com o objetivo de otimizar este processo, foi possível reduzir o tempo médio de *setup* em 33%.

Palavras-chave: Digitalização; *Lean*; SMED.

Digitalization of information and application of SMED methodology

Abstract

In an increasing competitive environment, companies have the need to make their processes more and more agile in order to be effective and efficient. Lean production and digitalization emerge with the Industry 4.0 concept, as philosophies and tools to maximize the overall performance of a company.

The client company presented two problems to be solved. First, important information for the business management wasn't being used. Secondly, the total setup time occupied a high percentage of the available time for production. On this dissertation, the concepts of lean manufacturing and information digitalization are applied on two different projects to mitigate the identified problems.

Digitalization and centralization of information provided by different data sources were the base for the first project. On the development of the project a platform was implemented, allowing the configuration of indicators and dashboards with those being automatically calculated. This tool made possible the incorporation of a collaborative component that made the communication between departments easier, in critical situations. Beside these functionalities, a framework based on PDCA cycle, for management of continuous improvement projects was provided.

With this first project, the administrative work allocated to the manual elaboration of indicators and dashboards was reduced. A practical culture of continuous improvement, non-existent before, was also implemented. The workers motivation increased due to the visualization of performance indicators on the shop floor.

The second project consisted on the application of SMED methodology suggested by lean manufacturing approach. With the externalization and parallelization of tasks on the setup process and the implementation of other actions with the goal of optimizing this process, the setup time was reduced by 33%.

Keywords: Digitalization; Lean; SMED.

Agradecimentos

No desenvolvimento da presente dissertação, foram várias as pessoas que desempenharam um papel importante. Como tal, dedico este espaço à atribuição de reconhecimento a todas estas pessoas.

Agradeço primeiramente ao Professor Manuel Pina Marques pela orientação ao longo deste projeto e pelas críticas construtivas que contribuíram para um melhor desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Professor Américo Azevedo pelo apoio na contextualização de temáticas relativas à Indústria 4.0.

Agradeço ao Engenheiro Pedro Silva pela orientação no ambiente empresarial da Deloitte Touche Tohmatsu Services, Inc. S&O. Do mesmo modo, agradeço ao Engenheiro João Pedro Ferreira por todo o acompanhamento e disponibilidade.

Agradeço ao Engenheiro Ricardo Carvalho pela orientação e disponibilidade demonstrada.

Agradeço à empresa cliente pela receptividade e acolhimento generoso demonstrado.

Agradeço ao Crosspunch pelo desafio e construção de carácter que em mim provocaram.

Agradeço aos meus amigos, pela amizade, exemplo e motivação que são para mim.

Por fim, agradeço aos meus pais, à minha irmã, ao meu irmão e ao meu marido, o meu sistema de suporte, o meu porto seguro. Não só pelo apoio durante a esta etapa académica, mas também durante todos os momentos que me trouxeram ao lugar onde me encontro hoje.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	Ambiente Empresarial	1
1.3	Objetivos do projeto	1
1.4	Metodologia.....	2
1.5	Estrutura da dissertação	2
2	Enquadramento Teórico.....	3
2.1	Produção <i>Lean</i>	3
2.1.1	Melhoria Contínua	5
2.1.2	Metodologia SMED e outras ferramentas para redução do tempo de <i>setup</i>	5
2.2	Indicadores de performance.....	6
2.3	Indústria 4.0	7
2.3.1	Suporte Tecnológico	9
2.3.2	proGrow	10
3	Descrição da Empresa Cliente.....	16
3.1	Processo Produtivo	16
3.2	Funcionamento dos equipamentos	17
3.3	Oportunidades de melhoria	17
4	Projeto de Digitalização da Informação	19
4.1	Metodologia.....	19
4.2	Implementação da digitalização	21
4.2.1	Fase I – Análise	21
4.2.1.1	Definição <i>as-is</i>	21
4.2.1.2	Definição <i>to-be</i>	25
4.2.2	Fase II – Adaptação, testes e formação	32
4.2.2.1	Integração de fontes de dados	32
4.2.2.2	Configurações da plataforma	33
4.2.2.3	Testes e Validação	33
4.2.3	Fase III – Acompanhamento.....	33
4.3	Resultados	34
5	Projeto de melhoria do tempo de mudança de ferramenta	35
5.1	Metodologia.....	35
5.1.1	Fase preliminar – Mapeamento do processo atual	35
5.1.2	Fase I – Externalização e paralelização de atividades	37
5.1.3	Fase II: Conversão de tarefas internas em externas	39
5.1.4	Fase III: Simplificação do processo de <i>setup</i>	39
5.2	Resultados	40
6	Conclusão	41
	Referências	43
ANEXO A:	Equipamentos das linhas de produção	46
ANEXO B:	Configuração do módulo KPIs.....	50
ANEXO C:	Configuração do módulo Relatório	53
ANEXO D:	Configuração do módulo <i>Shopfloor</i>	54
ANEXO E:	Configuração do módulo Tarefas	55

Siglas

AOI – *Automated Optical Inspection*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

HMI – *human machine interface*

IoT – *Internet of Things*

JIT – *Just in Time*

KPI – *Key Performance Indicator*

LM – *Lean Manufacturing*

MES – *Manufacturing Execution System*

OTED – *One-touch Exchange of Die*

PCB – *Printed Circuit Board*

PDCA – *Plan Do Check Act*

PDSA – *Plan Do Study Act*

PLC – *Programmable Logic Controller*

SCADA – *Supervisory control and data acquisition*

SMT – *Surface Mount Technology*

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

SPI – *Solder Past Inspection*

THT – *Through-hole Tecnology*

TPS – *Toyota Production System*

Índice de Figuras

Figura 1: Pirâmide de automação nos sistemas de produção modernos	9
Figura 2: Fontes de Informação.....	11
Figura 3: Exemplo da interface de KPIs.....	12
Figura 4: Exemplo da interface de <i>shopfloor</i>	12
Figura 5: Exemplo da interface de Relatórios	13
Figura 6: Exemplo da interface de Melhoria	14
Figura 7: Exemplo da interface de Tarefas.....	14
Figura 8: Exemplo da interface de <i>Kanbans</i>	15
Figura 9: Metodologia do Projeto de Digitalização.....	19
Figura 10: Sequência de acessos para integração de dados.....	32
Figura 11: Bastidor com placas eletrônicas	35
Figura 12: Distribuição da duração média de cada atividade no processo de <i>setup</i> atual	36
Figura 13: Distribuição da duração média de cada atividade no processo de <i>setup</i> futuro.....	38
Figura 14: Matriz de planeamento.....	39
Figura 15: Evolução do indicador do tempo médio de <i>setup</i>	40
Figura 16: Linha de produção – Equipamento de abastecimento.....	46
Figura 17: Linha de produção – Impressora.....	46
Figura 18: Linha de produção – Equipamento de inspeção de pasta.....	47
Figura 19: Linha de produção – Equipamento de montagem.....	47
Figura 20: Linha de produção – Equipamento de inspeção de montagem.....	48
Figura 21: Linha de produção – Forno	48
Figura 22: Linha de produção – Equipamento de recolha.....	49
Figura 23: Configuração do módulo KPIs – Qualidade	50
Figura 24: Configuração do módulo KPIs – Produção	50
Figura 25: Configuração do módulo KPIs – Ações Preventivas e de Limpeza	51
Figura 26: Configuração do módulo KPIs – Manutenção de Equipamentos	51
Figura 27: Configuração do módulo KPIs – Ações Corretivas	52
Figura 28: Configuração do módulo Relatórios	53
Figura 29: Configuração do módulo KPIs – Manutenção de Equipamentos	54
Figura 30: Configuração do módulo Tarefas – Menu	55
Figura 31: Configuração do módulo Tarefas – Ações Corretivas	55
Figura 32: Configuração do módulo Tarefas – Ações de Limpeza.....	56
Figura 33: Configuração do módulo Tarefas – Ações Preventivas	56

Índice de Tabelas

Tabela 1: Composição das linhas de produção na área de produção.....	16
Tabela 2: Estado da informação - Equipamentos da área SMT	21
Tabela 3: Informação recolhida para cada placa produzida – Equipamentos Yamaha.....	22
Tabela 4: Informação recolhida para cada ordem de fabrico – Equipamentos Yamaha.....	23
Tabela 5: Informação recolhida para cada ordem de fabrico – Equipamentos Samsung.....	24
Tabela 6: Informação relativa ao <i>setup</i> a recolher do sistema de informação.....	24
Tabela 7: Homogeneização de informação de resumo da produção	25
Tabela 8: Características de ações corretivas	28
Tabela 9: Atividades de <i>setup</i> das linhas de produção	36
Tabela 10: Divisão das atividades de <i>setup</i> das linhas de produção	37

1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento do projeto, a sua motivação e o ambiente empresarial onde este decorreu. São ainda apresentados os objetivos a atingir, a metodologia usada na realização do projeto e, finalmente, a estrutura do presente documento.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

As organizações têm cada vez mais como objetivo a redução de desperdício de recursos, sejam eles tempo ou bens. Para a melhoria da sua performance global, surgiram várias filosofias e ferramentas que alavancam e sustentam a evolução do desempenho geral de uma empresa. Dois conceitos importantes associados a esta envolvente são a Indústria 4.0 e a produção *lean*.

A Indústria 4.0 aponta para uma produção em que os equipamentos comunicam entre si e com um sistema de informação, promovendo a centralização da informação dos equipamentos presentes num parque industrial. A relação das diferentes fontes de informação e consequente centralização permite a visualização de dados, indicadores de performance e painéis de controlo de um modo eficaz, automático e, em alguns casos, em tempo real. Estas ferramentas revelam-se críticas para a monitorização de performance, para o apoio do processo de tomada de decisão de forma fundamentada e para a avaliação da evolução do negócio.

A filosofia de produção *lean* foca-se na melhoria da eficiência das operações através da redução de prazos de entrega, de inventário, de defeitos, do retrabalho e de desperdícios nos processos. O objetivo final desta filosofia é melhorar os resultados da empresa e satisfação do cliente (Esa *et al*, 2015). A melhoria do tempo de preparação dos equipamentos para produção, usualmente denominado de tempo de *setup* ou tempo de mudança de ferramenta, é um princípio abrangido pela filosofia de produção *lean*, potenciando a capacidade produtiva da empresa e a sua flexibilidade (Esa *et al*, 2015).

1.2 Ambiente Empresarial

O projeto da presente dissertação apresenta-se como um serviço de consultoria em operações prestado pela Deloitte Touche Tohmatsu Services, Inc. S&O, em parceria com a empresa proGrow, a uma empresa de fabrico de componentes eletrónicos, aqui por diante referida como empresa cliente. A dissertação desenvolve-se nas áreas da Indústria 4.0 e da produção *lean*, em que a última é aplicada na redução de tempos de mudança de ferramenta, através da aplicação da metodologia SMED. Estas áreas revelam-se críticas no ambiente empresarial em questão, dada a pressão exercida pela gestão e clientes da empresa na monitorização da produção, no aumento da eficiência e nos elevados padrões de qualidade exigidos.

1.3 Objetivos do projeto

O projeto desta dissertação contempla dois objetivos principais, ambos focados na área de produção da empresa cliente.

O primeiro objetivo consiste na implementação de uma plataforma que permita ler os dados dos equipamentos, construir indicadores de *performance* para a monitorização automática da produção e a configuração de funcionalidades na área colaborativa interdepartamental. Este objetivo será avaliado no final do projeto consoante as funções implementadas e indicadores disponibilizados.

O segundo objetivo traduz-se na aplicação da metodologia SMED na preparação das linhas de produção e de outras ações de melhoria que possam minimizar o tempo de mudança de

ferramenta. Para avaliação desta área do projeto será tomada em conta a redução do tempo médio de *setup*.

1.4 Metodologia

Esta dissertação foi iniciada com a integração da autora na empresa Deloitte Touche Tohmatsu Services, Inc. S&O e com o enquadramento no projeto a ser realizado na empresa cliente. De seguida foi executada a revisão de literatura com o objetivo de contextualizar as temáticas da Indústria 4.0, da produção *lean* e da metodologia SMED.

Adicionalmente, efetuou-se uma análise macro do fluxo de produção para identificação de oportunidades de melhoria e, posteriormente, a definição do âmbito da presente dissertação. De seguida realizou-se um estudo mais detalhado sobre as metodologias a aplicar e uma formação relativa à plataforma a implementar.

Posteriormente, foi feita a integração de dados, a configuração e implementação da plataforma. Além disso, foram propostas e concretizadas sugestões para abordar as oportunidades de melhoria identificadas no processo de mudança de ferramenta nas linhas de produção.

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em seis capítulos.

O primeiro apresenta não só o contexto dos temas a serem abordados, como também o ambiente empresarial em que o projeto foi desenvolvido. São ainda apresentados os objetivos, a metodologia utilizada para alcançá-los e a estrutura do documento de dissertação.

No segundo capítulo expõe-se a revisão de bibliografia dos principais temas deste projeto, nomeadamente: produção *lean*, a metodologia SMED, indicadores de *performance*, e ainda, Indústria 4.0. Nesta secção também é feita a apresentação da plataforma implementada neste projeto.

O terceiro capítulo contextualiza o ambiente empresarial da empresa cliente, apresentando as suas áreas de produção e processos *core*, assim como o funcionamento dos equipamentos e as oportunidades de melhoria identificadas.

O quarto capítulo é reservado à área da digitalização na empresa cliente, sendo abordada a metodologia utilizada e a implementação da digitalização, destacando as funcionalidades disponibilizadas, a integração de dados e a configuração da plataforma. São ainda apresentados os resultados obtidos com esta implementação.

No quinto capítulo é apresentado com detalhe todo o projeto relativo à melhoria do tempo de processo de mudança de ferramenta na área de produção em estudo. É feita uma descrição da metodologia utilizada, da situação atual, das oportunidades de melhoria e são apresentadas sugestões de melhoria apoiadas na metodologia SMED. Finalmente é descrita a implementação desta metodologia e dos resultados obtidos.

No sexto capítulo são expostas as conclusões e as propostas para trabalho futuro tanto na área de digitalização de informação, como na área de produção *lean*.

2 Enquadramento Teórico

Neste capítulo é feito o enquadramento teórico do projeto. Em primeiro lugar, é apresentada a filosofia de produção *lean*, a melhoria contínua e a metodologia SMED. De seguida é enquadrado o tema de indicadores de *performance* aplicáveis na indústria. Finalmente introduz-se o conceito de Indústria 4.0 e os detalhes da plataforma a implementar neste projeto.

2.1 Produção *Lean*

Os fundamentos da produção *lean* remetem-se para o Sistema de Produção da Toyota, usualmente denominado por *Toyota Production System* (TPS), do qual foram pioneiros Taiichi Ohno e Shigeo Shingo em 1950. Este sistema permite que os pedidos do cliente sejam executados de forma eficaz e eficiente.

O Sistema de Produção da Toyota é descrito como a junção de várias técnicas concebidas para reduzir o custo da produção. O método utilizado para atingir esta redução é constituído por dois pilares essenciais: *just in time* e *jidoka* (Wilson, 2010; *Toyota Production System*, 2017).

- *Just in time* (JIT) é uma técnica de produção que depende do abastecimento da quantidade necessária no momento certo, de cada processo produtivo. Este balanceamento de fluxo permite a redução de custos de inventário final e em curso, ao longo do processo produtivo. Para além disso, é prática comum a eliminação de tudo o que não adiciona valor, desde elementos físicos no chão de fábrica até aos processos produtivos desnecessários;
- *Jidoka* significa automação com intervenção humana. É uma abordagem que aponta para a incorporação de qualidade ao invés de inspecionar o produto no final de cada processo. Nesta estratégia, os equipamentos e os colaboradores em conjunto têm a capacidade de detetar anomalias no processo produtivo e interromper o mesmo, na perspetiva de garantir qualidade do produto no final de cada processo.

Esta abordagem de Ohno e Shingo levou a que, depois da Segunda Guerra Mundial, a Toyota produzisse automóveis com menos inventário, esforço humano, investimento e defeitos, permitindo a introdução de uma crescente variedade de produtos (Bhamu e Sangwan, 2014).

O termo de produção *lean*, teve a sua origem no Instituto de Tecnologia de Massachusetts com os investigadores envolvidos no *International Motor Vehicle Programme*. O projeto por eles realizado tinha como objetivo diminuir a lacuna de performance entre as indústrias automóveis ocidentais e japonesas (Bhamu e Sangwan, 2014).

A produção *lean* dá ênfase à minimização da quantidade de todos os recursos consumidos, incluindo tempo, nas diversas atividades de uma empresa (American Production and Inventory Control Society, 1998). Como consequência, é possível afirmar que esta cultura *lean* foca-se no aumento da taxa de produção, na redução do tempo de ciclo, do inventário, dos defeitos, do retrabalho e dos desperdícios nos processos, tendo como consequência última o aumento da rentabilidade operacional e consequentemente, financeira, de uma organização e do nível de serviço (Melton, 2005).

Neste contexto, é possível estabelecer uma definição consensual do que é considerado desperdício num ambiente de produção. Segundo Cachon e Terwiesch (2009) desperdício é qualquer atividade que não adiciona valor real ao produto ou serviço a ser prestado. Mais ainda, Pereira (2009) categoriza o desperdício em sete tipos: sobre produção, movimentação desnecessária, excesso de inventário, excesso de transporte, produtos rejeitados ou que precisam de ser retrabalhados, tempo de espera e superprocessamento.

A filosofia de produção *lean* é aplicada não só na sua indústria de origem, a indústria automóvel, mas também na indústria de eletrónica e de produtos, servindo-se de várias ferramentas para a sua concretização:

- O mapa de fluxo de valor (*value stream mapping*, VSM) que identifica cada atividade, incluindo as que acrescentam valor no produto final e as que não acrescentam valor, necessárias para transformar matéria prima em produto final. Este mapa apresenta o fluxo de materiais nas diferentes atividades assim como o fluxo da informação (Rother e Shook, 1999);
- A produção em células é um critério de organização da fábrica para que os processos produtivos sejam realizados com o menor tempo de espera e de transporte, atenuando o tempo de fluxo de processo (Dengiz e Akbay, 2000);
- O sistema *kanban*, um mecanismo para controlo de fluxo que promove o abastecimento das quantidades corretas, no tempo certo (Graves *et al*, 1995);
- O fluxo de uma peça, normalmente denominado como *one piece flow*, que assegura o pilar JIT do Sistema de Produção da Toyota, de maneira a promover uma produção sem interrupções, refluxos ou produtos em não conformidade, relaxando o ritmo de produção e diminuindo o risco de avarias de equipamentos e erros por parte do operador (Li e Rong, 2009);
- *Single Minute Exchange of Die* (SMED) ou *One-touch Exchange of Die* (OTED), que apresenta uma metodologia para redução sistemática do tempo de mudança de ferramenta (Shingo, 1985);
- O nivelamento da produção, que melhora o volume de produção, variedade e eficiência através da redução de desperdícios, irregularidades e da sobrecarga de pessoas e equipamentos (Liker, 2004);
- 5S representa um conjunto de técnicas que em conjunto permitem melhorar as tarefas que são realizadas nos postos de trabalho. Todas as técnicas representadas começam pela letra “S”, originalmente do idioma japonês (Pires, 2014; Wilson, 2010):
 1. *Seiri* (separação): tem como objetivo manter nos postos de trabalho o que é necessário, incentivando a superfícies livres de desperdícios e de material que não acrescenta valor;
 2. *Seiton* (arrumação): após a seleção de material para o posto de trabalho, esta técnica tem como objetivo a arrumação simplificada de cada um permitindo o fácil acesso durante o período de trabalho e a fácil arrumação do mesmo;
 3. *Seiso* (limpeza): esta técnica, para além de incentivar a limpeza do espaço de trabalho, também tem como objetivo sensibilizar os colaboradores a operarem de uma forma limpa e organizada, para que o volume de limpezas não seja elevado no momento em que as realizam;
 4. *Seiketsu* (padronização): após a aplicação das três técnicas anteriores, a padronização visa a implementação das mesmas como padrão, descrevendo detalhadamente como realizá-las;
 5. *Shitsuke* (disciplina): a última técnica usualmente prevê o sucesso de todas as medidas tomadas anteriormente. Esta representa a disciplina e compromisso que os operadores têm de assegurar para a criação de novos hábitos para que a implementação dos 4S anteriores sejam embutidos nas rotinas da empresa.

2.1.1 Melhoria Contínua

O conceito de melhoria contínua derivado do termo em japonês *Kaizen*, sugere um processo contínuo de melhoria baseado na inovação com a intenção de envolver todos os níveis de uma organização (Caffyn, 1999). Esta abordagem é considerada um fator importante para as empresas permanecerem competitivas num mercado caracterizado por mudanças rápidas e constantes (Yang *et al*, 2016). O sucesso da sua implementação depende da cultura e do ambiente criado numa organização, sendo crítica a adaptação dos colaboradores, o trabalho de equipa, o envolvimento de todos os níveis de gestão, a motivação, a iniciativa e a formação de cada interveniente.

