



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Alexandre Luís Moreira Lucas

DIGITAL TWINS @ FACTORIES OF THE FUTURE

Dissertação no âmbito do Mestrado em Design e Multimédia, orientada pelo Professor Doutor João Barata e apresentada ao Departamento de Engenharia Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Julho 2023



DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA INFORMÁTICA
FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Alexandre Luís Moreira Lucas

DIGITAL TWINS @ FACTORIES OF THE FUTURE

Dissertação no âmbito do Mestrado em Design e Multimédia, orientada pelo
Professor Doutor João Barata e apresentada ao Departamento de Engenharia
Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de
Coimbra

Julho 2023

Agradecimentos

Queria agradecer aos meus amigos, que me apoiaram durante os meus anos de faculdade. Obrigado pelo apoio, pela paciência e por todas as pausas para café que partilhámos e que iremos continuar a partilhar no futuro.

À Ubiwhere e aos seus colaboradores pela oportunidade. Quero também agradecer ao André Duarte que foi aquele que mais me acompanhou e à equipa de *front-end* pelas reuniões semanais, que foram essenciais para este projeto.

Ao professor João Barata, que me apoiou e guiou ao longo deste ano.

À Mafalda, obrigado por estares sempre presente, por me aturares todos os dias e por me dares o teu apoio incondicional.

Por fim, à minha família, um obrigado por toda a compreensão e apoio ao longo não só deste ano, mas de todo o meu percurso académico.

Resumo

O atual desenvolvimento tecnológico levou ao surgimento de uma vasta gama de sistemas autónomos e sistemas de informação que são concebidos para automatizar várias tarefas e processos. Começando por um sistema de informação que processa e gere dados e juntando-os a um sistema autónomo que analisa esses dados criando previsões, melhorando a eficiência e a fiabilidade. Por sua vez, permitem proporcionar às organizações uma série de benefícios facilitadores do quotidiano de uma empresa ou da vida humana, constata-se esse impacto tecnológico na vida de todas as organizações. Um *digital twin* é uma representação virtual de um objeto físico, sistema ou processo que modela e simula o comportamento e o desempenho do seu equivalente no mundo real. A integração de um *digital twin* num ambiente fabril desempenha um papel crucial: identifica estrangulamentos, otimiza o fluxo de materiais e melhora a eficiência operacional global. Nesse sentido, este documento pretende retratar o desenvolvimento de uma prova de conceito de uma plataforma *web* de gestão que viabiliza a monitorização de encomendas, que deve ser perspectivada como um *digital twin* de uma fábrica. Esta plataforma tem a possibilidade de intervir na fase operacional da fábrica, tendo a capacidade de representar a vista tabular do chão da fábrica, a sua performance de produção, tanto em cada secção como na generalidade da fábrica. Tem também a possibilidade de gerir e prever a utilização da matéria-prima e acesso a todas as etapas de produção de cada encomenda, tal como a possibilidade de efetuar o registo do seu progresso e qualidade. Por último, também é possível que calcule previsões futuras em termos de tempo total de fabrico, consumo de recursos e possíveis falhas ou evitando paragens futuras. Assim, e como resultado surge uma prova de conceito representada através de uma plataforma *web* capaz de simular e gerir o acompanhamento e a monitorização de uma encomenda numa fábrica.

Palavras-Chave

digital twin, aplicação industrial, fábrica, otimização de sistemas, interação

Abstract

Current technological development has led to the emergence of a wide range of autonomous systems and information systems that are designed to automate various tasks and processes. Starting with an information system that processes and manages data, and coupled with an autonomous system that analyzes that data, creating predictions, improving efficiency and reliability. In turn, they enable organizations to provide a number of benefits that facilitate the daily life of a business or human life, see this technological impact on the life of every organization. A digital twin is a virtual representation of a physical object, system, or process that models and simulates the behavior and performance of its real-world equivalent. The integration of a digital twin in a manufacturing environment plays a crucial role: it identifies bottlenecks, optimizes material flow, and improves overall operational efficiency. In this sense, this paper intends to portray the development of a proof of concept of a web platform management interface that enables order monitoring, which should be envisioned as a digital twin of a factory. This platform has the possibility to intervene in the operational phase of the factory, having the ability to represent the tabular view of the factory floor, and its production performance, both in each section and in the factory as a whole. It also has the ability to manage and forecast raw material usage and access to all the production stages of each order, as well as the ability to log its progress and quality. Finally, it is also possible for you to calculate future forecasts in terms of total manufacturing time, resource consumption, and possible failures or avoid future stoppages. The result is a proof of concept represented by a web platform capable of simulating and managing the tracking and monitoring of an order in a factory.

Keywords

digital twin, industrial application, factory, system optimization, interaction

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Ubiwhere	2
1.2	Motivações	2
1.3	Âmbito	2
1.4	Objetivos	3
1.5	Estrutura do documento	3
2	Estado da arte	5
2.1	<i>Digital twin</i>	5
2.1.1	Contexto histórico	5
2.1.2	Conceito teórico	6
2.2	<i>Digital twin</i> em fábricas	8
2.3	Tecnologias-chave para <i>digital twin</i>	9
2.3.1	Tecnologias relacionadas com dados	10
2.3.2	Tecnologias de modelação e alta-fidelidade	11
2.3.3	Tecnologias de simulação baseadas em modelos	11
2.4	Visualização da informação	12
2.5	Aplicações industriais de <i>digital twin</i> e análise	13
2.5.1	Predix da GE Digital	13
2.5.2	3DEXPERIENCE <i>platform</i> da Dassault Systèmes	14
2.5.3	MapsIndoors <i>platform</i> da MapsPeople	15
2.5.4	AWS IoT <i>TwinMaker Mixer Alarm Dashboard</i>	16
2.6	Síntese do estado da arte	17
3	Metodologia e plano de trabalho	19
3.1	Metodologia	19
3.1.1	Primeiro semestre	20
3.1.2	Segundo semestre	21
4	Proposta	23
4.1	Requisitos	23
4.2	Funcionalidades	24
4.3	<i>Personas</i>	25

4.4	Conclusões	27
5	Desgin da interface	29
5.1	Mapa de navegação	29
5.2	Protótipos	32
5.2.1	<i>Wireframes</i>	32
5.3	Análise de <i>guidelines</i>	38
5.3.1	Bootstrap	39
5.3.2	<i>Layout</i> e grelha	39
5.3.3	Cor	40
5.3.4	Tipografia	42
5.3.5	Iconografia	43
5.4	Alta-fidelidade	43
5.5	Testes de usabilidade	49
5.5.1	Contexto	49
5.5.2	Objetivos	50
5.5.3	Estratégia	50
5.5.4	Participantes	50
5.5.5	Guião	51
5.5.6	Tarefas	52
5.6	Resultados	53
5.6.1	Análise de resultados	58
6	Implementação	59
6.1	Tecnologias utilizadas	59
6.2	Processo de implementação	60
6.2.1	Estrutura do código	60
6.2.2	Tema	61
6.2.3	Navegação da interface	62
6.2.4	<i>Layout</i>	64
6.2.5	<i>MockData</i>	65
6.3	<i>Dashboard</i>	67
6.3.1	Visão do chão da fábrica	67
6.3.2	Análise de produção da fábrica	68
6.4	Encomendas, qualidade e matéria prima	69
6.4.1	Gestão do conteúdo da plataforma	69
6.4.2	Visualização individual da encomenda	70
6.4.3	Visualização individual do relatório	71
6.4.4	Visualização da matéria prima	71
6.4.5	Registo de itens na plataforma	72
6.4.6	Reporte de erros	73
6.4.7	Dispositivos	73

6.5	Análise da implementação	73
7	Conclusão	75
7.1	Trabalho realizado	75
7.2	Resultados relevantes	76
7.3	Trabalho futuro	77
	Referências	79

Acrónimos

AI *Artificial Intelligence.*

API *Application Programming Interface.*

DSR *Design Science Research.*

DTA *Digital Twin Aggregate.*

DTE *Digital Twin Environment.*

DTI *Digital Twin Instance.*

DTP *Digital Twin Prototype.*

EDT *Experimentable Digital Twin.*

IOT *Internet of Things.*

KPI *Key Performance Indicator.*

NASA *National Aeronautics and Space Administration.*

PLM *Product Lifecycle Management.*

RFID *Radio-Frequency Identification.*

SDK *Software Development Kits.*

SVG *Scalable Vector Graphics.*

Lista de Figuras

1	Modelo conceptual para PLM [Grieves and Vickers, 2016]	6
2	Estrutura <i>digital twin</i> para a automatização da fábrica [Bao et al., 2019]	9
3	Tecnologias-chave para <i>digital twin</i> [Liu et al., 2021]	10
4	Plataforma industrial [Digital, 2017]	14
5	plataforma 3DEXPERIENCE [Systèmes, 2022]	15
6	MapsIndoors <i>platform</i> [MapsPeople, 2022]	16
7	<i>Dashboard</i> da Amazon web services [web services, n.d.]	17
8	<i>Design Science Research</i> [Peffer et al., 2007]	19
9	Diagrama de Gantt - 1º semestre	21
10	Diagrama de Gantt - 2º semestre	22
11	Mapa de navegação - <i>Dashboard</i>	30
12	Mapa de navegação - Ordem de produção	30
13	Mapa de navegação - Secção	31
14	Mapa de navegação - Qualidade	31
15	Mapa de navegação - Recursos	31
16	Mapa de navegação - Plataforma externa	31
17	<i>Wireframe</i> da <i>Dashboard</i> (vista do chão da fábrica)	33
18	<i>Wireframe</i> da <i>Dashboard</i> (análises de produção)	33
19	<i>Wireframe</i> da tabela de registos de produção da fábrica	34
20	<i>Wireframe</i> de registo de encomenda	35
21	<i>Wireframe</i> de visualização detalhada de dados da encomenda	36
22	<i>Wireframe</i> de visualização da tabela de relatórios de qualidade	37
23	<i>Wireframe</i> de visualização de um relatório específico	37
24	<i>Wireframe</i> de visualização de dados de cada secção	38
25	<i>Wireframe</i> de visualização dos materiais registados	38
26	Grelha utilizada para a criação da interface	40
27	Paleta de cores principal e etiquetas	41
28	Família tipográfica Inter	42
29	Alguns ícones utilizados na interface	43
30	<i>Mockup</i> ecrã <i>dashboard</i>	44

31	<i>Mockup</i> ecrã produção	45
32	<i>Mockup</i> ecrã encomenda individual	45
33	<i>Mockup</i> ecrã registar encomenda	46
34	<i>Mockup</i> ecrã registar encomenda	47
35	<i>Mockup</i> ecrã registar relatório	48
36	<i>Mockup</i> ecrã secção	48
37	<i>Mockup</i> ecrã recursos	49
38	Resposta à pergunta 1 do questionário	53
39	Resposta à pergunta 2 do questionário	54
40	Resposta à pergunta 4 do questionário	55
41	Resposta à pergunta 5 do questionário	55
42	Resposta à pergunta 6 do questionário	56
43	Resposta à pergunta 7 do questionário	56
44	Resposta à pergunta 8 do questionário	57
45	Resposta à pergunta 9 do questionário	57
46	Esquema das tecnologias utilizadas.	59
47	Exemplo de utilização de <i>styled-components</i>	61
48	Organização do código	61
49	Visualização dos modos de cor e tipografia	62
50	Visualização dos modos de cor e tipografia	64
51	Exemplo de utilização da grelha e o componente <i>box</i>	65
52	Estrutura de dados de um relatório	65
53	Definição das colunas da tabela de relatórios	66
54	Renderização da tabela de relatórios	66
55	Visão topo das secções da fábrica	67
56	Tab da secção 3 no modo claro	68
57	Análise de encomendas concluídas	69
58	Tabela de todas as encomendas registadas	70
59	Avanço da encomenda registada	71
60	Visualização do ecrã matéria prima	72
61	Ecrã de registar encomenda	73

Capítulo 1

Introdução

Na procura de eficiência, produtividade e sustentabilidade na industrialização moderna, surgiu um conceito revolucionário conhecido por *digital twin*. Um *digital twin* é uma representação virtual de um objeto físico, de um sistema ou de um processo que modela e simula o comportamento e o desempenho do seu equivalente no mundo real [Grieves and Vickers, 2016]. Ao integrar o *digital twin* nas operações da fábrica, os fabricantes podem otimizar e potenciar vários aspetos do processo de fabrico.

A implementação da tecnologia *digital twin* em ambientes de fabrico resulta sempre em vantagens significativas. Permite identificar estrangulamentos no processo produtivo, otimizar o fluxo de materiais e melhorando a eficiência operacional global. Desde logo porque permite aos fabricantes monitorizar e prever o desempenho e o comportamento dos equipamentos e sistemas da fábrica, facilitando a manutenção e as reparações proativas para evitar interrupções operacionais. Sem a integração de *digital twins*, as fábricas enfrentam frequentemente desafios relacionados com processos ineficientes, custos de manutenção elevados, tempo de paragem da produção devido a erros ou escassez de material e perspetiva limitada dos estrangulamentos operacionais [Liu et al., 2021].

A criação de um *digital twin* envolve o aproveitamento de várias tecnologias, incluindo sensores, sistemas de aquisição e gestão de dados, software de simulação e modelação, computação em nuvem, inteligência artificial e aprendizagem automática. Estas tecnologias trabalham em harmonia para criar uma representação virtual dos ativos físicos, sistemas ou processos, permitindo a monitorização, análise e otimização das operações da fábrica em tempo real. [Bao et al., 2019].

No seguimento da proposta de trabalho apresentada pela empresa Ubiwhere no plano de Estágios do Mestrado em Design e Multimédia da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, surge o estudo, planeamento e desenvolvimento de uma plataforma *web*, que represente um *front-office* de gestão, acompanhamento e monitorização de encomendas de uma fábrica, e que deve ser perspetivada como um *digital twin* de uma fábrica, descrita nesta dissertação.

1.1 Ubiwhere

A Ubiwhere é uma empresa fundada em 2007, que tem como principal objetivo a inovação tecnológica. Contando com cerca de cem colaboradores de diversas áreas, que contribuem para a investigação de desenvolvimento de novas tecnologias para responder às necessidades de hoje, em três grandes áreas: Telecomunicações, *Smart Cities* e *Research Innovation*.

É também responsável pelo desenvolvimento de novos produtos na área da mobilidade, aplicações móveis, soluções de energia, entre outras. Atualmente a empresa encontra-se sediada em Aveiro, tendo escritórios em Coimbra (Instituto Pedro Nunes — Ubiwhere’s Innovation Lab). Mantém simultaneamente forte contacto com algumas das universidades mais prestigiadas do país como a Universidade de Coimbra, Universidade de Aveiro e Universidade do Porto.

1.2 Motivações

Tendo em conta a evolução exponencial das tecnologias de informação e do processo de digitalização abordado na introdução do capítulo, é claramente vantajoso que qualquer tipo de fábrica acompanhe esse processo. Com o crescimento da indústria é um dado factual que as fábricas e respetivos processos de produção têm de se tornar mais sustentáveis e rentáveis, só sendo isso possível através de nova tecnologia e de dispositivos de leitura de dados.

A produção em grande escala requer uma monitorização inteligente para garantir uma execução eficaz, manter os padrões de qualidade e minimizar o impacto ambiental. A implementação da tecnologia digital twin pode melhorar significativamente estas capacidades.

Sendo que um dos principais focos de preocupação da Ubiwhere são as *smart cities*, este projeto adequa-se à sua linha de *digital twins*, podendo integrar esta potencialidade no contexto fabril. Para além disso, através da avaliação das plataformas referenciadas, foram identificadas algumas falhas de usabilidade. Enquanto sistema de informação, existe a efetiva necessidade de melhorar a interação neste tipo de produtos. A resposta a este desafio é parte integrante da motivação desta dissertação.

A título pessoal, a motivação para a escolha desta dissertação nasce da vontade de trabalhar num projeto em contexto real de trabalho, com problemas identificados e efetivos e com o objetivo de contribuir para algo concreto. Para além disso, torna-se possível desenvolver um projeto que apresenta a incorporação de duas áreas essenciais que se assumem como sendo de interesse pessoal em trabalhar, *design* de interface e a respetiva implementação de *front-end*, em que engloba todas as fases, desde o seu estudo, criação, protipagem e desenvolvimento.

1.3 Âmbito

Esta dissertação insere-se num contexto académico com vista à conclusão do Mestrado em Design e Multimédia, no Departamento de Engenharia Informática

da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra e dentro do âmbito empresarial, na empresa Ubiwhere. O projeto tem como foco principal as áreas de *design* e tecnologia, através do desenvolvimento de uma plataforma *web*, que represente um *front-office* de gestão, acompanhamento e monitorização de encomendas de uma fábrica, e que deve ser perspetivada como um *digital twin* de uma fábrica.

Para o bom desenvolvimento e compreensão dos objetivos deste projeto, é necessário uma longa e significativa investigação às temáticas envolvidas, de modo a explorar os potenciais benefícios e desafios da aplicação da tecnologia de *digital twins* em operações industriais e de fabrico, com enfoque na forma como esta pode melhorar o desempenho, produtividade e eficácia global. Vão ter-se em consideração também os benefícios e potenciais limitações decorrentes da utilização da tecnologia de *digital twins* numa perspetiva centrada no ser humano, visto que um dos objetivos deste projeto é criar um melhor interação e formas de ação dentro da plataforma. Sendo uma temática extensa, foi importante delimitar o âmbito de ação desta dissertação, tendo em conta os objetivos da empresa e as limitações técnicas e condicionantes de tempo existentes. Apesar de não ter sido explorada nenhuma fábrica especificamente, ficou pré-definido que se trataria de uma fábrica com cinco secções e é assumido que esta unidade está equipada com todos os equipamentos necessários para a obtenção dos dados dispostos na plataforma.

1.4 Objetivos

O objetivo principal deste projeto é desenvolver e implementar uma prova de conceito de uma plataforma *web* que represente um *front-office* de gestão, acompanhamento e monitorização de encomendas de uma fábrica, e que seja vista como um *digital twin* da fábrica.

Alcançar este objetivo através da representação da vista de topo do chão da fábrica com as suas secções e os seus componentes, número de encomendas concluídas, em produção, em espera, finalizadas, condição geral da matéria prima e dados detalhados de cada secção. Tudo isto para conseguir monitorizar em tempo real o nível de produção da fábrica e utilizar estes valores para prever e simular condições futuras de forma a tornar mais sustentável e rentável.

Assim, é importante conceber, do ponto de vista do *design*, uma interface coesa que facilite o registo, procura e consulta de informação de forma clara e objetiva para todo o tipo de utilizadores.

1.5 Estrutura do documento

Esta dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos.

No primeiro capítulo, Introdução, é apresentado o tema da dissertação, uma breve introdução da empresa Ubiwhere, as motivações desta dissertação, o âmbito, e por fim os objetivos do projeto.

No terceiro capítulo, Metodologia e plano de trabalho, é definido a metodolo-

gia a seguir durante o desenvolvimento do projeto, bem como o plano de trabalho até ao final da dissertação.

No quarto capítulo, *Proposta*, é definida a proposta de trabalho para o desenvolvimento da plataforma, onde são abordados os requisitos e criadas funcionalidades que o sistema deve ter. A partir daí são desenhadas *personas* que representam utilizadores fictícios para ajudar a compreender e desenvolver a plataforma.

No quinto capítulo, *Design* da interface, dá-se início à parte mais prática deste projeto. É criado o mapa de navegação e *wireframes* para perceber a distribuição e a visualização da informação da interface. Depois são analisadas *guidelines* do *bootstrap*, sendo um ponto de partida para a definição do universo gráfico da interface, onde são estudados o *layout* e a *grelha*, a cor, a tipografia e os ícones. Com base no universo criado, é desenvolvido o protótipo de alta fidelidade, que posteriormente é submetido a testes de usabilidade para a detenção de erros ou inconsistências antes de avançar a implementação do projeto.

No sexto capítulo, *Implementação*, são descritas não só as funcionalidades implementadas e a arquitetura do sistema, como também as tecnologias utilizadas durante o processo de implementação.

No sétimo e último capítulo, *Conclusão*, é feita uma recapitulação de todo o trabalho efetuado ao longo do projeto e os principais desafios que surgiram. São também destacados os resultados mais relevantes e uma projeção do que pode ser realizado no futuro.

Capítulo 2

Estado da arte

Neste capítulo é realizada uma pesquisa e análise dos temas relacionados com o projeto, com o objetivo de contextualizar e referenciar conceitos importantes para o desenvolvimento desta dissertação.

Numa primeira fase é feita uma investigação sobre o contexto histórico e o conceito teórico do *digital twin*. Seguidamente é estudado o *digital twin* aplicado em fábricas. São exploradas as características, a forma como são processados os dados e o tipo de tecnologias-chave que são utilizadas para tal.

Tendo em conta que se pretende o desenvolvimento de uma interface web, é feita uma investigação sobre visualização da informação e *dashboards*, onde se percebe quais são as melhores práticas no que toca a visualização e fornecimento de dados.

Por fim, é feita uma recolha e análise de produtos semelhantes à interface pretendida, de modo a compreender o que já foi feito, abordagens adotadas e resultados alcançados

2.1 *Digital twin*

Capaz de testar diversos cenários, produtos, processos ou instalações, *digital twin* é um modelo virtual concebido para refletir um objeto físico [Grieves and Vickers, 2016]. Nesta secção é abordado o estudo sobre a tecnologia *digital twin*, iniciando-se pelo contexto histórico, seguido pelo conceito teórico e por fim uma abordagem mais concreta a *digital twin* para fábricas/indústrias.

2.1.1 Contexto histórico

O conceito de *digital twin* pode ser traçado desde os anos 60 com o programa Apollo desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Durante o programa foram construídas duas naves espaciais idênticas, sendo uma delas utilizada para a preparação de voos através de simulações com astronautas. Isto permitiu a recolha de dados sobre o comportamento de voo e cenários potenciais antes da missão.

Desde 2010, a NASA tem vindo a utilizar esta tecnologia nas suas propostas tecnológicas de sustentabilidade da exploração espacial e a indústria aeroespa-

cial foi a principal responsável pelo surgimento do conceito de *digital twin*. Ao longo do tempo, a tecnologia tem sido adaptada a outros sectores tais como a engenharia, a indústria, cuidados de saúde e edifícios.

Em 2002, o Dr. Michael Grieves da Universidade de Michigan apresentou um conceito de *digital twin*, sob o nome "Ideia Conceptual para *Product Lifecycle Management* (PLM)", mostrando uma imagem do conceito de *digital twin*, representado na figura 1, que incluía todos os elementos de um *digital twin*: o espaço virtual e físico, a ligação que permite o intercâmbio de dados e informações, e os subespaços virtuais [Grieves and Vickers, 2016].

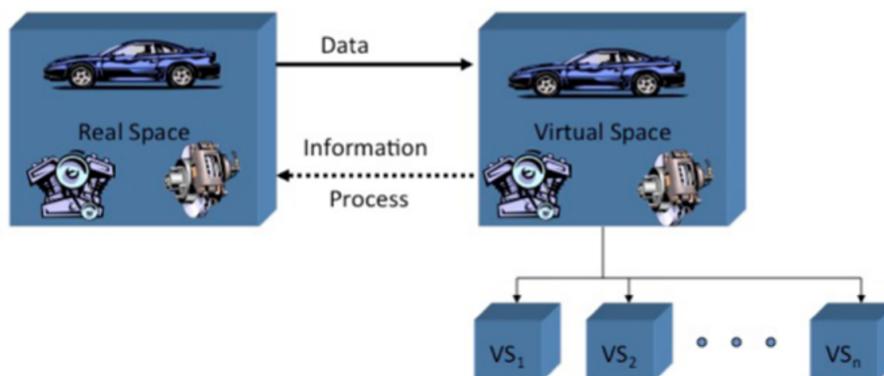


Figura 1: Modelo conceptual para PLM [Grieves and Vickers, 2016]

2.1.2 Conceito teórico

Como mostra a figura 1, apresentada pelo Dr. Michael Grives em 2002, o conceito básico *digital twin* é constituído por três partes principais:

1. O produto físico num espaço real;
2. O produto em formato virtual num ambiente virtual;
3. As ligações de dados e informações que conectam os produtos virtuais e reais.

É definido como:

"Is based on the idea that a digital informational construct about a physical system could be created as an entity on its own. This digital information would be a "twin" of the information that was embedded within the physical system itself and be linked with that physical system through the entire lifecycle of the system" [Grieves and Vickers, 2016].

Segundo Siavash H. Khajavi, investigador da Universidade de Alto na Finlândia, existem dois componentes fundamentais para a criação de um *digital twin*,

sendo o primeiro uma rede de sensores *wireless* que fornece dados em tempo real para poderem ser analisados, e o segundo, ferramentas de análise de dados. Com estas duas componentes percebemos a forma como o sistema físico comunica com o sistema digital, conseguindo monitorizar e compreender melhor todos os objetos físicos, como o autor afirma:

“Digital twins will facilitate the means to monitor, understand, and optimize the functions of all physical entities, living as well as non-living, by enabling the seamless transmission of data between the physical and virtual world” [Khajavi et al., 2019]

Roland Rosen, perito em Modelação e Simulação, reforça a opinião de Grives e Khajavi sobre o conceito de *digital twin* afirmando que com a disponibilização de todos os dados possíveis do produto, componente ou sistema, é possível analisar as fases atuais e as subseqüentes do ciclo de vida. Resume o *digital twin* a uma descrição de um componente, produto ou sistema através de um conjunto de modelos executáveis, bem alinhados, com as seguintes características:

- *The Digital Twin is the linked collection of the relevant digital artefacts including engineering data, operation data and behaviour descriptions via several simulation models. The simulation models making up the Digital Twin are specific for their intended use and apply the suitable fidelity for the problem to be solved;*
- *The Digital Twin evolves along with the real system along the whole life cycle and integrates the currently available knowledge about it;*
- *The Digital Twin is not only used to describe the behaviour but also to derive solutions relevant for the real system.* [Rosen et al., 2018].

Desta forma, entendemos que a autonomia é a característica fundamental para o *digital twin*.

Grievess, propõe dois tipos de *digital twin*, que intervêm de forma diferente, consoante a fase do ciclo de vida que atravessam:

Digital Twin Prototype (DTP) - Este modelo aplica-se à fase de produção que se divide no *design* e no desenvolvimento, descreve o protótipo físico do artefacto. Contém a informação necessária para descrever e produzir a versão física.

Digital Twin Instance (DTI) - refere-se à fase operacional do produto físico, descrevendo-o e ficará ligado durante o seu ciclo de vida ao *digital twin*.

Com estes dois tipos de *digital twins* o autor apresenta-nos dois conceitos onde estes se aplicam. O *Digital Twin Aggregate (DTA)*, que como refere o termo faz uma agregação de todos os DTI's criando uma estrutura computacional que tem acesso a estes DTI's. O *Digital Twin Environment (DTE)* tratando-se de um ambiente físico para operar o *digital twin* para uma variedade de fins.

Com este propósito, o autor pretende que o *digital twin* seja preditivo e interrogativo, prevendo o comportamento futuro e o desempenho do produto físico e possa questionar acerca do estado do sistema [Grievess and Vickers, 2016]

Schluse e Rossman propuseram outro conceito relacionado com o *digital twin* chamado de *Experimentable Digital Twin (EDT)*. Este EDT permite simular diver-

os processos em vários níveis de detalhe e implementar sistemas inteligentes [Schluse and Rossmann, 2016].

2.2 *Digital twin* em fábricas

Segundo o investigador Jinsong Bao um dos princípios fundamentais do processo de produção em fábrica reside no facto de a simulação acontecer em primeiro lugar, depois seguida das atividades de produção [Bao et al., 2019]. No próprio processo de produção, devido à dinâmica e incerteza do ambiente de processamento, uma fábrica pode deparar-se com eventos ou perturbações imprevisíveis, tornando os resultados originais da simulação e os planos de produção já não exequíveis. Por conseguinte, a gestão da produção e o controlo do processo teriam algumas limitações, de que são exemplo as que se seguem: (1) falta de interação em tempo real do mecanismo de feedback em circuito fechado entre espaços físicos e virtuais; (2) falta de um modelo de produto unificado ao longo de várias fases no ambiente discreto de fabrico para transmissão e partilha de dados do produto [Bao et al., 2019].

