



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

João Pedro Almeida Gonçalves

DIGITAL TWINS @ BUILDINGS

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.

Setembro de 2022



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA

João Pedro Almeida Gonçalves

Digital Twins @ Buildings

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.

Setembro de 2022



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA

João Pedro Almeida Gonçalves

Digital Twins @ Buildings

Dissertation in the context of the Master in Multimedia Design, advised by Professor João Barata and presented to the Department of Informatics Engineering of the Faculty of Sciences and Technology of the University of Coimbra.

September 2022

Agradecimentos

A realização desta dissertação não seria possível sem o contributo e envolvimento de um grupo muito especial de pessoas.

À minha família, obrigado pela compreensão, carinho e motivação ao longo de todo este percurso.

Ao Sangalhos DC, aos meus atletas, colegas treinadores, dirigentes e todas as pessoas que vivem intensamente esta segunda família.

À malta “Sem Noção”, que continuemos esta caminhada por muitos anos e que nunca se fartem da minha presença.

Aos “AA”, por todos os momentos vividos e por aqueles que estão por viver, são o verdadeiro significado de Coimbra.

À Ubiwhere, pela oportunidade, pelo o crescimento e pelos desafios colocados.

Aos meus orientadores, por me incentivarem a dar o meu melhor de mim, mesmo em situações adversas.

Por fim aos meus pais, o maior dos agradecimentos, por todo o esforço, dedicação, amor durante todo este caminho.

Resumo

O exponencial crescimento tecnológico que se vem a assistir no mundo, tem permitido o desenvolvimento de diversos aspetos na vida humana. As tecnologias de informação são umas das grandes responsáveis por essa evolução e têm contribuído para o desenvolvimento de sistemas e produtos cada vez mais autónomos, eficientes, flexíveis, resumidamente mais inteligentes. As cidades devem também seguir essa tendência e para isso acontecer é necessário que os seus componentes acompanhem nessa direção.

Este documento retrata o desenvolvimento de uma prova de conceito de uma aplicação *web*, que deve ser visto como um *digital twin* para edifícios. Abordando um edifício de utilidade pública, a plataforma vai intervir na sua fase operacional, tendo a capacidade de representar o edifício e as suas áreas, assim como o controlo das mesmas. Conhecer as condições interiores e exteriores do edifício através do seu estado atual, de previsões futuras e de simular possíveis comportamentos. E por último reconhecer falhas e comportamentos no edifício e reportar os mesmos.

Tendo em conta o carácter do edifício, a presença humana é um aspecto considerado relevante. Dessa forma a plataforma pretende contribuir para o conforto e segurança do humano no edifício durante a sua fase operacional, através de uma representação e interação de dados e informações em que a presença humana intervenha diretamente e indiretamente.

Assim, surge como resultado uma prova de conceito representada através de um protótipo de alta fidelidade capaz de provar a aplicação da tecnologia *digital twin* aos edifícios, nomeadamente à sua fase operacional e direcionada para o humano no edifício.

Palavras-Chave

idades inteligentes, *digital twin*, edifício, humano, representação, interação, humano no edifício

Abstract

The exponential technological growth that we are witnessing has allowed the development of various aspects of human life. Information technologies are majorly responsible for this evolution and have contributed to the development of systems and products that are increasingly autonomous, efficient, flexible, and more intelligent. Cities are becoming increasingly intelligent, and their components must follow that direction for that to happen.

This document represents the development of a proof of concept of a web application, which should be seen as a digital twin for buildings. Addressing a utility building, the platform will intervene in its operational phase, having the ability to represent the building and its areas, as well as their control. Knowing the interior and exterior conditions of the building through its current state, future predictions, and simulations of possible behaviors. And finally, to recognize faults and behaviors in the building and report them.

Considering the character of the building, human presence is an aspect considered relevant. Thus, the platform intends to contribute to the comfort and safety of the humans in the building during its operational phase through the representation and interaction of data and information in which the human presence intervenes directly and indirectly.