Para a concretização desta mentalidade de constante melhoria, é frequentemente utilizado um ciclo constituído por quatro fases (Moen e Norman, 2009; Realyvásquez-Vargas *et al*, 2018):

1. Planear – nesta primeira fase são identificadas oportunidades de melhoria e é definida a prioridade de cada uma. Para isso é necessário efetuar a análise do estado atual da realidade, recorrendo a dados e causas raiz. Depois de definido o problema, é elaborada uma listagem de possíveis soluções com um plano de ação;
2. Implementar – após a identificação do problema e medidas a tomar, esta fase visa a implementação das mesmas com um plano de ação definido na fase anterior e a documentação da informação que surgir como relevante;
3. Verificar – para a avaliação do estado antes e depois da implementação das medidas, esta fase vem desempenhar a análise dos resultados recolhidos, para averiguar se se verificam melhorias ou se o objetivo foi alcançado;
4. Agir – esta fase consiste em tomar medidas face aos resultados verificados na fase anterior, se estes não forem de encontro aos objetivos ou não forem satisfatórios, aconselha-se voltar à primeira fase, fazer um novo plano de ação e repetir o ciclo. Caso contrário, as medidas implementadas são padronizadas.

De facto, este ciclo é denominado como ciclo PDCA (*plan, do, check, act*). De acordo com vários autores este ciclo foi concebido originalmente por Walter A. Shewhart (Silva *et al*, 2017), mas foi William Edward Deming quem desenvolveu esta abordagem como método, inicialmente utilizado como ferramenta para controlo de qualidade (Silva *et al*, 2017; Sangpikul, 2017). Atualmente, o ciclo PDCA é utilizado globalmente, apresentando-se como uma estrutura padrão de abordagem a ações de melhoria contínua (Albuquerque, 2015) e também como uma ferramenta que promove, na área de gestão de projetos, uma gestão estruturada (Ren *et al*, 2017).

2.1.2 Metodologia SMED

No contexto industrial, o tempo que decorre desde o fabrico da última peça da atual produção até ao fabrico da primeira peça da produção seguinte é designado por tempo de *setup* (Maynard's *Industrial Engineering Handbook*, 2004) ou tempo de mudança de ferramenta.

De acordo com Feng *et al* (1997) a redução do tempo de mudança de ferramenta pode ser alcançado de três modos diferentes. Numa primeira fase, através do desenho do produto, em que é possível concebê-lo de forma a que, no momento de produção, o tempo de mudança de ferramenta seja o menor possível. Depois, no processo produtivo, pode ser realizada a otimização das operações envolvidas no processo de *setup*, onde a metodologia SMED desempenha um papel distintivo. Finalmente, o sequenciamento da produção pode ter em conta a minimização do número de *setups*. Este fator é relevante principalmente nos casos em que o processo de *setup* é dependente da sequência das ordens de produção.

A metodologia SMED é uma das ferramentas da produção *lean* que tem como fim eliminar desperdícios e etapas desnecessárias no processo de mudança de ferramenta. Consequentemente esta metodologia aumenta a capacidade produtiva de uma empresa, a utilização dos seus recursos, assim como aumenta a flexibilidade e produtividade de toda a organização (Almomani *et al*, 2013; Esa *et al*, 2015; Deros *et al*, 2011). O SMED é considerada uma técnica inovadora e tem sido estudada e implementada em vários tipos de indústria (Trovinger e Bohn, 2005).

Originalmente, o método criado por Shingo (1985), tinha como objetivo reduzir os tempos de mudança de ferramenta para valores inferiores a dez minutos. Contudo, ele afirma que este objetivo não é possível ser atingido, na maioria dos casos. Shingo (1985) propõe um método que se decompõe em quatro fases:

Fase preliminar: mapear o processo

O objetivo desta etapa é ter uma visão geral do processo de mudança de ferramenta e de cada tarefa que é desempenhada. É através da observação do processo, recolha de informação junto dos operadores e equipamentos que esta visão é construída. De seguida, é feito um estudo de tempos e movimentos que acontecem neste processo para estabelecer um tempo padrão para cada tarefa.

Fase I: separar as atividades internas e externas

As tarefas do processo de *setup* podem ser caracterizadas em atividades internas se estas só puderem ser realizadas quando os equipamentos não estão a produzir. Se for possível realizá-las enquanto a produção está a decorrer, estas tarefas denominam-se como externas pois podem ser feitas fora do tempo de paragem de produção para *setup* (Almomani *et al*, 2013).

A classificação das tarefas em internas e externas é um ponto crítico da aplicação da metodologia.

Fase II: converter tarefas internas em externas

Esta fase envolve dois momentos importantes. Em primeiro lugar, reexaminar as tarefas com o propósito de verificar se alguma foi erradamente classificada como interna e, de seguida, tentar converter as tarefas internas em externas para uma maior redução do tempo em que os equipamentos se encontram em fase de mudança de ferramenta.

Fase III: simplificar o processo de *setup*

O objetivo desta fase é agilizar todas as tarefas, tanto internas como externas, através da aplicação de técnicas e medidas que possibilitem a execução das mesmas de um modo mais rápido e simples.

2.2 Indicadores de performance

A monitorização de *performance* é a denominação dada para um conjunto de métricas, ou indicadores de *performance* chave (*key performance indicators* – KPI) relacionadas com atividades críticas de uma organização, para avaliar o seu desempenho (Chae, 2009). Podem ser monitorizadas diversas dimensões, tendo os indicadores diferentes classificações (Heini, 2007; Bourne *et al*, 2005; Kaplan e Norton, 1996; Keegan *et al*, 1989) :

- Indicadores *leading*: monitorizam atividades e processos que têm um impacto significativo no futuro desempenho da organização;
- Indicadores *lagging*: medem os resultados das atividades que já foram realizadas pela organização, focando-se no desempenho passado;
- Indicadores internos: avaliam aspetos que pertencem ao ambiente interno da empresa, como os seus processos, custos, receitas e produtividade;

- Indicadores externos: permitem compreender características do ambiente externo à organização, normalmente relacionados com o mercado e com os consumidores;
- Indicadores financeiros: monitorizam a componente financeira de um negócio, nomeadamente o lucro e retorno do investimento, por exemplo;
- Indicadores não financeiros: avaliam parâmetros relativos a áreas que não têm uma componente financeira diretamente implícita, como por exemplo, qualidade, satisfação do cliente, motivação dos colaboradores.

A implementação de indicadores de *performance* numa organização é importante para o sucesso estratégico de uma empresa. O facto de existir um entendimento sobre a situação atual da empresa, leva a que existam objetivos a alcançar e, conseqüentemente, uma evolução.

Relativamente aos objetivos criados pela empresa, estes têm de ser relevantes no seu contexto e têm de ser claros para todos os envolvidos. De facto, bons objetivos e a correta implementação dos mesmos, não só potenciam a *performance* geral como também motivam os colaboradores envolvidos (Wilson, 2010).

A eficiência geral dos equipamentos, usualmente denominada como *overall equipment efficiency* – OEE, é um indicador de *performance* baseado no desempenho histórico e pode espelhar a eficiência desde um equipamento numa linha de montagem até toda a área produtiva. Este indicador resulta do produto de três indicadores cruciais (Wilson, 2010):

- Disponibilidade dos equipamentos: apresentado sob a forma de percentagem, este indicador informa o tempo que os equipamentos produziram face ao tempo que estes estiveram disponíveis para produção, não contemplando o tempo destinado a paragens planeadas;
- Taxa de qualidade: indicador que avalia a taxa de produtos que se apresentam dentro dos limites de conformidade na produção realizada;
- Performance dos equipamentos: resultado do quociente entre a quantidade de produção que efetivamente foi produzida pela quantidade que deveria ter sido produzida.

2.3 Indústria 4.0

De acordo com Ribeiro (2017), desde o início da indústria até à atualidade, esta tem sido alvo de constantes evoluções, em que as mais significativas foram assinaladas como revoluções. Inicialmente, quando o vapor de água foi adotado como forma de energia, assinalou-se a primeira revolução industrial entre os anos 1760 e 1840. Já na transição do século 19 para o 20, foi introduzida a energia elétrica e foi criado o conceito de linhas de montagem e de produção em massa, originando a segunda revolução industrial. No início dos anos 1960, aconteceu a terceira revolução, que resultou da utilização de tecnologias de informação e o desenvolvimento de produções automatizadas. Por fim, com início em 2010 está a decorrer a quarta revolução industrial que surge pela integração dos sistemas virtuais e físicos.

O conceito de Indústria 4.0 foi publicado originalmente por Kagermann em 2011 (Stock e Seliger, 2016) e pretende espelhar toda a tecnologia que a quarta revolução industrial tem associada. Para que as empresas possam desenvolver os seus negócios e reduzir os riscos dos contextos onde operam, é cada vez mais urgente a adaptação e integração no mundo digital que a Indústria 4.0 sugere (Siemens Portugal, 2017). Efetivamente, este conceito pode ser visto como um estado no qual sistemas de produção e os produtos por eles criados não só transferem informação do mundo físico para o domínio digital, como também comunicam e analisam a informação para conduzir ações no mundo físico (Sniderman *et al*, 2016).

Existe uma grande urgência das empresas se digitalizarem, envolvendo-se na quarta revolução industrial, o que permitirá a análise de dados, o armazenamento ilimitado de dados e a

conectividade o que por sua vez, permitirá produções mais rápidas e eficazes. Este acompanhamento tecnológico é crítico e essencial num mundo cada vez mais digital (BDO, 2019).

De acordo com Rubman *et al* (2015), a Indústria 4.0 tem como base um conjunto de nove tecnologias, frequentemente mencionadas como pilares desta revolução:

Big Data Analytics

Com o objetivo de otimizar a qualidade, o processo de produção e a poupança energética emerge a necessidade de analisar dados associados ao processo produtivo. Deste modo, a gestão de conjuntos de dados complexos, provenientes de diversas fontes de informação, engloba a recolha, a análise e o armazenamento dos mesmos, sendo este um elemento crítico na nova era da indústria (Rubman *et al*, 2015).

Robótica

Atualmente, a robótica já é utilizada para desempenhar tarefas complexas, antes realizadas por um operador. Com o desenvolvimento desta tecnologia, os robôs estão a tornar-se mais autónomos e flexíveis, potenciando a sua utilização nos meios industriais. Estes sistemas têm a capacidade de comunicarem entre si, tornando cada vez mais eficientes os processos nos quais estão envolvidos (Rubman *et al*, 2015).

Simulação

Na fase de conceptualização de um produto, já é utilizada a impressão 3D que permite a sua simulação e dos materiais utilizados. Permite também realizar testes ao produto mais próximos da realidade, evitando um grande volume de ajustes em processos em fases de produção mais avançadas e menos ágeis. Para além deste tipo de simulação física, é possível também fazer simulações virtuais que contemplam todas as atividades da cadeia de abastecimento, permitindo a realização de estudos para a otimização das mesmas (Rubman *et al*, 2015).

Sistema de integração vertical e horizontal

Numa cadeia de valor, atualmente, os diferentes intervenientes não se encontram interligados, desde os fornecedores até aos clientes. Mais ainda, em cada organização os departamentos não se encontram articulados. A Indústria 4.0 visa a ligação e coesão entre os diferentes atores nesta cadeia e dentro das próprias organizações através da comunicação entre eles (Rubman *et al*, 2015).

Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*)

Esta tecnologia permite a comunicação e interação entre os dispositivos fabris, sem intervenção humana. Para além disso, possibilita a disponibilização de informação, no limite, em tempo real. Esta realidade é possível através da ligação em rede dos diferentes equipamentos e a troca de dados entre eles, criando um sistema *cyber*-físico. A utilização desta tecnologia permite o controlo mais detalhado dos tempos e custos de produção (i-SCOOP, 2016).

***Cyber*-segurança**

Com o aumento da partilha de informação e conectividade entre redes internas e externas às organizações, surge a necessidade proteger os sistemas de informação de potenciais ameaças externas, assegurando comunicações fiáveis e uma gestão consciente de acessos aos sistemas dos equipamentos (Rubman *et al*, 2015).

Cloud

Com as crescentes relações entre empresas, a partilha de dados entre elas apresenta-se cada vez mais como uma necessidade. O recurso aos serviços da *cloud* permite o fluxo de informação e partilha de dados em milissegundos. As vantagens associadas à utilização da *cloud* são o espaço para armazenamento de dados, evitando o investimento em equipamentos físicos. Também a

segurança dos dados armazenados e sincronização automática dos mesmos proporcionam vantagem em contextos em que a atualização da informação seja crítica para a gestão de um negócio (Borlido, 2017).

Processos aditivos

Também conhecida por impressão 3D, esta tecnologia permite a impressão de objetos em três dimensões, utilizada essencialmente para protótipos e produção de componentes específicos, permitindo a produção de lotes pequenos, a construção de desenhos complexos e de componentes leves (Rubman *et al*, 2015; ESSS, 2017).

Realidade aumentada

Sistemas que são suportados por esta tecnologia apoiam, por exemplo, tarefas de formação de colaboradores e seleção de componentes num armazém, através da simulação de objetos. No futuro espera-se que a realidade aumentada disponibilize informação em tempo real de apoio à decisão permitindo ao utilizador adaptar processos relativos às suas atividades. A realidade aumentada é uma ferramenta a ser utilizada por operários e colaboradores com o auxílio de dispositivos portáteis (Siemens Portugal, 2017).

Segundo um estudo realizado para *benchmarking* do mercado da Indústria 4.0 em 2019, com 230 executivos dos Estados Unidos da América (BDO, 2019), a implementação dos conceitos inerentes à Indústria 4.0 encontra alguns obstáculos. Um exemplo destas dificuldades é a falta de comunicação entre departamentos das empresas, principalmente entre os departamentos tecnológicos e de operações o que impossibilita a colaboração entre eles. Outro exemplo é a incompatibilidade entre os sistemas de informação e os equipamentos já existentes com as novas soluções, que impede o progresso tecnológico nos contextos industriais. Tal incompatibilidade despoleta a necessidade de investir em equipamentos e sistemas que suportem a modernização da tecnologia, constituindo também uma barreira.

2.3.1 Suporte Tecnológico

Segundo (Rojko, 2017), para que uma fábrica opere de um modo inteligente de acordo com a Indústria 4.0, é necessária a aplicação de *software* de suporte às tecnologias de informação. A Figura 1 apresenta a pirâmide que evidencia a hierarquia dos diferentes tipos de *software* nos sistemas de produção modernos.

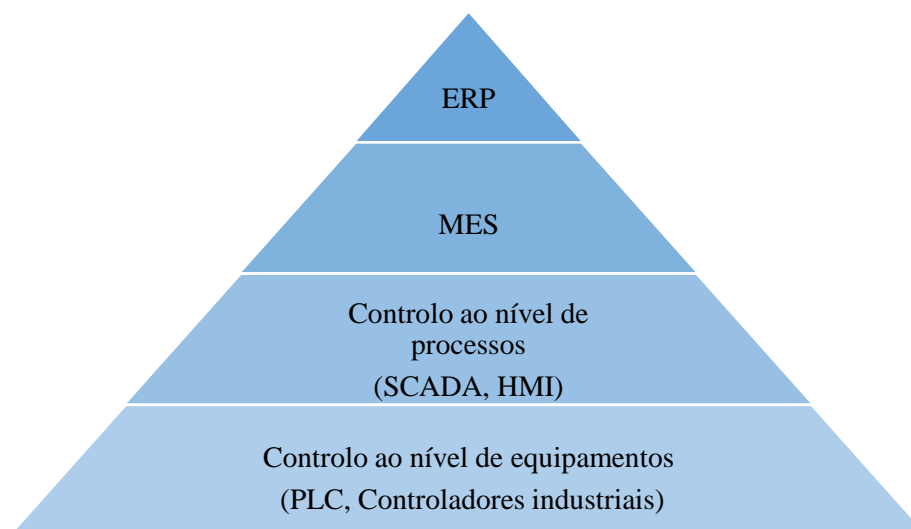


Figura 1: Pirâmide de automação nos sistemas de produção modernos

O primeiro nível desta pirâmide é representado pelo ERP, *enterprise resource planning*, onde os processos de tomada de decisão são centralizados. De seguida o MES, *manufacturing execution system*, tem a função de dar suporte à construção de relatórios relativos à produção, análise de performance, alocação de recursos, operações de manutenção e planeamento da produção, por exemplo. A maioria das soluções deste *software* permite a gestão do chão de fábrica e comunicação com os sistemas da empresa.

O terceiro nível desta pirâmide de automação representa o controlo da produção ao nível dos processos que a constituem através de ferramentas como SCADA, *supervisory control and data acquisition*, e HMI, *human machine interface*. Por fim, o nível mais baixo, apresenta o controlo da produção ao nível dos equipamentos, possível de obter através de controladores, nomeadamente PLCs, *programmable logic controllers*.

A ligação e transmissão de dados entre os diferentes níveis levantam dois tipos de dificuldades: a integração de dados e os protocolos de comunicação entre equipamentos industriais, onde o mais frequentemente utilizado é o OPC *Unified Architecture* (Bratukhin e Sauter, 2011; Frysak, *et al*, 2018). No âmbito de integração de dados, a utilização de normas para modelos de dados *standard*, como por exemplo ISA 95 e ISA 88 vêm atenuar esta dificuldade (Virta *et al*, 2010).

2.3.2 proGrow

A informação apresentada neste subcapítulo tem como fonte documentação interna das empresas Deloitte e proGrow.

A proGrow é uma *data company* com foco na digitalização de operações que ocorrem no chão de fábrica de empresas, reunindo os seus dados e centralizando o conhecimento operacional. Além disso a plataforma disponibilizada pela proGrow aos clientes, contém uma componente colaborativa associada que disponibiliza a gestão de ações e de projetos através da metodologia PDCA, promovendo uma cultura de melhoria contínua ao longo de toda a cadeia de valor.

A digitalização proposta por esta empresa envolve cinco eixos de atuação críticos:

Dados: recolha e correlação de dados através da integração de informação proveniente de diferentes fontes;

Indicadores de *performance*: definição e digitalização de indicadores de *performance* operacionais que têm impacto na rentabilidade do negócio, possibilitam a monitorização da eficiência dos equipamentos;

Painéis de gestão: definição, digitalização e automatização de painéis de gestão para apoio na tomada de decisão. Permitem a fácil visualização dos indicadores de *performance* críticos para os negócios e monitorização em tempo real do chão de fábrica;

Melhorias: gestão de iniciativas de melhoria contínua (ex.: projetos, ações) seguindo o ciclo PDCA, com ênfase na melhoria dos indicadores de *performance* associados;

Modelo de colaboração: promoção da colaboração interdepartamental através da plataforma de uma forma centralizada, quebrando os silos com o objetivo de promover comunicação e resolução eficaz de problemas.

Os ganhos associados à implementação de uma plataforma com estas características podem acontecer em diversas áreas. Os recursos humanos alocados à elaboração de relatórios de indicadores de performance e à gestão de projetos de melhoria contínua serão poupados. Assim na área administrativa é possível reduzir o trabalho humano de 50 a 100%¹. Por outro lado, a digitalização da melhoria contínua permite um aumento do número de projetos e ações de melhoria na Organização, resultando num aumento direto do ponto de vista qualitativo e quantitativo, aumentando os ganhos via melhoria contínua em 50 a 100%¹. Por fim, numa ótica de eficiência operacional, é expectável um aumento entre 15 e 30%¹ com a implementação de

¹ Fonte: histórico de atuação da proGrow

indicadores de performance, no limite, em tempo real, que permitem uma tomada de decisão mais fundamentada. Do mesmo modo, a definição de objetivos e a sua monitorização resulta num aumento da produtividade dos colaboradores e equipamentos.

O modo de integração desta plataforma pode ser resumido de acordo com a Figura 2 que evidencia o modo como o proGrow pode recolher informação. Os equipamentos presentes numa empresa são considerados uma fonte de dados, uma vez que são os equipamentos que os geram. Estes dados podem ser demonstrados através várias fontes de informação: IoTs e sistemas de informação, mais especificamente, bases de dados, *Web Service*, ficheiros.

As bases de dados permitem o armazenamento de dados em tabelas que estão relacionadas entre si, sendo necessária uma permissão por parte do detentor desta base de dados para aceder à informação.

Um *web service* é uma aplicação de interface para programação web (*API – application programming interface*) que permite fazer um conjunto de perguntas e transmitir as respetivas respostas a uma fonte primitiva de dados, como por exemplo uma base de dados ou uma IoT. Esta acessibilidade aos dados é possível através de permissões pelo detentor do *web service*.