O conceito *digital twin* tornou-se numa ferramenta central e crucial para a integração da informação sobre os processos de fabrico, sistemas e recursos físicos. A tecnologia *digital twin*, não só enfatiza a importância da simulação no espaço virtual antes da produção, mas também permite a interação e a execução de operações inteligentes entre espaços físicos e virtuais durante a produção. Da perspectiva do sistema de fabrico, a modelação digital de produtos, processos, recursos e operações com base em *digital twin* tem um grande significado para a produção inteligente e preditiva [Chryssolouris et al., 2009].

O fabrico digital tem sido considerado, durante a última década, como um conjunto de tecnologias altamente promissor para reduzir os tempos e custos de desenvolvimento do produto, bem como para responder à necessidade de personalização, aumento da qualidade do produto e resposta mais rápida ao mercado [Chryssolouris et al., 2009].

O artigo científico de Jinsong Bao, mostra-nos a estrutura do *digital twin* para automatização de uma fábrica (Figura 2). Utilizando a tecnologia *digital twin*, todos os dados recolhidos pelos sensores, atuadores e controladores são registados no sistema para que sejam analisados, podendo detetar, controlar e otimizar cenários específicos, de modo a melhorar o desempenho da fábrica física. Desta forma, todos os fatores são analisados com precisão e as informações relevantes relacionadas com as atividades de produção na fábrica física são refletidas e verificadas digitalmente na fábrica virtual. Isto não torna o *digital twin* da fábrica independente, uma vez que este está ligado à fábrica em tempo real.

"Digital twin technology provides an effective solution for data management during product design, manufacturing and service process. The material flow, information flow and business flow are integrated by accessing data from each phase of the product lifecycle. The extension of digital twin technology is to integrate lifecycle information for developing a unified product virtual model at the upstream of manufacturing" [Bao et al., 2019].

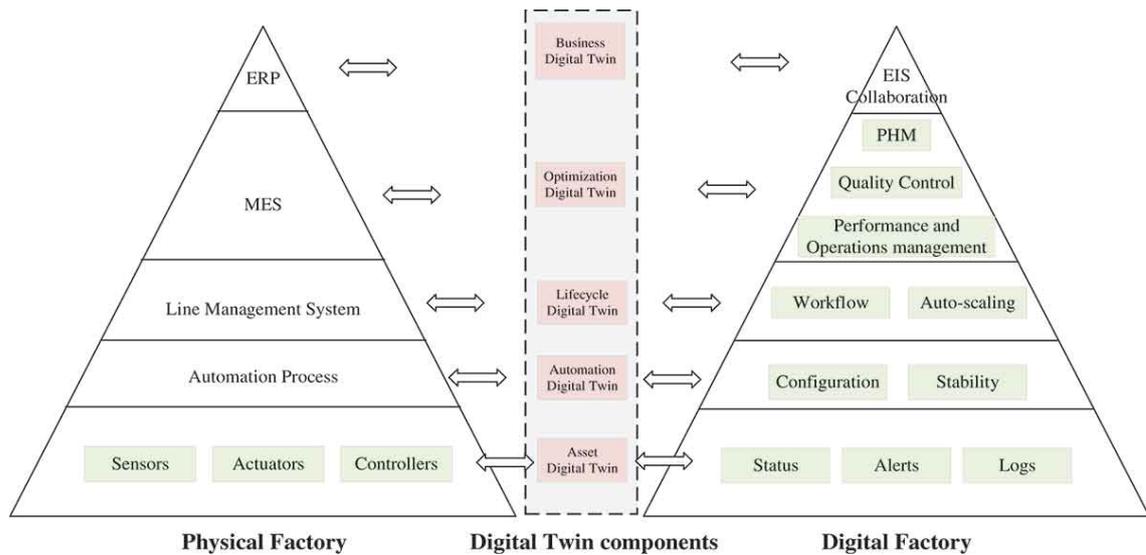


Figura 2: Estrutura *digital twin* para a automatização da fábrica [Bao et al., 2019]

2.3 Tecnologias-chave para *digital twin*

Para perceber melhor o *digital twin* de fábricas e o seu respetivo funcionamento, seja para obtenção de dados, seja para o controlo de produto, seja para simulação de erros ou melhorias para otimização, temos de entender as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do *digital twin* em questão. A figura seguinte (Figura 3) de Liu [Liu et al., 2021], mostra as tecnologias-chave para *digital twin*, divididos por três aspetos: (1) como base, detendo toda a tecnologia necessária para obter os dados; (2) depois de obter os dados passamos para o núcleo, onde processa e compara a informação. (3) por fim, a simulação, que visualiza os dados processados no núcleo em tempo real dando uma análise futura de possíveis acontecimentos, quantidades de produção, falhas ou avarias e consumos de energia.

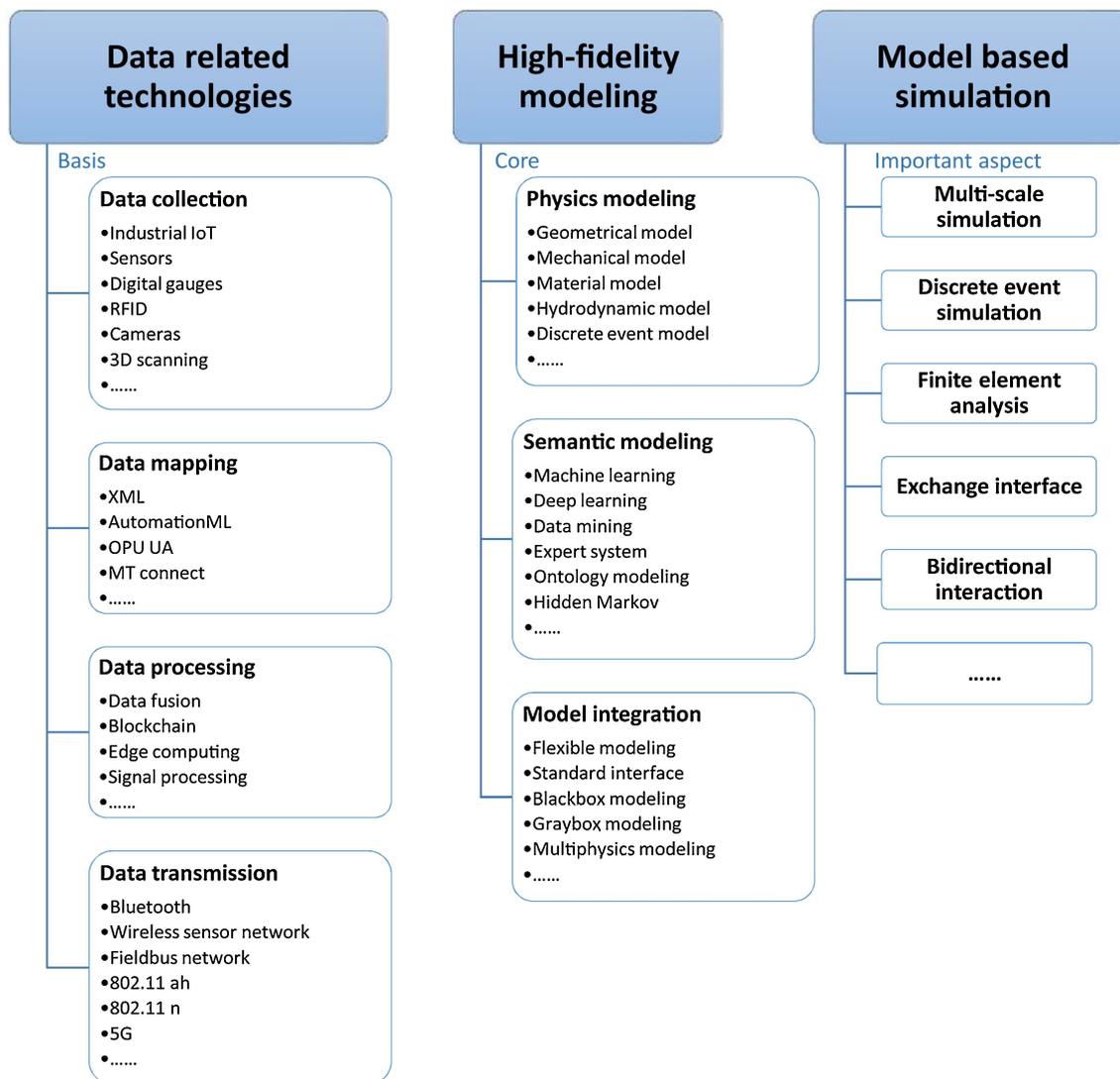


Figura 3: Tecnologias-chave para *digital twin* [Liu et al., 2021]

2.3.1 Tecnologias relacionadas com dados

A obtenção de dados é a base essencial para um *digital twin*. Através de sensores, medidores, etiquetas e leitores de *Radio-Frequency Identification* (RFID), câmaras, etc. Estes devem ser escolhidos conforme o tipo de dados que se pretendem recolher e integrados no objeto físico em questão. Os dados devem ser transmitidos em tempo real ou o mais próximo possível deste princípio, de forma a minimizar, caso seja necessário, o intervalo de atuação. Yuan [He et al., 2018], aborda no seu artigo sobre a importância da *Internet of Things* (IOT), questões como a essência de aquisição de dados, a interligação homem-máquina-produto e o processamento de sinais em *digital twins* para a recolha de dados em tempo real de múltiplas fontes em simultâneo.

A par da obtenção contínua de dados, é necessário fazer a comunicação da informação entre o objeto físico e o digital. Ala-Laurinaho [Ala-Laurinaho, 2019], na sua tese de mestrado, analisa os protocolos de camada de aplicação e as tecnologias de comunicação mais adequados para a transmissão de dados dos sensores de um twin físico para um *digital twin*. Posteriormente, este mesmo autor,

desenvolveu uma plataforma que permite a adição de sensores a um *twin* físico e a respetiva configuração remota através da internet, utilizando os protocolos estudados.

Para este projeto, à partida é necessário entender que conforme os tipos de dados a obter, a transmissão e a comunicação a fazer do seu objeto físico com o respetivo *digital twin*, implica escolher antecipadamente o sensor, o medidor, a câmara, etc. mais indicados, assim como o seu protocolo de comunicação, por exemplo, HTTP ou MQTT, etc. e utilizando redes como 4G, 5G ou *bluetooth*.

2.3.2 Tecnologias de modelação e alta-fidelidade

O núcleo de um *digital twin* é o modelo que o representa. Estes modelos podem ser divididos em dois tipos: modelos de dados semânticos e modelos físicos. Os modelos de dados semânticos são treinados usando entradas e saídas conhecidas, e são criados através de *Artificial Intelligence* (AI). Os modelos físicos são muito mais desafiantes na criação devido à complexidade e interações do sistema que está a ser modelado. Uma solução para facilitar esta complexidade é operacionalizada através do acrescento de módulos caixa negra, segundo Negri [Negri et al., 2019]. Estas caixas são ativadas apenas quando existem diferentes modelos de comportamento de *digital twins*. Aivaliotis [Aivaliotis et al., 2019] faz referência à importância de equilibrar o esforço computacional e a precisão como sendo crucial, antes de criar um modelo *digital twin* de um sistema complexo. É necessário identificar quais os componentes cruciais para a funcionalidade do sistema e definir o nível de modelação de cada componente, sendo mais fácil desta forma o desenvolvimento do *digital twin*, ao retirar apenas a informação necessária para o processamento e não sobrecarregando o sistema e o utilizador com informação não contribuidora para a eficiência.

Existem diversas soluções para a criação de modelos de *digital twins*, mas o mais importante é que sejam capazes de identificar e prever potenciais problemas de forma rápida e eficaz, antes que estes ocorram no sistema físico.

2.3.3 Tecnologias de simulação baseadas em modelos

A simulação é um dos fatores mais importantes num *digital twin*. Antecipa erros ou potenciais avarias e otimiza o processo de forma a ser o mais eficiente possível. Werner Kritzinger [Kritzinger et al., 2018] propôs uma classificação dos modelos digitais em três subcategorias com base no nível de integração de dados entre as contrapartes físicas e digitais: 1) *Digital Model* – Uma representação digital de um objeto físico existente ou planeado sem qualquer forma de intercâmbio automático de dados entre os objetos físicos e digitais. A maioria dos atuais modelos de simulação offline são deste tipo de modelo digital. 2) *Digital Shadow* - Um modelo digital com um fluxo de dados unidirecional automatizado entre o estado de um objeto físico existente e um objeto digital. 3) *Digital Twin* – Um modelo digital com fluxo de dados bidirecionais entre os objetos físicos e digitais.

Existem vários exemplos de plataformas e abordagens para um *digital twin*. Tan [Tan et al., 2019] utiliza dados do sistema físico em tempo real, que são recolhidos e registados a partir do espaço físico via IoT e simula possíveis falhas ou

ruturas futuras. Outra abordagem é descrita por Talkhestani [Talkhestani et al., 2018], com base numa PLM *IT-Platform* e num método *Anchor-Point*. Este método consiste em três passos principais, deteção automática da mudança, análise da relação e gestão da mudança. Ao detetar as variações da estrutura de dados entre os modelos digitais e o sistema físico é reportado na plataforma. Qi [Tan et al., 2021] recomenda a utilização de câmaras com tecnologia de reconhecimento de imagem e medição a laser para medir com precisão os parâmetros do mundo físico e tecnologia de controlo de rede para controlar o mundo físico para tornar o *digital twin* mais preciso e modificável para potenciar otimizações.

Com estes exemplos conseguimos perceber que a maioria das aplicações tecnológicas se concentra num fluxo unidirecional, ou seja, do físico para o digital. Quanto mais precisos e de maior detalhe são os dados, melhor a precisão da análise e processamento.

Qualquer que seja a tecnologia utilizada para extrair e processar os dados, é preciso saber a forma como essa informação é disposta no ecrã. Dessa forma, passamos à forma de visualização dos dados que são processados a partir do objeto físico.

2.4 Visualização da informação

Depois de percebermos como podemos extrair os dados do objeto físico, é preciso entender como expor essa informação da forma mais sintética e direta possível. Segundo David Carr, a sobrecarga de informação é considerada um dos problemas fundamentais da interação humano-computador: é preciso entender o ponto ideal da informação necessária a passar ao utilizador de acordo com este autor, *“the design of an information visualization application is not a simple task. The designer must consider how best to map the abstract information into a graphic that conveys information to the user. In addition, the designer must provide dynamic actions which limit the amount of information the user receives while at the same time keeping the user informed about the data set as a whole”* [Carr, 1999].

Para ajudar no processamento e escolha da informação, Wroblewski e Rantanen recomendam algumas *guidelines* a ter em conta para garantir que a visualização da informação é obtida com coerência e harmonia [Wroblewski and Rantanen, 2001]. Segundo estes autores, é considerada uma boa prática utilizar o mínimo de janelas possível, minimizando a necessidade de navegação nas páginas por parte do utilizador. Deve-se utilizar tamanhos e fontes constantes para o mesmo tipo de informação, pois assim o utilizador automaticamente saberá distinguir a importância e o tipo de informação. Distinções claras entre páginas, botões e imagens, juntamente com animações simples, como a alteração do ícone do rato para o ícone de hover, ajudam os utilizadores a navegar e a interagir com a plataforma. A utilização de *toggle buttons*, *checkboxes* ou menus *dropdown* são os componentes mais comuns em plataformas *web*. Considerar a integração estética da interface, a necessidade de desenvolver novas métricas de utilização e a apresentação estética, podem dar à aplicação *web* uma personalidade, medidas de desempenho, metodologias de recolha de dados e proporcionar aos utilizadores um prazer ou uma familiaridade e um sentimento de confiança nas ferramentas de análise de dados. Ao incorporar estes elementos, a interface melhora a usabi-

lidade e promove a compreensão eficiente dos dados.

Os dados transmitidos pelo objeto físico são representados numa *dashboard*. Uma *dashboard* é uma apresentação visual das informações mais importantes que são necessárias para atingir um ou mais objetivos consolidados e dispostas num único ecrã para que a informação possa ser monitorizada num relance [Few, 2006]. Few afirma que muitas empresas vendem *dashboards* com a promessa de acrescentar valor e eficácia ao negócio de quem as compra. Porém, poucas clarificam o que são, efetivamente, *dashboards*. Muitos fornecedores limitam-se a fazer com que os seus ecrãs se assemelhem a indicadores e medidores de automóveis, não investindo tanto na criação de ecrãs e funções que apoiem eficazmente a monitorização. Para Few, as informações apresentadas numa *dashboard* devem consistir, fundamentalmente, em resumos de alto nível, incluindo exceções, para comunicar rapidamente. Proporciona rápida informação acerca daquilo que está a acontecer, mas não explica o motivo pelo qual está a acontecer, de forma semelhante aos indicadores, medidores e luzes indicadoras de um carro. O diagnóstico requer posterior investigação mais aprofundada e detalhada. Se os utilizadores da *dashboard* necessitarem de informação em tempo real para alcançar os seus objetivos, então o painel de controlo deve apresentá-las [Few, 2006].

Reforçando a definição de Few, o autor Pauwels [Pauwels et al., 2009] define uma *dashboard* como uma coleção relativamente pequena de métricas de desempenho chave *Key Performance Indicator* (KPI), interligada, e indicadores de desempenho subjacentes que refletem interesses de curto e longo prazo a serem vistos em comum em toda a organização. Os KPIs são utilizados normalmente em indústrias para medir de que forma determinados objetivos são cumpridos.

Analisando estas duas definições, podemos concluir que uma *dashboard* bem concebida destaca-se pela sua capacidade de fornecer informações importantes de forma rápida, perceptível, concisa e personalizada. Isto permite aos utilizadores realizar tarefas de forma eficiente, tomando decisões mais informadas.

2.5 Aplicações industriais de *digital twin* e análise

Nesta secção são examinados alguns exemplos da tecnologia *digital twin* numa variedade de ambientes industriais. Iremos explorar a forma como as empresas estão a utilizar *digital twin* para otimizar as suas operações, melhorar o seu desempenho, e aumentar a produtividade. Estas plataformas foram escolhidas inicialmente por serem as mais utilizadas por empresas, devido aos serviços fornecidos e pelo *layout* disponibilizado na plataforma.

2.5.1 Predix da GE Digital

A Predix da GE Digital [Digital, 2017] é uma plataforma industrial de IoT que inclui uma solução de *digital twin* chamada *Predix Asset Performance Management*. É uma ferramenta que permite a criação de *digital twins* de ativos industriais, tais como equipamentos e máquinas, num ambiente de fábrica. Ao criar uma réplica digital de um ativo físico, a plataforma permite aos utilizadores monitorizar e prever potenciais problemas, otimizar o desempenho, e reduzir o tempo de ina-

tividade.

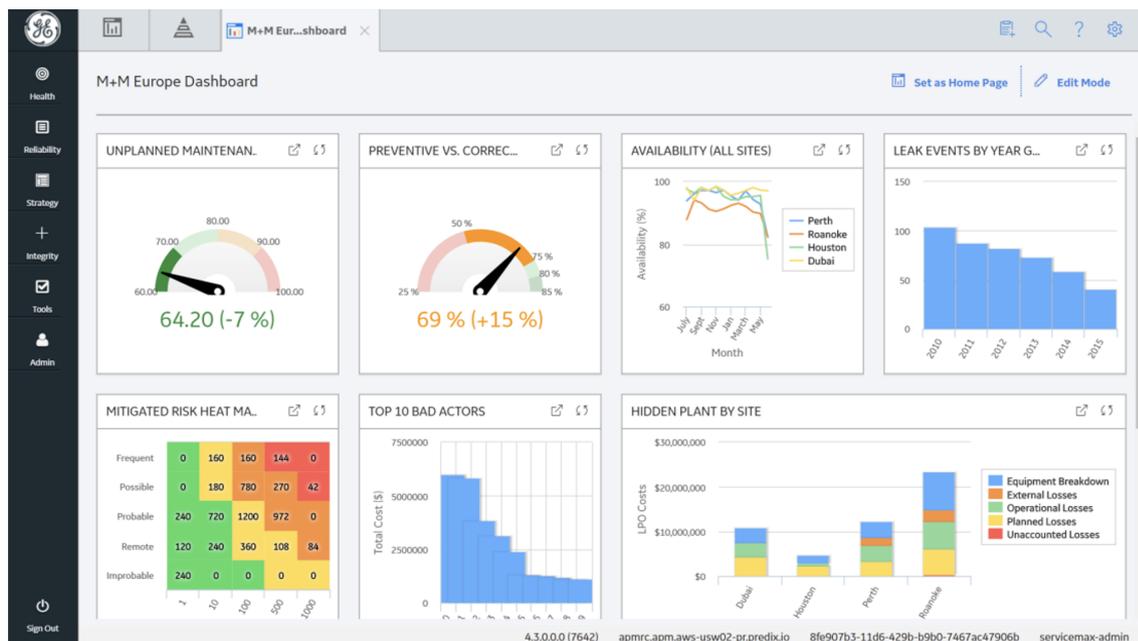


Figura 4: Plataforma industrial [Digital, 2017]

Um dos principais benefícios da utilização da plataforma Predix APM é a sua capacidade de recolher e analisar grandes quantidades de dados em tempo real. A plataforma pode recolher dados de uma variedade de fontes, tais como sensores, sistemas de controlo e outros equipamentos, e utilizar estes dados para criar um modelo abrangente e preciso do ativo físico. Estes dados podem ser utilizados para identificar padrões, tendências e potenciais problemas.

Outro benefício da Predix APM é a sua capacidade de realizar simulações e análises para identificar oportunidades de melhoria. Através da simulação de diferentes cenários e condições, os utilizadores podem identificar oportunidades para otimizar processos, identificar novos casos de utilização, e aumentar a eficiência. Além disso, a plataforma permite aos utilizadores realizar análises avançadas, tais como a aprendizagem de máquinas, para obter conhecimentos mais profundos sobre os dados e tomar decisões orientadas por dados.

De acordo com a GE Digital, a Predix APM também fornece uma plataforma segura e escalável, o que significa que pode lidar com grandes quantidades de dados e pode ser adaptada às necessidades específicas da fábrica. A plataforma é também construída sobre a plataforma Predix da GE, que é uma plataforma segura e escalável que permite aos utilizadores ligarem-se, analisarem, e agirem sobre dados industriais em tempo real.

2.5.2 3DEXPERIENCE *platform* da Dassault Systèmes

A plataforma 3DEXPERIENCE da Dassault Systèmes [Systèmes, 2022] é uma ferramenta para criar *digital twins* altamente precisos e detalhados de bens industriais em 3D, tais como equipamentos e máquinas, num ambiente de fábrica.

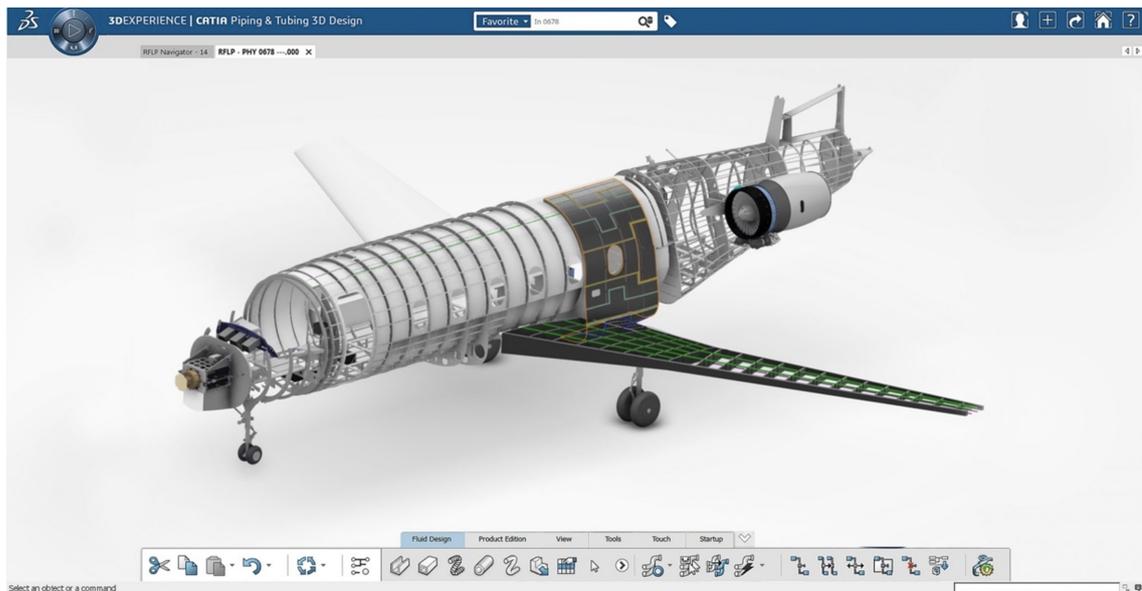


Figura 5: plataforma 3DEXPERIENCE [Systèmes, 2022]

Um dos principais benefícios em utilizar a plataforma 3DEXPERIENCE para criar um *digital twin* de uma fábrica é a sua capacidade de criar modelos virtuais precisos e detalhados. A plataforma tem em conta uma vasta gama de fatores, tais como fatores físicos, propriedades materiais e condições ambientais, para criar uma representação virtual que espelha o comportamento do sistema no mundo real. Isto permite simulações e análises mais precisas, o que pode levar a um melhor desempenho e produtividade.

Outro benefício da plataforma 3DEXPERIENCE é a sua capacidade de integração com outras soluções da Dassault Systèmes, tais como catia, simulia e delmia. Permite aos utilizadores criarem *digital twins* que são integrados com a conceção, simulação, e processos de fabrico da fábrica. Isto pode ajudar a melhorar a colaboração e a comunicação entre diferentes departamentos, bem como a reduzir erros e inconsistências.

2.5.3 MapsIndoors *platform* da MapsPeople

Esta referida plataforma, não permite criar *digital twins*, mas possui capacidades de mapeamento e visualização que se consideram relevantes para os objetivos desta dissertação. A MapsIndoors [MapsPeople, 2022] é uma plataforma de mapeamento detalhado do piso com capacidades de visualização de topo. Esta plataforma pode ser utilizada para criar mapas de piso interativos e precisos da fábrica e das diferentes secções, que podem ajudar a melhorar a localização e navegação dentro da instalação e melhorar a experiência global do utilizador.

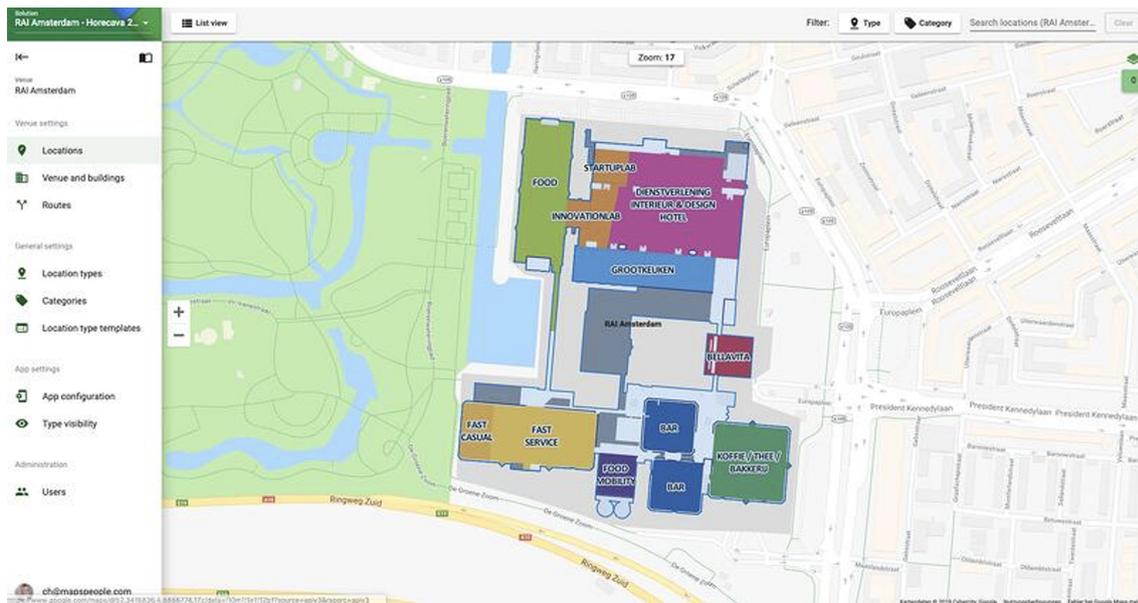


Figura 6: MapsIndoors *platform* [MapsPeople, 2022]

Uma das principais características da MapsIndoors é a sua capacidade de integração com motores de cartografia exterior como o *Google Maps* ou *Mapbox*, conseguindo alargar as suas capacidades a espaços interiores. Tal facto permite aos utilizadores criarem mapas do chão da fábrica que podem ser utilizados para navegação e descoberta de rotas. A plataforma também inclui uma funcionalidade de localização que utiliza tecnologia de posicionamento interior para fornecer aos utilizadores direções em tempo real dentro da instalação.