The result is a proof of concept represented by a high-fidelity prototype capable of proving the application of digital twin technology to buildings, namely to their operational phase and directed at the humans in the building.

Keywords

smart cities, digital twin, human, representation, interaction, human in the building

Índice

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	UBIWHERE.....	2
1.1.1	<i>Urban Platform</i>	2
1.2	MOTIVAÇÕES.....	3
1.3	ÂMBITO.....	3
1.4	OBJETIVOS.....	4
1.5	ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	4
CAPÍTULO 2	ESTADO DA ARTE	7
2.1	DIGITAL TWIN.....	7
2.1.1	<i>Contexto Histórico</i>	7
2.2.2	<i>Conceito Teórico</i>	9
2.2.3	<i>Digital Twin em edifícios</i>	10
2.2	OPERAÇÃO EM EDIFÍCIOS E AS SUAS FERRAMENTAS.....	11
2.2.1	<i>Smart Buildings</i>	11
2.2.2	<i>Connected Buildings</i>	13
2.2.3	<i>Mecanismos de interoperabilidade em edifícios</i>	15
2.3	ANÁLISE DE EXEMPLOS.....	21
2.3.1	<i>Sphere BIM Digital Twin Platform</i>	21
2.3.2	<i>Twinit – Invicara Digital Twin Platform</i>	25
2.3.3	<i>Resumo da análise de exemplos</i>	28
2.4	CONCLUSÕES.....	29
CAPÍTULO 3	METODOLOGIAS E PLANO DE TRABALHOS	31
3.1	METODOLOGIAS.....	31
3.2	PLANO DE TRABALHO.....	32
3.2.1	<i>Semestre 1</i>	32
3.2.2	<i>Semestre 2</i>	33
CAPÍTULO 4	PROPOSTA	36
4.1	REQUISITOS.....	36
4.2	FUNCIONALIDADES.....	37
4.3	PERSONAS.....	38
4.4	CONCLUSÕES.....	40
CAPÍTULO 5	DESIGN DE INTERFACE.....	42
5.1	WEB DESIGN.....	42
5.1.1	<i>Tipografia</i>	42
5.1.2	<i>Grelha</i>	43
5.1.3	<i>Cor</i>	44
5.2	DESIGN DE INTERAÇÃO.....	45
5.2.1	<i>Usabilidade</i>	45
5.3	PROTOTIPAGEM.....	46
5.3.1	<i>Protótipos de baixa fidelidade</i>	46
5.3.2	<i>Wireframes</i>	52
5.4	PROTÓTIPO DE ALTA-FIDELIDADE.....	60
5.4.1	<i>Material Design</i>	61
5.4.2	<i>Universo Gráfico</i>	62
5.4.3	<i>Protótipo de alta-fidelidade</i>	69
5.5	CONCLUSÃO.....	80
CAPÍTULO 6	AVALIAÇÃO DA INTERFACE.....	81

6.1	TESTES DE USABILIDADE	81
6.1.1	<i>Contexto</i>	81
6.1.2	<i>Estratégia</i>	81
6.1.3	<i>Tarefas</i>	83
6.1.4	<i>Resultados e análise</i>	84
6.2	ALTERAÇÕES EFETUADAS.....	92
CAPÍTULO 7	CONCLUSÃO	98
7.1	TRABALHO REALIZADO	98
7.2	RESULTADOS	99
7.3	TRABALHO FUTURO	100
ANEXOS	101	
REFERÊNCIAS	118	

Acrónimos

IoT Internet of Things

AI Artificial Intelligence

NASA National Aeronautics and Space Administration

PLM Product Lifecycle Management

DTP Digital Twin Prototype

DTI Digital Twin Instance

DTA Digital Twin Aggregate

DTE Digital Twin Environment

BIM Building Information Model

CAD Computer Aided Design

ICT Information and Communications Technology

VAV Variable air volume

BMS Building Management Systems

BAS Building Automation Systems

ERPs Enterprise Resource Planning

Sphere Service Platform to Host and sharE REsidential data

AEC Architecture Engineering and Construction

Paas Platform as a Service

IDDS Integrated Design and Delivery Solutions

IFC Industry Foundation Classes

BCF BIM Collaboration Format

COINS Construction Industry Solutions

Lista de Figuras

Figura 1 – Imagem apresentada por *Michael Grieves* (Grieves and Vickers 2016)