Os ficheiros podem ser gerados e atualizados automaticamente ou manualmente e são acessíveis através da sua disponibilização num servidor.

Os dispositivos considerados IoTs como sensores e PLCs, devem estar ligados na rede interna de uma Organização para que seja possível aceder aos dados que armazenam. Para a concretização deste acesso, é necessária a utilização de um protocolo de comunicação característico da IoT. Em alguns casos, esta tecnologia exporta os dados que recolhe para um sistema de informação.

Todos estes acessos acontecem quando a organização disponibiliza à proGrow o acesso à sua rede privada (VPN) ou uma máquina virtual para ser gerida pela plataforma.

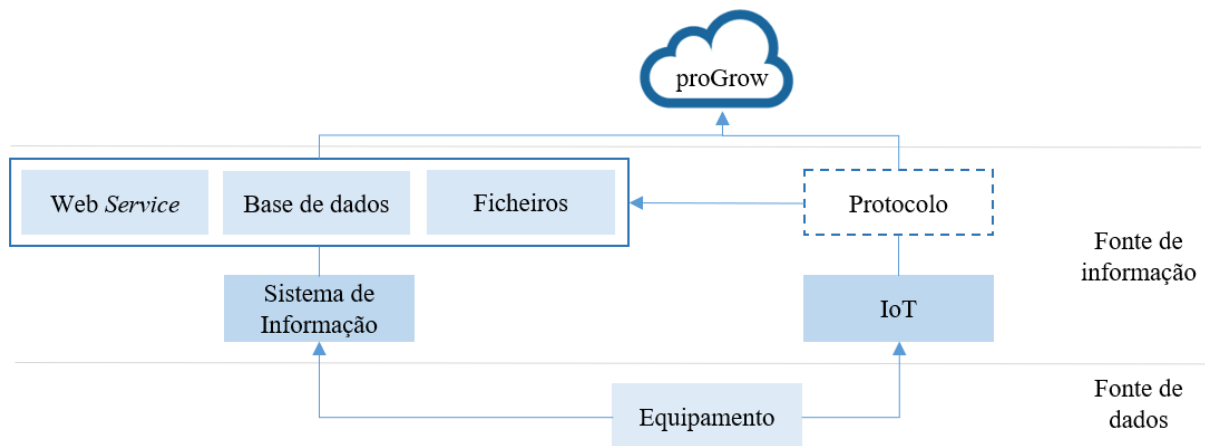


Figura 2: Fontes de Informação

Esta plataforma desenvolvida pela proGrow apresenta sete módulos distintos com funções nas áreas de análise de dados e de colaboração entre os diferentes departamentos e níveis de gestão.

O primeiro módulo, classificado como “KPI” permite a visualização de diversos indicadores de *performance*, que podem ser alimentados de forma manual ou automática. Os indicadores apresentados estão dependentes da informação que está a ser gerada pela Organização e estes são calculados automaticamente caso seja possível a ligação ao local onde os dados estão a ser armazenados. Um exemplo da interface da plataforma neste módulo é apresentado na Figura 3.

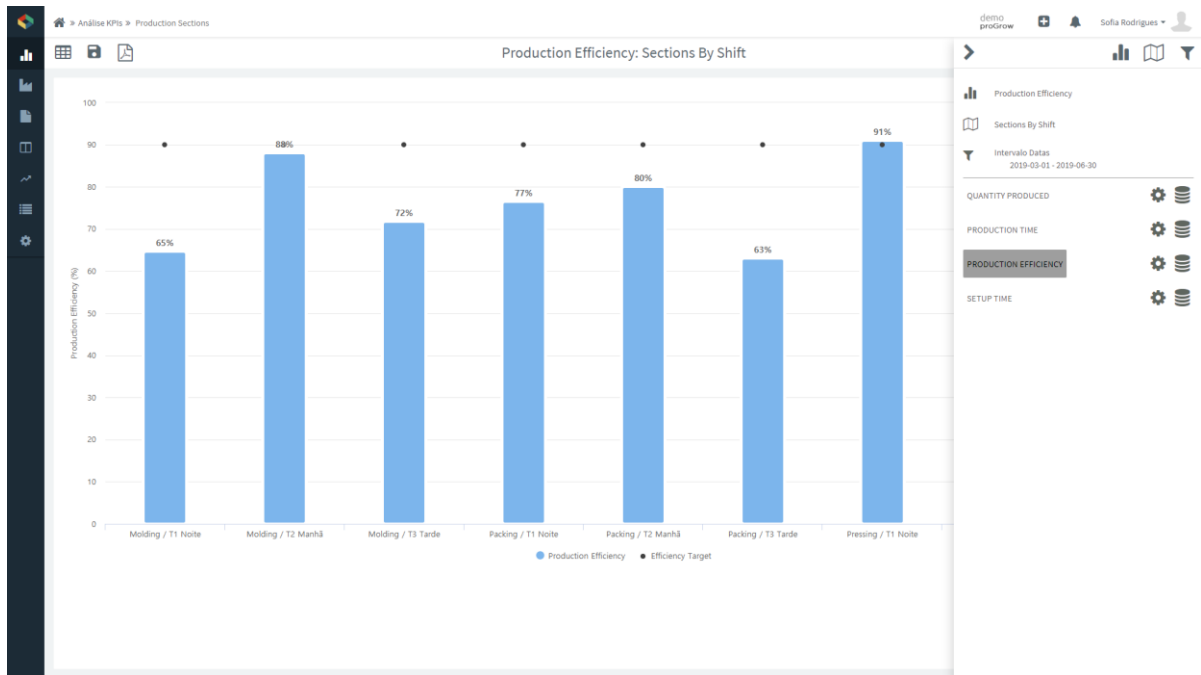


Figura 3: Exemplo da interface de KPIs

O segundo módulo, denominado como *Shopfloor* indica o que está a acontecer no chão de fábrica, como apresentado no exemplo da Figura 4. A informação a ser apresentada neste módulo pode ser atualizada em tempo real se existirem dados a serem atualizados com uma grande frequência e se estes forem acessíveis.

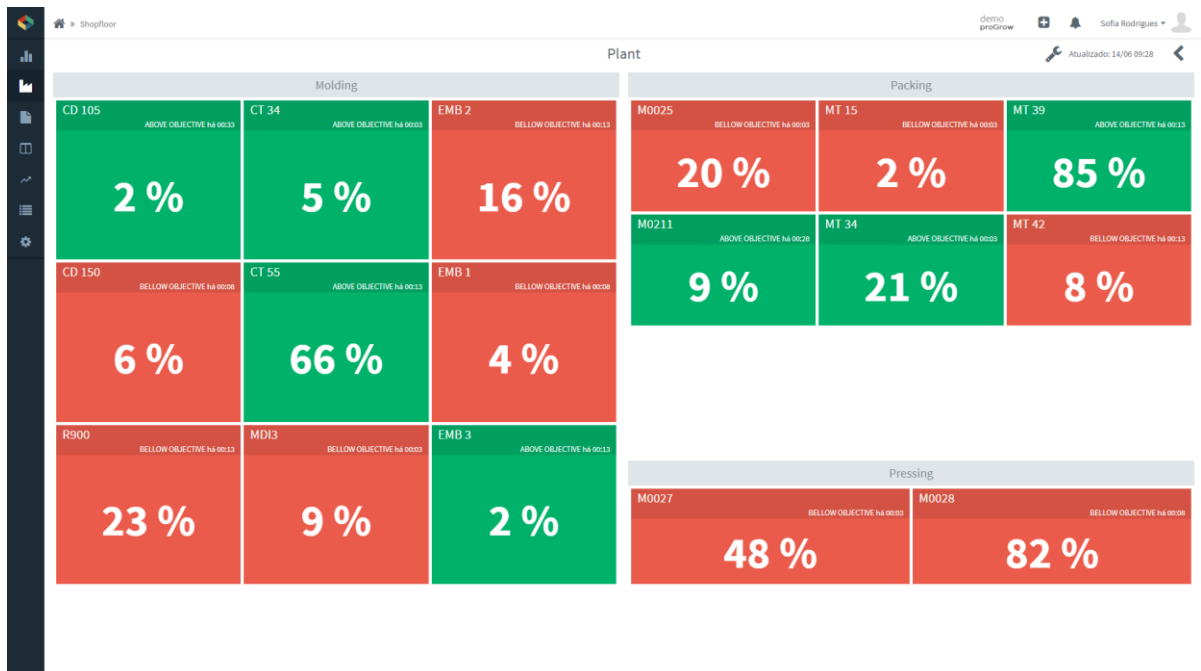


Figura 4: Exemplo da interface de *shopfloor*

O terceiro módulo é o de Relatórios, ainda na área de análise de dados permite a construção de painéis de gestão que fazem o acompanhamento e evolução de um indicador de forma automática, como mostrado na Figura 5. A periodicidade de atualização destes relatórios pode variar em granularidade, desde relatórios anuais até relatórios diários. Na área da colaboração,

este módulo permite que sejam deixados comentários ou notas sobre a análise de determinado indicador e permite a comunicação entre colaboradores, promovendo a centralização de toda a informação.

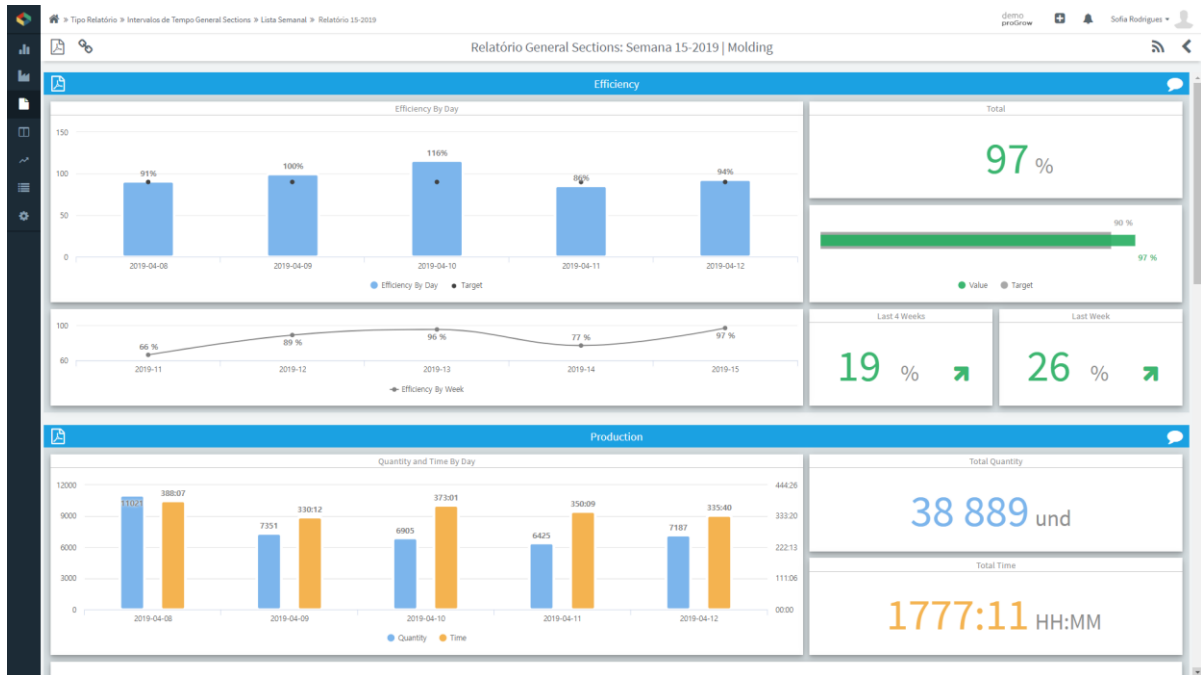


Figura 5: Exemplo da interface de Relatórios

Na ótica de uma filosofia de melhoria contínua, surge o quarto módulo com o nome de Melhoria. Aqui é possível que qualquer operador sugira oportunidades de melhoria que, após revisão do colaborador responsável, pode ser promovida a ação ou pode ser considerada como não aplicável caso não seja oportuno concretizar essa sugestão. Quando uma oportunidade é promovida a ação, esta entra no ciclo PDCA para gestão da sua concretização. Associando um indicador de performance à ação, é possível monitorizar a sua evolução e avaliar o impacto da mesma, como é possível verificar através da Figura 6. Quando um conjunto de ações são realizadas com o mesmo fim, o conjunto destas ações forma um projeto.

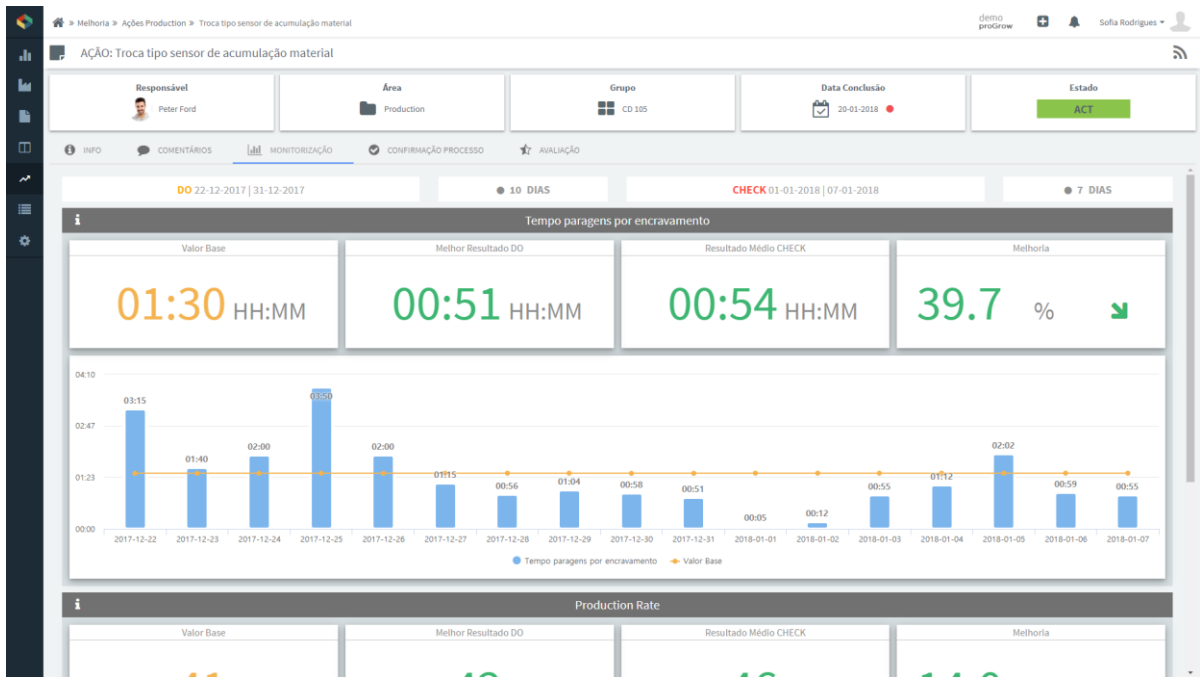


Figura 6: Exemplo da interface de Melhoria

Existe também o módulo Tarefas que permite a gestão de atividades *standard* numa empresa com base no ciclo PDCA. As tarefas são caracterizadas através do contexto onde ocorrem, dos responsáveis pela sua realização e dos departamentos envolvidos. Um exemplo da visualização de todas as tarefas de num determinado contexto de teste é apresentado na Figura 7.

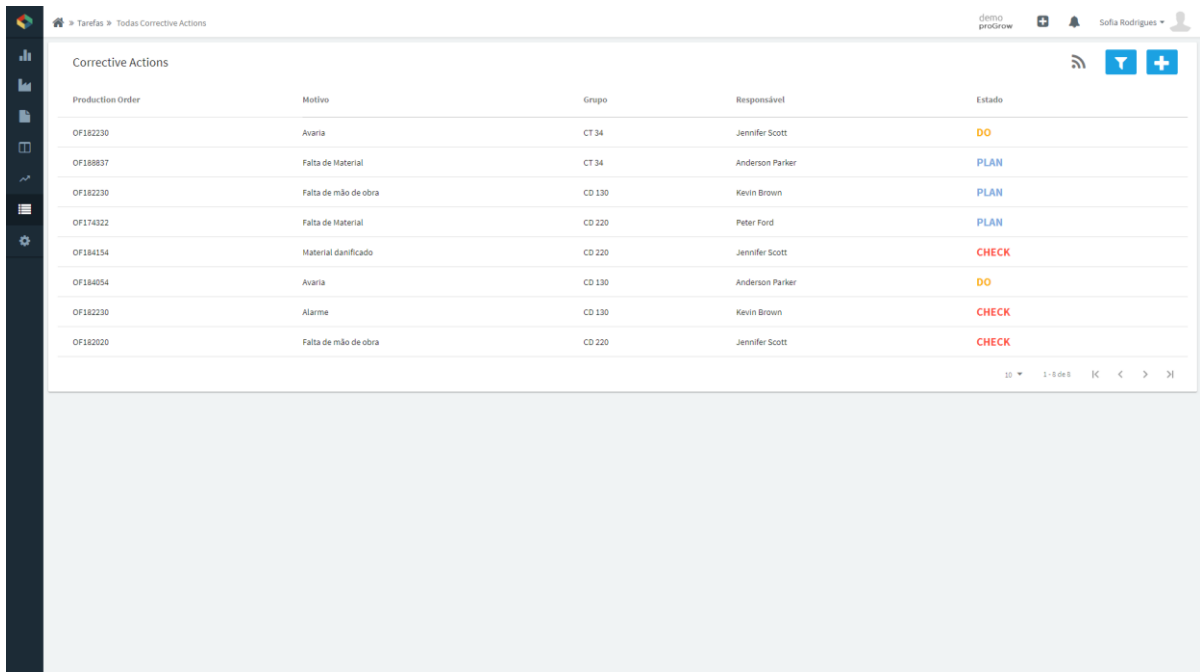


Figura 7: Exemplo da interface de Tarefas

Por fim, o último módulo disponibilizado pela plataforma tem o nome de *Kanbans* no qual é possível a visualização de um quadro que apresenta as quatro fases do ciclo PDCA e as

diferentes ações, projetos ou tarefas que existem em cada uma das fases, como apresentado na Figura 8.

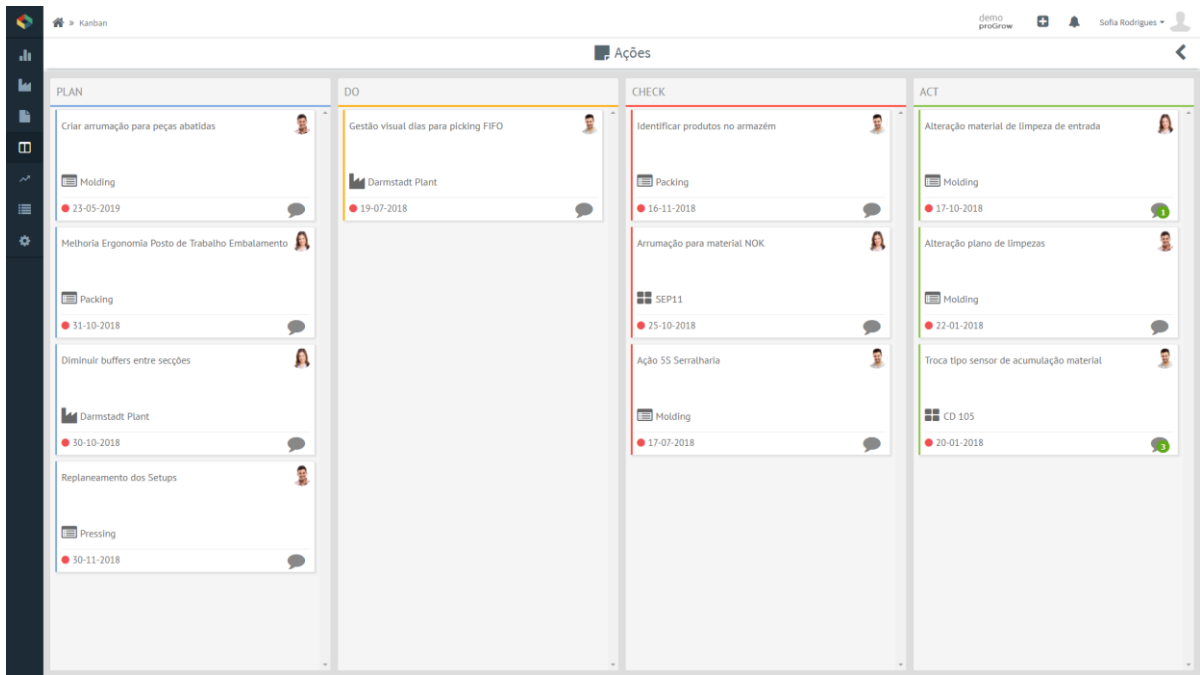


Figura 8: Exemplo da interface de *Kanbans*

3 Descrição da Empresa Cliente

As atividades principais da empresa cliente são a produção, a montagem e o teste de equipamentos eletrônicos. Estes equipamentos são utilizados na eletrônica geral, na indústria de transportes e em telecomunicações. Para o fabrico deste produto é adotada uma estratégia *make to order*, segundo a qual o processo de produção é desencadeado por uma encomenda do cliente (Jacobs e Chase, 2011). O processo produtivo tem lugar em três grandes áreas da fábrica denominadas por: produção ou *surface mount technology* (SMT), montagem ou *through-hole technology* (THT) e teste.