Além disso, a plataforma tem uma funcionalidade de integração de dados em direto que permite aos utilizadores manterem o mapa constantemente atualizado com informação em tempo real. A plataforma consiste em *Software Development Kits* (SDK) para qualquer plataforma, *Application Programming Interface* (API) que permite a integração de dados próprios em mapas e um poderoso sistema de gestão de conteúdos onde os dados são facilmente acessíveis. A MapsIndoors é especializada em agregar dados numa visão geral simplificada e interativa dos espaços interiores para aumentar o seu valor, reduzir a dependência de recursos internos, e melhorar as experiências dos clientes.

Em geral, a MapsIndoors fornece capacidades de cartografia interior, criando uma forma interativa e eficiente de encontrar formas, visualização de informação em tempo real e perceção de dados para uma melhor gestão do espaço. A sua forma de visualização de topo da planta é um dos aspetos importantes a retirar para este projeto.

2.5.4 AWS IoT TwinMaker Mixer Alarm Dashboard

O *AWS IoT TwinMaker Mixer Alarm Dashboard* [web services, n.d.] é uma solução fornecida pela *Amazon Web Services* que aproveita o poder da IoT e do *digital twin* para criar um sistema abrangente de monitorização e alarme para processos industriais.

Esta *dashboard* centra-se, especificamente, na monitorização e gestão de mis-

turadores utilizados em ambientes industriais. Permite aos utilizadores acompanhar parâmetros-chave como a temperatura, a pressão e a velocidade do motor. A *dashboard* fornece uma visualização em tempo real dos dados recolhidos dos misturadores e oferece funcionalidades como a análise de dados históricos e a monitorização de tendências.

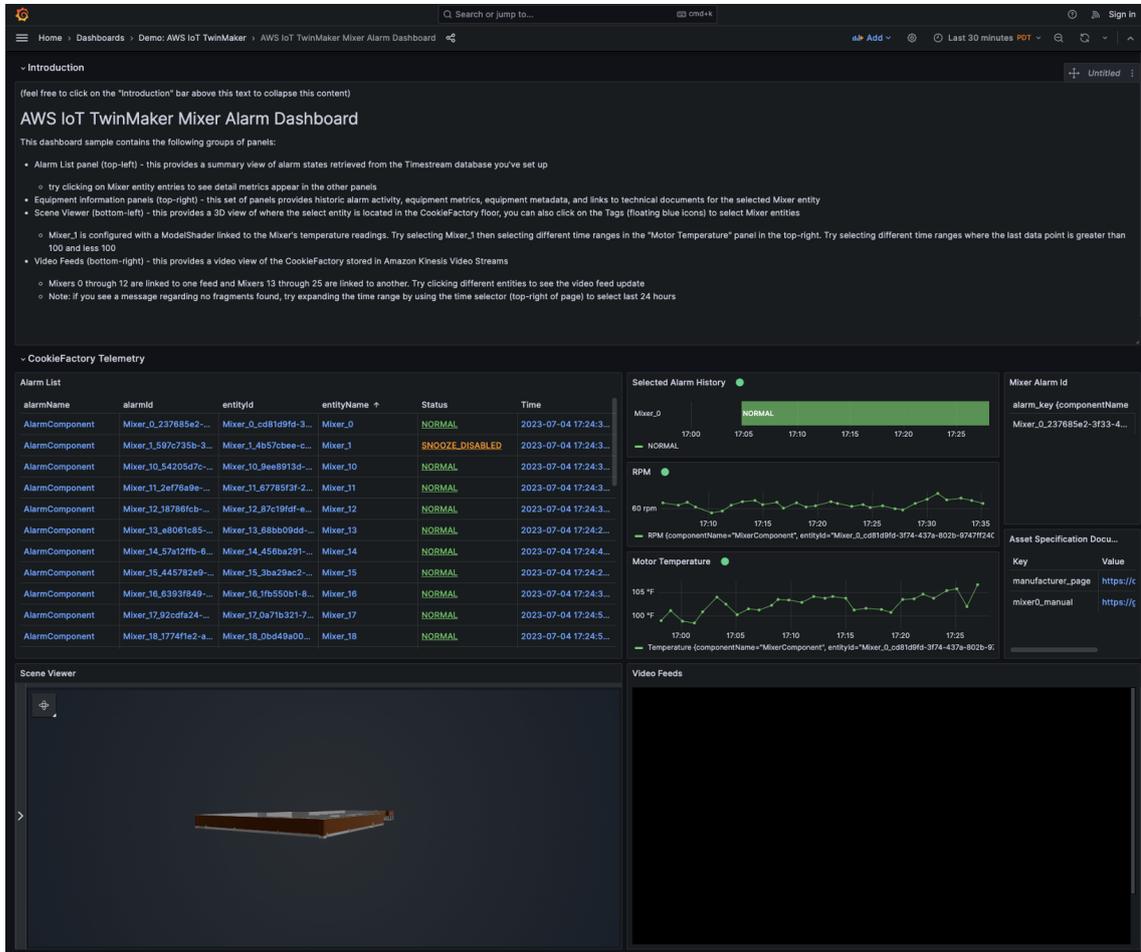


Figura 7: *Dashboard* da Amazon web services [web services, n.d.]

Uma das principais características da *dashboard* é a capacidade de configurar alarmes e notificações com base em limites predefinidos. Isto permite uma monitorização proativa e alertas antecipados em caso de quaisquer desvios ou anomalias no desempenho do misturador. Os alarmes podem ser personalizados para desencadear ações ou notificações para secções ou utilizadores em específico, assegurando uma resposta rápida que evita potenciais problemas.

2.6 Síntese do estado da arte

O estudo e investigação sobre *digital twin* e a sua aplicação em fábricas demonstra o seu potencial no domínio industrial. O *digital twin* fornece uma representação visual de bens, sistemas e processos físicos, que permitem a monitorização, simulação e otimização desses mesmo objetos.

Quando aplicados a fábricas, oferecem inúmeras vantagens, tais como: maior

eficiência, produtividade e sustentabilidade [Chryssolouris et al., 2009]. Através da utilização dos dados em tempo real e de uma análise avançada, permitem a manutenção proativa, a otimização do processo de produção e a identificação de estrangulamentos ou ineficiências. Permitem também ao utilizador prevenir falhas e melhorar o desempenho operacional global.

Torna-se evidente que para a implementação de um *digital twin* é exigido um conhecimento aprofundado de diversas tecnologias e conceitos como a IoT e o processamento de dados. Além disso, uma boa conceção visual de uma *dashboard* desempenha um papel fundamental na compreensão e consequente integração do utilizador. A informação deve ser bem estruturada e apresentada: uma navegação simples e painéis personalizados ao tipo de fábrica melhoraram a usabilidade e eficácia da plataforma *digital twin*.

Os exemplos analisados permitem entender alguns tipos de indústrias que utilizam um *digital twin*. Mais importante, a forma como é disposta a informação, como é representado o seu objeto físico e como é criado o *layout* para a plataforma.

Após uma análise ao tema, será apresentada no próximo capítulo a metodologia seguida durante esta dissertação, assim como o plano de trabalhos.

Capítulo 3

Metodologia e plano de trabalho

No presente capítulo é apresentada a forma como será desenvolvido o projeto, assim como todos os aspetos envolventes desse processo. O capítulo está dividido em três secções, iniciando-se pela metodologia a ser seguida durante o projeto. De seguida, é feito o plano de trabalho, dividido pelos dois semestres. Em ambos os semestres é apresentado um diagrama de Gantt com o tempo estimado e tempo real de cada processo.

3.1 Metodologia

Seguindo a estrutura da dissertação e as fases necessárias ao respetivo desenvolvimento, a abordagem metodológica a ser utilizada neste projeto é designada por *Design Science Research* (DSR). Como se demonstra na figura seguinte da autoria de Ken Peffers, esta abordagem é dividida por diferentes fases: “*The DS process includes six steps: problem identification and motivation, definition of the objectives for a solution, design and development, demonstration, evaluation, and communication*” [Peffers et al., 2007]

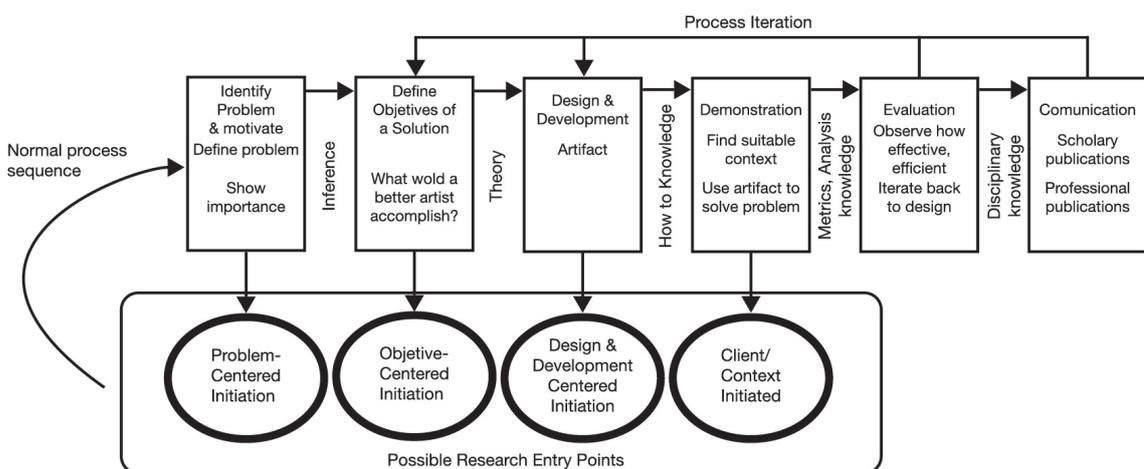


Figura 8: *Design Science Research* [Peffers et al., 2007]

Seguindo esta estrutura, a primeira fase corresponde à identificação do problema e à motivação, que neste caso consiste em conhecer as temáticas de *digital twin* e *digital twin* aplicadas a fábricas, analisando o seu processo de concessão e

interligação. O problema reside na falta de estudos e guias para criar interações com *digital twin* em contexto fabril, sendo esta uma prioridade para a carteira de produtos da empresa Ubiwhere.

A segunda fase desta estrutura corresponde à definição de objetivos para a resolução do problema. Esta fase consiste na decisão de criar uma prova de conceito identificando os requisitos por parte da empresa, desenvolvendo funcionalidades a ter na plataforma.

A terceira fase do processo consiste no desenvolvimento da prova de conceito, iniciado no final do primeiro semestre, prosseguindo com a construção de *wireframes* e do mapa de navegação. Após a definição do universo gráfico, foi altura de desenvolver o protótipo de alta fidelidade, que posteriormente foi utilizado nos testes de usabilidade. Com estas fases concluídas com sucesso e analisado os resultados dos testes de usabilidade, seguimos para a fase de implementação.

A quarta fase corresponde à demonstração final do projeto no contexto da empresa, analisando a proposta e identificação de falhas.

Na penúltima fase é feita a avaliação da eficiência e efetividade face aos requisitos iniciais definidos na segunda fase deste processo. Por fim, na sexta fase, a comunicação, corresponde à fase final da dissertação onde será dado a conhecer o projeto e ocorrerá a respetiva defesa.

Esta metodologia prevê um processo iterativo, permitindo regressar a fases anteriores para melhorar os resultados.

3.1.1 Primeiro semestre

Ao longo do primeiro semestre decorreu praticamente toda a pesquisa relacionada com o tema, através da investigação teórica e da análise das diferentes soluções relacionadas com a área em estudo, com o objetivo principal de possuir boas bases para planificar e realizar o projeto durante o segundo semestre.

O projeto teve início com a fase de investigação. Sendo esta, no entanto, uma fase recorrente tanto no primeiro como no segundo semestre. A temática *digital twin* constitui uma problemática recente e está em constante inovação, principalmente nas indústrias onde se assume como uma tecnologia fundamental para se alcançar rendimento e eficiência [Onaji et al., 2022]. A investigação foi realizada a partir da consulta de material bibliográfico obtido por pesquisa pessoal e por recomendação dos orientadores. O processo de seleção dos artigos bibliográficos começou pelos mais visualizados e citados, seguido do seu ano e relevância perante o tópico a ser procurado. Posteriormente, foi colocada cada citação num documento separado da dissertação, seguido de um comentário pessoal sobre o mesmo. Investigado o contexto histórico e conceito teórico do tema, foi iniciada a produção escrita do capítulo relativo ao estado da arte.

De seguida, foram analisados exemplos de *digital twin* aplicado em fábricas, visualizando as suas plataformas e a forma como dispõem a informação na interface. Depois do aprofundamento do tema, foi feito um levantamento de requisitos com a empresa para definir a solução ao problema e criar possíveis tipos de utilizadores, facilitando o desenvolvimento dos objetivos e funcionalidades pretendidas.

Durante a definição de requisitos e objetivos começou-se com testes de mapas

de navegação e *wireframes*, de forma a responder aos tipos de utilizador criados e respetivos cenários, para conseguir perceber que tipo de funcionalidades iriam ser necessárias na interface. Estas fases foram concluídas com a escrita contínua do relatório deste projeto.

3.1.2 Segundo semestre

O segundo semestre teve como foco principal a implementação do projeto. Demos continuidade aos *wireframes* que tinham sido iniciados durante o primeiro semestre e passámos para o desenvolvimento de *mockups* de alta fidelidade. Assim que finalizadas, deu-se início aos testes de usabilidade para avaliar o protótipo face os requisitos, aspeto e funcionalidade. Foi realizada uma análise aos resultados dos testes, na qual foi necessário fazer alterações ao protótipo antes de avançar para a implementação.

A implementação da interface ocupou grande parte do segundo semestre. Ao longo do processo de implementação foram introduzidas reuniões semanais com a equipa de *front-end* da empresa para ajudar, sempre que necessário, em qualquer fase da implementação.

Concluída a implementação, foi apresentada a proposta final para refinamentos gráficos da interface.

As figuras seguintes representam o planeamento do trabalho do primeiro e segundo semestres, respetivamente. As etapas foram maioritariamente concluídas dentro do tempo estimado. No entanto, existiram pequenas discrepâncias resultantes de pequenas correções inesperadas ou da disponibilidade das pessoas no caso dos testes de usabilidade.

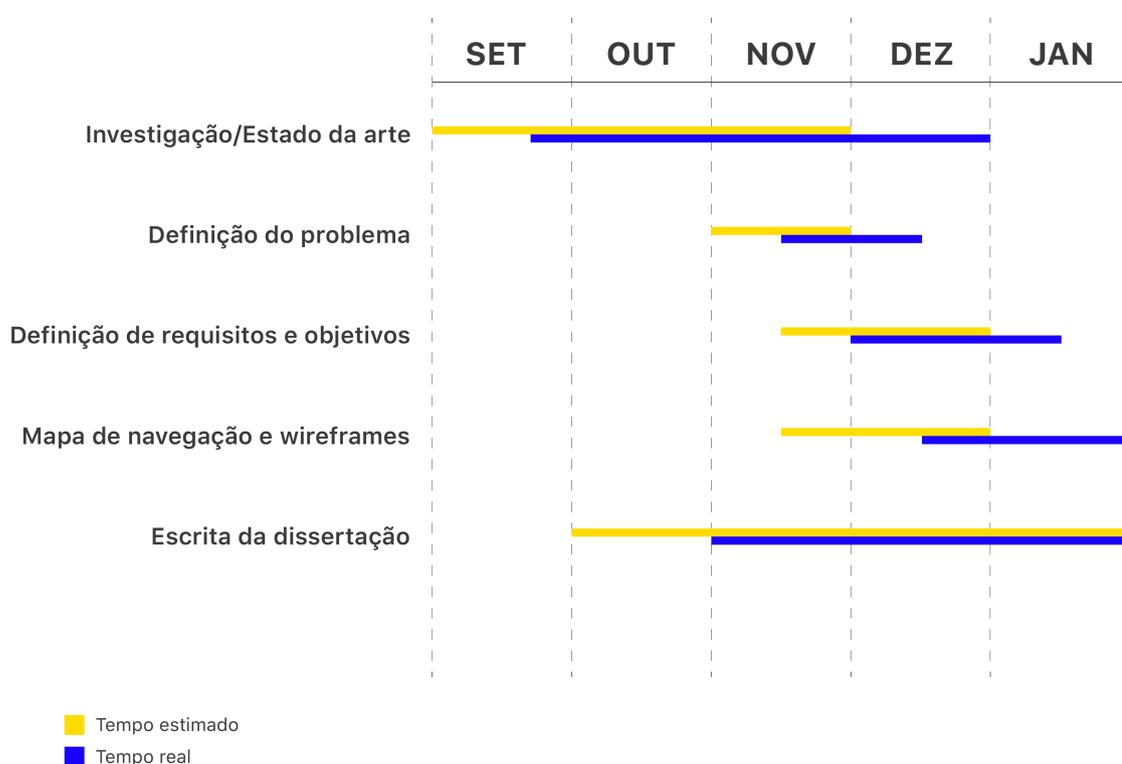


Figura 9: Diagrama de Gantt - 1º semestre

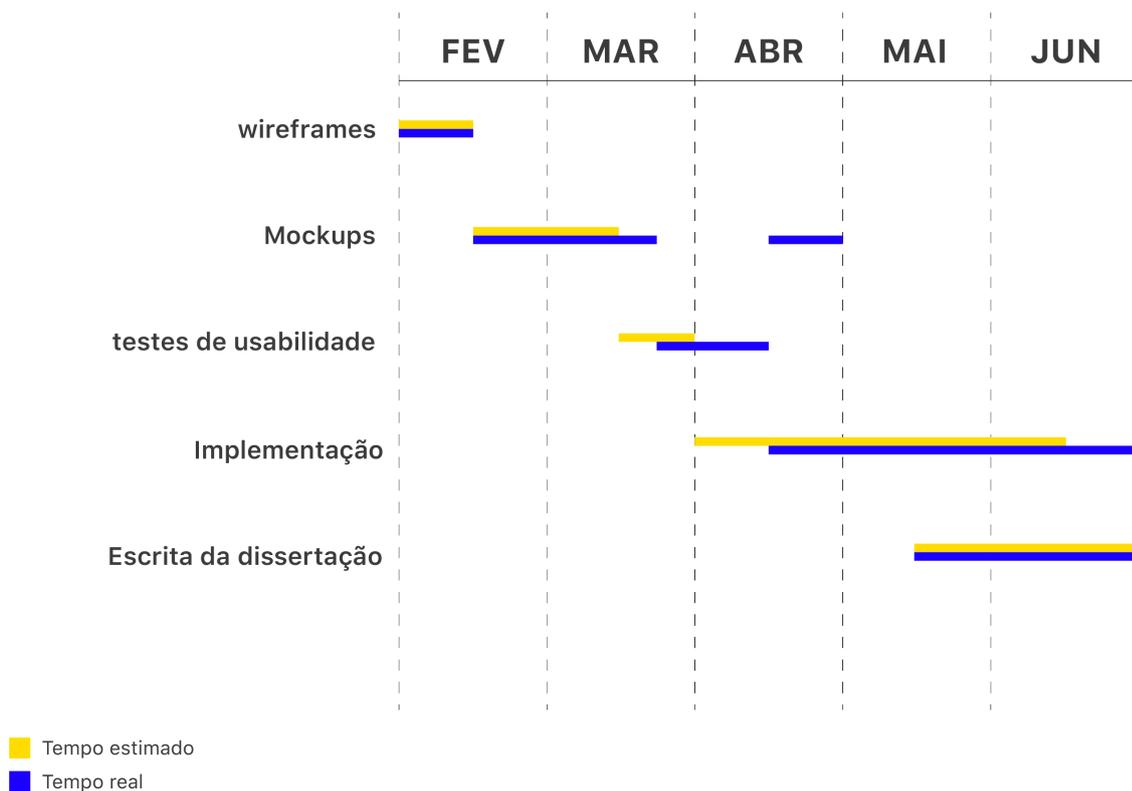


Figura 10: Diagrama de Gantt - 2º semestre

Relativamente ao diagrama do primeiro semestre, constatamos que as datas de início de todas as etapas demonstram sistematicamente um ligeiro atraso, devido à data de início de estágio. Contudo representou um atraso considerado recuperável. Existiu um maior esforço aplicado à investigação do tema para conseguir dar resposta, da melhor forma, aos requisitos impostos pela empresa e definir os objetivos da forma mais clara possível para que, no segundo semestre, o principal foco consistisse no desenvolvimento e implementação da interface. Ainda neste semestre foram definidas as funcionalidades, com o auxílio de *personas*, para imaginar possíveis cenários de utilização. Foi desenvolvido o mapa de navegação e demos início às *wireframes* da interface.

No segundo semestre, as etapas foram executadas maioritariamente dentro do tempo previsto. Demos continuidade às *wireframes* até completar todos os ecrãs. A etapa do desenvolvimento das *mockups* foi executada por duas vezes para conseguir realizar melhorias face à análise de resultados dos testes de usabilidade. A implementação da interface correu dentro tempo do estimado, com apoio semanal por parte da empresa, o que promoveu um bom ritmo de trabalho. Foi a tarefa com o maior tempo despendido no segundo semestre, devido à necessidade de conceder maior atenção aos detalhes na plataforma, como à clareza e estrutura do código.

Concluindo a análise da metodologia aplicada e feita a organização das tarefas que foram executadas em ambos os semestres, o próximo capítulo aborda a proposta apresentada para o desenvolvimento do projeto.

Capítulo 4

Proposta

Neste capítulo é apresentada a proposta para o desenvolvimento do projeto. Tem por base o estudo realizado no capítulo 2 Estado da arte e nos requisitos definidos pela empresa. Com base na análise dos requisitos, são criados funcionalidades e tipos de utilizador para entender o comportamento de possíveis cenários de utilização da plataforma.

4.1 Requisitos

O projeto visa alcançar o conceito de *digital twin* e aplicá-lo ao contexto das fábricas, com o objetivo de monitorizar e otimizar eficazmente vários aspetos do processo de fabrico. Com base na literatura exposta no capítulo do estado da arte sobre *digital twins* e sua adoção em fábricas, é possível entender a forma como os dados são processados, analisados e visualizados em plataformas já existentes.

Um dos principais requisitos do projeto é desenvolver um sistema de informação interativo que não só forneça uma visão global das operações da fábrica, como também facilite a comunicação e a interação dos trabalhadores com a mesma. Isto implica a conceção de uma interface de fácil utilização que permita aos trabalhadores interagir com o sistema, aceder a dados em tempo real e visualizar a vista de topo do chão da fábrica. Ao fornecer aos trabalhadores informações em tempo real sobre as encomendas, a sua localização, o estado atual e os recursos disponíveis, a plataforma visa melhorar a tomada de decisões e simplificar as operações.

É importante notar que, embora o projeto utilize dados de fábricas, a fábrica específica e os seus dados não são o foco principal. Em vez disso, o objetivo é desenvolver uma plataforma que possa ser facilmente adaptada a diferentes fábricas e, potencialmente, servir como um produto para a empresa.

De forma sumarizada, os principais requisitos identificados são:

- Obter vista tabular (vista de topo) das secções do chão da fábrica, com a possibilidade de filtragem ou pesquisa por um determinado campo;
- Monitorizar a eficiência da fábrica;
- Registrar e monitorizar as encomendas enviadas para o chão da fábrica, o respetivo estado, localização e o tempo de produção;

- Registrar e monitorizar a eficiência e utilização da matéria prima;
- Conseguir conexão a plataformas externas IoT.

Ao responder a estes requisitos e ao tirar partido do poder dos *digital twin*, o projeto proposto procura criar um sistema de informação possibilite a monitorização da fábrica, melhore a eficiência e capacite os trabalhadores com informações em tempo real e funcionalidades interativas.

4.2 Funcionalidades

Para satisfazer os requisitos indicados da plataforma, é necessário um conjunto de funcionalidades.

Relativamente ao primeiro requisito, “visualização de topo das secções da fábrica”, a plataforma terá uma representação visual das secções, utilizando cores distintas para diferenciar cada uma delas. Por exemplo, as secções serão definidas por A, B ou C, com a sua respetiva cor, amarelo, azul e verde. Além disso, serão fornecidos botões de alternância (*toggle buttons*) para permitir aos utilizadores ativar ou desativar secções específicas, e botões de alternância separados para ativar ou desativar os períodos de trabalho da fábrica.

Para “monitorizar a eficiência da fábrica”, a plataforma apresentará informações em tempo real sobre os principais indicadores, como o número de encomendas concluídas, estatísticas de produção, erros e eficiência global. Estas métricas serão exibidas de forma permanente, garantindo que os utilizadores possam avaliar facilmente o desempenho da fábrica num relance.

No terceiro requisito, “registar e monitorizar as encomendas enviadas para a fábrica, o seu estado, localização e tempo de produção”, a aplicação incluirá uma página dedicada onde todas as encomendas serão apresentadas em formato de tabela. Os utilizadores terão a possibilidade de aceder a detalhes individuais das encomendas, atualizar o seu estado ou localização e manter um registo de atividades para acompanhar com precisão o progresso das encomendas.

Para registar e monitorizar a eficiência e a utilização das matérias primas, na página de recursos, os utilizadores poderão registar a matéria prima e obter informação sobre a quantidade do tipo de material registado, como a sua aplicação nas encomendas em produção. Os utilizadores podem monitorizar atualizações em tempo real sobre a utilização de materiais, o que lhes permite analisar e otimizar a utilização de recursos de forma eficaz.

Ao incorporar estas funcionalidades, a plataforma cumprirá os requisitos especificados, fornecendo aos utilizadores uma solução abrangente para monitorizar e gerir as operações da fábrica. Para entender melhor como serão utilizadas estas funcionalidades, foram criadas *personas* para perceber possíveis cenários de utilização, como apresentado na próxima secção.

4.3 *Personas*

O conceito de *persona* foi introduzido por Alan Cooper, no seu livro “*The inmates are running the asylum - Why High Tech Products Drive Us Crazy and How To Restore The Sanity*” [Cooper, 1999] e é uma ferramenta muito usada na área de interação humano-computador. Mais tarde, os autores Andlin and Pruitt, apresentam uma definição mais detalhada para este conceito: “As *personas* são representações fictícias, específicas e concretas de possíveis utilizadores-alvo” [Adlin and Pruitt, 2010]. O mesmo autor refere que as vantagens da *persona* são que torna explícitas as suposições e o conhecimento sobre os utilizadores, criando uma linguagem comum com a qual se pode falar sobre os utilizadores de forma significativa.

Desta forma, nesta secção, introduzimos quatro *personas* com o objetivo de perceber o comportamento e possíveis problemas que podemos deparar com este tipo de utilizador. Os utilizadores representam diferentes papéis dentro de uma empresa de produção. Denominadas por Carlos Roberto, Maria Madalena, Duarte André, e Mafalda Ferreira, são utilizadas para ajudar a compreender o fluxo de trabalho e possíveis erros que possam ocorrer dentro do processo de produção. Ao considerar as perspetivas e necessidades de cada utilizador, somos capazes de identificar áreas-chave do processo de produção que podem exigir maior atenção e ser alvo de melhorias. Os cenários apresentados para cada utilizador proporcionam uma representação realista de como a plataforma poderia ser utilizada na prática, destacando os potenciais benefícios e desafios que possam surgir. Estes utilizadores fictícios servem como uma ferramenta útil para compreender as necessidades dos utilizadores e as decisões de conceção que foram condicionadoras do desenvolvimento da plataforma.

Cada *persona* está dividida em duas partes: sobre e cenário, sendo que na primeira é apresentada a descrição da *persona* e o seu cargo, e a segunda o cenário de possível utilização da plataforma.

Persona 1

Sobre:

Nome: Carlos Roberto

Idade: 50 anos

Título do trabalho: Chefe de produção

O Carlos Roberto é o chefe de produção de uma fábrica de média dimensão. É responsável por assegurar que a fábrica funciona sem problemas e que os objetivos de produção sejam atingidos. Está sempre à procura de formas de melhorar a eficiência e reduzir os custos.