Figura 2 – Dimensões BIM

Figura 3 – BIM e digital twin (Khajavi et al. 2019)

Figura 4 – Conceito de Building Digital Twin Instance (Loscos et al. 2019)

Figura 5 – Flink2Go dashboard (Sphere 2021)

Figura 6 – Flink2Go – menu de vista do edifício por andares (Sphere 2021)

Figura 7 – Flink2Go – menu de vista do edifício global (Sphere 2021)

Figura 8 – “Asset inventory” (Invicara, 2022)

Figura 9 – “FM (facility management) Apps Integration” (Invicara, 2022)

Figura 10 – “Systems Integration” (Invicara, 2022)

Figura 11 – “Performance Twin” (Invicara n.d.)

Figura 12 – Diagrama de Gantt – 1º semestre

Figura 13 – Diagrama de *Gantt* – 2º semestre

Figura 14 – Tipos de grelhas apresentadas por J. S Maria (Maria 2014)

Figura 15 – Protótipo papel *home page*

Figura 16 – *Sketch home page*

Figura 17 – Protótipo papel representação

Figura 18 – *Sketch* representação

Figura 19 – Protótipo papel monitorização

Figura 20 – *Sketch* representação

Figura 21 – Protótipo papel performance energética

Figura 22 – *Sketch* performance energética

Figura 23 – Protótipo papel menu de controlo

Figura 24 – *Sketch* menu de controlo, com componente selecionado.

Figura 25 – *Sketch* menu alertas.

Figura 26 – *Wireframe 1.0* - Dados e simulação.

Figura 27 – *Wireframe 2.0* - Dados e simulação.

Figura 28 – *Wireframe 3.0* - Dados e simulação.

Figura 29 – *Wireframe 3.0* – *Home page*

Figura 30 – *Wireframe 3.0* – Representação

Figura 31 – *Wireframe 3.0* – Monitorização

Figura 32 – *Wireframe 3.0* – Dados e simulação

Figura 33 – *Wireframe 3.0* – Alertas

Figura 34 – *Space Grotesk*

Figura 35 e 36 – *Open Sans*

Figura 37 e 38 – Sistema tipográfico

Figura 39 – Grelha hierárquica

Figura 40 – Grelha de colunas

Figura 41 – Temas de cor primário, secundário e terciário

Figura 42 – Outros temas de cores

Figura 43 – *Homepage* - Edifício

Figura 44 – *Homepage* – 3º andar

Figura 45 – Representação – 1º andar

Figura 46 – Representação – Componente selecionado no 3º andar

Figura 47 – Monitorização

Figura 48 – Monitorização – Explicação índice ultra violeta

Figura 49 – Dados e simulação – Recursos

Figura 50 – Dados e simulação – Condições Interiores

Figura 51 – Dados e simulação – Simulação de condições Interiores

Figura 52 – Dados e simulação – Recursos

Figura 53 – Reportar um problema

Figura 54 – Exemplo de item (Schrepp 2014)

Figura 55 – Estrutura do UEQ (Schrepp 2014)