A empresa cliente fabrica vários tipos de placas eletrônicas distinguidas pelo seu nome. Cada vez que é necessária a produção de determinado tipo de placa, é criada uma ordem de fabrico que identifica o tipo de produto a produzir, a data de produção prevista, a quantidade a produzir e os componentes eletrônicos necessários para a sua produção.

3.1 Processo Produtivo

O processo de transformação das placas eletrônicas, designadas por *printed circuit board* (PCB) começa na área de produção, onde são montados os componentes superficiais dos circuitos eletrônicos. Esta área é constituída por sete linhas de produção que estão disponíveis 24 horas por dia, 5 dias por semana. A composição ao nível de equipamentos de cada uma das linhas de produção está apresentada na Tabela 1 estes são apresentados no anexo A.

Tabela 1: Composição das linhas de produção na área de produção

Equipamentos	Linhas						
	01	02	03	04	05	06	07
Abastecimento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Impressora	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Inspeção de Pasta		✓		✓		✓	
Montagem 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Montagem 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Inspeção de montagem				✓		✓	
Forno	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Recolha	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

O processo produtivo começa no equipamento de abastecimento que faz a inserção automática de placas eletrônicas, ainda sem componentes, na linha. Cada placa, passa primeiramente na impressora, onde é colocada a pasta sólida que atuará como solda e de seguida é feito o controlo de qualidade desta impressão no equipamento de inspeção de pasta. Nos equipamentos de montagem são posicionados os componentes eletrônicos superficiais e seguidamente é feito o controlo de qualidade automático do posicionamento destes componentes no equipamento de inspeção de montagem. Por fim, no forno a altas temperaturas, a pasta sólida previamente impressa passa ao estado líquido e os componentes são soldados à placa eletrónica.

Nas linhas onde não existem equipamentos de verificação, é feita ou uma amostragem ao longo da produção para validação periódica da sua qualidade, ou esta é controlada visualmente por operadores especializados ou por equipamentos designados para essa função.

Na secção de montagem é feita a montagem manual de componentes eletrónicos que atravessam a placa eletrónica, onde são soldados. É nesta área que são feitos acabamentos e a limpeza das placas para posteriormente serem montadas e programadas com um *software* indicado pelo cliente.

A área de testes tem a função de simular a funcionalidade dos equipamentos e tem intervenções intermédias na área de montagem. Esta fase do processo apresenta-se também como última validação de qualidade do produto a ser entregue ao cliente.

3.2 Funcionamento dos equipamentos

Todos os equipamentos que constituem as linhas da área de produção precisam de instruções de funcionamento específicas para cada ordem de fabrico. Este conjunto de instruções dos equipamentos é chamado de programa, e este é previamente feito pelo departamento de Engenharia do Processo.

As instruções de funcionamento da impressora têm o objetivo de garantir que a pasta impressa nas placas eletrónicas é colocada sem desvios significativos, fazendo o controlo de qualidade do posicionamento da mesma. Os equipamentos de inspeção de pasta, para além de controlarem a qualidade do seu posicionamento, verificam também a espessura da camada de solda que foi impressa. Para desempenhar estas funções, este tipo de equipamentos precisa de um programa com as instruções e os parâmetros necessários ao controlo da qualidade.

O processo de posicionamento de matéria prima nas posições corretas, desempenhado pelos dois equipamentos de montagem, está dependente da ordem de fabrico a produzir. Para cada ordem de fabrico, será elaborado um programa que permitirá que um conjunto de determinados componentes superficiais sejam alocados nas posições corretas da placa eletrónica a produzir. Para a verificação deste processo, nos equipamentos de inspeção de montagem, é necessário também um programa que permite entender que tipo de componente é esperado em cada posição e se estes estão montados sem desvios significativos.

Do mesmo modo, o forno precisa de instruções para o seu funcionamento associadas à ordem de fabrico a produzir. Os parâmetros a definir pelo programa são a temperatura e a velocidade do tapete deste equipamento que determina a duração do processo de soldadura.

Os equipamentos de recolha e abastecimento das linhas de produção precisam apenas de instruções de avanço que são dadas no momento de preparação da linha para a produção de determinada ordem de fabrico. Deste modo, não existe a necessidade de um programa com instruções de funcionamento.

3.3 Oportunidades de melhoria

Na análise detalhada das operações desempenhadas na área de produção foram identificadas oportunidades de melhoria. A primeira delas tem a ver com a comunicação entre os departamentos da área de produção e da manutenção, com vista à redução do tempo de resposta desde o momento em que se verifica a existência de um problema até que este é reportado e posteriormente resolvido.

Os equipamentos que constituem as linhas de produção apresentam tecnologia avançada e geram dados relativos à produção que são importantes para a monitorização da mesma. Atualmente, os equipamentos de montagem, consideradas como o *bottleneck* das linhas de produção são os que estão a gerar estes dados com maior nível de detalhe e permitem a obtenção de indicadores de *performance* como cadência, tempos de produção, disponibilidade e desempenho. De facto, alguns destes indicadores são calculados de forma não automática o que implica esforço humano e maior risco de erro na recolha de informação.

A partir da análise geral da produção através dos sistemas de informação do ano 2018, verificou-se que o processo de *setup* das linhas na área de produção representa cerca de 43% do tempo em que as linhas estão disponíveis para produzir. Esta realidade foi também identificada como uma oportunidade de melhoria dada a significativa proporção que o tempo de preparação da linha tem face à disponibilidade do equipamento.

4 Projeto de Digitalização da Informação

Neste capítulo é apresentada a metodologia que foi utilizada na implementação da digitalização de informação na empresa cliente, assim como os resultados obtidos desta implementação. Por fim é explicado o impacto que teve na Organização.

4.1 Metodologia

A metodologia utilizada para implementar a digitalização na empresa cliente pode ser dividida em três grandes fases, como indicado na Figura 9.

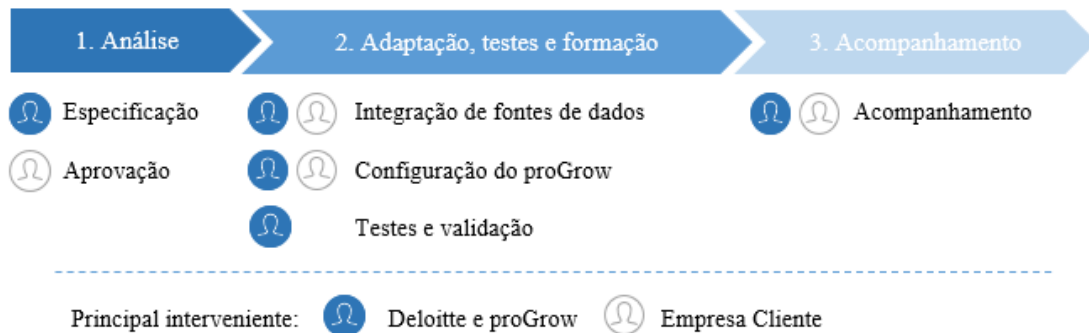


Figura 9: Metodologia do Projeto de Digitalização

Fase I – Análise

A fase de análise tem como objetivo avaliar a situação atual da empresa, nomeadamente o estado da informação. Esta análise permite fazer um levantamento geral dos dados que são gerados pela empresa em estudo e se estes são acessíveis. Para além disso, permite avaliar o impacto que a digitalização proposta pela plataforma proGrow terá na empresa. Esta primeira fase está dividida em duas subfases: especificação e aprovação.

Especificação

Inicialmente é feito um diagnóstico pelos parceiros Deloitte-proGrow, à situação atual da empresa, denominada por definição *as-is*, em que são analisados dois pontos:

- Estado da informação: se existem dados e a acessibilidade aos mesmos;
- Fluxo atual da informação: onde, como, e quando é que a informação é gerada e utilizada.

De seguida, é definido o modelo de informação proposto com a implementação do proGrow tanto da área de equipamentos de produção como na área colaborativa, denominada como definição *to-be*, que especifica cinco pontos essenciais:

- Áreas de atuação: quais as áreas, departamentos e equipamentos que fazem parte do âmbito da implementação da plataforma proGrow;
- Modelo de dados: onde é feita uma representação simplificada dos dados a serem utilizados pela plataforma;
- Fluxos de informação com a implementação do proGrow: como e quando é que a informação é apresentada através da plataforma;
- Indicadores de *performance*: quais os indicadores a disponibilizar e como é que estes serão calculados;
- Funcionalidades da área colaborativa, nomeadamente do módulo Tarefas, e indicadores associados.

Aprovação

Nesta subfase é feita uma apresentação do que foi acordado por ambas as partes, empresa cliente e parceria Deloitte-proGrow. Usualmente, esta apresentação contém o relatório diagnóstico *as-is*, a especificação do relatório com detalhe dos indicadores de *performance* a disponibilizar, assim como as maquetes da plataforma proGrow e as funcionalidades da componente colaborativa. Finalmente é apresentado o caso de estudo que evidencia o impacto que a digitalização através desta plataforma pode causar.

A implementação da plataforma avança depois da empresa dar a sua aprovação. Deste modo, na subfase de aprovação, tanto a empresa cliente como a parceria Deloitte-proGrow apresentam-se como principais intervenientes deste processo

Fase II – Adaptação, testes e formação

A fase de adaptação, testes e formação, contempla a componente mais técnica da implementação. É aqui que é feita a integração de dados das diversas fontes de informação e as configurações da plataforma especificadas na fase de análise. Deste modo, a segunda fase é dividida em três momentos distintos: integração de fontes de dados, configurações da plataforma e testes e validação.

Integração de fonte de dados

De acordo com o âmbito e funcionalidades especificadas na fase de análise, os dados gerados pela empresa em análise são integrados na plataforma. Os principais intervenientes nesta etapa são a equipa Deloitte-proGrow e a empresa, que seguem uma sequência de três ações:

- Partilha de acessos: a empresa disponibiliza acesso aos dados à equipa técnica da proGrow;
- Integração de dados: a equipa proGrow relaciona diferentes fontes de dados e é feita a disponibilização dos mesmos na plataforma;
- Validação de dados: a parceria Deloitte-proGrow valida a integração dos dados a fim de garantir a máxima eficácia e eficiência no desenrolar das restantes etapas.

Configurações da plataforma

Após toda a estrutura de dados estar pronta, segue-se a configuração dos fluxos de informação das funcionalidades da plataforma acordadas. Esta configuração acontece nos diferentes módulos disponibilizados pela plataforma: KPIs, *Shopfloor*, Relatórios, Melhoria, *Kanban* e Tarefas.

Testes e validação

Quando a configuração da plataforma estiver concluída, são realizados testes técnicos de funcionamento, à responsabilidade da equipa proGrow-Deloitte, para garantir a qualidade do produto apresentado. Estas validações envolvem a utilização em ambiente de teste da plataforma, implicando a deslocação ao ambiente fabril para uma última validação de que os dados que estão a ser apresentados na plataforma coincidem com a realidade.

Além da validação interna, a empresa envolvida realiza alguns testes de utilização para uma última validação. Após a avaliação positiva das funcionalidades disponibilizadas, é facultado um manual de utilização e é realizada uma sessão de formação para todos os intervenientes. No final desta fase a plataforma fica acessível à empresa cliente.

Fase III – Acompanhamento

Com a utilização das funcionalidades da plataforma, o cliente vai dando o *feedback* do produto, nomeadamente ajustes que sejam necessários. É feito um acompanhamento remoto.

4.2 Implementação da digitalização

Neste subcapítulo é apresentada cada detalhe da metodologia aplicada à empresa cliente com os detalhes do contexto específico da mesma, após a aprovação do projeto.

4.2.1 Fase I - Análise

4.2.1.1 Definição *as-is*

Para a definição do estado da informação, foi feito inicialmente um levantamento das fontes de informação disponíveis, começando com a identificação das marcas de todos os equipamentos que constituíam as linhas na área de produção. O resultado desse levantamento é detalhado na Tabela 2. Concluiu-se que os equipamentos que disponibilizam dados são a impressora, a inspeção de pasta, a montagem e a inspeção de montagem.

Tabela 2: Estado da informação - Equipamentos da área SMT

Linha	Tipo de Equipamento					
	Impressora	Inspeção de Pasta	Montagem 1	Montagem 2	Forno	Inspeção de Montagem
Linha 1	ERSA		Samsung	Samsung		
Linha 2	ERSA	Pemtron	Samsung	Samsung		Mek
Linha 3	ERSA		Samsung	Samsung		
Linha 4	ERSA	Mek	Yamaha	Yamaha		Mek
Linha 5	ERSA		Siemens	Siemens		
Linha 6	ERSA	Mek	Yamaha	Yamaha		Mek
Linha 7	ERKA		Samsung	Samsung		

Legenda

Sem dados	O equipamento não disponibiliza dados
n/a	Não existe determinado equipamento na linha
Equipamento antigo	O equipamento não permite acesso a dados

Os dados que são acessíveis são os referentes aos equipamentos de montagem, a partir dos quais se poderão extrair, entre outros indicadores, os indicadores de desempenho e de disponibilidade para o cálculo da eficiência geral dos equipamentos. A Linha 5 apresenta equipamentos de montagem dos quais, devido à sua antiguidade, não será possível fazer a extração de dados.

Os dados das impressoras não são acessíveis, dada a necessidade de aquisição de *software* específico para esse efeito e a empresa cliente não está disponível para fazer esse investimento. Do mesmo modo, a informação gerada pelos equipamentos de controlo de qualidade (inspeção da pasta e de montagem) não é acessível, desta vez por barreiras impostas por intervenientes externos à empresa cliente que prestam o serviço de apoio após venda. Este impedimento é crítico, uma vez que seria a partir destas fontes de informação que se poderia obter o fator associado à qualidade necessário para o cálculo do OEE.

Fluxo de informação dos equipamentos de montagem da marca Yamaha

O fluxo da informação gerada pelos equipamentos de montagem da marca Yamaha é disponibilizado sobre a forma de ficheiros. Existem dois tipos de ficheiros a serem criados neste modelo de equipamentos, em que o primeiro tipo é gerado por cada placa eletrónica que é

produzida numa determinada ordem de fabrico. Neste ficheiro em formato Excel, é detalhado o número de série do equipamento, o nome do tipo de produto associado à ordem de fabrico, a data e hora em que a placa acabou de ser montada, a quantidade de componentes que foi rejeitada e a que foi montada na placa eletrónica. Na Tabela 3 é sintetizada a informação apresentada neste ficheiro associado a cada placa com os nomes técnicos usados para a designação dos diversos campos de informação recolhidos do equipamento, sendo ainda apresentados valores exemplificativos para cada desses campos. No exemplo apresentado, o equipamento com número de série Y3789 acabou de produzir uma Placa Tipo 101 às 9 horas do dia 24 de abril de 2019. Na produção desta placa foram rejeitados 56 componentes e foram montados 300. No caso de uma ordem de fabrico ser composta pela produção de 100 placas, este equipamento iria criar 100 ficheiros idênticos, cada um deles com a informação relativa a cada uma das placas produzidas.

Tabela 3: Informação recolhida para cada placa produzida – Equipamentos Yamaha

Fonte:	Equipamento de montagem - Yamaha	
Ficheiro:	Detalhe de cada placa eletrónica	
Formato:	Excel	
Informação a recolher		
Nome	Detalhe	Exemplo
<i>Machine Serial</i>	Número de série do equipamento	Y3789
<i>Board Name</i>	Nome do produto	Placa Tipo 101
<i>Date Time</i>	Data e hora	2019-04-24 09:00:00
<i>Not Mounted</i>	Quantidade de componentes rejeitados	56
<i>Mount Num</i>	Quantidade de componentes montados na placa	300

O segundo tipo de ficheiros que os equipamentos de montagem da marca Yamaha geram contém a informação relativa à totalidade do processo produtivo de uma determinada ordem de fabrico. Como referido no Capítulo 3, na descrição do funcionamento dos equipamentos, os equipamentos de montagem concretizam as operações de acordo com as instruções detalhadas num programa. Na preparação da produção de determinada ordem de fabrico, o programa necessário é aberto no sistema do equipamento. Quando a produção da ordem de fabrico termina, este programa é fechado e é neste momento que o ficheiro com o resumo da produção da ordem de fabrico é gerado.

Este ficheiro em formato Excel apresenta a informação do número de série onde a produção de determinada ordem de fabrico aconteceu, o nome do tipo de produto, a data em que o programa foi aberto no sistema do equipamento, a data em que este foi fechado, a quantidade produzida, a cadência teórica do equipamento, o tempo médio de montagem dos componentes por placa e o tempo médio de deteção do local onde os componentes são montados por placa. Estes tempos médios são calculados a partir do tempo que o equipamento demorou a fazer a montagem e o reconhecimento do local para cada placa individual da ordem de fabrico em curso. Na Tabela 4 é sumarizada a informação apresentada neste tipo de ficheiro, assim como o nome técnico dado pelo equipamento a cada dimensão. Nesta tabela apresentam-se também valores exemplificativos para melhor compreensão da informação disponibilizada. Com a análise do exemplo, conclui-se que o equipamento Y3789 produziu uma ordem de fabrico da Placa Tipo 101 e que o programa para a produção desta ordem de fabrico foi aberto no dia 24 de abril de 2019 às 8 horas e foi fechado no mesmo dia às 10 horas. Neste exemplo o equipamento tinha uma cadência teórica de 5 placas por minuto, foram produzidas 100 placas eletrónicas, o tempo

que o equipamento demorou em média a fazer a montagem foi de 12 segundos por placa e o tempo médio de reconhecimento do local foi de 18 segundos por placa. É possível saber o tempo que o equipamento esteve na realidade a produzir esta ordem de fabrico através da multiplicação dos tempos médios pela quantidade de placas produzidas.

Tabela 4: Informação recolhida para cada ordem de fabrico – Equipamentos Yamaha

Fonte:	Equipamento de Montagem - Yamaha	
Ficheiro:	Detalhe do programa	
Formato:	Excel	
Informação a recolher		
Nome	Detalhe	Exemplo
<i>Machine Serial</i>	Número de série do equipamento	Y3789
<i>Board Name</i>	Nome do produto	Placa Tipo 101
<i>Start Date Time</i>	Data e hora de início do programa	2019-04-24 08:00:00
<i>Finish Date Time</i>	Data e hora de fim do programa	2019-04-24 10:00:00
<i>Produced Boards</i>	Quantidade de placas produzidas	100
<i>Expected Cad</i>	Cadência teórica de produção	5 placas por minuto
<i>Mount CT Ave</i>	Tempo médio de montagem de componentes numa placa (segundos)	12 segundos por placa
<i>MarkRec CT Ave</i>	Tempo médio de deteção de marcas de componentes numa placa	18 segundos por placa

A informação relativa à cadência teórica é um dado inserido no programa pelo departamento de Engenharia do Processo que tem em conta o equipamento onde a ordem de fabrico vai ser executada e a quantidade de comandos a executar na produção de cada placa.

Fluxo de informação dos equipamentos de montagem da marca Samsung

No caso dos equipamentos de montagem da marca Samsung, é gerado um único ficheiro em formato texto no final da produção de cada ordem de fabrico, com a informação relativa à ordem de fabrico. A informação apresentada indica o número de série do equipamento onde a ordem de fabrico foi produzida, o nome do tipo de produto, as datas de início e de fim do programa, a cadência teórica, a quantidade produzida e o tempo total que o equipamento despendeu na operação de montagem e reconhecimento do local de montagem de componentes na ordem de fabrico associada. Na Tabela 5 é apresentada a informação disponibilizada neste ficheiro, com os nomes dados pelo equipamento e valores exemplificativos para cada campo. No exemplo, verifica-se que o equipamento com o número de série Y3600, produziu uma ordem de fabrico do Tipo Placa 102 constituída por 100 placas eletrónicas e o tempo de produção real desta ordem de fabrico foi de 3000 segundos, com a cadência teórica de 5 placas por minuto. O programa foi aberto no sistema do equipamento às 8 horas de 24 de abril de 2019 e foi fechado às 10 horas do mesmo dia.