Cenário: O Carlos quer saber quantas peças estão a ser produzidas em cada área da fábrica. Acede à plataforma e vai para a página *dashboard*. Pode ter acesso a uma representação visual do chão de fábrica, com cada área codificada por cores para indicar o número de peças que estão a ser produzidas naquele setor. Pode também filtrar a vista por partes ou períodos de tempo específicos. Com esta

informação, o Carlos pode identificar pontos de estrangulamento no processo de produção e fazer ajustamentos para melhorar a eficiência.

Persona 2

Sobre:

Nome: Maria Madalena

Idade: 35 anos

Título do trabalho: Trabalhadora de produção

A Maria trabalha no chão de fábrica como operária de produção. Ela é responsável pela montagem de peças e pela garantia de que estas cumprem os padrões de qualidade. Ela trabalha na fábrica há vários anos e é qualificada no seu trabalho.

Cenário: A Maria quer registar a desmoldagem de uma peça. Ela entra na plataforma e vai para a secção de Ordens de Produção. Ela encontra a encomenda em que está a trabalhar e clica no botão "Desmontagem". A plataforma regista a hora e a data da desmoldagem, e a Maria pode ver o estado da encomenda atualizado em tempo real.

Persona 3

Sobre:

Nome: Duarte André

Idade: 32

Título do trabalho: Supervisor de produção

O Duarte André é um supervisor de produção na fábrica. Ele é responsável pela supervisão da produção de uma linha de produtos específica. Tem experiência na gestão da produção e um profundo conhecimento dos processos da fábrica.

Cenário: O Duarte André quer registar a entrada em produção de uma encomenda. Ele entra na plataforma e vai para a secção de Ordens de Produção. Ele encontra a encomenda pela qual é responsável e clica no botão "Nova Produção"(Iniciar Produção). A plataforma regista a hora e data do início da produção, e o Duarte pode ver o estado da encomenda atualizado em tempo real.

Persona 4

Sobre:

Nome: Mafalda Ferreira

Idade: 25 anos

Título do trabalho: Controlo de qualidade

A Mafalda é uma técnica de controlo de qualidade na fábrica. Ela é responsável por inspecionar peças e assegurar que estas cumprem os padrões de qualidade. Ela tem experiência em controlo de qualidade e conhece os processos da fábrica.

Cenário: A Mafalda quer registar um relatório para a encomenda X. Ela entra na plataforma e vai para a secção de Controlo de Qualidade. Ela encontra a encomenda que quer relatar e clica no botão "Submeter Relatório". A plataforma solicita-lhe que introduza detalhes sobre a inspeção, tais como quaisquer defeitos encontrados ou medições efetuadas. Ela submete o relatório, e este é registado no sistema para referência futura.

4.4 Conclusões

Através da definição dos requisitos e das funcionalidades correspondentes, obtivemos uma compreensão clara dos objetivos e das limitações da plataforma proposta. Através deste processo, assegurámos que as funcionalidades estão alinhadas com as necessidades e expectativas identificadas.

Ao assegurar que as funcionalidades da plataforma estão estreitamente alinhadas com os requisitos identificados e validadas através de cenários de utilização das *personas*, permitiram ajudar na capacidade da plataforma a atingir os objetivos desejados. O capítulo seguinte de *design* da interface irá aperfeiçoar ainda mais a experiência do utilizador, assegurando que a plataforma não só cumpre os seus requisitos funcionais, como também proporciona uma interação agradável e eficiente ao utilizador.

Capítulo 5

Design da interface

Neste capítulo é descrito todo o processo de *design* da interface desde o desenvolvimento de um mapa de navegação e desenho de *wireframes*, numa fase inicial, até às escolhas de tipografia, grelha e cor, que são aplicadas no protótipo final da interface. Esta fase corresponde à terceira fase da metodologia definida para este projeto.

Primeiramente, será analisada a fase de prototipagem e todas as decisões tomadas para a construção deste protótipo, começando pelo *layout* e disponibilização da informação. Passaremos para um protótipo de baixa-fidelidade onde será analisado o fluxo de utilização da interface. Finalizamos a prototipagem com um estudo de grelha, tipografia e cor a ser utilizada de forma justificada.

De seguida, serão apresentados os testes de usabilidade aplicados e analisados os seus resultados e alterações efetuadas no protótipo, sendo este o final a partir do qual se implementou a interface.

5.1 Mapa de navegação

O mapa de navegação desempenhou um papel crucial na determinação do *layout* e da disposição das páginas da plataforma. Ajudou a compreender as necessidades específicas de cada tipo de utilizador definido no capítulo 4 e a garantir que o conteúdo estava devidamente categorizado e acessível.

Proporciona uma visão geral da estrutura da plataforma, permitindo criar e planear melhor os *wireframes* e implementar as páginas posteriormente os menus e os elementos de navegação necessários. Ajudou a tomar decisões informadas sobre a colocação e organização do conteúdo, garantindo que os utilizadores pudessem encontrar e aceder facilmente às funcionalidades relevantes para as suas funções. As figuras seguintes mostram as ações possíveis disponíveis em cada página.

Através da “Home” o utilizador consegue aceder a 5 páginas diferentes, de forma a responder aos requisitos para este caso de uso. Seguindo o exemplo de navegação da plataforma Predix, estas páginas estariam dispostas no lado esquerdo, menu de navegação, tendo a página *dashboard* pré-definida como principal.

A *dashboard* fornece uma visão geral do estado momentâneo de todas as sec-

ções. Com vista de topo sobre o chão da fábrica, torna possível filtrar as secções, selecionando quais as que se pretendem visíveis a cada momento, filtrar por períodos da manhã, tarde ou noite, possibilitando uma visualização mais específica de todas as encomendas em curso. Esta informação inicial é seguida de uma análise estatística de encomendas finalizadas do mês anterior, do mês atual e de uma previsão com base nestes valores para o mês seguinte. Finalizando esta página, temos dois painéis. O painel da esquerda apresenta os últimos relatórios realizados dentro da fábrica e o painel da direita mostra as últimas tarefas, podendo adicionar novas caso necessário e escolhendo uma *tag* de prioridade ou seguimento.

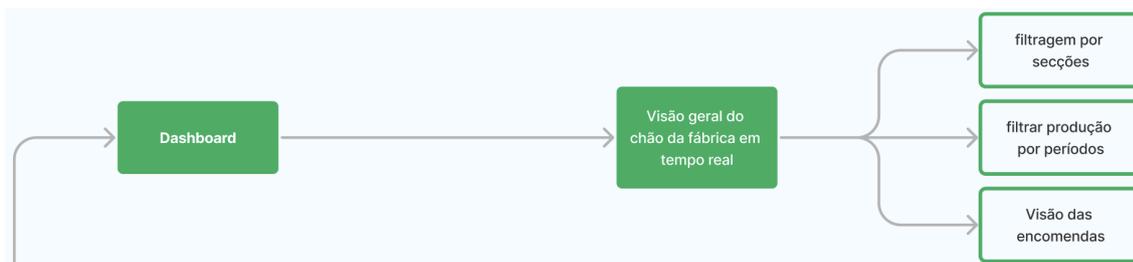


Figura 11: Mapa de navegação - *Dashboard*

De seguida, a página Produção, onde é possível visualizar todas as encomendas listadas em curso. Nesta página é possível filtrar/ordenar as encomendas, adicionar uma nova encomenda para a linha de produção e visualizar o processo individual de cada encomenda, tendo acesso aos seus materiais e relatórios atribuídos e onde é adicionado um novo processo sempre que muda de secção, registando um relatório de continuidade ou de reportação de algum problema relativamente à secção atual.



Figura 12: Mapa de navegação - Ordem de produção

A terceira página é destinada às secções, permitindo uma visualização individual e detalhada, podendo verificar as encomendas que estão presentes na secção, assim como as matérias-primas em utilização e os últimos relatórios registados e associados à mesma.



Figura 13: Mapa de navegação - Secção

De seguida, a quarta página, é destinada à qualidade, onde é possível visualizar todos os relatórios registados na plataforma, podendo filtrar ou ordenar por alguma encomenda especificamente, assim como adicionar um novo relatório ou reportar algum erro sempre que necessário.

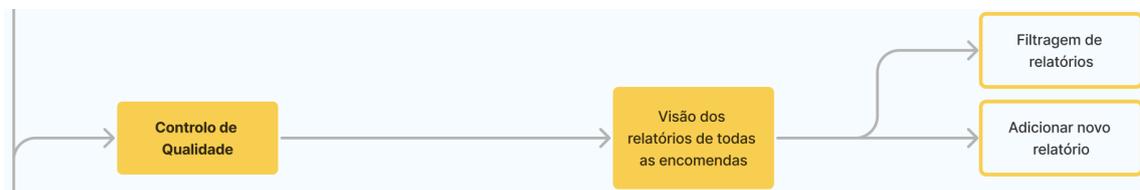


Figura 14: Mapa de navegação - Qualidade

A quinta página do menu é referente aos recursos, que fornece uma visão detalhada das matérias-primas, incluindo a sua identificação e a vida/quantidade útil. O utilizador será capaz de adicionar ou eliminar um recurso e rastrear as matérias-primas.



Figura 15: Mapa de navegação - Recursos

A sexta e última página é dedicada às plataformas externas que permitem fazer ligação aos dispositivos conectados à rede e aceder individualmente, permitindo acesso a dados específicos de determinado dispositivo.



Figura 16: Mapa de navegação - Plataforma externa

Após analisarmos o mapa de navegação e testá-lo face aos requisitos e os cenários do tipo de utilizador demos início à fase do desenvolvimento do protótipo. Começando pelos *wireframes* para ter uma perspetiva estrutural das páginas da plataforma.

5.2 Protótipos

A prototipagem serviu como uma fase crítica em que se detetaram possíveis falhas, se concretizaram ideias inovadoras e se estabeleceram as bases para a melhor plataforma possível. Este capítulo analisa a importância da prototipagem e o seu impacto no aperfeiçoamento da solução para satisfazer as necessidades dos utilizadores.

Ao criar os primeiros protótipos, conseguimos visualizar as características da plataforma, as funcionalidades e as interações dos utilizadores. Permitiu-nos experimentar, iterar e validar as nossas decisões de *design*, conduzindo-nos, em última análise, ao protótipo ideal para testar e posteriormente implementar.

5.2.1 Wireframes

Um *wireframe* é um diagrama básico que ilustra a forma e as funções principais num único ecrã ou ecrãs de uma página web ou aplicação. A fidelidade destes *wireframes* irá aumentar em pormenor à medida que são aperfeiçoados. São representados por contornos e formas básicas a preto e branco para sugerir onde os elementos de navegação, texto e gráficos serão colocados no ecrã. A criação destes *wireframes* deverá dar uma visão abrangente do esqueleto de todo o produto. [Hamm, 2014]

Uma *dashboard* é uma representação visual das informações mais importantes e necessárias para atingir um ou mais objetivos, consolidada e disposta num único ecrã para que a informação possa ser monitorizada num relance. As informações apresentadas devem consistir, fundamentalmente, em resumos de alto nível, incluindo exceções, para comunicar rapidamente. Proporciona rápida informação acerca daquilo que está a acontecer, mas não explica o motivo pelo qual está a acontecer, de forma semelhante aos indicadores, medidores e luzes indicadores de um carro. O diagnóstico requer posterior investigação mais aprofundada e detalhada. Se os utilizadores da *dashboard* necessitarem de informação em tempo real para alcançar os seus objetivos, então o painel de controlo deve apresentá-las [Few, 2004].

A figura 17 representa o *wireframe* desenvolvido para a *dashboard* do projeto, segundo a definição de Hamm, começando pelos elementos de navegação principais e fixos na utilização da plataforma e depois, conforme os princípios de Few, mostrando os dados principais de forma sintética e uma visão de topo do chão da fábrica. O menu principal disponibilizado à esquerda, contempla as diferentes páginas disponíveis da plataforma e também a navegação auxiliar de topo, indicando a página atual do utilizador, uma barra de pesquisa, um ícone de utilizador e respetivas notificações. Depois destes elementos fixos entre páginas, a nossa *home* dispõe ainda de informação de topo com dados cruciais, começando pelo número de encomendas em produção, seguido pelo número de encomendas que se encontra na secção da montagem e desmontagem, passando para o número de encomendas que se encontra em espera para entrar na linha de produção e por fim o número de encomendas finalizadas nesse dia. De seguida, temos uma visualização do chão da fábrica com dois menus laterais para a filtragem da visualização por uma secção específica ou um período de trabalho.

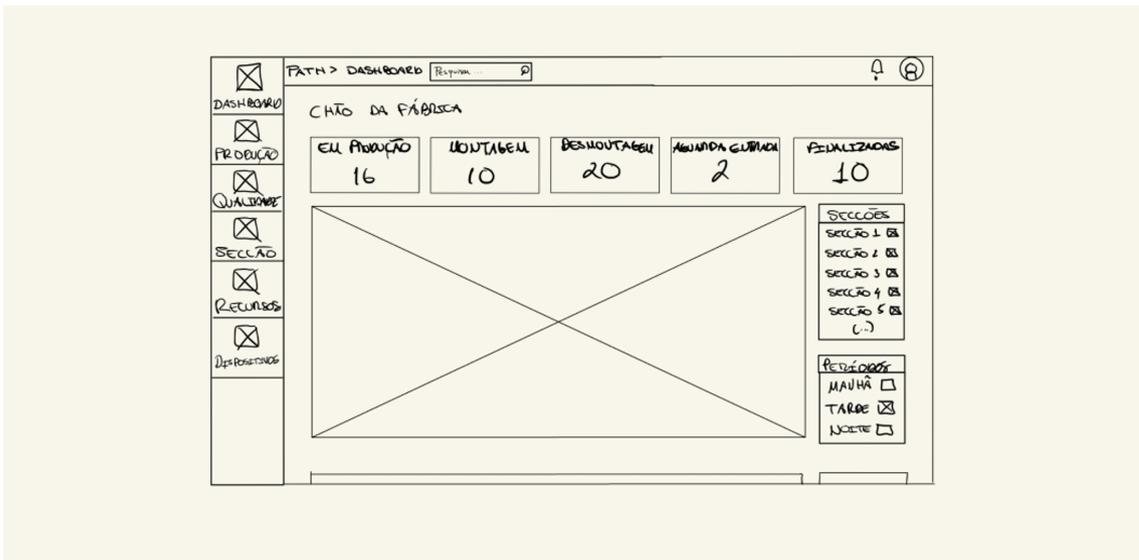


Figura 17: Wireframe da Dashboard (vista do chão da fábrica)

A figura 18 representa a continuação da dashboard através de um gráfico de análise de encomendas finalizadas no mês anterior, de encomendas do mês atual e uma previsão para o mês seguinte, juntamente com uma tabela com valores unitários para dados mais concretos. E finalizando a dashboard, temos duas secções dispostas lado a lado, mostrando a da esquerda os últimos relatórios registados na plataforma e a da direita as últimas tasks atribuídas aos utilizadores da plataforma.

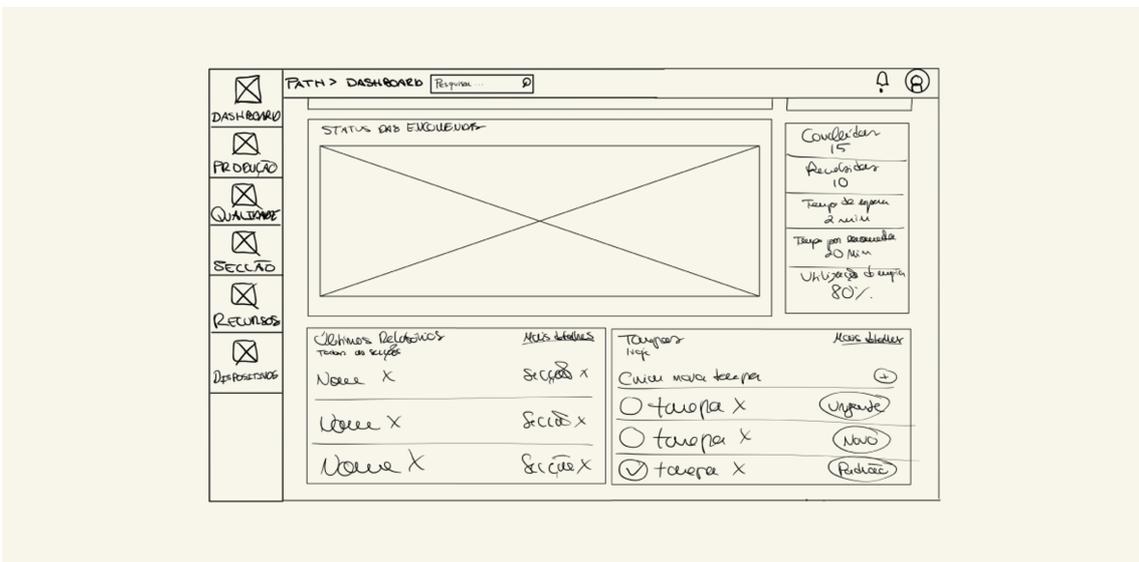


Figura 18: Wireframe da Dashboard (análises de produção)

Toda esta informação se considerou crucial estar representada na dashboard, mas como mencionado por Few [Few, 2006] anteriormente, a informação mais importante deve estar no topo para ser lida de relance. Daí a dashboard estar dividida em duas secções, a primeira com dados live que podem ser necessários a qualquer instante e a segunda secção com dados estatísticos da performance geral da fábrica, tal como os últimos relatórios e tasks já registados, podendo ser

necessário analisar algum dado mais preciso em algum momento.

A figura 19 corresponde à página de produção. Nesta página temos novamente uma informação de topo com dados unitários de leitura rápida, como é o caso do número de encomendas em produção, do número de encomendas que aguardam entrada, do número de encomendas em espera, encomendas previstas e o nível de produção no momento. A seguir a estes dados disponibilizados temos uma tabela que disponibiliza informação de todas as encomendas designadamente o número, nome, estado, secção atual, data de registo e um botão para registar uma nova encomenda na plataforma.

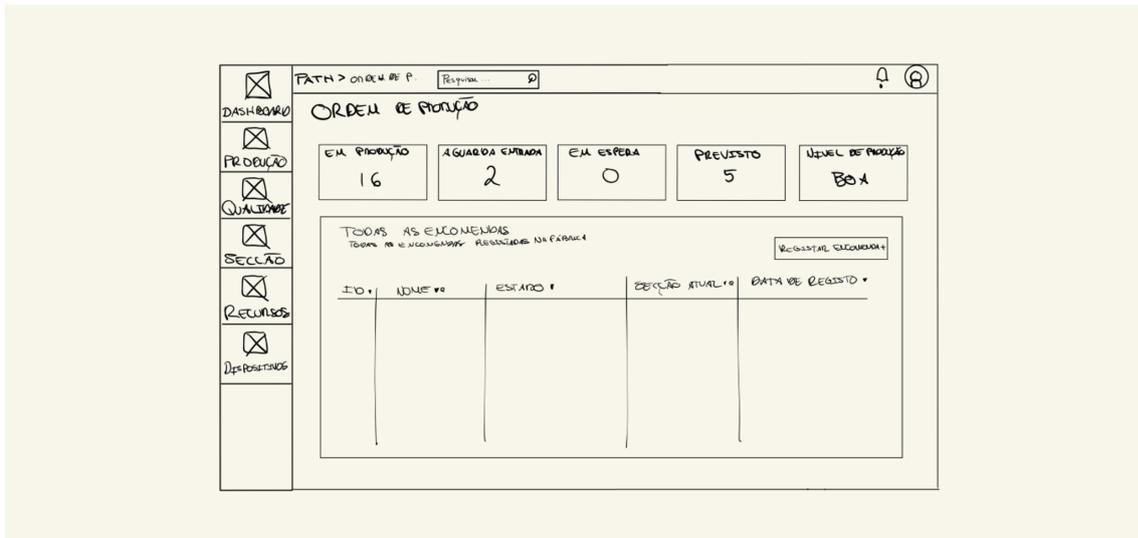


Figura 19: Wireframe da tabela de registos de produção da fábrica

A figura 20 é a janela de registo da encomenda que é aberta caso o utilizador deseje registar uma nova encomenda. Todos os campos são de carácter obrigatório e operacionalizam-se começando pelo nome da encomenda, passando para o respetivo valor, para a escolha de materiais destinados à encomenda e por fim um campo de texto para colocar observações caso possa ser necessário.



Figura 20: Wireframe de registo de encomenda

A figura 21 corresponde à página de informação detalhada de cada encomenda. Começamos pela informação de topo onde encontramos disponível o número da encomenda, a respetiva data de registo, o nome do utilizador que registou a plataforma, a data em que entrou em processo de produção e o estado atual da encomenda, dados estes feitos automaticamente. De seguida podemos visualizar o estado da encomenda com uma barra de progresso, separada pelas secções da fábrica e que vai atualizando o seu estado de construção à medida que o trabalhador destinado à secção em que se encontra a encomenda dê continuidade ou reporte algum problema ao clicar nos botões em baixo da barra de progresso. Numa terceira secção podemos visualizar duas tabelas: à esquerda, relativa à matéria-prima atribuída à encomenda e à direita, referente aos relatórios associados à mesma. Por fim contactamos o campo de observações com a informação que foi colocada durante o registo da encomenda. Neste ecrã é possível editar ou eliminar a encomenda a qualquer momento.

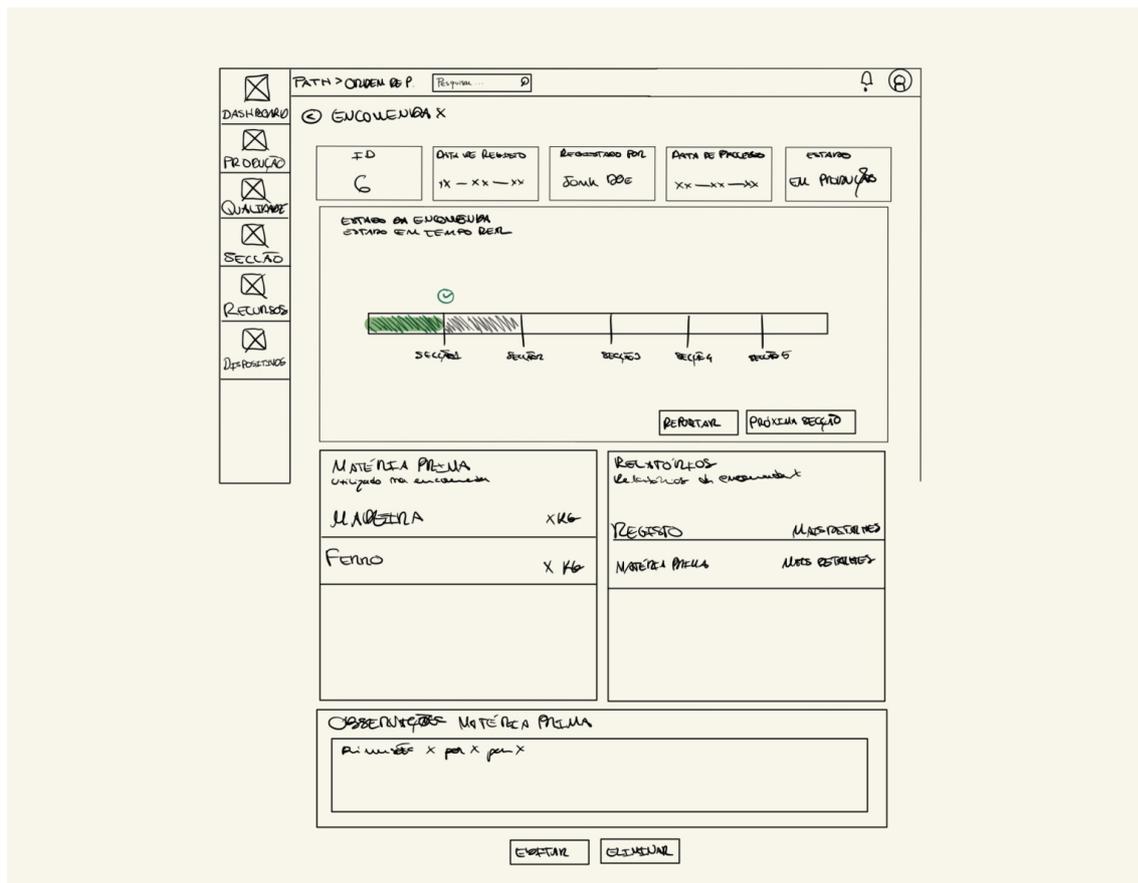


Figura 21: Wireframe de visualização detalhada de dados da encomenda

Seguindo a ordem do menu lateral, a figura 22 corresponde à página de qualidade onde estão contidos todos os relatórios registados na fábrica. A informação de topo corresponde ao número total de relatórios, ao número de relatórios reportados com problemas e ao número de relatórios registados em cada dia. De seguida, dispomos de uma tabela com todos os relatórios, podendo obter filtros ou ordenar por nome, secção ou data de registo. Todos os relatórios podem ser visualizados individualmente. O utilizador tem a liberdade de adicionar um relatório a qualquer momento, escolhendo a encomenda a que quer atribuir o mesmo.

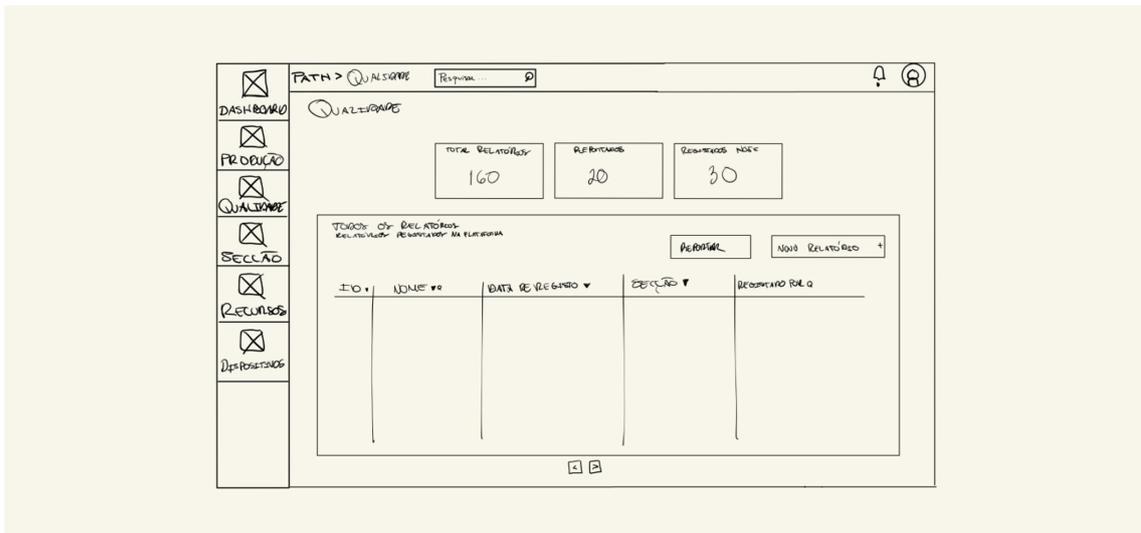


Figura 22: Wireframe de visualização da tabela de relatórios de qualidade

Ao clicar-se em algum relatório da tabela de qualidade, temos acesso a uma nova página destinada aos dados do relatório em específico. A figura 23 corresponde à *wireframe* da página com os dados do relatório pretendido, com um número id, com a data de registo, nome do utilizador que registou, a secção a que pertence o relatório e a tipologia de relatório que foi escolhido. Logo a seguir temos disponíveis todas as informações da encomenda à qual foi atribuído o relatório e as suas observações, sendo possível transferir, editar ou eliminar qualquer relatório



Figura 23: Wireframe de visualização de um relatório específico

A figura 24 corresponde ao ecrã denominado por secções, onde é possível visualizar cada secção detalhadamente, desde os seus valores de produção, respetivos problemas, encomendas em espera e os últimos relatórios atribuídos.