Figura 56 e 57 – Avaliação por item

Figura 58 – Avaliação por escalas *UEQ*

Figura 59 – Gráfico de avaliação geral

Figura 60 – *Home page* vista do edifício alterada

Figura 61 – *Home page* vista do 3º andar alterada

Figura 62 – Representação

Figura 63 – Monitorização Recursos

Figura 64 – Monitorização Condições Interiores

Figura 65 – Monitorização Condições Exteriores

Figura 66 – Alertas

Capítulo 1

Introdução

O rápido e exponencial crescimento de algumas tecnologias de informação como a *internet of things* (IoT), *big data*, *cloud computing* e a inteligência artificial (Qi and Tao, 2018) permitiu o desenvolvimento de sistemas e produtos cada vez mais autónomos e conectados, integrados nos diversos aspetos na economia (Khajavi et al. 2019). Este crescimento chegou às cidades de uma forma natural, criando as fundações para o conceito de *Smart City*: um sistema inteligente em que a recolha de dados feita por sensores e outros tipos de dispositivos, é analisada e usada para automatizar diversos serviços, no interesse de um melhor desempenho, custos mais baixos e um menor impacto ambiental (Techopedia 2021). O conceito é extensível aos diferentes componentes da cidade, sendo exemplo os *Smart buildings* (Chen et al. 2009; Pramanik et al. 2019), como forma de explorar detalhadamente nos edifícios este sistema inteligente.

A digitalização e conexão entre sistemas e dispositivos inteligentes que o mundo tem assistido, tem permitido o uso de réplicas para simular e cenários do mundo real. O *digital twin* é uma réplica virtual de qualquer produto, sistema ou entidade, que pode ser utilizado para simular o que acontece segundo certas circunstâncias ou fornecer alertas de potenciais problemas (Cassauwers 2019). O conceito ajuda não só a compreender o presente como, também, a prever o futuro (Armstrong 2020).

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 prova de conceito de uma aplicação *web* que pretende funcionar como um *digital twin* do edifício, descrita nesta dissertação.

1.1 Ubiwhere

A Ubiwhere tem como principal objetivo a inovação tecnológica, destacando-se em três áreas: Telecomunicações, *Smart Cities* e *Research & Innovation*. Fundada em 2007, a Ubiwhere tem estado em constante crescimento, assim como a vontade de contribuir para um futuro melhor para as próximas gerações, tendo como objetivo principal o desenvolvimento e investigação de tecnologias de ponta.

Neste momento a empresa encontra-se sediada em Aveiro tendo, também, um escritório em Coimbra (Instituto Pedro Nunes – *Ubiwhere's Innovation Lab*) e mantém o contacto forte com algumas das universidades mais prestigiadas do país como a Universidade de Coimbra, Universidade de Aveiro e Universidade do Porto.

A Ubiwhere tem como um dos seus principais produtos a *Urban Platform*, uma plataforma urbana que será apresentada na seguinte sub-secção e que irá servir como base para o desenvolvimento do projeto.

1.1.1 Urban Platform

Tendo em conta as necessidades reais da cidade do futuro, a Ubiwhere integra todo o tipo de informação na *urban platform*, uma ferramenta de gestão da cidade nas diversas áreas que a compõem, proporcionando aos municípios uma visão global e integrada da sua cidade. Esta ferramenta funciona através de um único painel de controlo com uma visualização de dados dos mais diversos serviços da cidade em tempo real.

A plataforma apresenta 6 características base: (1) um único sistema integrado, onde os dados chegam dos diferentes sistemas da cidade e são centralizados na plataforma; (2) perceção dos objetivos de desenvolvimento sustentável; (3) interoperabilidade e normalização, sem apresentar falhas com diferentes níveis de protocolos e normas; (4) análise de dados interdisciplinares, permitindo um melhor conhecimento, previsão e avaliação de impacto; (5) gestão de ocorrências, com uma resposta mais eficiente às mesmas; (6) por último indicadores em tempo-real, perspetivas dinâmicas e contextuais sobre o ecossistema da cidade. Com a plataforma as equipas de operação conseguem aceder a dados em tempo real das diversas fontes disponíveis, e para além da visão global da cidade que conseguem obter, localizam também facilmente um problema ou um potencial problema e a partir daí tentam perceber qual a forma mais eficiente para o resolver.

Sendo as cidades um organismo complexo onde os seus componentes interagem entre eles, a *urban platform* permite aos utilizadores não só perceber aquilo que está a acontecer na cidade em tempo real e no seu histórico, mas também a forma como as suas componentes podem ter impacto umas nas outras. Isto só é possível com a capacidade de se integrar com sistemas já existentes na cidade, tal como na adaptação para receber dados de novas fontes que podem surgir.