Tabela 5: Informação recolhida para cada ordem de fabrico – Equipamentos Samsung

Fonte:	Equipamento de montagem – Samsung	
Ficheiro:	Detalhe do programa	
Formato:	Texto	
Informação a recolher		
Nome	Detalhe	Exemplo
<i>Machine Serial</i>	Número do equipamento	Y3600
<i>Board Name</i>	Nome do produto	Tipo Placa 102
<i>Start Date Time</i>	Data e hora de início do programa	2019-04-24 08:00:00
<i>Finish Date Time</i>	Data e hora de fim do programa	2019-04-24 10:00:00
<i>Theoretical C</i>	Cadência teórica de produção	5 placas por minuto
<i>Board Count</i>	Quantidade de placas produzidas	100
<i>Place Time</i>	Tempo total de montagem e deteção de componentes numa ordem de fabrico	3000 segundos

Nenhuma da informação destes ficheiros está a ser utilizada para o controlo e monitorização da produção, deixando a empresa cliente numa situação de desconhecimento do seu processo produtivo, com o detalhe e a frequência suficiente para minimizar os tempos de reação caso exista alguma anomalia no seu processo de produção.

Após a análise da informação disponibilizada pelos equipamentos das linhas de produção, foi feito o estudo do sistema de informação da empresa cliente. Este estudo teve como objetivo a identificação de dados que permitissem o acompanhamento automático da evolução dos resultados do projeto de melhoria do tempo de mudança de ferramenta, apresentado no quinto capítulo desta dissertação.

No processo de *setup* das linhas na área de produção, os colaboradores utilizam uma ferramenta para a contagem do tempo gasto neste processo, que está disponível no computador existente em cada uma das linhas. Estes dados são recolhidos e apresentados na base de dados da empresa cliente. Assim, os dados necessários para este projeto são apresentados na Tabela 6 e, para cada processo de mudança de ferramenta, é criada na base de dados a informação com a data de início e de fim do processo, o turno em que este ocorreu, a ordem de fabrico associada, o nome do tipo de produto e a duração deste processo.

Tabela 6: Informação relativa ao *setup* a recolher do sistema de informação

Fonte de informação:	Sistema de informação
Informação	
Nome	Detalhe
Data de Início	Data de início de <i>setup</i>
Data de Fim	Data de fim de <i>setup</i>
Turno	Turno em que o processo ocorreu
<i>Barcode</i>	Código de identificação da ordem de fabrico
Produto	Nome do produto
Duração de <i>setup</i>	Data de Fim – Data de Início

4.2.1.2 Definição *to-be*

Após o estudo prévio sobre o estado atual da informação e respetivos fluxos da empresa cliente, foram definidas as áreas de atuação do projeto de digitalização:

- Área de produção;
- Equipamentos de montagem de todas as linhas, à exceção da Linha 5.

Os dados a serem recolhidos e utilizados constam nos ficheiros disponibilizados pelos equipamentos de montagem.

Para que fosse possível ter indicadores de *performance* gerais dos equipamentos de montagem ao invés de indicadores de cada marca de equipamento, foi necessária a integração destas duas fontes de informação distintas numa única tabela. Para este efeito, procedeu-se à homogeneização da informação disponibilizada nos ficheiros que resumem a produção de determinada ordem de fabrico, proveniente das duas marcas de equipamentos. O resultado desta homogeneização é apresentado na Tabela 7. O primeiro campo desta tabela indica o equipamento, através do seu número de série, onde a ordem de fabrico é realizada. Depois, é apresentada a data de início e de fim do programa aberto para a concretização da ordem de fabrico, seguido do nome do tipo de produto a produzir e do campo que apresenta a cadência teórica dos equipamentos. Nesta tabela é homogeneizada a dimensão do tempo de produção real que, no caso dos equipamentos Yamaha vai ser o produto entre a quantidade produzida de determinada ordem de fabrico pelos tempos médios de montagem e reconhecimento por placa da própria ordem. No caso dos equipamentos Samsung, o valor de produção real já é apresentado no ficheiro como a duração total que as operações de montagem e reconhecimento tomaram ao longo da produção da ordem de fabrico a que diz respeito. Por fim, a última linha da tabela indica o tempo em que o programa esteve aberto no equipamento, sendo este calculado através da diferença entre a data em que o programa foi fechado e a data em que foi aberto. Este valor apenas será utilizado no cálculo do indicador de disponibilidade dos equipamentos.

Tabela 7: Homogeneização de informação de resumo da produção

Dimensões Homogeneizadas	Dimensões Yamaha	Dimensões Samsung
Equipamento	<i>Machine Serial</i>	<i>Machine Serial</i>
Data Início do programa	<i>Start Date Time</i>	<i>Start Date Time</i>
Data Fim do programa	<i>Finish Date Time</i>	<i>Finish Date Time</i>
Produto	<i>Board Name</i>	<i>Board Name</i>
Quantidade Produzida	<i>Produced Boards</i>	<i>Board Count</i>
Cadência Teórica	<i>Expected Cad</i>	<i>Theoretical C</i>
Tempo de Produção Real	$Produced\ Boards \times (Mount\ CT\ Ave + MarkRec\ CT\ Ave)$	<i>Place Time</i>
Tempo de Programa	$Finish\ Date\ Time - Star\ Date\ Time$	$Finish\ Date\ Time - Star\ Date\ Time$

Indicadores

No cálculo dos valores dos indicadores foram tomadas algumas medidas e assumidos alguns pressupostos para garantir a qualidade desses valores.

Dada a ausência de informação, não foi possível entender de forma rigorosa, qual o tempo disponível dos equipamentos para produção. Para resolver esta questão, definiu-se junto dos colaboradores que, sempre que as linhas da área de produção devessem estar a produzir, deveria estar aberto um programa nos equipamentos de montagem. Desta forma, seria possível obter a informação sobre o tempo disponível para produção através da diferença entre o fim e o início do programa, que são apresentados no ficheiro de resumo de produção gerado no fecho de cada programa.

Com a informação disponibilizada, foram definidos e implementados os seguintes indicadores de performance:

- Desempenho:

A informação para o cálculo deste indicador consta nos ficheiros com o resumo da informação relativa a toda a produção do último equipamento de montagem da linha. A fórmula de cálculo é descrita na Equação (1).

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Quantidade Produzida} / \text{Tempo de Produção Real}}{\text{Cadência Teórica}} \quad (1)$$

De acordo com os dados recolhidos, é possível saber qual o desempenho por ano, mês, dia, turno, linha e ordem de fabrico.

A atualização deste indicador será feita no final de cada turno ou no final da produção de cada ordem de fabrico, quando o programa associado for fechado. O objetivo é maximizar este indicador, por forma a aproximar o valor da cadência real à cadência teórica.

- Disponibilidade:

Os dados que permitem o cálculo deste indicador constam nos ficheiros com o resumo da produção do último equipamento de montagem da linha. A fórmula de cálculo é descrita na Equação (2).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de Produção Real}}{\text{Tempo de Programa}} \quad (2)$$

É possível visualizar este indicador por ano, mês, dia, turno e linha. A atualização deste indicador será feita sempre que um ficheiro for gerado. O objetivo é maximizar este indicador, de forma a utilizar o máximo de tempo disponível dos equipamentos para produção.

- Quantidade produzida:

Este indicador será calculado com base nos ficheiros gerados com o fecho de um programa nos equipamentos, sendo atualizado apenas neste momento. O valor deste indicador será o somatório de todas as unidades produzidas e será possível visualizar este indicador por ano, mês, dia, turno, linha e tipo de produto.

- Taxa de Componentes Rejeitados:

Este indicador só poderá ser calculado para as linhas com equipamentos de montagem da marca Yamaha, uma vez que é a marca que disponibiliza os dados com o detalhe necessário para tal, uma vez que se procura saber a taxa de componentes rejeitados na produção de cada placa. A informação para o cálculo deste indicador consta nos ficheiros gerados por cada placa eletrónica

produzida em determinada ordem de fabrico com o resumo da informação relativa a cada uma delas. A fórmula de cálculo é descrita na Equação (3).

$$\text{Taxa de Componentes Rejeitados} = \frac{\text{Not Mounted}}{(\text{Not Mounted} + \text{Mounted Num})} \quad (3)$$

De acordo com os dados recolhidos, é possível saber qual o desempenho por ano, mês, dia, turno, linha, ordem de fabrico e equipamento. A atualização deste indicador será feita sempre que um ficheiro com informação sobre determinada placa eletrónica é gerado. O objetivo é minimizar este indicador, por forma a reduzir o número de componentes rejeitados.

– Tempo Médio de *Setup*

Os valores apresentados por este indicador estão dependentes da utilização da ferramenta utilizada para contabilização do tempo de setup por parte dos colaboradores. A fonte de informação que alimenta automaticamente este indicador são dos dados detalhados na Tabela 6 referentes ao sistema de informação da empresa cliente. Este indicador será calculado através da fórmula especificada na Equação (4)

$$\text{Tempo Médio de Setup} = \frac{\text{Duração de setup}}{\text{Número de setups}} \quad (4)$$

Relatórios

O módulo Relatórios disponibiliza os valores do indicador tempo médio de *setup* relativo a três períodos distintos:

- Diário, detalhando o dia com a informação de cada turno. Neste relatório avalia-se a evolução dos indicadores ao longo dos quatro dias anteriores e compara-se o dia em análise com o dia anterior. Para além desta informação, também é comparado o valor do período em questão com a média deste indicador nos quatro dias anteriores.
- Semanal, detalhando a informação da semana atual nos diferentes dias. Para além disso, é possível analisar a evolução dos indicadores ao longo das últimas quatro semanas e compará-los com os resultados da semana anterior e com a média das últimas quatro semanas.
- Mensal, em que o mês de análise é detalhado pelas semanas que o constituem. Também é possível analisar globalmente os quatro meses anteriores e comparar o mês de análise com o mês anterior e com a média dos quatro meses anteriores.

Shopfloor

Neste módulo da plataforma, foram definidos painéis de gestão com informação relativa às linhas com equipamentos da marca Yamaha, uma vez que apenas estes disponibilizam dados de produção com elevada frequência de atualização. Os ficheiros considerados neste módulo são aqueles que são gerados pelo último equipamento de cada linha, relativamente a cada placa eletrónica produzida. A informação a apresentar nestes painéis é dividida em cinco secções:

- Nome do produto em produção: informação disponibilizada em cada ficheiro gerado por cada placa eletrónica produzida;
- Quantidade produzida: este valor resulta na contagem de ficheiros gerados por cada placa eletrónica. Sempre que o nome do produto identificado no ficheiro mudar, significa que começou a produção de uma nova ordem de fabrico e a contagem recomeça;
- Cadência: este campo apresenta o resultado do quociente entre a quantidade produzida e o tempo que decorre desde a criação do primeiro ficheiro com determinado nome de produto;

- Taxa de rejeitados: o valor apresentado neste campo resulta do quociente entre a quantidade de componentes rejeitados em cada placa e a quantidade de componentes total (a soma dos componentes rejeitados e dos componentes não rejeitados);
- Estado do equipamento: a informação deste campo pode variar entre dois valores, o equipamento está parado ou está em produção. Admite-se que o equipamento está parado caso não seja gerado nenhum ficheiro no espaço de três minutos, nesta situação a cor do cartão que identifica determinada linha passa a vermelho e é indicado há quanto tempo é que o equipamento se encontra neste estado. Caso contrário, a cor do cartão passa a verde e é, do mesmo modo, cronometrado quanto tempo o equipamento está no estado produtivo.

Tarefas

No módulo Tarefas, foram disponibilizadas três secções diferentes:

- Ações Corretivas

Esta funcionalidade do módulo Tarefas permite a gestão de situações problemáticas que ocorrem durante a produção, como por exemplo a paragem da produção devido a alguma avaria, ou dificuldades em terminar o processo de *setup* devido a falhas na preparação da matéria prima. Em conjunto com a empresa cliente foram definidos os pontos críticos destes acontecimentos e qual a informação que devia ser gerada para controlo e monitorização das anomalias e correspondente reação.

Foram detetados cinco motivos principais que poderiam gerar ações corretivas: diminuição de desempenho ou qualidade de determinado equipamento, anomalias na fase de *setup*, tempo de espera entre produções elevado ou paragem dos equipamentos. Foram também identificadas as possíveis áreas da empresa cliente a serem responsáveis pela aplicação de determinada ação corretiva: departamento de produção, de manutenção e de engenharia do processo (responsável pela programação dos equipamentos e elaboração dos programas para produção de cada ordem de fabrico). As causas das ações corretivas associadas ao departamento de produção, podem ser a falta de abastecimento de recursos para a produção ou problemas no planeamento da mesma. No caso da área de manutenção, esta é responsabilizada pela resolução de determinada anomalia se a causa for uma avaria de equipamento, negligência dos colaboradores ou falta de formação no modo de operar os equipamentos.

Na Tabela 8 encontra-se sintetizada a informação relativa aos motivos, áreas e causas raiz para cada área, relativamente a ações corretivas.

Tabela 8: Características de ações corretivas

Motivos	Áreas	Causas Raiz
Performance	Produção	Abastecimento
Qualidade		Planeamento
Setup	Manutenção	Avaria
Tempo de Espera		Negligência
Paragem	Engenharia do Processo	Falta de Formação
		Programação

Para monitorização da agilidade na resolução de anomalias, são registadas cinco métricas:

- . Tempo de reação: tempo decorrido desde a criação da ação até ao momento em que o responsável começa a resolvê-la. Do ponto de vista do ciclo PDCA, o tempo de reação é o tempo que a ação fica no estado *plan*. Esta métrica é automaticamente gerada pela plataforma;
- . Tempo de intervenção: tempo em que a ação esteve no estado *do* no ciclo PDCA, indicado o tempo decorrido desde que o responsável pela resolução tomou conhecimento até que a anomalia ficou resolvida. Esta métrica é automaticamente gerada pela plataforma;
- . Tempo de resolução: tempo decorrido desde a criação da ação até ao momento em que está resolvida, ou seja, o tempo que a ação acumula nos estados *plan* e *do* no ciclo PDCA. Esta métrica é automaticamente gerada pela plataforma;
- . Tempo de validação: tempo que uma ação corretiva acumula no estado *check* do ciclo PDCA, e que indica o tempo que o criador de determinada ação demorou até validar que a anomalia ficou resolvida. Este tempo é denominado por tempo de validação. Esta métrica é automaticamente gerada pela plataforma;
- . Tempo de ação corretiva: tempo que um colaborador esteve efetivamente a resolver a anomalia que provocou determinada ação. A necessidade desta métrica surge em situações bastante comuns no contexto da empresa cliente, em que existe uma avaria num equipamento e o departamento de manutenção é responsável pela resolução. Quando este é notificado e começa a reagir, a ação passa do estado *plan* para o estado *do* no ciclo PDCA. No entanto, o colaborador não consegue efetivamente resolver o problema porque falta um componente para solucionar a avaria. Então, apenas quando este componente ficar disponível é que a avaria vai ser reparada. Desta forma, o tempo que o colaborador está a trabalhar ativamente na reparação vai ser contabilizado como tempo de ação corretiva. Esta é uma métrica manual, inserida pelo colaborador na plataforma na correspondente ação.

Cada uma destas métricas, no conjunto de todas as ações corretivas, gera um indicador de performance para análise do tempo médio de reação, intervenção, resolução validação e de ação corretiva. Estes indicadores são atualizados sempre que existe um novo valor registado, o qual tem associado a informação de quando é que determinada ação corretiva foi criada, qual a área responsável por resolvê-la, qual a causa raiz, o motivo, em que linha e equipamento ocorreu (identificado por terminologia e número de série) e durante a produção de que ordem de fabrico. É ainda possível ter uma visão geral destes indicadores de performance para toda a fábrica, para cada equipamento, linha e área responsável. As equações utilizadas para o cálculo de cada um dos indicadores são apresentadas nas Equações (5), (6), (7), (8) e (9).

$$\text{Tempo Médio de Reação} = \frac{\text{Tempo total de reação}}{\text{Número de ações corretivas}} \quad (5)$$

$$\text{Tempo Médio de Intervenção} = \frac{\text{Tempo total de intervenção}}{\text{Número de ações corretivas}} \quad (6)$$

$$\text{Tempo Médio de Resolução} = \frac{\text{Tempo total de resolução}}{\text{Número de ações corretivas}} \quad (7)$$

$$\text{Tempo Médio de Validação} = \frac{\text{Tempo total de validação}}{\text{Número de ações corretivas}} \quad (8)$$

$$\text{Tempo Médio de Ação Corretiva} = \frac{\text{Tempo total de ação corretiva}}{\text{Número de ações corretivas}} \quad (9)$$

Para além dos indicadores de performance associados aos tempos característicos das ações corretivas é possível definir, a partir dos dados gerados por este módulo, três indicadores muito relevantes para o departamento de manutenção. Em primeiro lugar, o tempo médio entre avarias de cada equipamento (*mean time between failures*, MTBF), importante para a gestão de manutenção preventiva dos equipamentos, calculado através do quociente do tempo de funcionamento normal do equipamento pelo número de ações corretivas realizadas, cuja causa raiz seja “avaria”. O tempo de funcionamento normal do equipamento é definido através do tempo de produção real. A fórmula de cálculo sistematizada encontra-se definida na Equação (10).

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tempo de Produção Real}}{\text{Número de ações corretivas com causa raiz avaria}} \quad (10)$$

O segundo e terceiro indicadores de manutenção definidos foram o tempo total de reparação (*total time to repair*, TTR) e o tempo médio de reparação (*mean time to repair*, MTTR). O tempo contabilizado nestes indicadores é o correspondente à métrica do tempo de intervenção associado a ações corretivas com causa raiz de “avaria”. As fórmulas de cálculo utilizadas para o cálculo destes indicadores apresentam-se nas Equações (11) e (12).

$$\text{TTR} = \text{Tempo de intervenção de uma ação corretiva com causa raiz avaria} \quad (11)$$

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tempo de intervenção de todas as ações corretivas}}{\text{Número de ações corretivas com causa raiz avaria}} \quad (12)$$

Estes indicadores críticos para a manutenção serão atualizados sempre que existir um novo registo que influencie o seu cálculo e só poderão ser visualizados pelo número de série que identifica cada equipamento.

Os campos do formulário a ser preenchido na identificação de uma ação corretiva são:

- . Linha de produção;
- . Tipo de equipamento em que ocorreu (por exemplo, impressora, forno) e o seu número de série;
- . O sintoma, em que é sucintamente descrito o problema, para que o responsável possa avaliar o trabalho a realizar antes de chegar ao local, o que pode conduzir a tempos de resolução menores;
- . A ordem de fabrico e tipo de produto associado;
- . Motivo;
- . Área e pessoa responsável pela resolução do problema.

Quando é feita a listagem de todas as ações corretivas, é possível identificar o seguinte detalhe de cada uma:

- . Motivo;
- . Tipo de equipamento e número de série;
- . Área responsável;
- . Colaborador responsável;
- . Estado no ciclo PDCA.

Os filtros disponibilizados para seleção das ações na listagem no quadro PDCA do módulo *Kanbans* são:

- . Motivo;
- . Tipo de equipamento e número de série;
- . Área responsável;
- . Colaborador responsável;
- . Estado no ciclo PDCA

A informação detalhada em cada cartão no quadro *kanban* é:

- . Motivo;
- . Tipo de equipamento,
- . Sintoma;
- . Linha de produção.

– Ações Preventivas e ações de limpeza:

Para efeitos de planeamento de manutenção preventiva e limpeza dos equipamentos que constituem as linhas da área de produção em análise, foi também configurado no módulo Tarefas a funcionalidade de ações preventivas e ações de limpeza. Nestas funcionalidades é possível agendar uma ação preventiva, para cada equipamento identificado pelo número de série, qual o tipo de equipamento (por exemplo, impressora, equipamento de abastecimento, etc.), a que linha pertence, em que data vai ocorrer e qual o tempo estimado para a manutenção preventiva. Do mesmo modo, é possível fazer o agendamento das ações de limpeza para cada linha da área de produção, identificando a data e a duração estimada.

A gestão deste tipo de tarefas enquadra-se no ciclo PDCA na medida em que existe um planeamento da ação, e a ação fica no estado *plan*. Quando o colaborador começar a realizar a manutenção, a ação preventiva passa para o estado *do* e, quando acaba, passa para o estado *check*. No estado de verificação, existe de facto uma verificação por parte do colaborador e quando todo o processo está concluído, passando para o estado *act*.

É possível inserir a métrica manual “tempo de preventiva” e “tempo de limpeza” que permite ao colaborador dizer quanto tempo é que a manutenção ou limpeza demorou exatamente, para efeitos de comparação entre o tempo que foi estimado e o tempo real.