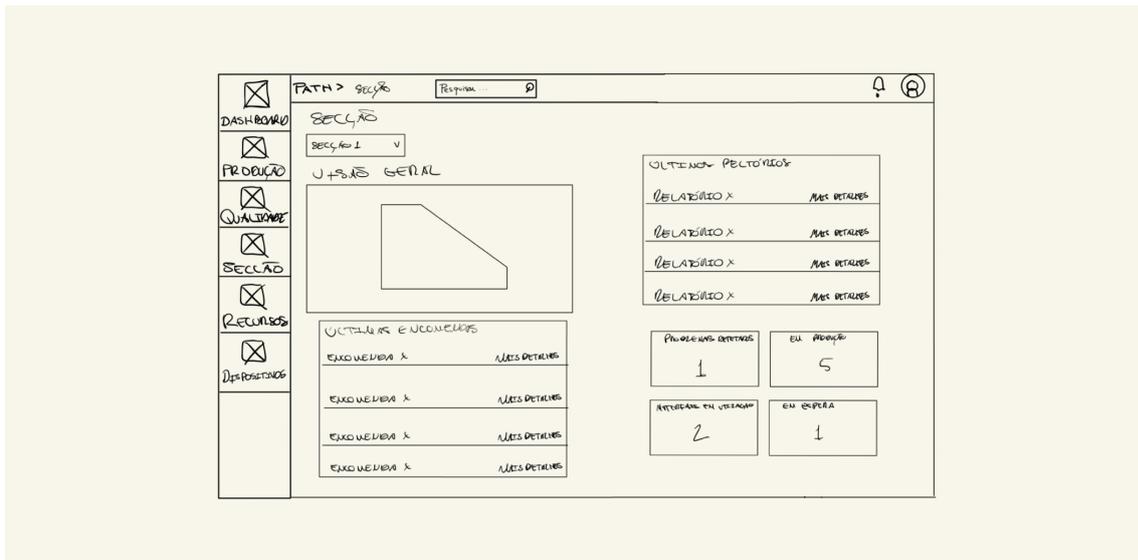


Figura 24: Wireframe de visualização de dados de cada secção

A figura 25 corresponde ao ecrã relativo aos recursos e onde é possível visualizar toda a matéria prima registada na plataforma. A representação é feita através de uma tabela organizada por id, nome, estado, quantidade, e dentro deste elemento, está criado um botão para adicionar materiais sempre que necessário. Do lado direito do ecrã é possível visualizar valores unitários de número de materiais, quantos estão a ser utilizados e o estado geral desses materiais.

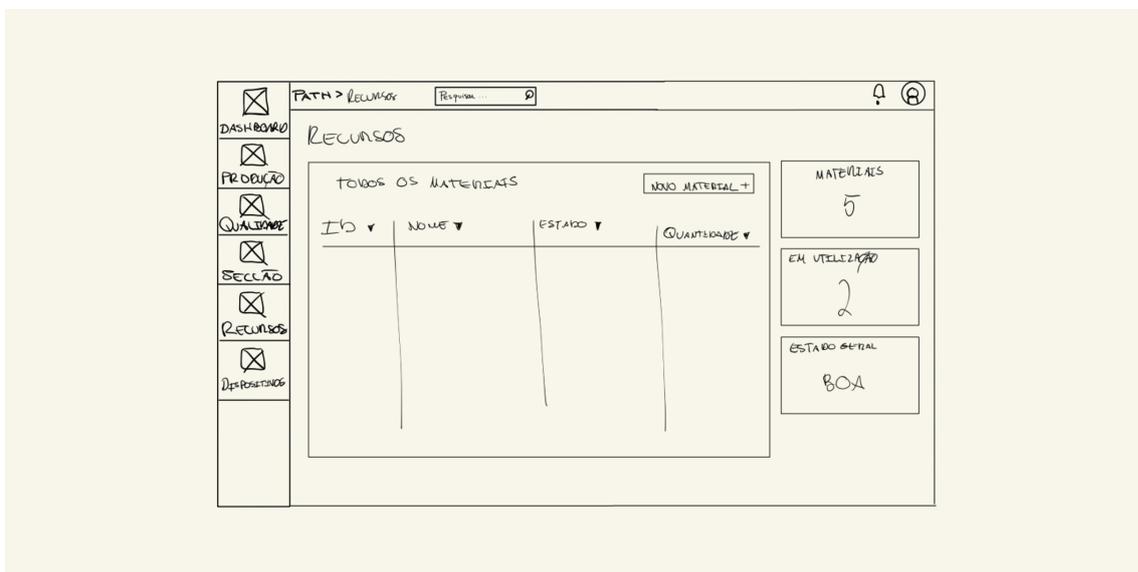


Figura 25: Wireframe de visualização dos materiais registados

5.3 Análise de guidelines

A conceção de uma interface deve ser harmoniosa e consistente em toda a informação proporcionada e ecrãs disponibilizados. Segundo O'Hara, "Deve ser

evidente a conceção de uma interface consistente para todos os elementos de visualização (...) a informação deve ser apresentada de forma consistente, de acordo com normas e standards familiares aos utilizadores. A informação do sistema deve fornecer uma visão global do ambiente pretendido e fornecer detalhes específicos para ser possível atingir os seus objetivos.” [O’Hara, 2020]. Uma interface fácil de utilizar faz com que o utilizador seja mais eficiente, eficaz e satisfeito com a utilização da plataforma.

Com base nestas informações foi feita uma pesquisa em procura de um *design system* bem desenvolvido e flexível na sua aplicação, pois o desenvolvimento de um sistema requeria muito tempo e estudo prévio. Para este efeito, existem muitos *designs systems* disponibilizados gratuitamente e que são utilizados por grandes empresas e plataformas mundialmente conhecidas, sendo exemplo o bootstrap analisado seguidamente.

5.3.1 Bootstrap

O bootstrap é uma estrutura de *front-end*. Quando foi lançada em 2011, assumia-se como uma ferramenta interna para manter a consistência e simplificar o processo de desenvolvimento de projetos do Twitter. Posteriormente, foi lançado como um projeto de código aberto, devido ao seu potencial, tornando-o aberto e disponível gratuitamente a todos os utilizadores que o quisessem utilizar. Atualmente, é uma das estruturas de *front-end* mais usadas no desenvolvimento web, contendo um *design system* consistente e vasto. A versão 5 [Bootstrap, 2021] é a mais recente da estrutura, oferecendo melhorias e novas funcionalidades, garantindo que os websites e aplicações sejam concebidos com o melhor aspeto e simplicidade possível, funcionando bem em vários dispositivos e tamanhos de ecrã. O seu sistema de grelha personalizado permite maior flexibilidade e liberdade na criação de *layouts* responsivos. O seu *design system UI kit* disponibilizado na plataforma Figma, de forma gratuita, permitiu o desenvolvimento do estado de *wireframe* para o protótipo de alta fidelidade, utilizando os seus componentes, cores e grelhas.

5.3.2 Layout e grelha

Como já foi anteriormente referido na introdução ao subcapítulo *wireframe*, as informações apresentadas devem consistir principalmente em resumos de alto nível, permitindo ao utilizador tomar decisões de forma mais rápida e intuitiva. Desta forma, começaram a ser definidos os componentes fixos tais como o menu de navegação, a informação da página e a barra de topo, definindo o espaço necessário e a sua posição para perceber o espaço disponível à informação a visualizar da fábrica. Seguindo os exemplos de plataformas mencionadas anteriormente no estado da arte, a barra de navegação de topo é destinada à barra de pesquisa, zona de notificações, dados do utilizador e informação da página. A barra de navegação entre páginas ou menu da plataforma ficou localizada no lado esquerdo, mantendo a área principal de informação ao centro, ocupando a maioria de espaço do ecrã. Estes componentes foram colocados numa grelha chamada de *desktop container* já criada pelo bootstrap de 1320px com 12 colunas de 86 pixéis separados por 24 pixéis entre si, completado por duas colunas nas

extremidades de 12 pixéis dando uma margem de segurança à visualização dos componentes.

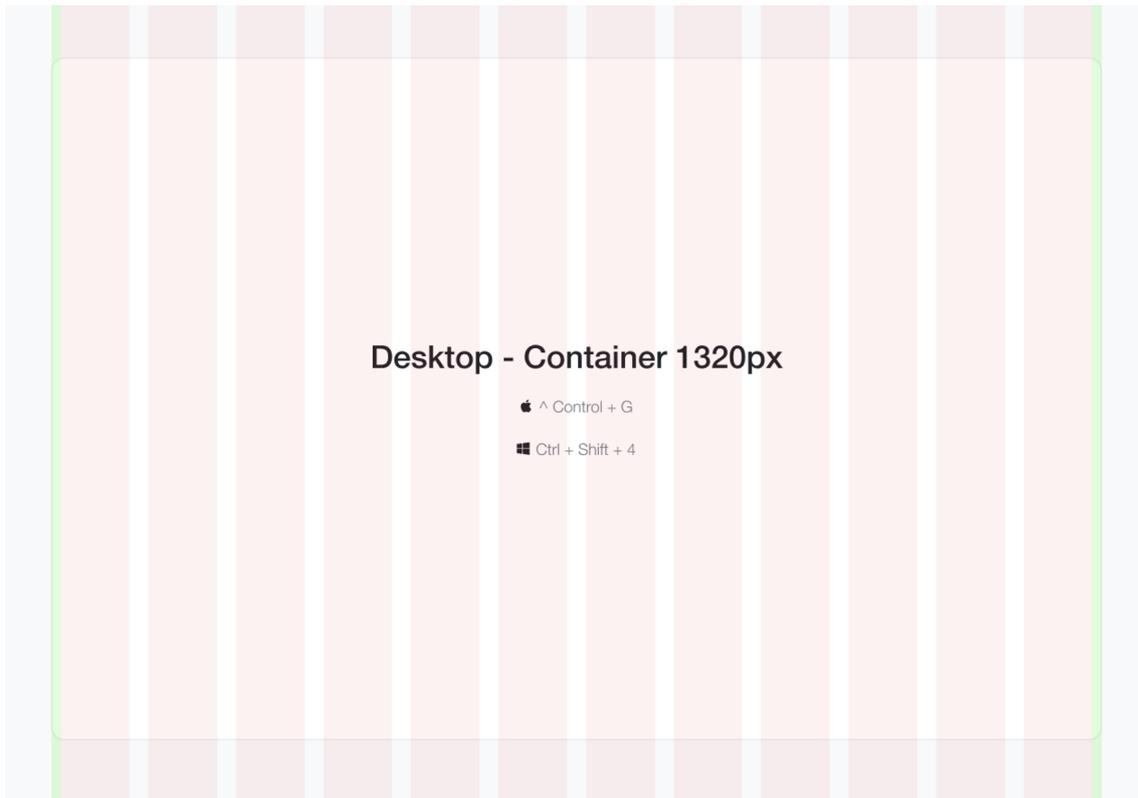


Figura 26: Grelha utilizada para a criação da interface

O espaço determinado pelo menu lateral foi de 2 colunas, neste caso as primeiras duas colunas da esquerda, dando espaço ao ícone e ao nome da página correspondente, enquanto que a barra de topo ocupava toda a zona superior restante, mantendo sempre o *padding* de 24 pixéis pré-existentes da grelha.

Após a definição destes componentes foi colocada a informação de topo em forma de cartão, contendo o nome do valor apresentado e a sua quantidade. Todos os ecrãs principais contêm uma informação de topo, entre quatro a cinco cartões conforme a informação que seja importante mostrar, neste caso, valores de produção, encomendas em curso ou estado da matéria prima. O resto da informação foi repartida por blocos de informação colocados ao longo da página para o utilizador poder analisar com mais detalhe.

5.3.3 Cor

Após a definição da grelha e do *layout* foi necessário adicionar cor aos componentes. O objetivo desta fase consistiu em proporcionar uma sensação de simplicidade e consistência cromática, mantendo a legibilidade e a importância do conteúdo. Desta forma, foi utilizado para o tema da plataforma apenas uma cor primária, preto, branco e as suas variações de tons, acompanhado pelas cores convencionais associadas a eventos como perigo, alerta e sucesso, concretamente o vermelho, amarelo e verde. O *design system* já fornece esta paleta de cores utilizada assim como as respetivas variações, tendo como cor principal o azul, do

qual resulta um estilo mais inovador em contraste com o branco.

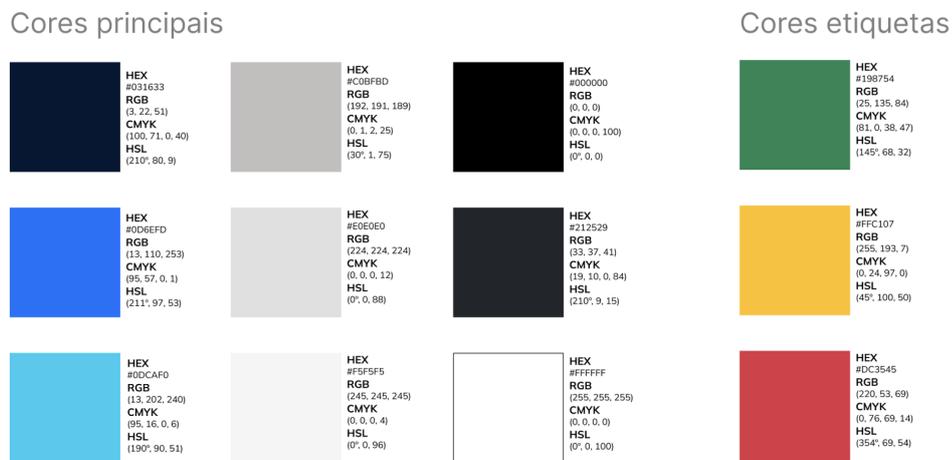


Figura 27: Paleta de cores principal e etiquetas

Seguindo a linha de construção do protótipo, foram atribuídas primeiramente as cores do menu e da zona principal de informação. Querendo dar destaque à informação, assim como uma boa legibilidade aos textos e títulos, colocamos o fundo branco com a informação a preto para conseguir atingir esse efeito. Tanto os cartões de topo como os restantes componentes principais eram colocados dentro de uma caixa com borda cinzenta, de forma a delimitar o conteúdo e direcionar mais rapidamente o olhar do utilizador para a informação pretendida. Ao menu foi aplicado texto branco para conseguir contrastar o texto a preto e colocado sobre um fundo com a cor azul proporcionando claramente separação entre o conteúdo e a navegação. A barra de topo segue a mesma linha de cores da informação principal, dando acentuada continuidade ao fundo da página. As janelas de adição de nova encomenda, adição de relatório ou a de visualização, tanto de uma encomenda, como de um relatório, seguiram o mesmo conceito de fundo branco com texto a preto, delimitado por caixas com bordas cinzentas. O sistema de etiquetas é utilizado para a avaliação da produção, para notificação de alguma ação dentro da plataforma ou fábrica e categorização de tarefas. Informações ou indicações gerais, como são exemplo o botão de registos de encomendas, o botão relatórios de seguimento, novas tarefas ou novos materiais, são notificados com a cor azul clara. A conclusão de encomendas, a confirmação de ações ou o bom estado geral de produção é representado a verde, sendo uma cor permanentemente associada a sucesso e segurança. Já o alerta para futuros problemas, o pouco stock de matéria prima ou a urgência em executar uma tarefa, são representados a amarelo, sendo uma cor associada a aviso ou precaução, sinónimo em como se requer atenção especial. Todos os problemas, botão de reporte de erros em qualquer secção, encomenda ou falta de material, são representados a vermelho, sendo esta a cor associada a perigo ou urgência, chamando logo a atenção ao utilizador para a devida notificação.

5.3.4 Tipografia

A tipografia constituiu, também, um aspeto igualmente importante e tão valorizado como as outras fases do desenvolvimento da plataforma, visto que um dos principais objetos deste projeto consiste na transmissão de informação de forma clara e objetiva para o destinatário.

Analisando o livro de Ellen Lupton [Lupton, 2010], a autora explica os benefícios das fontes não serifadas e fala na existência de fontes já desenvolvidas exclusivamente para a *web*, dando como exemplo a fonte verdana que apresenta curvas simples, uma forma aberta e um bom espaçamento. Defende a autora em causa que uma boa escolha de tipografia tem a capacidade de passar despercebida, melhorando a experiência do utilizador e uma absorção mais rápida da informação veiculada. Outro ponto a ter em conta é a licença de uso da fonte. Todas as fontes testadas foram retiradas diretamente do google *fonts*, por ser um local aberto de fontes para uso pessoal ou comercial, e porque proporciona uma biblioteca extensa e com muitas variações de pesos.

Após alguns testes de fontes não serifadas, optámos pela fonte Inter por conter uma vasta gama de caracteres, pesos e pela sua excelente legibilidade e facilidade de leitura, sendo uma fonte otimizada para utilização em ecrãs. É uma fonte também utilizada na *Urban Platform* da Ubiwhere, o que torna uma escolha aprovada para utilização no contexto empresarial.

Família tipográfica Inter

Thin

AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#
AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#

Extra Light

AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#
AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#

Light

AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#
AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#

Regular

AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#
AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#

Medium

AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#
AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#

Semi Bold

AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#
AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#

Bold

AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#
AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#

Extra Bold

AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#
AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#

Black

AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#
AaBbDdEeGgMmOoRrSs
1234567890 !?()[]{}@#%#

Figura 28: Família tipográfica Inter

Muito embora esta tipografia tenha diversos pesos, apenas foram utilizados três pesos diferentes ao longo da interface: *bold* para títulos, *semi bold* para subtítulos e botões, e regular para texto corrido. Os botões e os títulos a *bold* são apresentados em caixa alta.

A hierarquia visual foi conseguida através dos diferentes pesos e tamanhos utilizados pela tipografia, de forma a conseguir diferenciar o destaque e a importância da informação.

5.3.5 Iconografia

Temos dois tipos de ícones nesta interface: os denominados ícones semânticos que transmitem significado e transmitem pistas visuais na interface do utilizador, neste caso, os botões utilizados na plataforma, distinguindo-se através do cursor que passa a *pointer*. E os designados ícones decorativos que projetam esteticamente os títulos e nomes das páginas do menu e as ações do utilizador.



Figura 29: Alguns ícones utilizados na interface

5.4 Alta-fidelidade

Depois do desenvolvimento de *wireframes*, *layout* e grelha definida e à medida que foi sendo criado o universo gráfico para a interface, foi-se desenvolvendo o protótipo de alta fidelidade. Considerando que o principal propósito da *Dashboard* será o de proceder ao acompanhamento e análise de encomendas num contexto empresarial, apenas foi desenvolvido um protótipo para *desktop*, não havendo necessidade de realizar um protótipo para dispositivos móveis. Deste modo e como já anteriormente referido, foi apenas utilizada a grelha disponibilizada para *desktop* pelo *design system* do bootstrap. A estrutura da grelha é responsiva entre *desktops* com um mínimo de treze polegadas de monitor.

Dashboard

Dashboard é a *homepage* desta plataforma, onde os dados importantes e a disposição da fábrica é visualizada instantaneamente ao abrir. O utilizador pode ativar ou desativar qualquer secção ou período delimitado de trabalho para analisar dados específicos. A restante análise é colocada de seguida, dentro do espaço de visualização para o utilizador entender que é possível executar *scroll* e visualizar a restante informação. No final são apresentadas duas caixas de informações com os últimos relatórios e tarefas registadas, podendo aceder-se a todo o conteúdo através do botão denominado por “mais detalhes”.

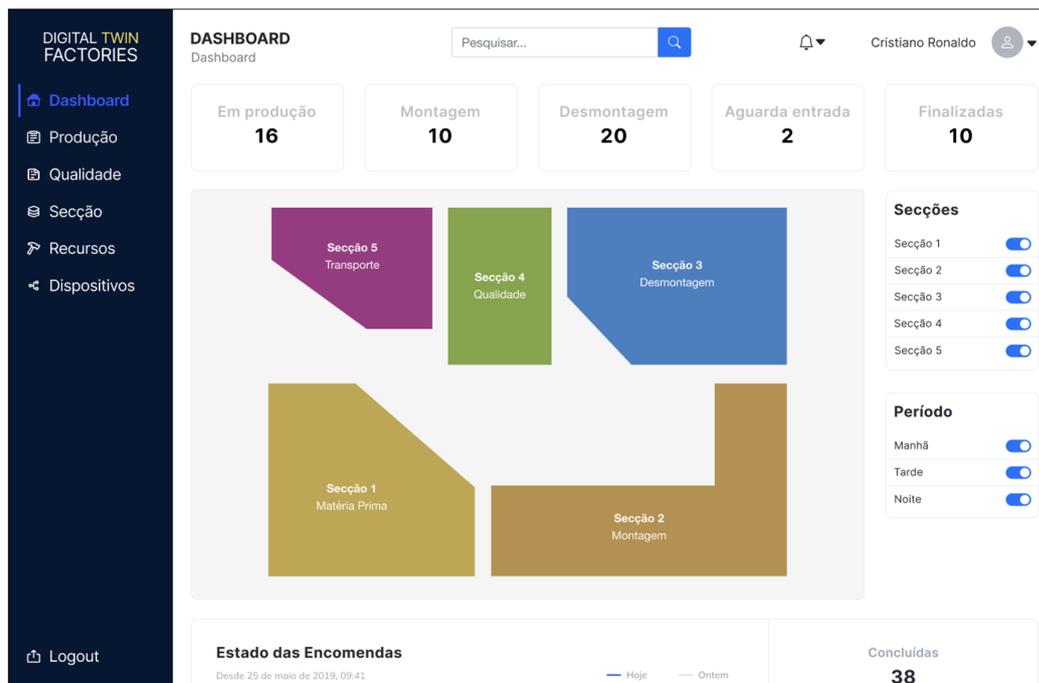


Figura 30: Mockup ecrã dashboard

Produção

Quando o utilizador pretende registar uma nova encomenda ou aceder a alguma encomenda já em fase de produção, ou verificar o estado de produção, pode clicar na página intitulada de produção, onde tem acesso aos números da produção e a uma tabela que disponibiliza todas as encomendas registadas na plataforma. Esta tabela pode ser ordenada por qualquer campo de forma ascendente ou descendente.

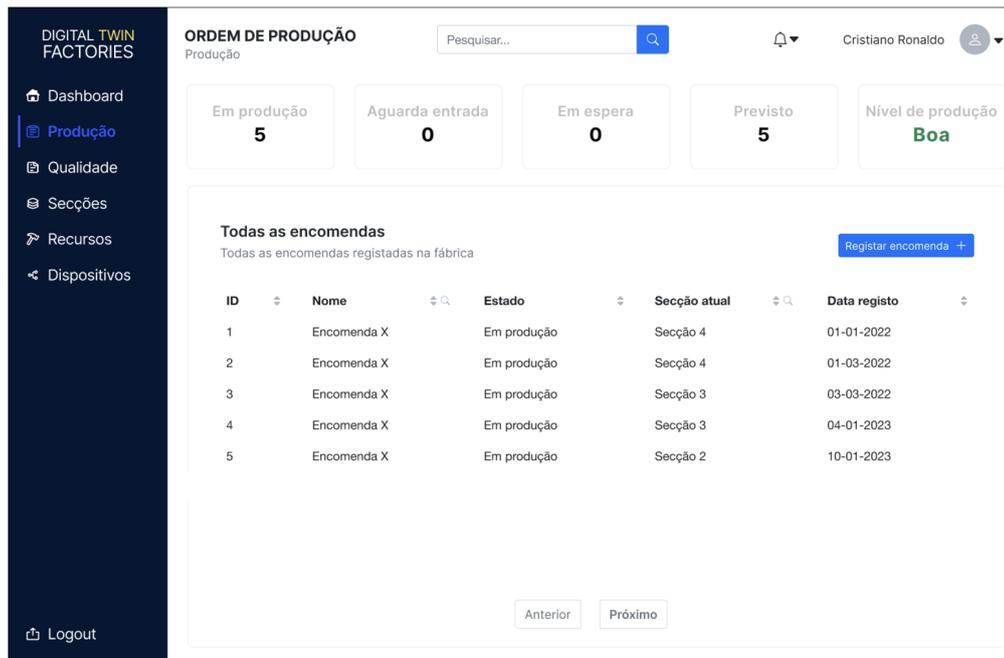


Figura 31: Mockup ecrã produção

Encomenda individual

Dentro da tabela de produção o utilizador pode aceder a qualquer encomenda clicando na linha pretendida. Essa ação faz abrir uma janela exclusivamente destinada aos dados dessa encomenda específica, juntamente com os seus relatórios e materiais associados. Dentro deste ecrã é possível editar os dados ou eliminar a encomenda.

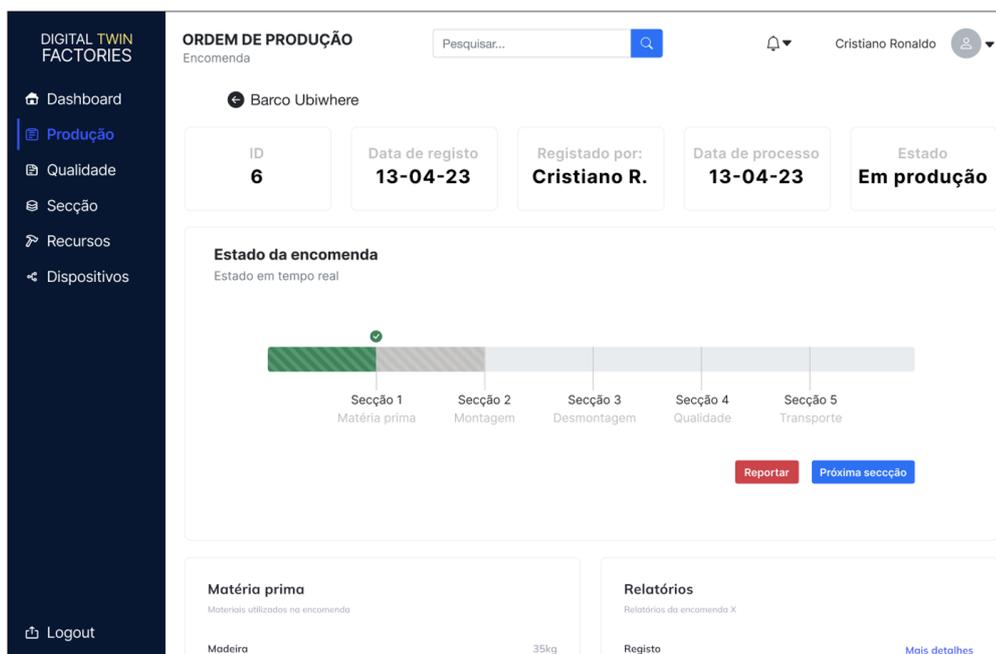


Figura 32: Mockup ecrã encomenda individual

Registrar encomenda

Ao clicar no botão denominado por “registrar encomenda” que está localizado no topo da tabela de produção é possível abrir-se um *overlay* que contém um formulário com diferentes campos, nomeadamente: nome da encomenda, valor, seleção de materiais e a devida quantidade e ainda um campo de observações caso seja necessária alguma informação adicional.

O formulário "Registrar nova encomenda" é exibido em um overlay sobre a interface de produção. O formulário contém os seguintes campos e elementos:

- Nome da encomenda:** Campo de texto com o placeholder "Introduzir nome".
- Valor:** Campo de texto com o valor "\$ 3".
- Materiais:** Seção com botões para selecionar materiais: Madeira, Cobre, Ferro e Vidro. Abaixo, há dois campos de entrada para quantidade e unidade, ambos com o valor "20 kg".
- Observações:** Campo de texto grande com o placeholder "text" e um limite de caracteres de "0 / 255".
- Botões:** "Cancelar" (cinza) e "Confirmar" (verde).

O formulário está sobreposto a uma interface de usuário com um menu lateral à esquerda contendo opções como "Dashboard", "Produção", "Qualidade", "Seção", "Recursos" e "Dispositivos". O cabeçalho da interface mostra "DIGITAL TWIN FACTORIES" e "PRODUÇÃO".

Figura 33: *Mockup* ecrã registrar encomenda

Qualidade

Todos os relatórios registados na plataforma são igualmente dispostos numa tabela, tal como as encomendas, podendo filtrar ou ordenar, conforme o pretendido, dentro da página de qualidade. Dentro desta referida página estão disponíveis dois botões no topo da tabela para se poder reportar algum erro, ou registrar um relatório, a qualquer momento e associar à encomenda pretendida.