O formulário das ações preventivas ou de limpeza tem os seguintes campos:

- . Linha de produção;
- . Tipo de equipamento e o seu número de série;
- . Data planeada e tempo estimado;

- . Área responsável;
- . Colaborador responsável.

A listagem destas ações terá o seguinte detalhe:

- . Linha de produção;
- . Tipo de equipamento e número de série;
- . Data planeada e tempo estimado;
- . Área responsável;
- . Colaborador responsável;
- . Estado no ciclo PDCA.

Os filtros disponibilizados para seleção das ações na listagem no quadro PDCA do módulo *Kanban* são:

- . Linha de produção;
- . Tipo de equipamento e número de série;
- . Data planeada e tempo estimado.
- . Estado no ciclo PDCA

A informação que é detalhada em cada cartão no quadro *kanban* é:

- . Linha de produção;
- . Tipo de equipamento e número de série;
- . Data planeada.

4.2.2 Fase II - Adaptação, testes e formação

4.2.2.1 Integração de fontes de dados

A integração das diferentes fontes de informação realizou-se seguindo a sequência apresentada na Figura 10. Os equipamentos de montagem foram identificados como fontes de informação acessíveis, uma vez que geram ficheiros com informação da produção de forma automática para um repositório. Este repositório é acessível através do servidor da empresa cliente, que por sua vez, é acessível através da rede privada da empresa (VPN) e da máquina virtual disponibilizada pelo cliente à proGrow. Numa fase inicial de integração de dados e de configuração da plataforma, acontece que o acesso às fontes de informação é feito através da ligação VPN, ao invés das fases mais maduras do projeto em que, depois das configurações e integrações estarem estabilizadas, o acesso foi feito através de uma máquina virtual.

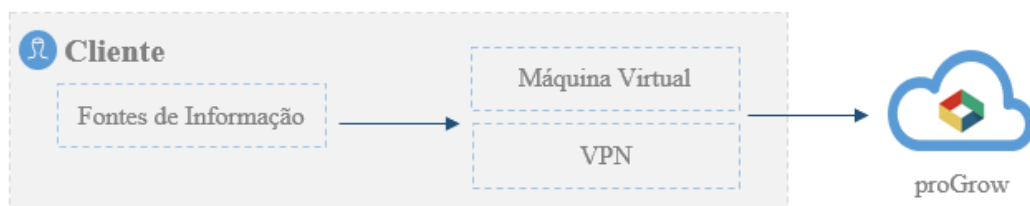


Figura 10: Sequência de acessos para integração de dados

Depois de feita a integração com as fontes de informação, a equipa técnica da proGrow revê a especificação feita na primeira fase do projeto e disponibiliza a informação detalhada na definição *as-is* e *to-be* na plataforma para que a configuração de módulos como KPIs, Relatórios e *Shopfloor* sejam possíveis.

4.2.2.2 Configurações da plataforma

Para que fosse possível paralelizar as tarefas de integração de dados e de configuração da plataforma, enquanto a integração estava a decorrer com a equipa técnica, foram desenvolvidas as configurações que não estavam dependentes de fontes dados. A configuração e implementação dos módulo Tarefas e Melhoria foi, por este motivo, a primeira a ser executada. Aquando a disponibilização dos dados especificados na plataforma, foram configurados todos os indicadores, relatórios e *shopfloor*.

Para a configuração do módulo KPIs é necessário o conhecimento básico de programação na linguagem JSON (notação de objetos JavaScript). Para a configuração de cada indicador é necessário especificar qual é a tabela que o alimenta automaticamente, como é que este é calculado, como é que a informação vai ser apresentada nos gráficos e o detalhe a apresentar nas tabelas com os dados apresentados em determinado gráfico. De igual modo, para a configuração do módulo Relatórios, é necessária a programação da configuração dos gráficos a apresentar e dos dados que os alimentam.

No módulo *Shopfloor* é necessário configurar as fontes de informação que alimentam os campos a apresentar e os cálculos que são necessários para cada campo.

No módulo Tarefas faz-se a configuração do formulário a preencher para cada tipo de tarefa, definem-se quais as dimensões a serem mostradas quando todas as tarefas são vistas em forma de lista, os filtros disponíveis tanto nesta listagem como na apresentação das tarefas no quadro do ciclo PDCA do módulo *Kanban*.

Os módulos Melhoria e *Kanban* têm uma estrutura *standard*, não sendo por isso necessário configurar qualquer parâmetro.

4.2.2.3 Testes e Validação

Para confirmar que a informação apresentada nestes módulos estava livre de erros, foi feita uma validação em conjunto com a empresa cliente no chão de fábrica, comparando os dados digitalizados com o que estava na realidade a acontecer na produção.

Após a validação final de todos os intervenientes neste processo, foram disponibilizados todos os módulos acordados, com todas as funcionalidades especificadas. Foram realizadas sessões de formação com todos os membros da empresa cliente que iriam estar envolvidos na utilização direta da plataforma, assim como também foi disponibilizado o manual de utilização da mesma. É também disponibilizado um serviço de acompanhamento remoto e foram agendadas reuniões de acompanhamento para o *feedback* do cliente face às funcionalidades disponibilizadas.

4.2.3 Fase III - Acompanhamento

Na última fase de projeto, foram feitas sessões de acompanhamento, presencial e remoto para que a empresa cliente fosse capaz de, de forma autónoma, tirar o máximo de partido da plataforma. Com a crescente utilização da mesma por parte dos colaboradores, foram feitos os ajustes necessários para uma mais fácil e intuitiva utilização.

4.3 Resultados

O projeto de digitalização da informação concretizou todas as funcionalidades a que se propôs. No anexo B, são apresentados os resultados das configurações do módulo KPIs, detalhando as interfaces referentes aos indicadores de qualidade (taxa de componentes rejeitados), de produção (quantidade produzida, tempo médio de *setup*, desempenho e disponibilidade), de ações preventivas e de limpeza (tempo médio de preventiva e de limpeza), de manutenção dos equipamentos (MTBF, MTTR, TTR) e de ações corretivas (tempo médio de corretiva, de reação, de intervenção, de validação e de resolução). O resultado da interface disponibilizada no módulo *Shopfloor* encontra-se no anexo C e o relatório relativo ao indicador de tempo médio de *setup* disponibilizado é apresentado no anexo D. O anexo E contém o resultado das configurações do módulo Tarefas, nomeadamente o menu correspondente e o formulário a preencher em cada tipo de tarefa.

Através da implementação da plataforma, todas as funcionalidades descritas foram operacionalizadas, tendo-se obtido resultados positivos em diferentes áreas.

Em primeiro lugar, na redução do trabalho administrativo despendido no processo manual de cálculo dos indicadores de performance e dos relatórios de gestão associados. Também na área de melhoria contínua, uma vez que no ambiente da empresa cliente não existiam iniciativas neste âmbito. Através da estrutura disponibilizada no proGrow para a gestão de ações, a empresa conta atualmente com onze projetos de melhoria.

Para além destes fatores, a utilização de ações corretivas permitiu a agilização do processo de comunicação de problemas na área de produção, possibilitando melhores tempos de reação. Com este levantamento de anomalias, a identificação de oportunidades de melhoria tornou-se uma ferramenta importante para evitar que os mesmos problemas continuem a ocorrer.

O facto dos operadores terem à sua disposição indicadores que refletem o seu trabalho atuou como motivação para atingirem melhores resultados.

5 Projeto de melhoria do tempo de mudança de ferramenta

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada no projeto de melhoria do tempo de mudança de ferramenta. É descrito o processo atual, as sugestões de melhoria e a correspondente implementação. Por fim, é analisado o impacto que as medidas tiveram na empresa cliente.

5.1 Metodologia

O processo de mudança de ferramenta surge como uma oportunidade de melhoria no contexto da empresa cliente, uma vez que atualmente este pode demorar até onze horas. Para a otimização do tempo de *setup* adotou-se a metodologia SMED.

5.1.1 Fase preliminar - Mapeamento do processo atual

Nesta fase foi analisada cada tarefa realizada pelos colaboradores responsáveis por cada linha da área de produção. Foi assim possível listar todas as atividades para a concretização do estudo de tempos associado a cada uma das tarefas.

Através do planeamento da produção, foi possível verificar que o processo de *setup* pode demorar, teoricamente, até 11 horas. O acompanhamento de processos com uma duração superior a cinco horas era inviável. Por este motivo, fez-se somente o acompanhamento de processos de *setup* com duração até esse limite.

Atualmente, o processo de mudança de ferramenta é realizado pelo colaborador responsável pela linha, começando pelos equipamentos de abastecimento da linha e de recolha de placas eletrónicas. Para que as placas sejam dispostas de modo a serem colocadas nestes equipamentos, existe um acessório chamado de bastidor, como se pode observar na Figura 11.

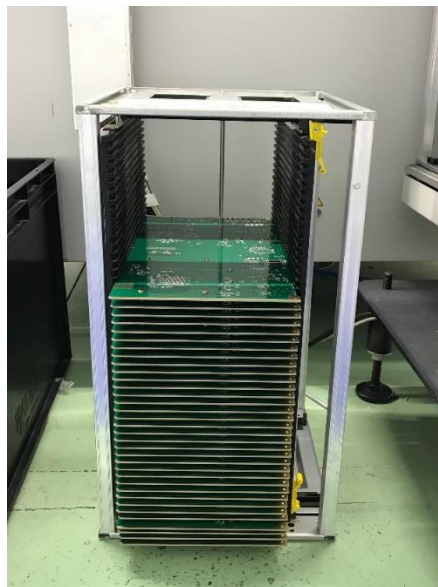


Figura 11: Bastidor com placas eletrónicas

Foi feito o levantamento de todas as atividades realizadas pelo operador no processo de *setup* dos diferentes equipamentos das linhas de produção, que se encontram listadas na Tabela 10, juntamente com os tempos médios das suas durações. A Figura 12 permite visualizar graficamente esta informação.

Tabela 9: Atividades de *setup* das linhas de produção

Equipamento	Atividade	Duração média (minutos)
Abastecimento e Recolha	1 Procurar bastidores	2
	2 Preparar e ajustar bastidores	5
	3 Preparar equipamento de abastecimento	1
	4 Preparar equipamento de recolha	1
Impressora	5 Procurar a pasta	1
	6 Remover a pasta	2
	7 Remoção de acessórios	3
	8 Arrumação de acessórios	1
	9 Trocar ferramentas de suporte à placa	1
	10 Posicionar placas e ajustar programa	21
	11 Ir buscar acessórios	0
	12 Montar acessórios	3
	13 Posicionar acessórios no equipamento	12
	14 Ir buscar material para colocar pasta	1
	15 Colocar pasta	7
	16 Movimento	1
	17 Preparação do equipamento de inspeção de pasta	17
	Montagem	18 Movimento
19 Remoção de componentes da produção anterior		20
20 Levar componentes de produção anterior		1
21 Ir buscar os componentes para produção atual		4
22 Posicionar componentes		33
23 Verificar posicionamento		14
24 Ajuste do programa		32
25 Teste de produção		28
26 Movimento		1
27 Controlo de qualidade visual		9
28 Movimento		1
Forno	29 Preparação de cadencia e temperatura	2
	30 Movimento	1
	31 Controlo de qualidade no equipamento de inspeção de montagem	7
	32 Movimento	1

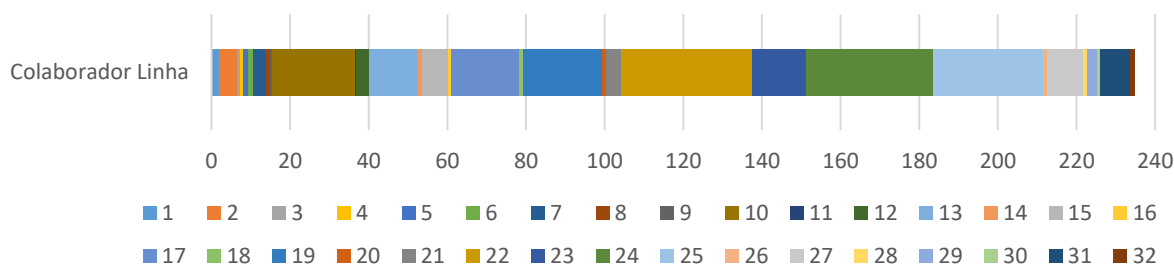


Figura 12: Distribuição da duração média de cada atividade no processo de *setup* atual

Após o estudo de movimento e de tempos de todas as atividades do processo de *setup*, foi possível estimar um ponto de partida para inferir a situação inicial da duração do tempo médio que este processo consome, tomando o valor de 235 minutos, aproximadamente 4 horas.

5.1.2 Fase I - Externalização e paralelização de atividades

A caracterização das atividades internas e externas é um ponto crítico da metodologia SMED, pois é o primeiro passo para a redução do tempo de *setup*. No processo em análise foram identificadas cinco atividades que podem ser realizadas enquanto a linha ainda está em produção. Com esta externalização de tarefas seria possível reduzir o tempo de *setup*, em média, em 13 minutos. As atividades consideradas externalizáveis são as identificadas pelos números 1, 2, 11, 12 e 21.

A empresa cliente tem um colaborador por linha, e é necessário que ele esteja junto da mesma durante a produção. Após a análise da força de trabalho presente na área de produção ao longo do dia, conclui-se que a realização das tarefas externalizáveis só é possível no horário de trabalho entre as 9 e as 18 horas, que corresponde aos momentos do dia em que existe um colaborador que não está afeto a qualquer linha de produção, referido como colaborador extra.

Aproveitando a referida disponibilidade naquele horário de trabalho, a paralelização das tarefas necessárias à preparação de linhas surge como uma oportunidade de redução do tempo neste processo. Assim, a sugestão de balanceamento de trabalho entre o colaborador da linha e o colaborador extra é apresentada na Tabela 11. A visualização da distribuição de tarefas pelos colaboradores é apresentada na Figura 13.

Tabela 10: Divisão das atividades de *setup* das linhas de produção

	Atividade	Colaborador da linha	Colaborador Extra
1	Procurar bastidores		X
2	Preparar e ajustar bastidores		X
3	Preparar equipamento de abastecimento		X
4	Preparar equipamento de recolha		X
5	Procurar a pasta		X
6	Remover a pasta		X
7	Remoção de acessórios		X
8	Arrumação de acessórios		X
9	Trocar ferramentas de suporte à placa		X
10	Posicionar placas e ajustar programa		X
11	Ir buscar acessórios		X
12	Montar acessórios		X
13	Posicionar acessórios no equipamento		X
14	Ir buscar material para colocar pasta		X
15	Colocar pasta		X
16	Movimento		X
17	Preparação do equipamento de inspeção de pasta		X
18	Movimento		X
19	Remoção de componentes da produção anterior	X	
20	Levar componentes de produção anterior		X
21	Ir buscar os componentes para produção atual		X
22	Posicionar componentes	X	
23	Verificar posicionamento	X	
24	Ajuste do programa	X	
25	Teste de produção	X	
26	Movimento	X	
27	Controlo de qualidade visual	X	

28	Movimento	X	
29	Preparação de cadencia e temperatura	X	
30	Movimento	X	
31	Controlo de qualidade no equipamento de inspeção de montagem	X	
32	Movimento	X	

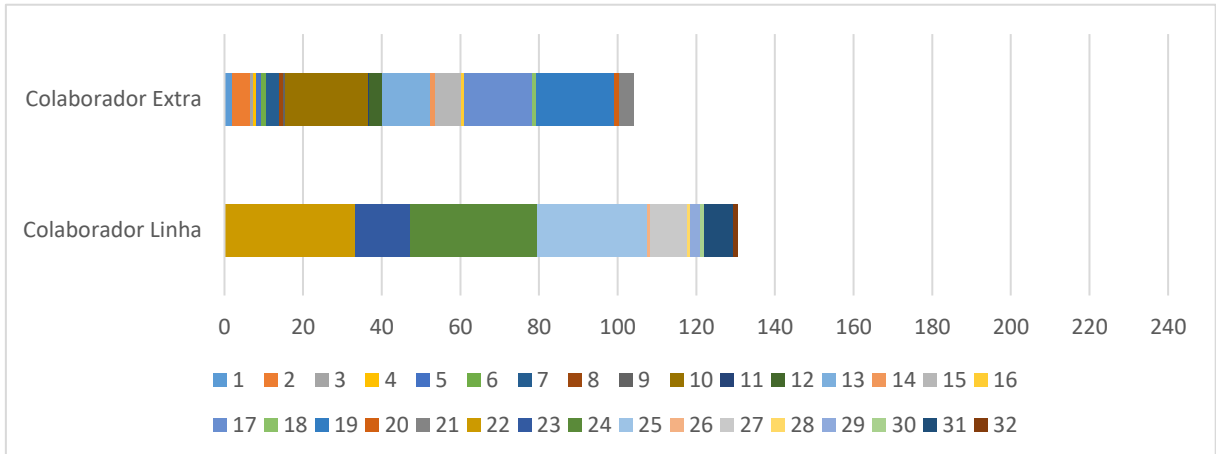


Figura 13: Distribuição da duração média de cada atividade no processo de *setup* futuro

Com a externalização e paralelização das tarefas, é possível reduzir o tempo médio de *setup* de 235 minutos para 130 minutos, o que constitui uma redução de 44 %.

Para garantir que o colaborador extra está disponível para apoiar todos os processos de mudança de ferramenta, é necessário minimizar o número de processos que ocorrem fora do horário das 9 até às 18 horas. Para além disso é também necessário evitar que aconteça mais do que um *setup* ao mesmo tempo. Para um melhor controlo, sugeriu-se a implementação de uma ferramenta, designada de matriz de planeamento, que permite o agendamento da produção, como se pode ver na Figura 14. Nesta matriz é possível identificar os intervalos de horas na primeira coluna e, na primeira linha, os dias da semana. Em cada célula pode apenas ser alocado um *setup* associado a uma linha e ordem de fabrico.

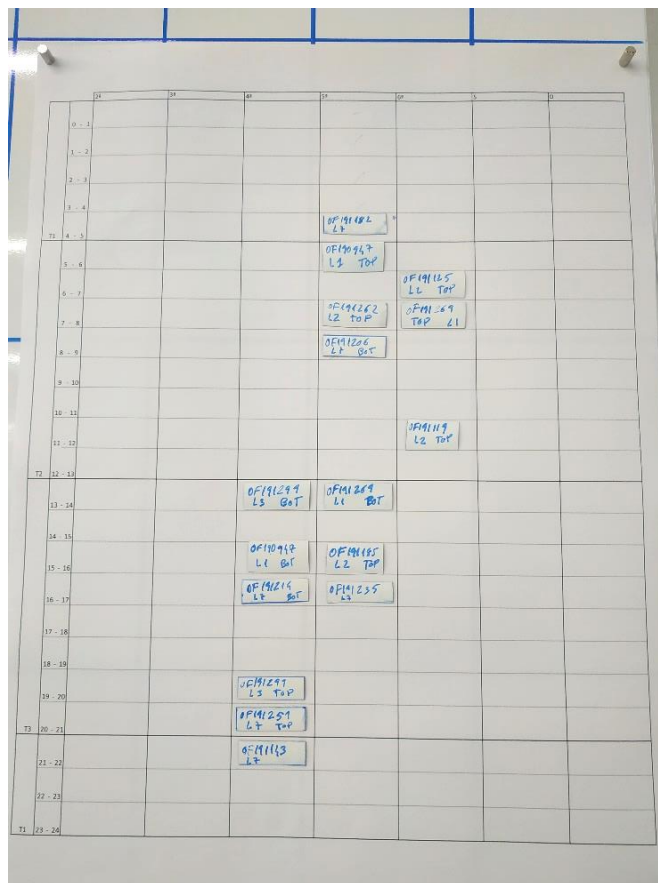


Figura 14: Matriz de planeamento

5.1.3 Fase II: Conversão de tarefas internas em externas

No processo atual, atividades que envolvem o ajuste da programação de equipamentos consomem em média 39% do tempo de *setups*. Esta atividade não pode ser totalmente externalizada. No entanto, o tempo que esta consome pode ser reduzido significativamente com o envolvimento do departamento de Engenharia do Processo. Esta redução é possível através da confirmação dos programas antes de estes serem necessários nas linhas de produção. A confirmação passará a ser responsabilidade do departamento de Engenharia do Processo aquando a elaboração de determinado programa, contribuindo deste modo para a otimização do tempo de mudança de ferramenta.

5.1.4 Fase III: Simplificação do processo de *setup*

Para a redução dos tempos de execução das tarefas externalizáveis, sugeriu-se a construção de um *kit* de *setup* que permite minimizar as deslocações dos colaboradores para a recolha dos materiais necessários ao *setup*. Este *kit* consiste numa caixa que permite o transporte de todos os acessórios necessários para que, num único deslocamento pela fábrica o colaborador consiga recolher todo o que precisa para executar o processo.

Para a melhoria das atividades que envolvem o ajuste dos programas associados às ordens de fabrico, sugere-se o envolvimento do departamento de Engenharia do Processo para evitar que operadores sem competências técnicas de programação tenham de realizar trabalho específico, que está fora do espectro das suas competências. Esta medida também permite a agilização do processo de *setup*.

5.2 Resultados

Os resultados obtidos foram conseguidos através da implementação de todas as sugestões propostas à empresa cliente: a externalização e a paralelização de tarefas, a implementação da matriz de planeamento e do *kit de setup* e a formação dos colaboradores envolvidos.

Para a avaliação dos resultados, foi criado um indicador de *performance* (descrito no quarto capítulo) para acompanhar a evolução do tempo médio de *setup*. A Figura 15, apresenta a evolução do tempo médio de *setup* ao longo de dez semanas (da semana 10 à semana 20 de 2019). As semanas 10 a 14 representam o período em que o processo de *setup* estava em análise, e por isso, apresenta-se como uma amostra da situação da empresa cliente sem a aplicação da metodologia SMED. Neste período, a média do valor do indicador é de aproximadamente 7 horas e 16 minutos. Na semana 15, esta metodologia começou a ser implementada, conduzindo a reduções significativas dos tempos de *setup* (33%), apresentando uma média de 4 horas e 54 minutos.

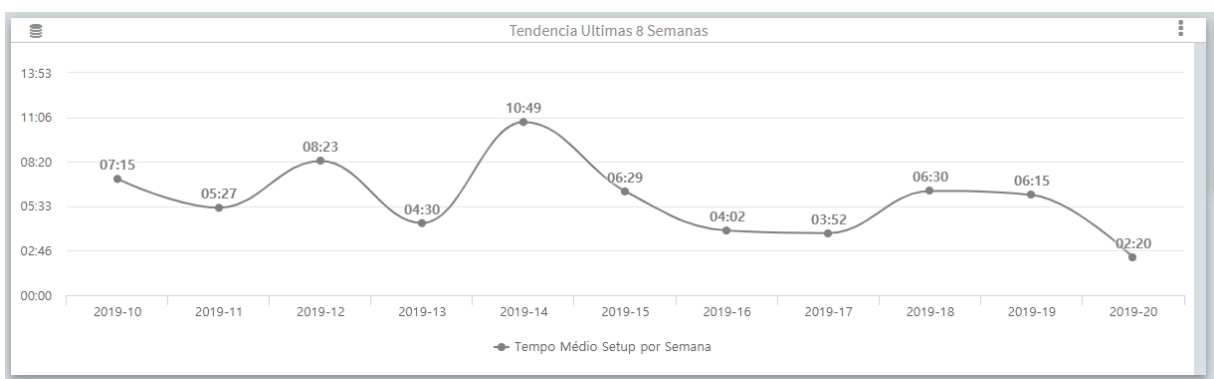


Figura 15: Evolução do indicador do tempo médio de *setup*

O novo processo de mudança de ferramenta encontra-se ainda em fase de estabilização, uma vez que as rotinas dos colaboradores envolvidos estão em fase de mudança. Por este motivo as otimizações sugeridas à empresa cliente ainda não estão completamente integradas em todos os processos.

Para avaliar o impacto financeiro desta redução, foram analisadas as bases de dados da empresa cliente e concluiu-se que, em 2018, o tempo destinado à paragem das linhas de produção para processo de *setup* foi de 5 200 horas. Internamente, a empresa quantifica o custo das linhas paradas em 50 euros por hora. Uma redução de 33% a este tempo significaria a alocação de aproximadamente 1 700 horas a atividade produtiva, reduzindo o custo de linha parada em 84 600 euros no ano de 2018.

6 Conclusão

Num contexto em que a agilidade de produção é cada vez mais um fator diferenciador entre concorrentes, as empresas recorrem com mais frequência a ferramentas e filosofias que permitam exercer a sua atividade de um modo mais eficiente e eficaz.

Na sequência desta necessidade, foram levados a cabo dois projetos na empresa cliente: um para a digitalização da informação, e outro para a redução dos tempos de mudança de ferramenta.

O projeto de digitalização foi realizado através da implementação de uma plataforma que permitiu a alimentação automática de indicadores de *performance* e, consequentemente, de painéis de gestão frequentemente atualizados, com informação crítica para a gestão do negócio. Esta automatização foi possível através da recolha e leitura de dados de diferentes fontes, nomeadamente equipamentos das linhas de produção e bases de dados.

Para além da componente operacional, foram também configuradas funcionalidades para melhorar a comunicação entre departamentos, com o objetivo de otimizar o processo de resolução de problemas no chão de fábrica. Para o acompanhamento da melhoria nesta área, foram definidos indicadores de *performance* automáticos através da plataforma.

Com toda a estrutura de informação disponibilizada pela plataforma, promoveu-se ainda a filosofia de melhoria contínua baseada no ciclo PDCA, que permite a gestão de ações e projetos de melhoria. Com a identificação de um problema através dos indicadores disponibilizados, é possível a criação de uma ação ou projeto de melhoria com o objetivo de melhorar os indicadores em questão.

A visualização no chão de fábrica de diversos indicadores de *performance*, trouxe um aumento da motivação dos colaboradores. Também começaram a ser realizados projetos de melhoria contínua na área de produção da empresa cliente. Para além disso, existe maior consciencialização por parte de cada departamento na resolução de problemas que surjam sob a sua responsabilidade

Foram encontrados dois grandes obstáculos no desenvolvimento deste projeto. O primeiro surgiu, numa fase inicial, durante o levantamento das fontes de informação disponíveis e a ligação às mesmas. Este processo consumiu grande parte do tempo, pois existiu uma grande dificuldade por parte dos intervenientes no processo em distinguir entre a informação que era possível extrair dos equipamentos da informação que estes mostravam na interface durante a produção. Depois de ser dado acesso à informação, e esta estar disponível, foram contactadas as marcas dos equipamentos existentes, a fim de entender a informação que estes disponibilizavam. Este contacto com as marcas foi muito importante, uma vez que a empresa cliente não tinha conhecimento do tipo de informação que estava a ser armazenada.

Como perspetiva de trabalho futuro, a ligação aos equipamentos de controlo de qualidade das linhas de produção, possibilitaria o cálculo do indicador de qualidade. Este indicador é a parcela em falta para que seja possível o cálculo do OEE da área de produção.

O segundo projeto que foi desenvolvido na empresa cliente, foi a aplicação da metodologia SMED com o objetivo de minimizar o tempo de *setup* dos equipamentos da área de produção. Após a externalização e paralelização de tarefas, em conjunto com algumas boas práticas e ferramentas de planeamento de produção, foi possível reduzir o tempo médio de *setup* em 33%, o que representaria uma poupança em custos de linha parada de 84 600 euros no ano de 2018.

A análise das atividades do processo de mudança de ferramenta constituiu uma dificuldade na realização deste projeto por dois motivos: a extensa duração deste processo, e o facto de este não seguir uma forma estruturada e padronizada. Com processos de *setup* com duração entre 2

e 11 horas, não foi possível analisar, no tempo disponível, uma amostra representativa da duração dos mesmos.

Como projetos futuros, o planeamento de produção surge com uma prioridade, para que se evite que mais do que uma linha de produção esteja parada ao mesmo tempo por motivos de *setup*.

Referências

- Albuquerque, Ananélia Cláudia Rodrigues de Queiroz. 2015. “Avaliação Da Aplicação Do Ciclo PDCA Na Tomada de Decisão Em Processos Industriais.”
- Almomani, Mohammed Ali, Mohammed Aladeemy, Abdelhakim Abdelhadi, and Ahmad Mumani. 2013. “A Proposed Approach for Setup Time Reduction through Integrating Conventional SMED Method with Multiple Criteria Decision-Making Techniques.” *Computers and Industrial Engineering* 66 (2): 461–69.
- American Production and Inventory Control Society. 1998. *APICS Dictionary*. Edited by James F. Cox and John H. Blackstone. 9th ed. Falls Church, VA: Amer Production & Inventory.
- BDO. 2019. “Industry 4.0: Redefinig How Mid-Market Manufacturesrs Derive and Deliver Value.”
- Bhamu, Jaiprakash, and Kuldip Sing Sangwan. 2014. “Lean Manufacturing: Literature Review and Research Issues.” *International Journal of Operations & Production Management* 34 (7): 876–940.
- Borlido, José David Araújo. 2017. “Indústria 4.0 – Aplicação a Sistemas de Manutenção.”
- Bourne, Mike, Mike Kennerley, and Monica Franco-Santos. 2005. “Managing through Measures: A Study of Impact on Performance.” *Journal of Manufacturing Technology Management* 16 (4): 373–95.
- Bratukhin, Aleksey, and Thilo Sauter. 2011. “Functional Analysis of Manufacturing Execution System Distribution.” *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 7 (4): 740–49.
- Cachon, Gerard, and Christian Terwiesch. 2009. *Matching Supply with Demand*. Edição Int. Sigapure: McGraw-Hill.
- Caffyn, Sarah. 1999. “Development of a Continuous Improvement Self-assessment Tool.” *International Journal of Operations & Production Management* 19 (11): 1138–53.
- Chae, Bongsug. 2009. “Developing Key Performance Indicators for Supply Chain: An Industry Perspective.” *Supply Chain Management* 14 (6): 422–28.
- Dengiz, Berna, and Kunter S Akbay. 2000. “Computer Simulation of a PCB Production Line: Metamodeling Approach.” *International Journal of Production Economics* 63 (2): 195–205.
- Deros, B M, D Mohamad, M H M Idris, M N A Rahman, J A Ghani, and A R Ismail. 2011. “Setup Time Reduction in an Automotive Battery Assembly Line.” *International Journal OfSystems Applications, Engineering & Development* 5 (5).
- Esa, Mashitah Mohamed, Nor Azian Abdul Rahman, and Maizurah Jamaludin. 2015. “Reducing High Setup Time in Assembly Line: A Case Study of Automotive Manufacturing Company in Malaysia.” *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 211: 215–20.
- ESSS. 2017. “Os Pilares Da Indústria 4.0.” 2017, último acesso: abril de 2019. <https://www.esss.co/blog/os-pilares-da-industria-4-0/>.
- Feng, Chang-Xue (Jack), Andrew Kusiak, and Chun-Che Huang. 1997. “Scheduling Models for Setup Reduction.” *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 119 (4A): 571.
- Frysak, Josef, Claudia Kaar, and Christian Stary. 2018. “Benefits and Pitfalls Applying RAMI4.0.” *IEEE Industrial Cyber-Physical Systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Graves, R., J. M Konopka, and R.J. Milne. 1995. “Literature Review of Material Flow Control

- Mechanisms.” *Production Planning and Control* 6 (5): 395–403.
- Heini, Othmar. 2007. “Performance Measurements Designing a Generic Measure and Performance Indicator Model.” Universidade de Genebra - Faculdade de Economia e Ciências Sociais.
- i-SCOOP. 2016. “What Is the Industrial Internet of Things (IIoT)?” 2016, último acesso: março de 2019. <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/industrial-internet-things-iiot/>.
- Jacobs, F. Robert, and Richard B. Chase. 2011. *Operations and Supply Chain Management*. Edited by Global Edition. 14th ed. McGraw-Hill Education.
- Kaplan, R.S., and D.P. Norton. 1996. “Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System.” *Harvard Business Review*, 75–85.
- Keegan, D.P., R.G. Eiler, and C.R. Jones. 1989. “Are Your Performance Measures Obsolete?” *Management Accounting*, 45–50.
- Li, S.G., and Y.L. Rong. 2009. “The Reliable Design of One-Piece Flow Production System Using Fuzzy Ant Colony Optimization.” *Computers & Operations Research* 36 (5): 1656–63.
- Liker, Jeffrey K. 2004. *The Toyota Way*. Edited by McGraw-Hill. New York, NY.
- Maynard’s Industrial Engineering Handbook*. 2004. McGraw-Hill.
- Melton, T. 2005. “The Benefits of Lean Manufacturing.” *Chemical Engineering Research and Design* 83 (6): 662–73.
- Moen, Ronald, and Clifford Norman. 2009. “Evolution of the PDCA Cycle.”
- Pereira, Ron. 2009. “The Seven Wastes.” *Six Sigma Magazine* 5 (5).
- Pires, Carla João Matos. 2014. “Aplicação Do Programa 5S Visando a Melhoria Contínua Da Qualidade.” Universidade de Aveiro.
- Realyvásquez-Vargas, Arturo, Karina Arredondo-Soto, Teresa Carrillo-Gutiérrez, and Gustavo Ravelo. 2018. “Applying the Plan-Do-Check-Act (PDCA) Cycle to Reduce the Defects in the Manufacturing Industry. A Case Study.” *Applied Sciences* 8 (11): 2181.
- Ren, Meng-meng, Ning Ling, Xia Wei, and Shu Hai Fan. 2017. “The Application of PDCA Cycle Management in Project Management.” In *International Conference on Computer Science and Applications*. IEEE.
- Ribeiro, Joaquim Meireles. 2017. “O Conceito Da Indústria 4.0 Na Confeção: Análise e Implementação.”
- Rojko, Andreja. 2017. “Industry 4.0 Concept: Background and Overview.” *IJIM* 11 (5).
- Rother, M., and J. Shook. 1999. *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. Edited by Jim Womack. Brookline, MA: Lean Enterprise Institute.
- Rubman, Michael, Markus Lorenz, Philipp Gerbert, Manuela Waldner, Jan Justus, Pascal Engel, and Michael Harnisch. 2015. “Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.” The Boston Consulting Group BCG.
- Sangpikul, Aswin. 2017. “Implementing Academic Service Learning and the PDCA Cycle in a Marketing Course: Contributions to Three Beneficiaries.” *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education* 21 (November): 83–87.
- Shingo, Shigeo. 1985. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press.
- Siemens Portugal. 2011. “Conceito de Indústria 4.0.”

- Silva, Adriana S., Carla F. Medeiros, and Raimundo Kennedy Vieira. 2017. “Cleaner Production and PDCA Cycle: Practical Application for Reducing the Cans Loss Index in a Beverage Company.” *Journal of Cleaner Production* 150 (May): 324–38.
- Sniderman, Brenna, Monika Mahto, and Mark J. Cotteleer. 2016. “Industry 4.0 and Ecosystems Manufacturing.” Deloitte University Press.
- Stock, T., and G. Seliger. 2016. “Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0.” In *13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use Opportunities*, 40:536–41. Elsevier B.V.
- “Toyota Production System.” 2017, último acesso: abril 2019. <https://toyota-forklifts.co.uk/about-toyota/about-us/toyota-production-system/>.
- Trovinger, Sheri Coble, and Roger E Bohn. 2005. “Setup Time Reduction for Electronics Assembly: Combining Simple (SMED) and IT-Based Methods.” *Production and Operations Management* 14 (2): 205–17.
- Virta, Jouko, Ilkka Seilonen, Antti Tuomi, and Kari Koskinen. 2010. “SOA-Based Integration for Batch Process Management with OPC UA and ISA-88/95.” *International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, 1–8.
- Wilson, Lonnie. 2010. “How to Implement Lean Manufacturing.” In *How to Implement Lean Manufacturing*, edited by Inc The McGraw-Hill Companies, 9–12.
- Yang, Yang, Zhongqiu Li, and Lina Shi. 2016. “Continuous Improvement Actions: Moderating Effects of the Consciousness of Employees.” In *International Conference on Industrial Economics System and Industrial Security Engineering*, 1–5. IEEE.