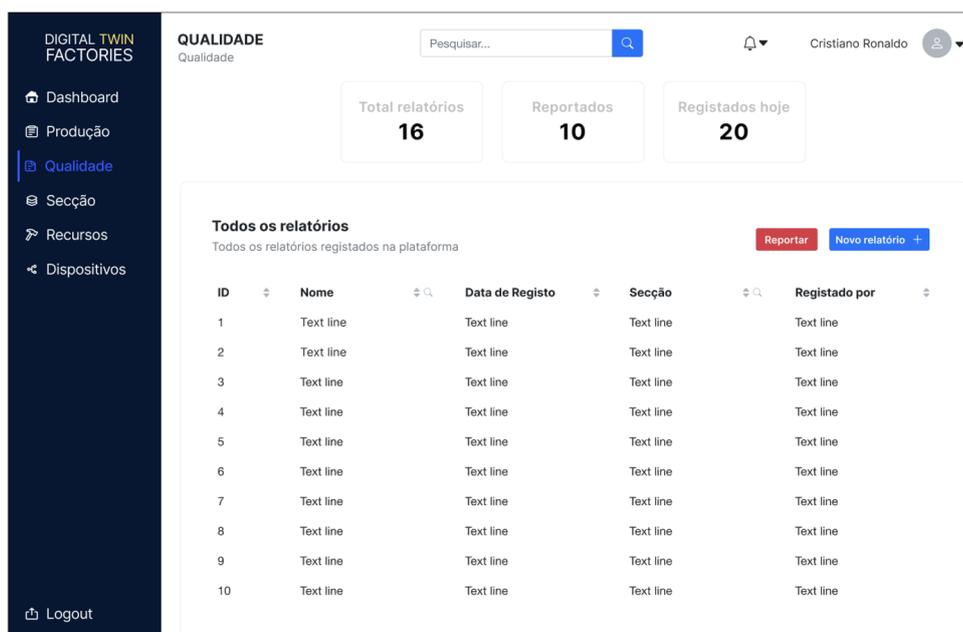


Figura 34: Mockup ecrã registar encomenda

Registar um relatório ou reportar um erro

Quando o utilizador pretende registar um relatório ou reportar um erro, tal como registar uma encomenda, abre-se um *overlay* com um formulário destinado a cada função específica. Neste caso, para registar um relatório é necessário que, previamente, se identifique o nome do relatório, se façam definições como: a que secção e encomenda se destina, tipo de relatório, e observação caso necessário. A diferença entre estes dois formulários reside no tipo de relatório. No caso de registar um relatório os tipos de formulários são: seguimento, conclusão ou envio. No formulário destinado ao reporte de erros os tipos de formulário são: falta de materiais, falta de molde, erro de encomenda ou outro.

A separação do tipo de registo de relatório pelos dois botões tem a finalidade de apoiar o utilizador na sua tarefa de registo, evitando “procurar” na plataforma o local onde deve fazer a diferenciação de relatórios.

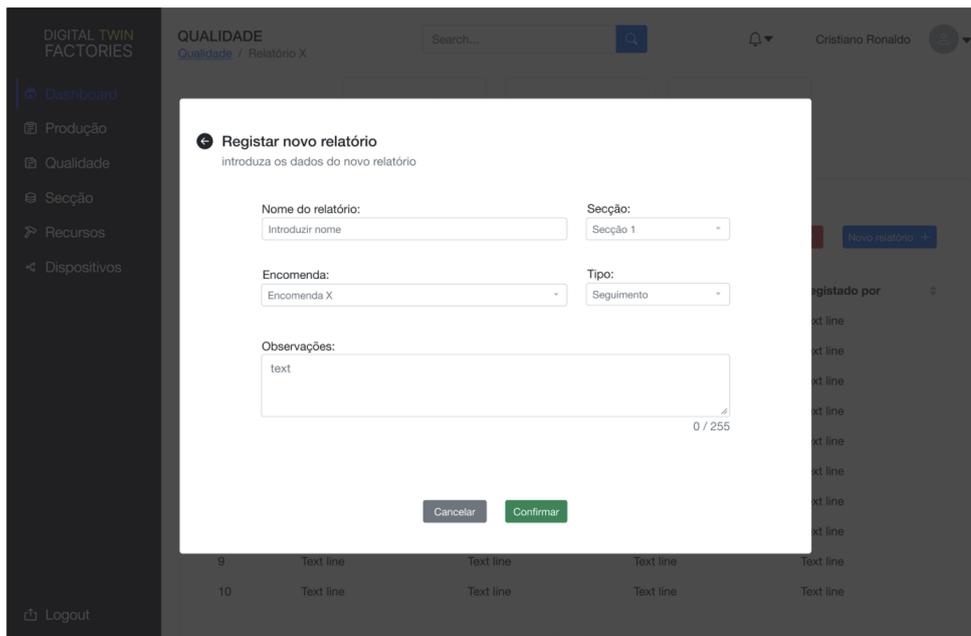


Figura 35: Mockup ecrã registar relatório

Secção

Quando o utilizador pretende obter determinados dados de produção de uma secção em específico, recorre à página designada por secção, onde consegue visualizar cada secção individualmente, seleccionando-a no menu *dropdown* colocado no topo do ecrã.

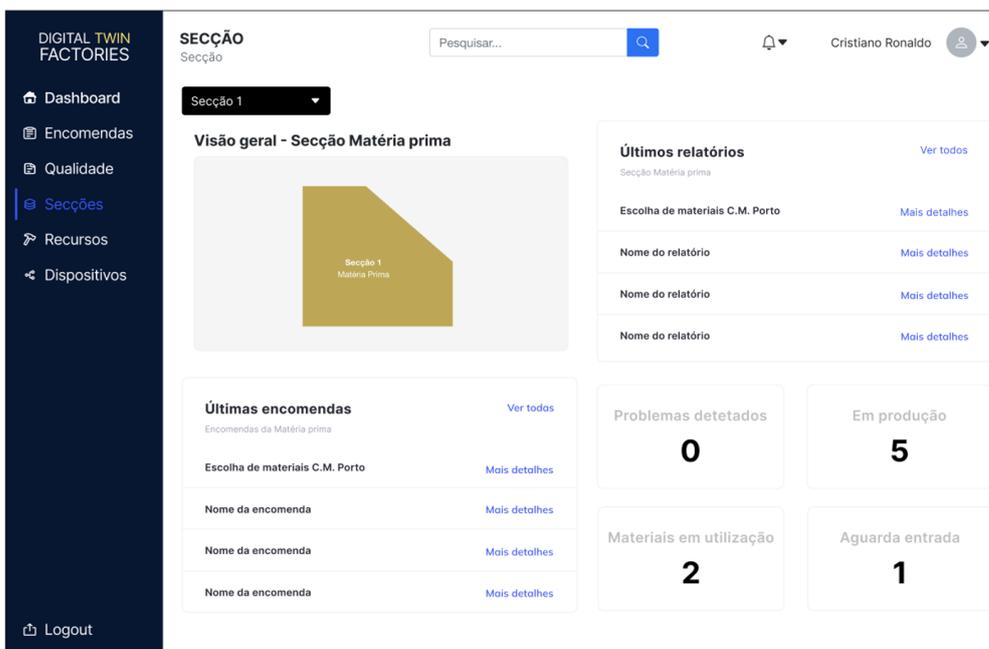


Figura 36: Mockup ecrã secção

Recursos

Para visualizar a utilização dos recursos, respetiva vida útil e quantidade disponível, o utilizador pode aceder à página de recursos onde está disponibilizada uma tabela com todos os recursos registados na plataforma e um botão destinado a adicionar recursos caso o pretenda. O registo dos recursos é efetuado de forma semelhante ao registo de uma encomenda, apenas com os campos do nome do material e quantidade.

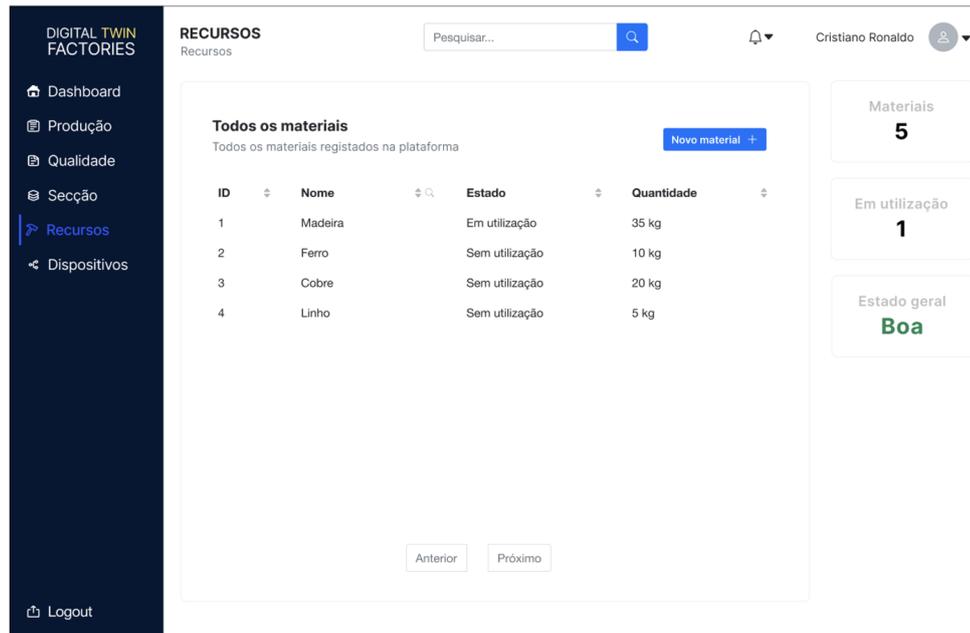


Figura 37: Mockup ecrã recursos

5.5 Testes de usabilidade

Nesta secção são detalhados todos os passos que foram realizados para operacionalizar os testes de usabilidade: desde a respetiva definição de contexto, objetivos e estratégia, até ao guião de tarefas que foram realizadas para o efeito.

5.5.1 Contexto

Quando o protótipo de alta-fidelidade se encontrava preparado, de acordo com os requisitos iniciais e os indicadores proporcionados por parte da Ubiwhere, decidiu-se avançar para os testes de usabilidade, verificando a usabilidade e o *workflow* da plataforma. Nesta fase, a interface não estava implementada. Estes testes têm como objetivo entender a “lógica” assumida por detrás da ação que é desenvolvida.

5.5.2 Objetivos

Como já referido anteriormente, o principal objetivo da realização destes testes de usabilidade foi avaliar a interface através do comportamento dos utilizadores e verificar a efetividade da plataforma face aos requisitos, com um conjunto de tarefas previamente definidas, tais como: registar uma encomenda, analisar o nível de produção durante um período de trabalho da fábrica, registar um relatório, verificar o estado da matéria-prima.

Estes testes servem também para registar conclusões sobre a forma e o processo de execução das tarefas, podendo surgir a oportunidade de corrigir pequenas falhas que poderão evitar erros maiores já na fase de implementação e, por consequência, prejudicar grande parte do desenvolvimento do trabalho.

5.5.3 Estratégia

De forma a garantir que os testes decorriam da forma mais controlada e coerente possível com todos os utilizadores, foi-me disponibilizado um guião de testes de usabilidade “*template*” pela Ubiwhere, que foram depois adaptados e ajustados a este projeto. Concebeu-se uma lista de tarefas consideradas tarefas-chave para a usabilidade da plataforma e um questionário que todos os participantes preencheram no final dos testes. Este procedimento ajudou a garantir a consistência dos testes realizados e dos resultados posteriores.

Foi simultaneamente constituído um grupo de participantes de forma a serem contactados previamente para se verificar da disponibilidade de cada um. No decurso das primeira e segunda semanas de abril foram aplicados os testes à medida que cada participante apresentava disponibilidade dentro do grupo. Estes testes foram realizados por *zoom* devido à solução de teletrabalho praticado pela Ubiwhere em que, inicialmente, é sempre pedida permissão para gravar o ecrã, podendo ser registadas as tarefas e as reações de cada utilizador. Aos utilizadores foi lido o guião e a lista de tarefas a realizar, à medida que eram estas eram executadas. No final da realização das tarefas foi-lhes entregue um questionário de satisfação de usuário.

5.5.4 Participantes

A escolha de participantes é igualmente importante às fases aplicadas nestes testes de usabilidade. Segundo Barnum, temos de saber quando realizar pequenos estudos, saber como realizar esses pequenos estudos, saber quando realizar grandes estudos e pensar nos testes de usabilidade como uma subida de montanha [Barnum, 2011]. E para esta fase, conforme especificado nos objetivos, é aceitável realizar um teste pequeno e efetivo, perdendo o menor tempo possível nesta etapa. Tendo isso em conta, a escolha de participantes foi feita consoante o seu papel na empresa, desde membros da equipa de *design* e da equipa de desenvolvimento que proporcionavam uma análise profissional e input técnico, a membros como *project manager* e *product owner* que gerem este tipo de plataformas dentro da empresa.

5.5.5 Guião

Bom dia / Boa tarde,

Quero começar por ser transparente, fazer as coisas da maneira certa e obter o teu consentimento, para que possa gravar esta sessão, para que eu possa voltar a ver mais tarde e fazer mais anotações. Isso permitirá melhorar a tua experiência durante a sessão e o nosso projeto no futuro. A gravação será utilizada apenas para efeitos de análise da plataforma. Concordas com estes termos?

- Sim - Continuar a gravar
- Não – Parar a gravação

Antes de mais, obrigado por aceites participar nestes Testes de usabilidade. Antes de passarmos para as perguntas, acho que seria bom se nos apresentássemos rapidamente. Eu posso começar.

(...)

Podes-te apresentar começando pelo teu nome e o que fazes profissionalmente.

Vamos começar o teste. Por favor, abre este link, que contém uma versão primária da plataforma desktop [link]. Seria possível partilhares o teu ecrã, para que possa acompanhar o teu progresso e fazer anotações à medida que completas as minhas orientações?

- Podes fazer isso usando o botão verde central na barra inferior.
- Se precisares, fecha todas as janelas ou aplicativos que desejares antes de partilhar o teu ecrã.

Obrigado!

Para que tu entendas as tarefas que estamos prestes a propor, descreverei as funções para as quais o site foi projetado. A plataforma servirá principalmente para acompanhamento e monitorização de encomendas dentro da fábrica, desde a sua introdução na plataforma, passagem pelas diversas secções, visualização de erros ou defeitos e análise de relatórios introduzidos pelos trabalhadores de cada secção. É necessário mencionar que a versão da plataforma que estás prestes a testar é uma amostra do produto final e provavelmente ainda sofrerá alterações. A aparência é primária. É suposto porque é uma versão de média fidelidade. A maioria dos objetos gráficos não são desenvolvidos e são apenas “*placeholders*”. A maioria das tarefas que te pediremos para realizar nem sequer pode ser executada na sua totalidade, uma vez que a “lógica” por detrás de tal ação não é desenvolvida. Esta sessão tem como objetivo testar as funções básicas e o poder de localizar e encadear a lógica das tarefas que estamos a testar (por exemplo, saber se o botão x está no lugar mais correto). Não há respostas certas ou erradas, e o teste não tem objetivo em termos de duração. Sente-te disponível e completamente à vontade para dedicar o tempo necessário para realizar as tarefas.

Alguma dúvida sobre essas informações?

A forma como sugiro que esta sessão seja organizada é a seguinte:

Vamos colocar vários cenários hipotéticos onde serão introduzidas algumas tarefas a realizar na plataforma. E depois deixamos que encontres a melhor maneira de completá-los. São tarefas simples, mas devido à complexidade gráfica de uma nova plataforma e ao facto de ser observada pela primeira vez, podem causar alguma dificuldade, mas não há problema. Podes retornar ao estado inicial da plataforma a qualquer momento, não há etapas erradas. Vamos estar sempre aqui para te auxiliar sempre que necessário, bem como para te lembrar do cenário e das tarefas quantas vezes tu precisares. Sempre que for necessário preencher campos, basta clicar sobre eles. No entanto, gostaríamos de perguntar-te algo que pode parecer um pouco ortodoxo, mas que é o fator que mais nos ajuda: Pensa em voz alta! Por favor, compartilha os teus pensamentos e raciocínio conosco. Ao fazer isso, se te sentires à vontade, claro, podemos seguir a tua linha de pensamento. Após as tarefas, irás realizar um breve questionário.

Obrigado novamente.

5.5.6 Tarefas

Estas são as tarefas propostas para o teste de usabilidade:

Tarefa 1

- a) Na página *Dashboard*.
- b) Visualiza a produção de peças durante o período da tarde.

Tarefa 2

- a) Registrar uma encomenda.
- b) Acede à área de produção.
- c) Regista uma nova encomenda.
- d) Insere o nome “Barco da Ubiwhere”.
- e) Seleciona o material madeira e insere 20 kg.

Tarefa 3

- a) Visualizar a encomenda registada.
- b) Após o registo da encomenda.
- c) Verifica que esta aguarda entrada em produção.

Tarefa 4

- a) Visualizar quantas peças estão a ser produzidas na secção 2.
- b) Na página secções.
- c) Seleciona a secção 2.
- d) Visualiza os valores apresentados.

Tarefa 5

- a) Avançar a encomenda “barco da Ubiwhere” para a secção Desmontagem.
- b) Volta à ordem de produção e clica na tua encomenda.
- c) Avança a tua encomenda para a secção desmontagem.
- d) Regista o relatório de acompanhamento.
- e) Visualiza o relatório registado.

Tarefa 6

- a) Na página recursos.
- b) Visualiza os materiais disponíveis.
- c) Visualiza o material que está a ser utilizado.

5.6 Resultados

Os seguintes resultados foram obtidos através do questionário aplicado no final de cada teste. Este questionário era composto por 6 itens, ponderados com uma escala de 0 a 6, de forma a forçar o utilizador a escolher um dos lados da escala e não ficar a “meio termo”, 2 questões de resposta extensa e 2 questões de afirmativo ou negativo.

Pergunta 1

Numa escala de 1 a 6, a facilidade de navegar na plataforma?

6 respostas

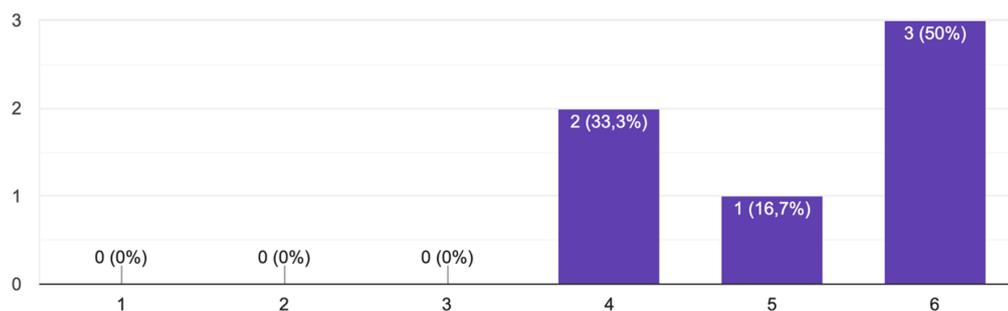


Figura 38: Resposta à pergunta 1 do questionário

Pergunta 2

Notaste alguma oportunidade de melhoria na plataforma (gerada por algum erro e/ou problema na sua utilização)?

6 respostas

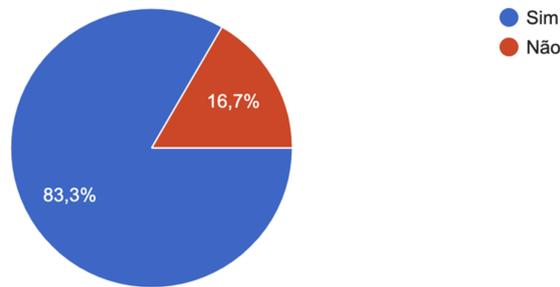


Figura 39: Resposta à pergunta 2 do questionário

Pergunta 3

Se sim, qual?

- A planta do chão de fábrica permitirá alguma interação? Ver apenas onde são e para que servem sem outras métricas ou ações parece-me pobre, a tentação foi logo de tentar "clique" nelas ou fazer *hover* com o rato;
- No registo de encomenda, o formulário não indica que campos são obrigatórios preencher;
- Alterar menu lateral "Secção" para "Secções";
- Melhorar o ecrã dos recursos;
- Ecrã *dashboard* com ligação direta às secções;
- Trocar produção por encomendas;
- Dar mais destaque ao nome das secções (montagem, transporte, ect) em vez de referenciar por secção 1 a 5, tanto no chão de fábrica, como nos menus onde são referenciadas;

Pergunta 4

A plataforma forneceu as informações necessárias para completar as tarefas?

6 respostas

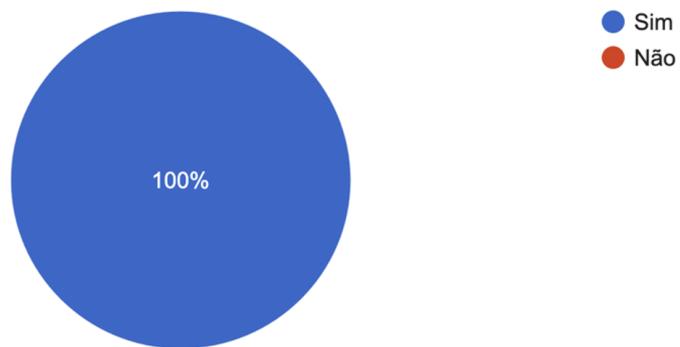


Figura 40: Resposta à pergunta 4 do questionário

Pergunta 5

Numa escala de 1-6, até que ponto foi intuitivo completar as tarefas?

6 respostas

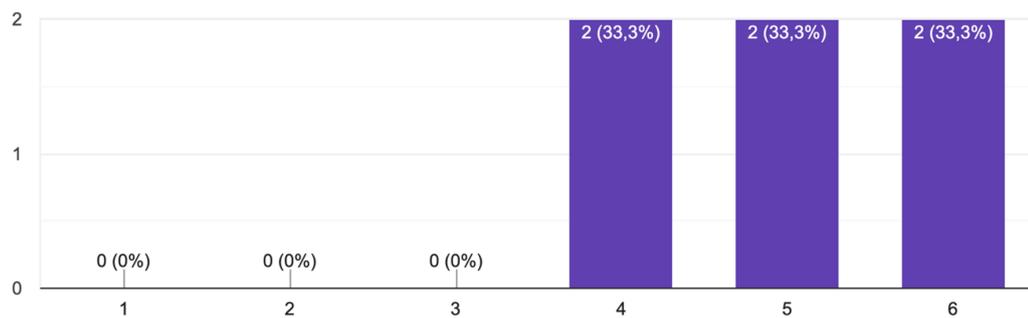


Figura 41: Resposta à pergunta 5 do questionário

Pergunta 6

Numa escala de 1-6, qual foi a utilidade da plataforma para facilitar o processo das encomendas da fabrica?

6 respostas

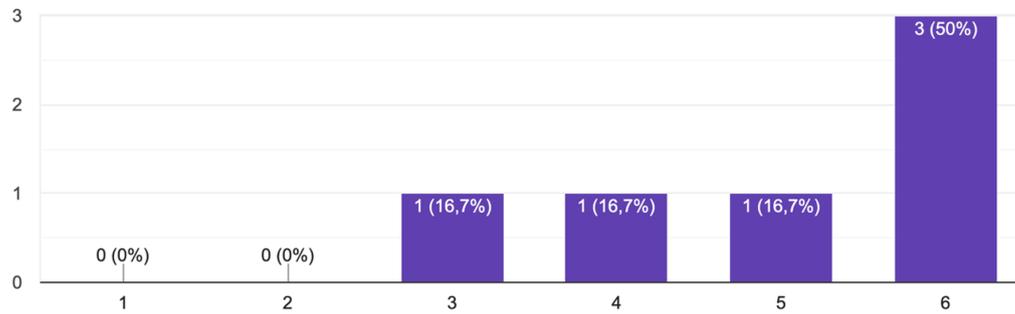


Figura 42: Resposta à pergunta 6 do questionário

Pergunta 7

Numa escala de 1-6, até que ponto estás satisfeitos com a concepção visual da plataforma?

6 respostas

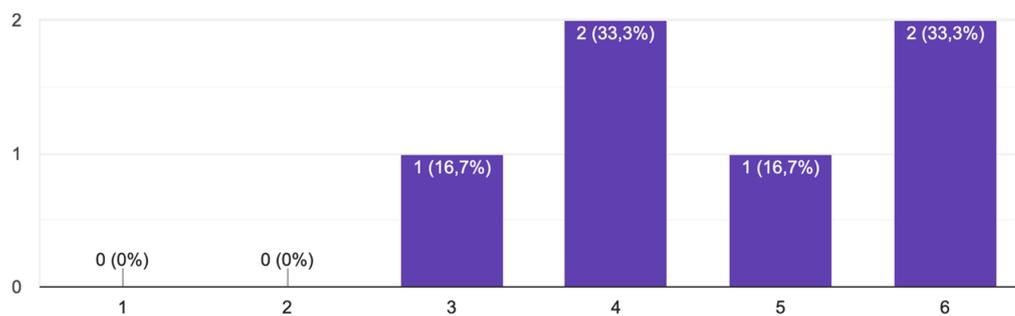


Figura 43: Resposta à pergunta 7 do questionário

Pergunta 8

Numa escala de 1-6, a interface do utilizador e a concepção global da plataforma eram consistentes e de fácil utilização?

6 respostas

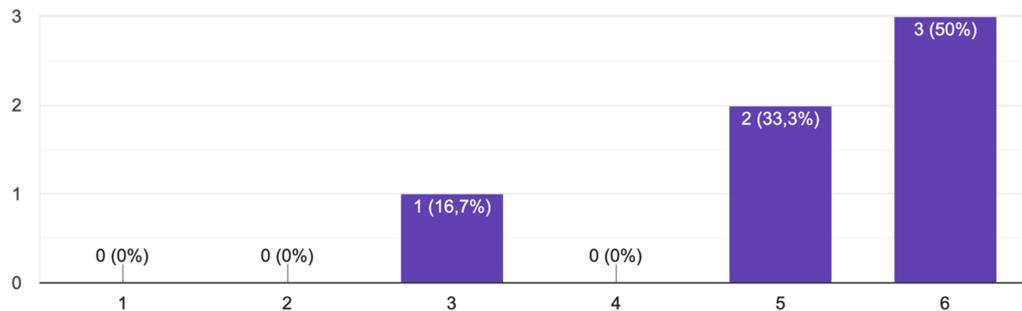


Figura 44: Resposta à pergunta 8 do questionário

Pergunta 9

Numa escala de 1-6, a plataforma forneceu o nível de detalhe necessário para a simulação e visualização dos processos da fábrica?

6 respostas

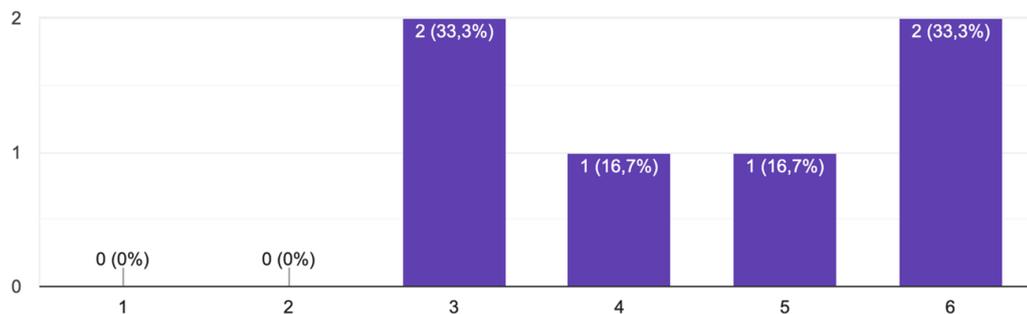


Figura 45: Resposta à pergunta 9 do questionário

Pergunta 10

Faltava alguma característica ou funcionalidade da plataforma que esperavas que estivesse disponível?

- Recursos / materiais e outros conteúdos poderiam ter ícones visuais mais apelativos em vez de apenas texto;
- Seria interessante ter capacidade de previsão de necessidade de materiais tendo em conta ritmo de produção, performance das secções e disponibilidade de materiais em stock;
- Selecionar alguma secção através do mapa do chão de fábrica;
- Melhor gerência dos recursos e dados disponíveis e gestão de custos de materiais para uma melhor estatística;

Pergunta 11

Há mais alguma coisa que gostarias de acrescentar ou dar feedback em relação à plataforma?

- Acho que está bastante simples, mas intuitiva;
- Para as tarefas de execução básicas está essencial com os dados essenciais. Talvez posteriormente investir ainda em mais detalhes de dados e análise de custos e níveis de acesso à informação da plataforma. É algo a ter em conta de forma a ser uma plataforma mais global;
- Adicionar mais informação ao fazer-se *hover* numa secção;
- Adicionar mais detalhes ao painel de recursos - se possível uma estimativa sobre para quanto tempo se estima durar o material existente;
- A plataforma encontra-se claramente numa fase embrionária. Existem alguns problemas a nível de estrutura de informação que dificultam a navegação;

5.6.1 Análise de resultados

Na generalidade, todos os utilizadores conseguiram realizar as tarefas sem dificuldades. Conseguimos concluir que é uma plataforma de fácil navegação, mas ainda necessita de melhoria na interação com os utilizadores, pois não houve concordância acerca da intuitividade da plataforma. Metade dos utilizadores acharam uma plataforma muito intuitiva e metade achou que parte das ações eram mais intuitivas que outras havendo uma discrepância de tempo entre terminar tarefas. Todos os utilizadores mencionaram 3 melhorias importantes que, efetivamente, contribuem para a finalidade da plataforma, sendo que a primeira é criar interatividade na visualização do chão da fábrica, como acesso direto através do *click* ou de um *hover* tendo logo acesso a mais informação, a segunda melhoria sugerida foi a alteração de “produção” para “encomendas” e “secção” para “secções”. Isto porque faz mais sentido como nome técnico e a nível de compreensão literária. A terceira melhoria imediata foi a sugestão de um gráfico de análise de matéria-prima, permitindo uma melhor avaliação e previsão de materiais.

Foi também mencionado que a conceção visual da plataforma é consistente. Contudo, um ajuste nas cores escolhidas será efetuado por termos um utilizador que discorda significativamente dos restantes devido a sentir mais dificuldade em distinguir as cores. Um aspeto importante a ter em conta para uma boa visualização dos dados fornecidos.

Conseguimos concluir que o *feedback* obtido através destes testes foi essencial, pois foi possível detetar pequenas falhas e realizar melhorias extremamente benéficas, contribuindo para um melhor planeamento no processo de implementação. Estas alterações foram aplicadas de imediato após a conclusão dos testes e analisadas com a empresa, avaliando uma última vez a efetividade da plataforma face aos requisitos, podendo assim avançar para a implementação, descrita no capítulo 6.

Capítulo 6

Implementação

Neste capítulo entramos na fase de implementação do projeto, em que o foco principal é constituído pelo desenvolvimento de uma interface de *front-end* que se assuma como robusta e funcional. Ao incorporar os conhecimentos adquiridos nas fases anteriores, com o protótipo desenvolvido e os testes de usabilidade aplicados, foi possível integrar todos os processos para conceber uma solução coesa e de fácil utilização.

Ao longo deste capítulo são discutidos em pormenor os vários componentes, funcionalidades e características que foram implementados para replicar e simular o processo de gestão de encomendas. Exploraremos a forma como os dados são registados, organizados e apresentados em tabelas, a integração de elementos interativos, como botões e acompanhamento de encomendas, e a incorporação de visualizações. Ao seguir esta abordagem conseguimos criar uma interface que cumpra os objetivos do projeto, permitindo uma gestão e monitorização de encomendas sem falhas.

6.1 Tecnologias utilizadas

A tecnologia escolhida para a implementação do *front-end* da plataforma é atualmente utilizada pela empresa, de forma a garantir maior apoio durante o desenvolvimento do projeto. O esquema seguinte (figura 46) representa a tecnologia utilizada com as bibliotecas utilizadas.

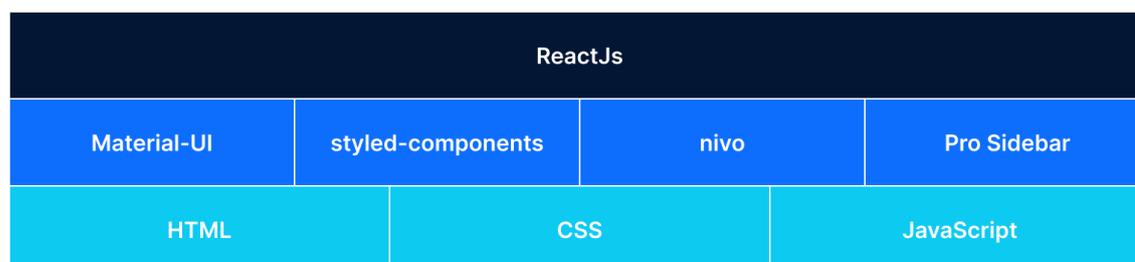


Figura 46: Esquema das tecnologias utilizadas.

ReactJS é uma biblioteca de *JavaScript*, utilizada para construir interfaces de utilizador dinâmicas e interativas. Esta tecnologia é muito popular devido à sua

criação e utilização de componentes, que são reutilizáveis e independentes, permitindo que os programadores escrevam componentes para as reutilizar em diferentes partes da aplicação. Esta possibilidade é extremamente benéfica para economizar tempo e esforço de desenvolvimento. Outro aspeto positivo é possuir uma comunidade grande e ativa, significando que existem muitos recursos, tutoriais e bibliotecas disponíveis para auxiliar os programadores nos seus projetos [React, n.d.].

A biblioteca Material-UI [UI, n.d.] dispõe igualmente das mais variadas componentes, incluindo todos os componentes utilizados no desenvolvimento da interface, complementadas pela documentação de cada um e exemplos de aplicação. Através da biblioteca *styled-component* é possível escrever css tradicional diretamente nas componentes, reduzindo a quantidade de código e ficheiros.

Com a utilização desta tecnologia foi feita uma alteração à biblioteca que continha o *design system* utilizado durante o desenvolvimento da plataforma, mais concretamente, alteramos a utilização de bootstrap para Material-UI. Esta alteração foi feita em coordenação com os responsáveis da empresa, visto que beneficia em termos de qualidade de projeto e facilidade no código, não comprometendo o protótipo ou qualquer estrutura mencionada no desenvolvimento da interface.

Para desenhar os gráficos de análise de dados da fábrica foi utilizada a biblioteca Nivo. É uma biblioteca construída em *reactJS* e fornece grande variedade de gráficos e possibilidades de personalização, suportando vários tipos de informação e animação [Nivo, n.d.].

Por fim, a componente Pro Sidebar [pro sidebar, n.d.] é constituída por uma barra lateral de navegação, versátil e personalizável, para criar menus de navegação lateral responsivos e animados. É possível definir facilmente a estrutura pretendida, inserindo itens de menu, submenus e ícones, com a possibilidade de personalização em termos de tema, estilos e efeitos de animação até se atingir o *design* pretendido.

Devido à inexistência de um API com dados reais, foi utilizado um ficheiro local chamado *mockData* para simular os dados que normalmente seriam obtidos a partir de uma API.

Através destas quatro bibliotecas foi possível aplicar o *design* da interface como era pretendido a nível de cor, posicionamento, dimensões e beneficiando de animações já incorporadas nestas bibliotecas, preservando a eficiência do código.

6.2 Processo de implementação

6.2.1 Estrutura do código

Como o *reactJS* é uma biblioteca utilizada para criação de interfaces através da renderização de componentes é importante uma boa estrutura do código utilizado. Essa estrutura ajuda a compreender a própria interface, entendendo quais são as páginas, quais são os componentes, se são utilizados apenas para uma página ou partilhados em diversas páginas e quais os dados que estão a ser utilizados.

```
const Box3 = styled.div`
  border-bottom: 1px solid grey;
  display: flex;
  justify-content: space-between;
  align-items: center;
  padding: 20px 30px 20px;
  background-color: colors.primary[400];

  :hover {
    background-color: grey;
    transition: background-color 0.5s ease;
  }
};
```

Figura 47: Exemplo de utilização de *styled-components*

O código foi organizado em quatro tipos de componentes:

Scenes - Onde estão as páginas da interface: A *Dashboard*, dispositivos, encomenda, encomenda X, matéria prima, qualidade, relatório X e a página secções.

Components – Contém todos os componentes que mostram a informação na interface, neste caso as secções individualmente (1,2,3,4 e 5) e os seus gráficos de análise.

Global – Contém os componentes da interface que são utilizados em todos os ecrãs, como o *Header*, *Sidebar*, *Topbar* e *Topinfo*.

Data – Onde está localizado o ficheiro com toda a informação simulada a usar sobre a fábrica.

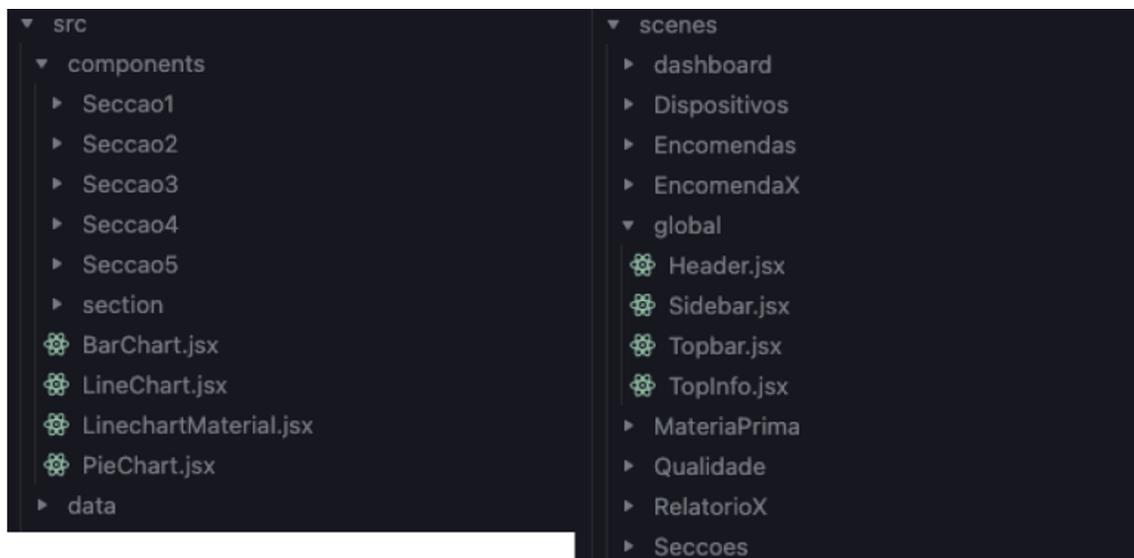


Figura 48: Organização do código

6.2.2 Tema

Com a utilização do componente theme do Material-UI foi possível definir a paleta de cor já definida previamente e a tipografia com os tamanhos pretendidos, dentro de um só ficheiro que aplica em toda a interface. Para adicionar uma

funcionalidade extra à interface, foi incorporado o modo escuro e modo claro, que já vem com o sistema Material-UI e utilizamos o *Tailwind CSS* que permite criar um maior número de tonalidades à cor utilizada criando uma melhor visualização do conteúdo. Esta personalização permite aos utilizadores alternar entre os modos claro e escuro, ícone colocado na barra de topo, proporcionando-lhes a flexibilidade de escolher o estilo visual que se adequa às suas preferências ou ambiente.

Em geral, ao utilizar o tema Material-UI e incorporar o *Tailwind CSS* para efeitos de estilo adicionais, melhora a experiência do utilizador na aplicação. A funcionalidade do modo escuro e do modo claro, combinada com os efeitos de esbatimento e a ordem invertida das cores, proporciona uma interface visualmente atrativa que é simultaneamente agradável do ponto de vista estético e funcional. A figura 49 apresenta o código de funcionamento do *toggle button* do tema bem como a fonte e os tamanhos utilizados.

```
// mui theme settings
export const themeSettings = (mode) => {
  const colors = tokens(mode);
  return {
    palette: {
      mode: mode,
      ...(mode === "dark"
        ? {
            // palette values for dark mode
            primary: {
              main: colors.primary[500],
            },
            secondary: {
              main: colors.greenAccent[500],
            },
            neutral: {
              dark: colors.grey[700],
              main: colors.grey[500],
              light: colors.grey[100],
            },
            background: {
              default: colors.primary[500],
            },
          }
        : {
            // palette values for light mode
            primary: {
              main: colors.primary[100],
            },
            secondary: {
              main: colors.greenAccent[500],
            },
            neutral: {
              dark: colors.grey[700],
              main: colors.grey[500],
              light: colors.grey[100],
            },
            background: {
              default: "#fcfcfc",
            },
          }
      ),
    },
    typography: {
      fontFamily: ["Inter", "sans-serif"].join(","),
      fontSize: 12,
      h1: {
        fontFamily: ["Inter", "sans-serif"].join(","),
        fontSize: 40,
      },
      h2: {
        fontFamily: ["Inter", "sans-serif"].join(","),
        fontSize: 32,
      },
      h3: {
        fontFamily: ["Inter", "sans-serif"].join(","),
        fontSize: 24,
      },
      h4: {
        fontFamily: ["Inter", "sans-serif"].join(","),
        fontSize: 20,
      },
      h5: {
        fontFamily: ["Inter", "sans-serif"].join(","),
        fontSize: 16,
      },
      h6: {
        fontFamily: ["Inter", "sans-serif"].join(","),
        fontSize: 14,
      },
    },
  };
};
```

Figura 49: Visualização dos modos de cor e tipografia

6.2.3 Navegação da interface

Para navegação da interface temos a barra lateral e a barra de topo, sendo um componente global, presente em todas as páginas.

Na parte superior da interface a barra de topo, inclui as informações do utilizador, o que ajuda a personalizar a experiência e a criar um sentido de identidade.

Estas informações incluem o primeiro e último nome, email e username da plataforma. Os dados óbitos do utilizador são obtidos através de uma API aberta ao público. Foi um desafio colocado por parte da empresa no final da implementação para mostrar uma conexão funcional com um fator externo à plataforma. Outro elemento importante na barra de topo é o centro de notificações. Esta funcionalidade mantém os utilizadores informados sobre atualizações, mensagens ou eventos importantes na plataforma. Além disso, como foi mencionado no tópico do tema, a implementação de uma opção para o modo escuro/claro. Junto a estes três botões, foi incorporada uma barra de pesquisa. Esta funcionalidade de pesquisa permite que os utilizadores encontrem encomendas, materiais ou relatórios específicos mais rapidamente. Ao fornecer uma barra de pesquisa na barra superior, tornou-a facilmente acessível, garantindo uma experiência de utilizador intuitiva e sem falhas.

A barra lateral é um componente fundamental da plataforma, servindo como menu principal e sistema de navegação para os utilizadores. Localizada no lado esquerdo da interface, proporciona um acesso fácil a diferentes páginas e secções da plataforma, permitindo que os utilizadores naveguem através de várias funcionalidades sem problemas. Foi implementada através do componente Pro sidebar, onde foram apenas adicionadas as páginas pretendidas e os ícones correspondentes. Está implementada de forma a ser expansível, sendo a opção fechada apenas com a visualização dos ícones das páginas e a opção aberta com a visualização do ícone como do nome da página. Vem predefinido neste componente que a página em que o utilizador se encontra está com uma cor diferente das restantes páginas. A informação contida dentro das páginas ajusta-se automaticamente conforme a abertura ou fecho do menu. Foi ajustado os nomes das páginas conforme os comentários analisados nos testes de usabilidade, neste caso, produção passou para encomendas, secção passou para secções e recursos passou para matéria prima. A figura 50 mostra as páginas criadas para a interface e as suas ligações.

```

return (
  <ColorModeContext.Provider value={colorMode}>
    <ThemeProvider theme={theme}>
      <CssBaseline />

      <div style={{ display: "flex" }}>
        <Sidebar isSidebar={isSidebar} />
        <div style={{ flex: 1, overflow: "auto" }}>
          <Topbar setIsSidebar={setIsSidebar} />
          <Routes>
            <Route exact path="/" element={<Dashboard />} />
            <Route exact path="/Encomendas" element={<Encomendas />} />
            <Route exact path="/Qualidade" element={<Qualidade />} />
            <Route exact path="/Seccoes" element={<Seccoes />} />
            <Route exact path="/MateriaPrima" element={<MateriaPrima />} />
            <Route exact path="/Dispositivos" element={<Dispositivos />} />
            <Route exact path="/EncomendaX" element={<EncomendaX />} />
            <Route exact path="/RelatorioX" element={<RelatorioX />} />
          </Routes>
        </div>
      </div>
    </ThemeProvider>
  </ColorModeContext.Provider>
);
}

export default App;

```

Figura 50: Visualização dos modos de cor e tipografia

6.2.4 Layout

O *layout* implementado baseia-se num sistema de grelha, fornecendo uma disposição estruturada e organizada para a apresentação de componentes. Ao utilizar uma grelha, pode utilizar eficazmente o espaço disponível no ecrã e garantir um alinhamento e posicionamento consistentes dos diferentes elementos no *layout*. Ao definir a disposição da grelha e especificar o número desejado de colunas e linhas, foi possível atribuir espaços a diferentes componentes no ecrã. O componente *Box* permitiu alinhar e apresentar os seus componentes dentro destes espaços designados, assegurando uma disposição coesa e visualmente agradável. A figura 51 mostra a utilização do componente *box* para criar a grelha da *dashboard* e os seus componentes.

```

<Box display="flex" justifyContent="space-between" alignItems="center">
  <Header title="DASHBOARD" subtitle="Visão geral da fábrica" />
</Box>
{/* TOP INFO */}
<Box
  display="grid"
  gridTemplateColumns="repeat(15, 1fr)"
  gridAutoFlow="140px"
  gap="20px"
>
  <Box
    gridColumn="span 3"
    backgroundColor={colors.primary[400]}
    display="flex"
    alignItems="center"
    justifyContent="center"
  >
    <TopInfo title="Em produção" subtitle="20" subtitleColor="green" />
  </Box>
</Box>

```

Figura 51: Exemplo de utilização da grelha e o componente *box*

6.2.5 *MockData*

Como já referido nas tecnologias utilizadas, devido à inexistência de uma API com dados reais, foi utilizado um ficheiro local chamado *mockData* para simular os dados que normalmente seriam obtidos a partir de uma API. Aqui está um exemplo desta configuração utilizada para mostrar os relatórios registados.

```

export const mockDataReports = [
  {
    id: 1,
    nome: "Relatório X",
    registo: "01 - 06 - 2023",
    estado: "Em utilização",
    seccao: "Secção 1",
    registopor: "Jonh Doe",
    tipo: "Seguimento",
  },
]

```

Figura 52: Estrutura de dados de um relatório

Para apresentar estes dados numa tabela, é utilizada a componente *DataGrid*, fornecida pela biblioteca Material-UI, definindo as colunas da tabela e especificando o nome dos campos e as etiquetas de cabeçalho.

```

const columns = [
  {
    field: "id",
    headerName: "ID",
  },
  {
    field: "nome",
    headerName: "Nome",
    flex: 1,
    cellClassName: "name-column-cell",
  },
  {
    field: "registro",
    headerName: "Data de registro",
    flex: 1,
  },
  {
    field: "tipo",
    headerName: "Tipo",
    flex: 1,
  },
  {
    field: "seccao",
    headerName: "Secção",
    flex: 1,
  },
  {
    field: "registopor",
    headerName: "Registado por",
    flex: 1,
  },
],

```

Figura 53: Definição das colunas da tabela de relatórios

Por fim, é passada a informação da matriz *mockDataReports* e a configuração das colunas para a componente *DataGrid* para renderizar a tabela. Aqui é também definido um estado inicial para a paginação, assim como as opções de tamanho de página.

```

<DataGrid
  rows={mockDataReports}
  columns={columns}
  initialState={{
    pagination: {
      paginationModel: {
        pageSize: 10,
      },
    },
  }}
  pageSizeOptions={[5]}
/>

```

Figura 54: Renderização da tabela de relatórios

6.3 Dashboard

6.3.1 Visão do chão da fábrica

Para a visualização do chão da fábrica perspectiva de topo implementamos uma representação visual utilizando *Scalable Vector Graphics* (SVG) para mostrar as diferentes secções da fábrica. Os SVGs funcionam como elementos visuais interativos incorporados com um botão de alternância que permite aos utilizadores ativar ou desativar uma secção específica. Quando uma secção se apresenta ativa, é destacada visualmente com um aspeto colorido, indicando o seu estado operacional. Por outro lado, quando uma secção está inativa, esta aparece a cinzento, proporcionando uma distinção visual clara. Ao utilizar SVGs e botões de alternância, criou-se uma representação intuitiva e informativa das secções da fábrica. Os utilizadores podem ver facilmente o estado de cada secção, permitindo-lhes monitorizar e avaliar o desempenho da fábrica em tempo real. Foi realizado um ajuste nas cores utilizadas para as secções de forma a haver mais contraste entre as secções. A figura 55 apresenta o chão da fábrica vista de topo, implementada na *dashboard*, com os *toggle buttons* e a *TopInfo*.

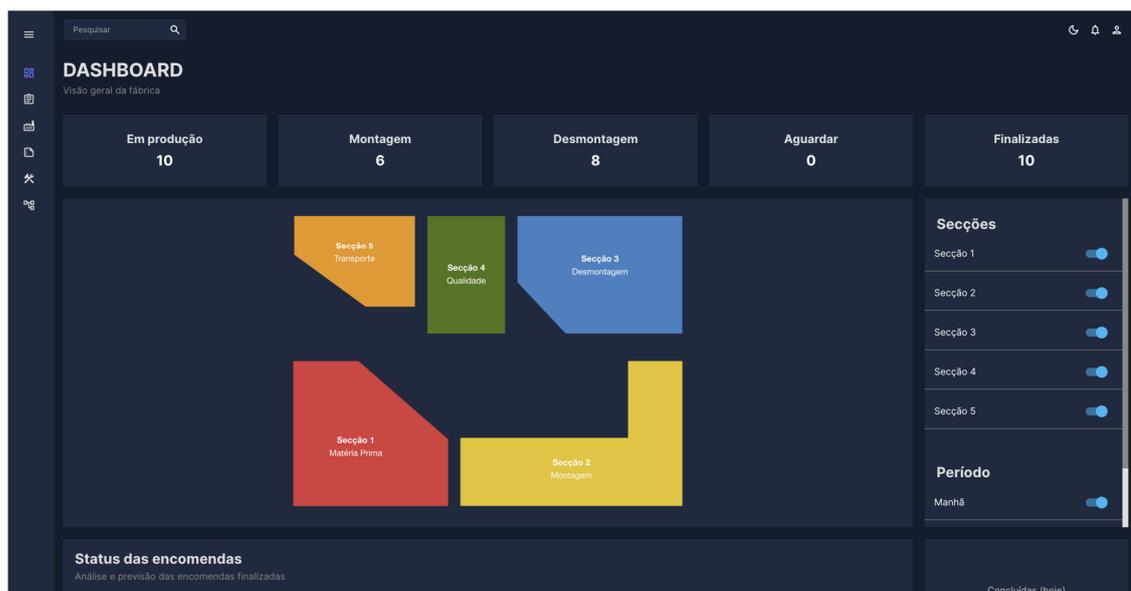


Figura 55: Visão topo das secções da fábrica

Também foram adicionadas as funcionalidades solicitadas durante os testes de usabilidade, que permitem clicar no mapa de topo. Nesta situação, os utilizadores são reencaminhados para páginas de secções específicas que contêm informações detalhadas. Foi também efetuada a adição de um gráfico de análise para cada secção individual. Assim, quando um utilizador clica numa secção específica, é redirecionado para a página dessa mesma secção visualizando a informação completa sobre a secção selecionada. Esta solução inclui: dados em tempo real, o *layout* da secção, últimos relatórios e encomendas que foram registados e um gráfico com uma análise de número de encomendas produzidas e os problemas dessa semana de produção. Também inclui uma estimativa de produção prevista para a semana subsequente. As secções foram implementadas como

tabs dentro da página principal, através da componente *useNavigate* da biblioteca react router, que percorre o *array* de *tabs*, sem sair da página secções. A figura 56 mostra a *tab* com a informação da secção 3 em modo claro.

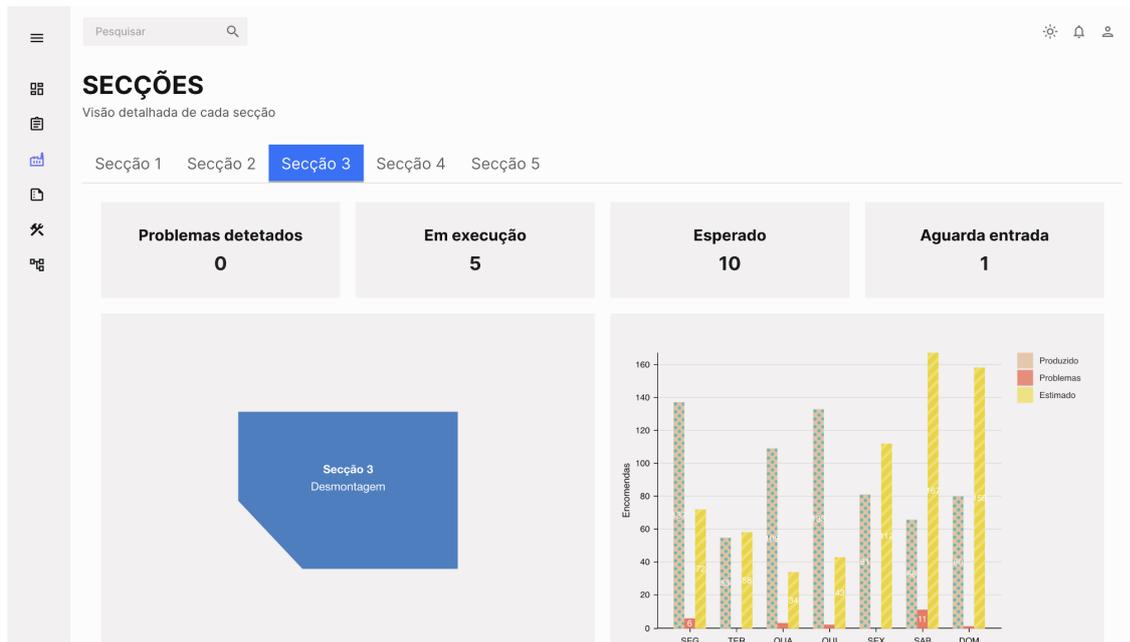


Figura 56: Tab da secção 3 no modo claro

6.3.2 Análise de produção da fábrica

Uma das principais componentes na análise da produção da fábrica, logo após o chão da fábrica, é o gráfico produzido com o nivo *line*. Este gráfico fornece importantes informações sobre o número de encomendas concluídas durante um período de 30 dias, com foco no mês em causa, no mês anterior e numa previsão para o mês seguinte. Com a interação já incorporada na biblioteca *nivo*, os utilizadores podem facilmente identificar padrões, tendências e alterações na produção ao longo do tempo. Passando o rato sobre o ponto pretendido é possível visualizar o número de encomendas finalizadas e verificar a que dia e mês correspondem. Estes dados são obtidos através do ficheiro *mockData.js* dentro do *array mockLineData*.

Ao lado do gráfico de linhas, foi incluída uma secção de estatísticas de dados que destaca a produção do dia atual. Esta secção fornece informações em tempo real sobre o número de embalagens concluídas no dia. Os valores mostrados são *placeholders* de uma possível análise.

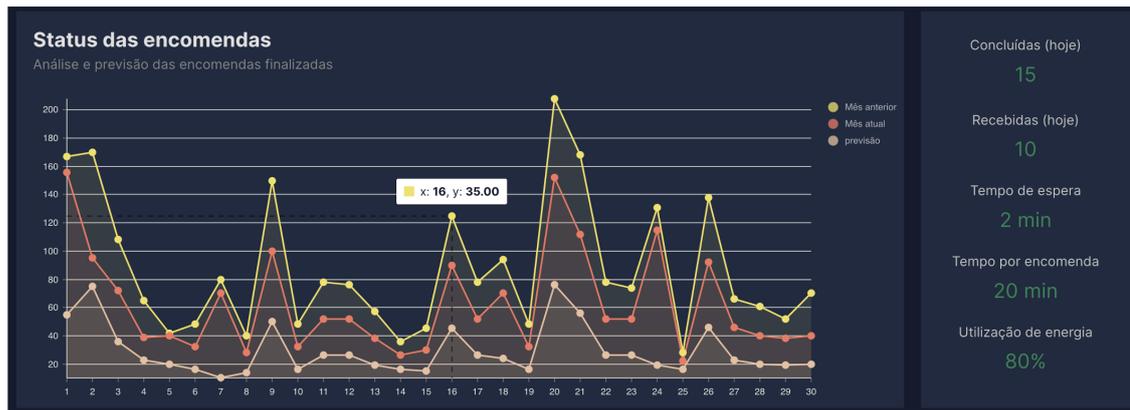


Figura 57: Análise de encomendas concluídas

6.4 Encomendas, qualidade e matéria prima

6.4.1 Gestão do conteúdo da plataforma

Nesta plataforma foi implementado um sistema robusto para gerir encomendas, relatórios e recursos, utilizando tabelas Material-UI. Cada uma destas entidades tem a sua própria tabela que apresenta dados relevantes obtidos a partir do ficheiro local, *mockData*.