ANEXO A: Equipamentos das linhas de produção



Figura 16: Linha de produção – Equipamento de abastecimento



Figura 17: Linha de produção – Impressora



Figura 18: Linha de produção – Equipamento de inspeção de pasta



Figura 19: Linha de produção – Equipamento de montagem



Figura 20: Linha de produção – Equipamento de inspeção de montagem



Figura 21: Linha de produção – Forno



Figura 22: Linha de produção – Equipamento de recolha

ANEXO B: Configuração do módulo KPIs

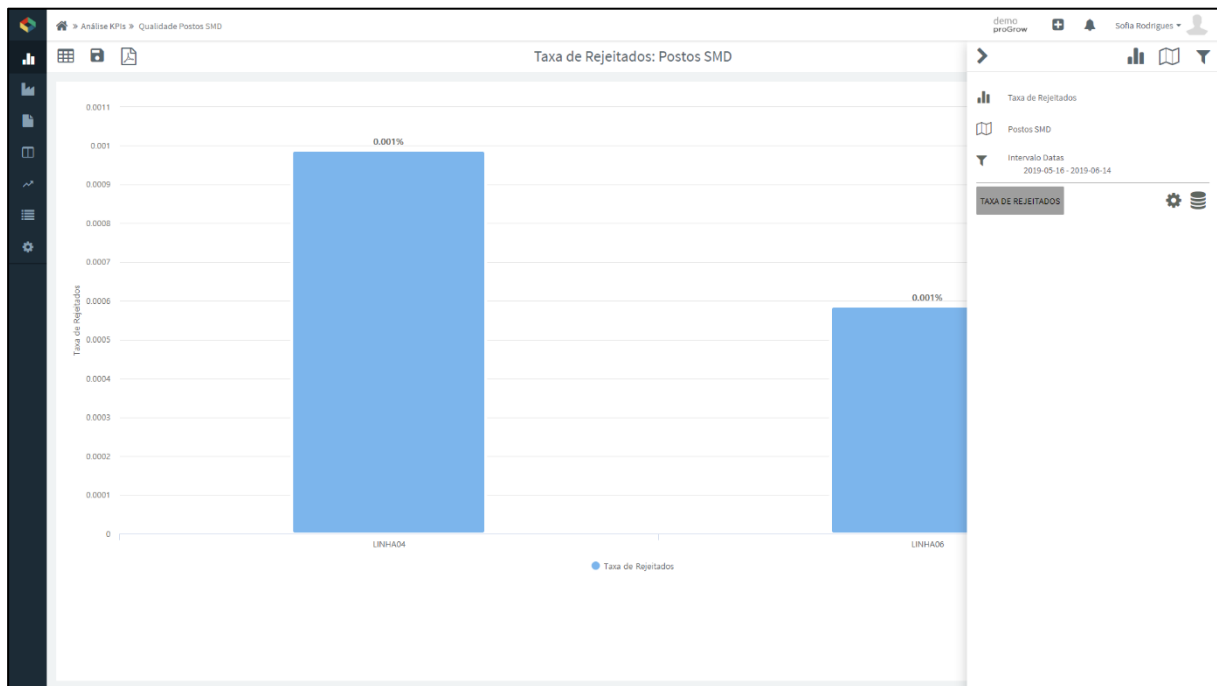


Figura 23: Configuração do módulo KPIs – Qualidade

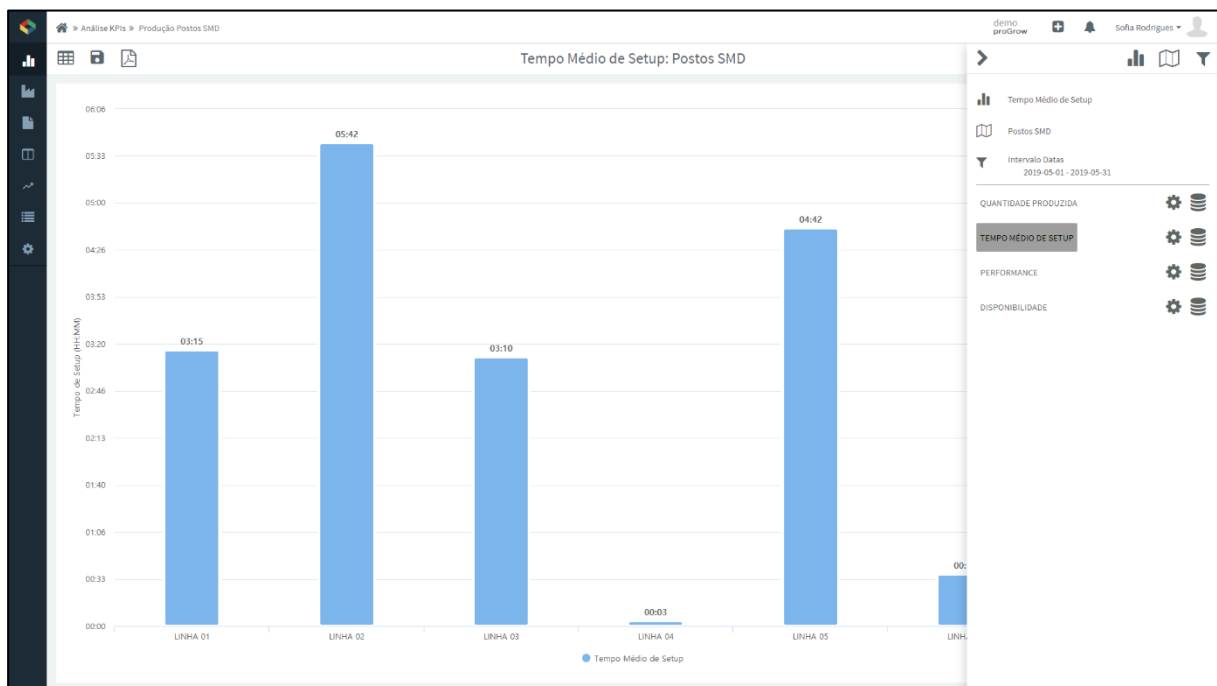


Figura 24: Configuração do módulo KPIs – Produção

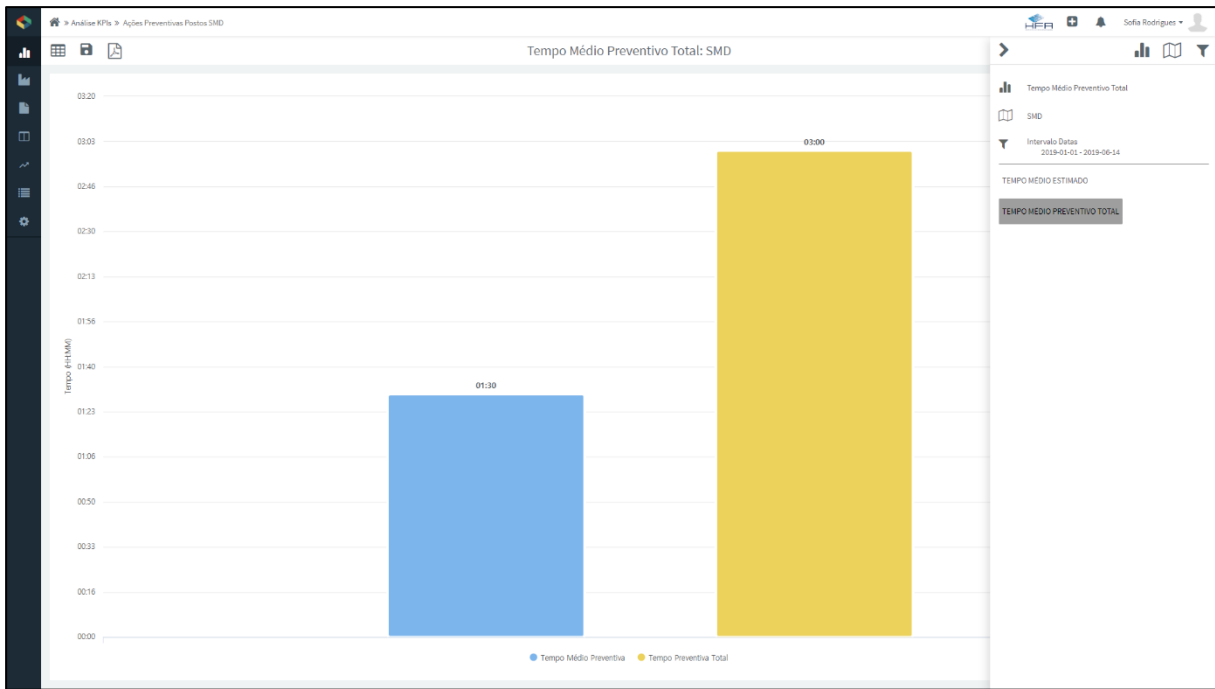


Figura 25: Configuração do módulo KPIs – Ações Preventivas e de Limpeza

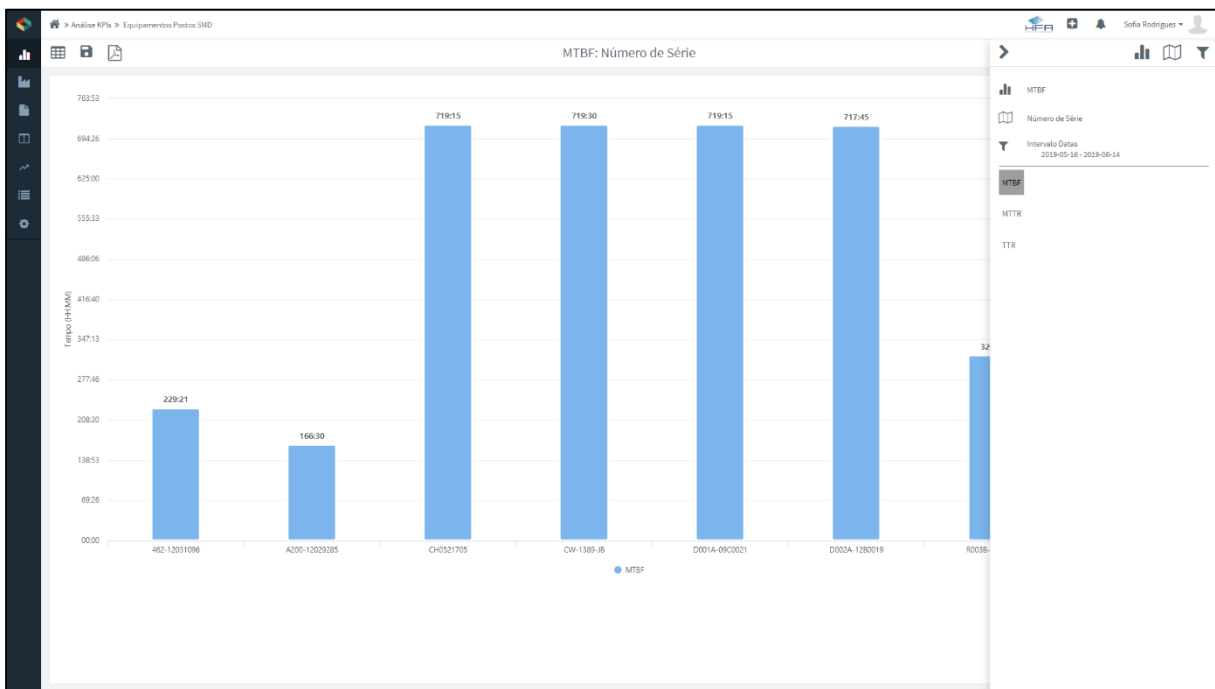


Figura 26: Configuração do módulo KPIs – Manutenção de Equipamentos

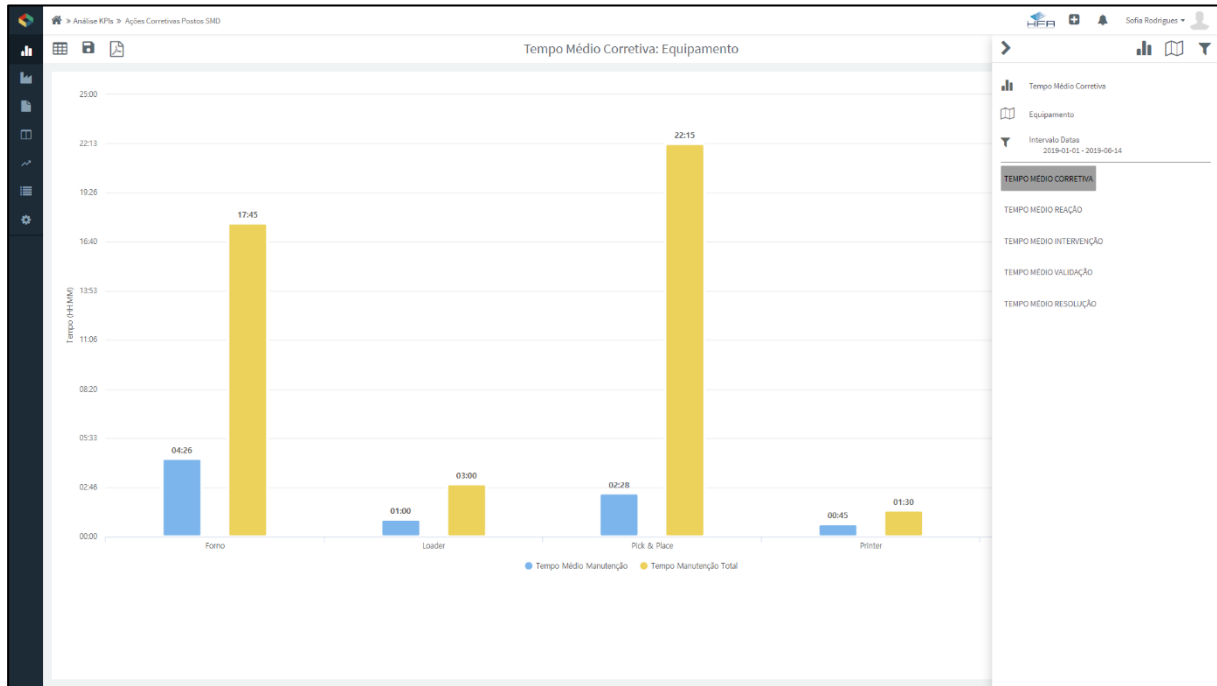


Figura 27: Configuração do módulo KPIs – Ações Corretivas

ANEXO C: Configuração do módulo Relatório

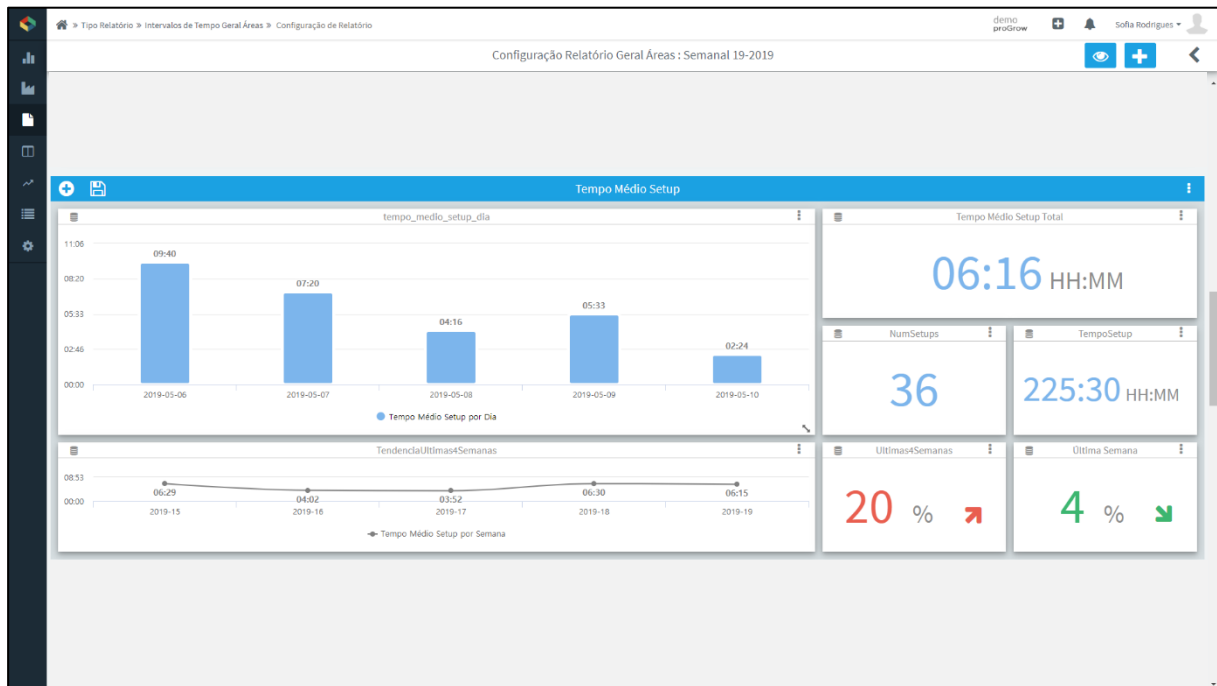


Figura 28: Configuração do módulo Relatórios

ANEXO D: Configuração do módulo *Shopfloor*



Figura 29: Configuração do módulo KPIs – Manutenção de Equipamentos

ANEXO E: Configuração do módulo Tarefas

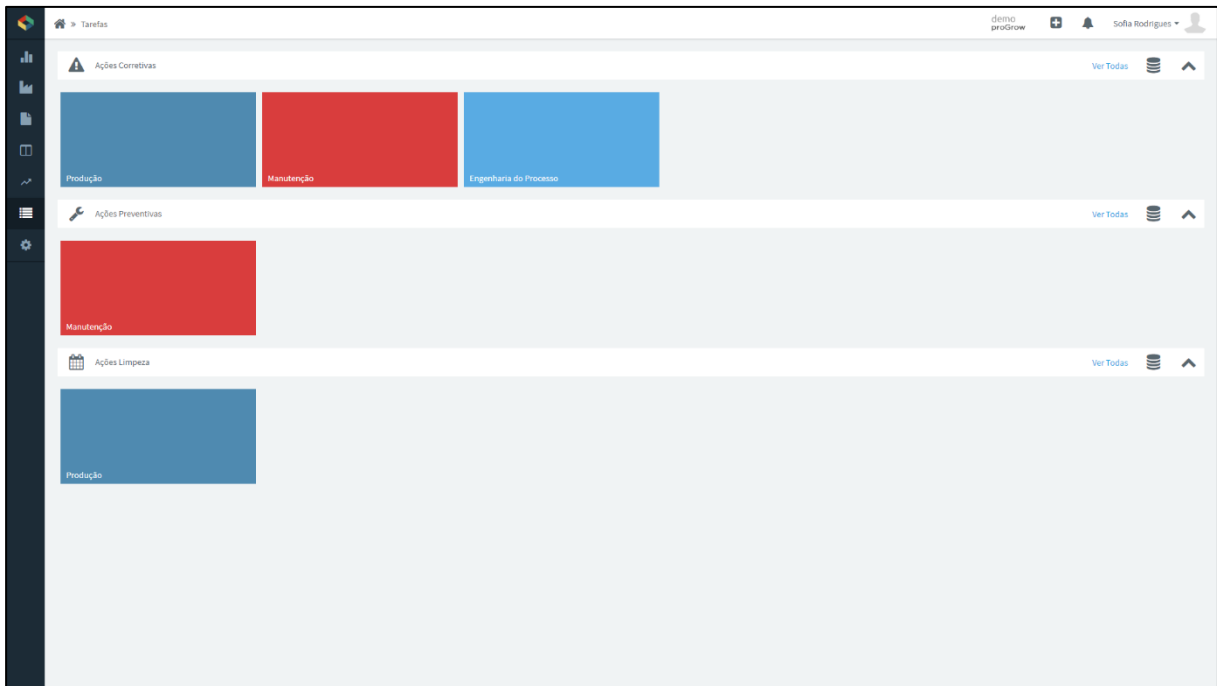


Figura 30: Configuração do módulo Tarefas – Menu

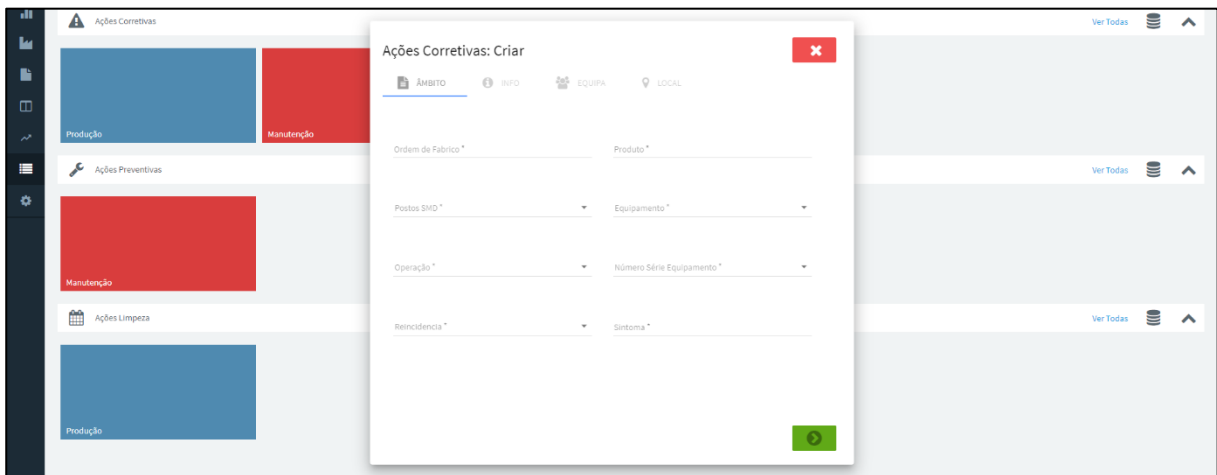


Figura 31: Configuração do módulo Tarefas – Ações Corretivas

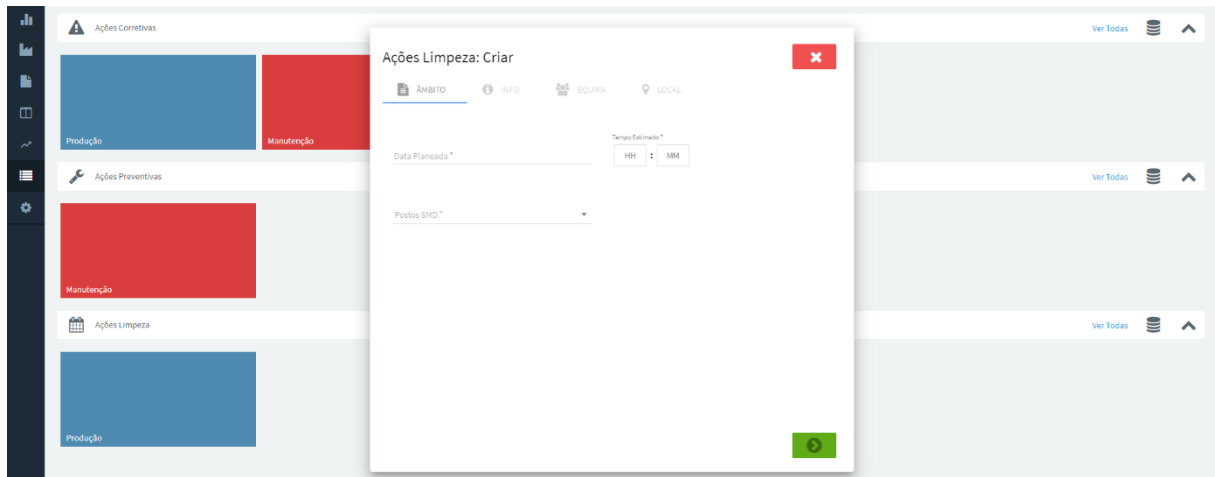


Figura 32: Configuração do módulo Tarefas – Ações de Limpeza

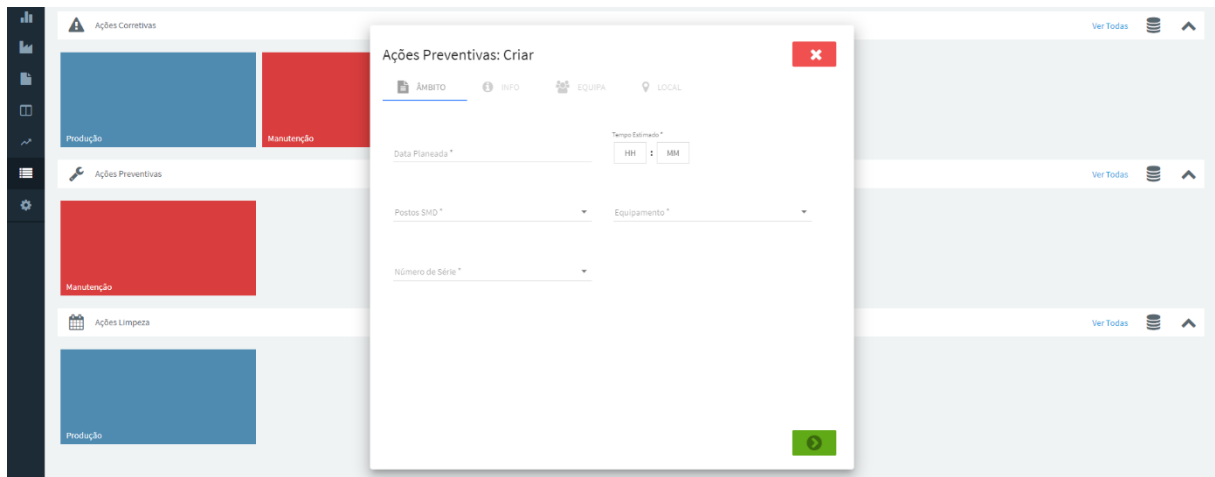


Figura 33: Configuração do módulo Tarefas – Ações Preventivas