As tabelas fornecem uma visão geral abrangente das respetivas entidades, com cada linha a representar um item individual. As tabelas estão equipadas com funcionalidades integradas do Material-UI, tais como filtragem e ordenação permitindo, desta forma, aos utilizadores navegar e explorar eficazmente os dados com base nos seus requisitos específicos. Esta filtragem tem por base vários critérios, tais como data, nome ou estado. Esta funcionalidade de ordenação oferece aos utilizadores a flexibilidade em organizar os dados de acordo com as suas preferências, garantindo uma fácil identificação de padrões, tendências ou itens específicos de interesse. Foi previamente limitada a uma visualização de 10 encomendas ou relatórios por página e 5 para a matéria-prima. Em cada coluna está integrado um botão de mais detalhes que redireciona o utilizador para a visualização de todos os dados da encomenda ou do relatório pretendido, como pode ser visualizado na figura 58.

Todas as encomendas
Todas as encomendas registadas na plataforma

REGISTAR ENCOMENDA +

ID	Nome	Estado	Secção atual	Data de registo	Mais detalhes
1	Vidros exteriores	Concluído	Secção 5	01 - 06 - 2023	MAIS DETALHES
2	Garrafas de madeira	Concluído	Secção 4	01 - 06 - 2023	MAIS DETALHES
3	Carpets	Em espera	Secção 4	04 - 06 - 2023	MAIS DETALHES
4	Barcos de papel	Em produção	Secção 4	04 - 06 - 2023	MAIS DETALHES
5	Toalhas de praia	Em produção	Secção 4	07 - 06 - 2023	MAIS DETALHES
6	Caixas de madeira	Em produção	Secção 3	07 - 06 - 2023	MAIS DETALHES
7	Caixas de ferro	Em espera	Secção 3	08 - 06 - 2023	MAIS DETALHES
8	Garrafas de vidro	Em produção	Secção 3	08 - 06 - 2023	MAIS DETALHES
9	Garrafas de cobre	Em produção	Secção 3	20 - 06 - 2023	MAIS DETALHES
10	Vasos	Em espera	Secção 3	20 - 06 - 2023	MAIS DETALHES

1-10 of 16

Figura 58: Tabela de todas as encomendas registadas

6.4.2 Visualização individual da encomenda

Ao clicar no botão de mais detalhes de qualquer encomenda, o utilizador é redirecionado para uma página que disponibiliza toda a informação acerca dessa encomenda. Esta página denominada de EncomendaX, é uma página *template* para todas as encomendas registadas. É possível visualizarem-se informações importantes, como o ID da encomenda, a data de registo, o utilizador que o registou, a data de início do processo e o estado atual da encomenda. Esta informação é gerada através da componente *TopInfo* com a utilização de *placeholders* para os valores simulados.

Logo a seguir à informação de topo foi implementada uma componente *stepper* da biblioteca Material-UI que fornece orientação visual sobre a localização da encomenda. O *stepper* representa visualmente a progressão da encomenda através das diferentes secções. O avanço das secções é feito manualmente pelo utilizador através do botão “próxima secção” colocado no *stepper*, obrigando o utilizador a fazer uma avaliação do estado da encomenda consoante a secção em que se encontra e a registar o relatório dessa secção na componente *dialog* que abre quando se clica neste mesmo botão. Após registar o relatório, o utilizador tem a opção de cancelar ou confirmar o relatório. Ao confirmar o registo do relatório uma componente *popover*, que corresponde a uma notificação na interface, surge no canto superior do ecrã a significar que foi efetuado o registo com sucesso.

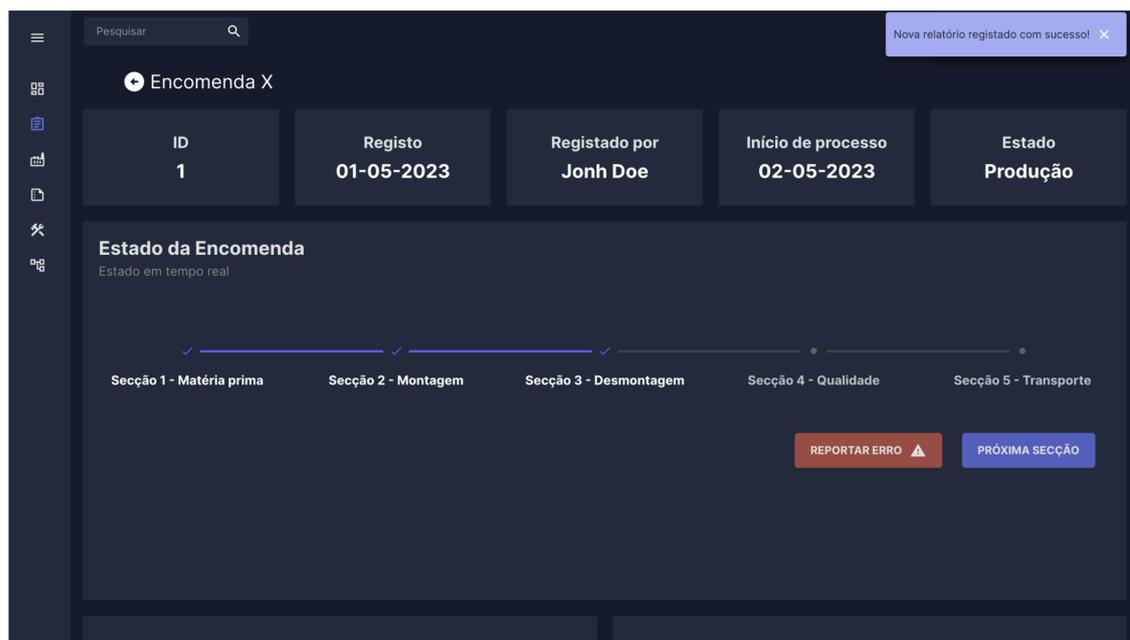


Figura 59: Avanço da encomenda registada

No final da página de encomenda individual foram implementados três componentes *Box*: O primeiro com a matéria prima associada à encomenda, o segundo com os relatórios associados à mesma e o terceiro com o campo de observações. Por fim todas as encomendas têm implementado dois botões para poderem editar os dados da encomenda ou eliminar caso for o pretendido.

6.4.3 Visualização individual do relatório

Como foi mencionado anteriormente no subcapítulo de gestão de conteúdo da plataforma, as tabelas foram implementadas da mesma forma. Na tabela da página de qualidade em cada linha de um relatório está implementado um botão para ver mais detalhes. Redireciona para outra página *template* chamada Relatório X. Nesta página foi igualmente implementado a *TopInfo* com *placeholders* a simular a informação, de seguida temos os dados que são obtidos através dos inputs do formulário de registo de relatório. Nesta página foram implementados 3 botões finais: O botão de transferir, o botão de editar e o botão de eliminar o relatório.

6.4.4 Visualização da matéria prima

A terceira e última tabela implementada foi a da matéria prima, sendo a tabela com menos *inputs* da plataforma. Nesta página está implementado dois gráficos de análise: O primeiro é um gráfico de sectores, novamente através dos dados obtidos pelo ficheiro *mockData.js*, onde vai buscar o *array mockPieData* simulando a utilização em média da matéria prima por semana. O segundo gráfico de linhas, com a informação do *array mockLineDataMaterial*, simula a quantidade de material necessário para repor na semana seguinte para que não falte durante a produção de alguma encomenda. Ambos estes gráficos contêm uma animação já contida

na biblioteca nivo que mostra os valores concretos ao fazer *hover* sobre o dado pretendido. Esta foi outra melhoria face à análise dos resultados obtidos dos testes de usabilidade, uma melhor visualização e monitorização do estado dos materiais.

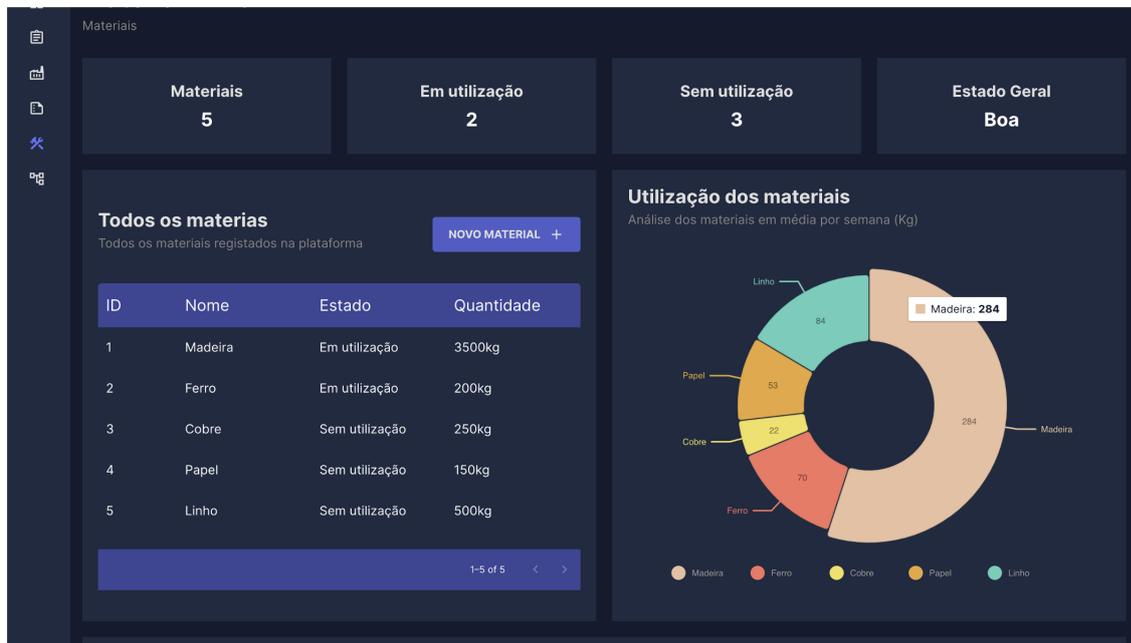


Figura 60: Visualização do ecrã matéria prima

6.4.5 Registo de itens na plataforma

Todas as janelas de registo estão implementadas dentro de um componente *dialog* que contém *textfields* normais ou numéricos, tais como nome, valor e observações e *dropdowns* de seleccionar a secção, encomenda e tipo. No final todas estas janelas têm dois botões implementados para cancelar ou confirmar o registo da ação pretendida. Quando confirmada a ação, no canto superior direito aparece a notificação (*popover*) implementada para aquele botão.

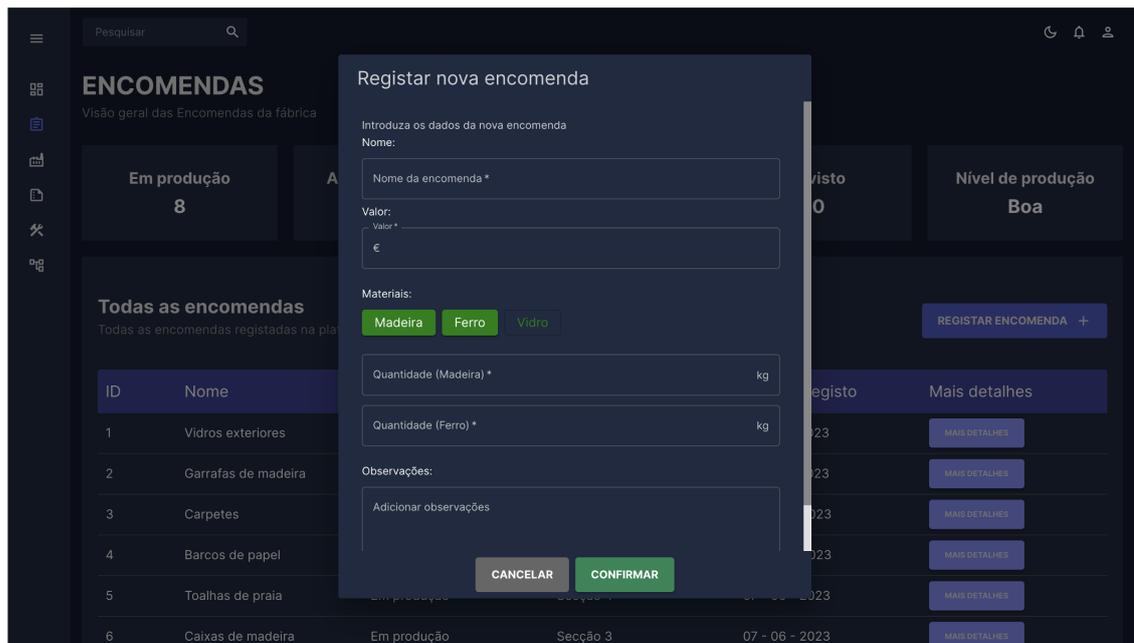


Figura 61: Ecrã de registar encomenda

6.4.6 Reporte de erros

O reporte de erros na plataforma está implementado da mesma forma que os registos, associado ao botão reportar erro. Os *inputs* a introduzir no formulário colocado no componente dialog são os mesmos que registar relatório, a ordem é que foi alterada como também o tipo de erro de relatório a registar. Neste caso, no *dropdown* de tipo só estão disponibilizadas opções de erros que são: Falta de materiais, falta de molde, erro de encomenda ou outro. Foi colocado separadamente para o utilizador ter mais facilidade em registar o pretendido e rapidez no processo. Pode posteriormente filtrar que tipo de relatório pretende ver dentro da tabela de qualidade

6.4.7 Dispositivos

Nesta página foi implementado um componente *Box* no centro da área de visualização com um botão ícone igual ao que foi utilizado para representar a página dispositivos, com objetivo de o utilizador clicar no botão e conectar ao dispositivo externo.

6.5 Análise da implementação

A implementação da interface foi fundamental para dar utilidade prática à extensa investigação, estudo e planeamento realizados ao longo deste projeto. Aproveitando as potencialidades do *ReactJS* e integrando várias tecnologias e bibliotecas, como *Material-UI*, *nivo charts* e *Pro sidebar*, foi possível construir uma plataforma que permite simular o acompanhamento e monitorização de encomendas de uma fábrica.

A interface fornece uma solução abrangente para simular e gerir o acompanhamento e a monitorização de uma encomenda numa fábrica. Através da utilização de componentes intuitivos, como a barra lateral, a barra superior e as tabelas com capacidades de filtragem e ordenação, os utilizadores podem navegar e aceder eficazmente a informações relevantes sobre cada encomenda. A inclusão de funcionalidades interativas, como o botão "Mais detalhes" e o Material-UI *stepper*, melhora significativamente a experiência do utilizador, permitindo-lhe explorar detalhes aprofundados e acompanhar o progresso das encomendas. Além disso, a incorporação de representações gráficas, como o nivo *lineChart*, permite que os utilizadores obtenham informações valiosas sobre o processo de produção. As visualizações mostram o número de pacotes concluídos durante um período de 30 dias, ajudando na identificação de tendências e na análise do desempenho. A inclusão de estatísticas de dados para o dia atual melhora ainda as capacidades de tomada de decisões e fornece atualizações em tempo real sobre o estado da produção.

Foi confirmado pela empresa que a interface cumpriu os objetivos e requisitos do projeto e, ao mesmo tempo, proporciona uma boa experiência para o utilizador.

Capítulo 7

Conclusão

O capítulo final desta dissertação, intitulado por conclusão, sumariza todo o trabalho de investigação, análise, desenvolvimento e implementação realizado ao longo de um ano. É feito um resumo do trabalho realizado, assim como são apresentados os resultados mais relevantes e perspectivado o trabalho futuro a realizar.

7.1 Trabalho realizado

O início desta dissertação ocorreu com a introdução ao tema sobre o qual se iria desenrolar o projeto. Foi fundamental entender a definição e a finalidade do tema em que esta dissertação se iria focar, sendo que a temática de *digital twin* é apresentada como uma tecnologia em constante evolução e inovação em várias indústrias.

A investigação sobre as temáticas foi dividida inicialmente em vários tópicos. Mais concretamente: *digital twin*, tecnologias chave para *digital twins*, *digital twin* aplicado em fábricas e *Dashboard* com exemplos de utilização. Relativamente ao primeiro tópico foi crucial investigar o contexto histórico e o conceito teórico. Após ter conseguido um bom entendimento do tema, passamos ao próximo tópico que é referente aos tipos de tecnologias chave para *digital twin* e a sua análise e processamento de dados. Para este projeto era necessário entender a forma como os dados passavam do objeto físico, eram analisados e visualizados virtualmente, como também perceber os dispositivos utilizados para tal, entendendo que tipo de dados eram utilizados. O terceiro tópico é uma combinação dos dois anteriores, ou seja, *digital twin*, mas aplicado em fábricas. Nesta fase de desenvolvimento do projeto era importante começar a investigar o tópico em concreto, analisando como era digitalizada e mapeada o chão da fábrica e a forma de visualizar os dados obtidos. O quarto tópico de investigação foi a própria visualização destes dados, a forma como os *digital twins* atuais dispõem a informação dos dados e que tipo de interações existem. Ao mesmo tempo era feita uma pesquisa de plataformas disponíveis atualmente utilizadas, tendo a possibilidade de as testar e analisar para entender a forma e o como era disposta a informação. Todo este processo foi fundamental para adquirir um bom conhecimento das temáticas abordadas, neste caso *digital twins* e fábricas.

Dando seguimento à investigação e para garantir que todo o processo de tra-

balho decorria faseadamente e iterativamente, foram definidos os objetivos, a metodologia a seguir durante o projeto, assim como o plano de trabalho de ambos os semestres. Em seguida, avaliámos os requisitos do projeto e traduzimo-los em funcionalidades específicas. Para simular cenários do mundo real e otimizar a experiência do utilizador, criámos personas e definimos diferentes tipos de utilizadores. Este exercício permitiu antecipar e responder às diversas necessidades e expectativas dos utilizadores.

Com os requisitos e as funcionalidades já definidas, passámos à fase crucial da conceção da interface. Começámos por desenvolver os *wireframes* e o mapa de navegação, organizando estrategicamente a informação e os componentes para otimizar a usabilidade e a prioridade da informação. À medida que o *design* tomava forma, foi definido o universo gráfico, incluindo o *layout*, o sistema de grelha, a tipografia e as cores. Com base nos *wireframes* e no universo gráfico, criámos um protótipo de alta fidelidade, dando vida à interface imaginada. O protótipo foi sujeito a testes de usabilidade para encontrar possíveis erros ou inconsistências. O resultado destes testes foi crucial pois, de facto, havia algumas inconsistências as quais foram analisadas e corrigidas antes de avançar para a fase final.

Por último, decorreu o processo de implementação da interface que representou, também, um desafio deste projeto. Em primeiro lugar, foram definidas e investigadas as tecnologias a utilizar. Começando na escrita do código, foi crucial definir uma boa estrutura de código para separar o conteúdo dos componentes da informação gerada para a simulação de dados. Foram definidas metas semanais para coincidir com a reunião semanal de *front-end*, que contribuiu para manter um ritmo de trabalho consistente e o apoio sempre necessário. O processo de implementação resultou numa plataforma capaz de simular e gerir o acompanhamento e a monitorização de encomendas de uma fábrica. O projeto foi finalizado com a escrita da dissertação.

Depois de concluído este projeto é possível constatar que os objetivos traçados inicialmente foram cumpridos. É também possível registar as maiores dificuldades sentidas durante o desenvolvimento deste projeto: uma boa compreensão do tema e a junção de interatividade e manipulação de dados de um sistema de informação.

7.2 Resultados relevantes

Os objetivos principais delineados no início desta dissertação foram atingidos. Ainda assim, é importante destacar alguns dos resultados mais relevantes para o contexto deste projeto.

Relembrando que o objetivo do projeto passava pelo desenvolvimento de um protótipo de uma aplicação web que representasse digitalmente uma fábrica, que fosse vista como um *digital twin*. A investigação e análise no capítulo do estado da arte forneceu informações cruciais para identificar como e onde introduzir capacidades *digital twin* na fábrica. Conseguir introduzir essas capacidades na fase operacional da fábrica foi o principal foco a ter em conta durante o projeto. E foi possível, dando destaque a duas características da plataforma: a primeira é a capacidade de apresentar dados em tempo real, não só na produção geral da fábrica, como também de cada secção, registo de relatórios e matéria-prima. A

segunda característica, está relacionada com a capacidade de prever e simular tendências futuras destes mesmo valores analisados em tempo real, através de gráficos interativos e simplificados, potencializando o carácter inteligente da plataforma.

Por fim, um bom planeamento de trabalho e um bom conhecimento na área de *design* adquirido não só no estado da arte, como também ao longo do percurso académico, contribuiu para a construção e desenvolvimento deste projeto. Resultado de um processo bem faseado e rimado onde as junções de todas as etapas resultaram num protótipo funcional com todas as funcionalidades idealizadas no capítulo 4 e algumas mais. A forma como se conseguiu representar a informação de forma simples, perceptível e intuitiva, ajudou a que a interface cumprisse o seu principal propósito.

7.3 Trabalho futuro

Apesar de terem sido cumpridos todos os objetivos propostos no início da desta dissertação e acreditando na potencialidade da tecnologia *digital twin*, existe um conjunto de melhorias e funcionalidades que podem ser implementadas no projeto.

A primeira proposta de trabalho futuro será certamente a implementação de dados reais na plataforma, obtidos a partir de uma fábrica que se pretenda representar e assim inserir todo o tipo de informações disponíveis na plataforma. Desta forma existirá um maior grau de fiabilidade do projeto, principalmente na previsão e simulação do nível de produção. Inicialmente poderíamos testar o projeto em apenas uma secção, para conseguir analisar a eventualidade dos dados estarem a ser bem transmitidos e analisados. Posteriormente, estenderíamos o projeto a todas as secções, para conseguir avaliar e simular os dados da produção com todas as secções incluídas.

A vista de topo do chão da fábrica neste protótipo é fixa. Mas, futuramente, e para tornar o produto abrangente a diversos tipos de fábricas, poderíamos incorporar um ecrã ou página com a capacidade de definir e construir as secções diretamente na plataforma, permitindo flexibilidade no *layout* e adicionar ou retirar secções, caso necessário. Com este nível de personalização, era necessário tornar a zona de visualização de topo da fábrica *drag and drop*, ou seja, o utilizador poderia ter a possibilidade de mover as secções para a localização pretendida, até assimilar o espaço físico.

Terminando com uma última proposta, a responsividade do ecrã. Atualmente está apenas disponível para computador, mas seria possível disponibilizar uma versão *mobile* para que todos os trabalhadores pudessem ter acesso à informação de forma mais prática. Podendo consultar dos dados em tempo real e as respetivas simulações, estando ao mesmo tempo a visualizar essa mesma secção no espaço físico.

Referências

- Tamara Adlin and John Pruitt. Your guide to building and using personas. In *The Essential Persona Lifecycle*, USA, 2010.
- P. Aivaliotis, K. Georgoulas, Z. Arkouli, and S. Makris. Methodology for enabling digital twin using advanced physics-based modelling in predictive maintenance. In *Procedia CIRP*, Greece, 2019.
- Riku Ala-Laurinaho. Sensor data transmission from a physical twin to a digital twin. In *Sensor data transmission from a physical twin to a digital twin*, Finland, 2019.
- Jinsong Bao, Dongsheng Guo, Jie Li, and Jie Zhang. The modeling and operations for the digital twin in the context of manufacturing. In *Enterprise Information Systems*, China, 2019.
- Carol M. Barnum. Usability testing essentials. In *Getting started guide, Usability Testing Essentials*, Morgan Kaufmann, <https://doi.org/10.1016/C2009-0-20478-8>, 2011.
- Bootstrap. Bootstrap v5. In <https://getbootstrap.com/>, <https://getbootstrap.com/>, 2021.
- David Carr. Guidelines for designing information visualization applications. In *Institutionen för Datavetenskap Linköpings Universitet*, USA, 1999.
- G Chryssolouris, D Mavrikios, N Papakostas, D Mourtzis, G Michalos, and K Georgoulas. Digital manufacturing: History, perspectives, and outlook. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Greece, 2009.
- Alan Cooper. The inmates are running the asylum. In *The inmates are running the asylum - Why High Tech Products Drive Us Crazy and How To Restore The Sanity*, USA, 1999.
- GE Digital. Predix da ge digital. In <https://www.ge.com/digital/iiot-platform>, 2017.
- Stephen Few. Dashboard confusion. In *Dashboard Confusion*, Intelligenet Enterprise, 2004.
- Stephen Few. Dashboard confusion. In *Intelligent Enterprise*, USA, 2006.
- Michael Grieves and Jonh Vickers. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*, USA, 2016.

- Matthew J. Hamm. Wireframing essentials - an introduction to user experience design. In *Wireframing Essentials*, Birmingham, 2014.
- Yuan He, Junchen Guo, and Xiaolong Zheng. From surveillance to digital twin: Challenges and recent advances of signal processing for industrial internet of things. In *IEEE Signal Processing Magazine*, China, 2018.
- Siavash H. Khajavi, Naser Hossein Motlagh, Alireza Jaribion, Liss C. Werner, and Jan Holmström. Digital twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings. In *Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings*, Finland, 2019.
- PWerner Kritzing, Matthias Karner, Georg Traar, Jan Henjes, and Wilfried Sihn. Mdigital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. In *PIFAC-PapersOnLine*, Germany, 2018.
- Mengnan Liu, Shuiliang Fang, Huiyue Dong, and Cunzhi Xu. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. In *Journal of Manufacturing Systems*, China, 2021.
- Ellen Lupton. Thinking with type. In *Thinking with Type: A Critical Guide for Designers, Writers, Editors, and Students*, USA, 2010.
- MapsPeople. Mapsindoors platform da mapspeople. In <https://www.mapspeople.com/mapsindoors>, 2022.
- Elisa Negri, Luca Fumagalli, Chiara Cimino, , and Marco Macchi. Fmu-supported simulation for cps digital twin. In *Procedia Manufacturing*, Italy, 2019.
- Nivo. Nivo. In <https://nivo.rocks/>, n.d.
- J. M. O'Hara. Human-system interface design review guidelines. In *Human-System Interface Design Review Guidelines*, Brookhaven National Laboratory, 2020.
- Igiri Onaji, Divya Tiwari, Payam Soulatiantork, Boyang Song, and Ashutosh Tiwari. Digital twin in manufacturing: conceptual framework and case studies. In *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, UK, 2022.
- Koen Pauwels, Tim Ambler, Bruce H. Clark, Pat LaPointe, David Reibstein, Bernd Skiera, Berend Wierenga, and Thorsten Wiesel. Dashboards as a service: Why, what, how, and what research is needed? In *SAGE Journals*, USA, 2009.
- Ken Peffers, Tuure Tuunanen, Marcus A. Rothenberger, and Samir Chatterjee. A design science research methodology for information systems research. In *Journal of Management Information Systems*, USA, 2007.
- React pro sidebar. React-pro-sidebar. In <https://www.npmjs.com/package/react-pro-sidebar>, n.d.
- React. React. In <https://react.dev/>, n.d.
- R. Rosen, Stefan Boschert, and Christoph Heinrich. Next generation digital twin. In *Next generation digital twin*, Spain, 2018.

- Michael Schluse and Juergen Rossmann. From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems. In *From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems*, Germany, 2016.
- Dassault Systèmes. 3dexperience platform da dassault systèmes. In <https://www.3ds.com/3dexperience>, 2022.
- Behrang Ashtari Talkhestani, Nasser Jazdi, Wolfgang Schloegl, and Michael Weyrich. Consistency check to synchronize the digital twin of manufacturing automation based on anchor points. In *Procedia CIRP*, Germany, 2018.
- Yifei Tan, Wenhe Yang, Kohtaroh Yoshida, and Soemon Takakuwa. Mapplication of iot-aided simulation to manufacturing systems in cyber-physical system. In *Machines*, China, 2019.
- Yifei Tan, Wenhe Yang, Kohtaroh Yoshida, and Soemon Takakuwa. Mapplication of iot-aided simulation to manufacturing systems in cyber-physical system. In *Machines*, Japan, 2021.
- Material UI. Material ui. In <https://mui.com/>, n.d.
- Amazon web services. Aws iot twinmaker mixer alarm dashboard. In https://play.grafana.org/d/y1FGfj57z/aws-iot-twinmaker-mixer-alarm-dashboard?orgId=1var-selector_name=Mixer0var-kvsstream_name=cookiefactory_mixerroom_camera02, n.d.
- Luke Wroblewski and Esa M. Rantanen. Design considerations for web-based applications. In *PROCEEDINGS of the HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 45th ANNUAL MEETING*, USA, 2001.