Assim sendo, é pretendido nesta dissertação o desenvolvimento de uma prova de conceito de um *digital twin* para edifícios, como uma possível solução para a integração da componente edifício na cidade inteligente e como forma de desenvolver a integração humana neste mesmo sistema, indo além das componentes técnicas.

1.2 Motivações

Tendo em conta a evolução das tecnologias de informação e do processo de digitalização abordados no início do capítulo, é fundamental que os edifícios também acompanhem esta tendência (Chen et al. 2009; Pramanik et al. 2019). As cidades têm se tornado cada vez mais inteligentes, a evolução das tecnologias já apresentadas e dos elementos que as compõem, são os fatores principais para este acontecimento. Os edifícios são parte integrante da cidade, sendo que um dos focos da Ubiwhere são as *smart cities*, pretende-se trabalhar na integração dos edifícios no contexto de cidade inteligente, de modo a continuar a potenciar o dia a dia dos cidadãos e das pessoas que as gerem. Esta integração só é possível caso o edifício tenha um carácter inteligente, e dessa forma a tecnologia de *digital twin* vai potenciar isso mesmo. Esta associação tem um carácter inovador dada a escassas existências de produtos semelhantes, nomeadamente que atuem na fase de operação do edifício, com preocupações direcionadas à presença humana no mesmo. Tudo isto aliado a algumas falhas que foram identificadas a nível de usabilidade nas plataformas referenciadas, a necessidade de ter uma melhor interação neste tipo de produtos, formam parte da motivação desta dissertação.

A nível pessoal, a motivação nasce da vontade de trabalhar num projeto num contexto real do mercado de trabalho, com problemas reais e com o objetivo de contribuir para algo concreto. Para além disso, torna-se possível trabalhar num projeto com a incorporação de duas áreas essenciais: design de interface e a implementação do *frontend* da mesma, colocando em prática os conhecimentos adquiridos ao longo da licenciatura e mestrado em Design e Multimédia.

1.3 Âmbito

Esta dissertação insere-se num contexto académico com vista à finalização do Mestrado em Design e Multimédia, no Departamento de Engenharia Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, dentro do âmbito empresarial na empresa Ubiwhere. O projeto tem como foco principal as áreas de design e tecnologia, através do desenvolvimento de uma interface que deve ser vista como um *digital twin* do edifício.

Para o bom desenvolvimento do projeto é necessário o desenvolvimento de uma longa investigação sobre as temáticas envolvidas, de modo a compreender o contexto atual sobre a tecnologia de *digital twin*, edifícios e algumas plataformas que se pudessem relacionar com o projeto. No decorrer da investigação ficou claro que o desenvolvimento de uma ferramenta como o *digital twin* num edifício tem uma dimensão que envolve vários domínios em diversas áreas, assim foi importante

delimitar o raio de ação desta dissertação, tendo em conta os objetivos da empresa e as limitações técnicas e temporais existentes. Assim o *digital twin* será direcionado para a fase operacional do edifício, apesar de não ser explorado nenhum edifício em específico, ficou definido que se trataria de um edifício público e é assumido que este está equipado com todos os equipamentos necessários para a obtenção dos dados dispostos na plataforma.

1.4 Objetivos

O objetivo principal do projeto é a implementação de uma prova de conceito de uma aplicação *web* que represente um edifício digitalmente e que seja vista como um *digital twin* do edifício. Alcançar isto através de uma representação das geometrias do edifício e das suas componentes, das condições interiores e exteriores envolventes e o seu impacto, e por último a representação da sua performance energética. Tudo isto, com o propósito de garantir o conforto e segurança do humano no edifício e o bom funcionamento do mesmo de uma forma sustentável.

Assim, é importante a conceção de uma interface que facilite a procura e consulta de informação de forma clara e objetiva, através de um processo de design de interface seguindo as tendências e boas práticas em temáticas como o *web design* e design de interação.

1.5 Estrutura do documento

Este relatório intermédio encontra-se dividido por 4 capítulos. O primeiro capítulo é a Introdução, onde é apresentado o tema e contexto de trabalho da dissertação. É apresentada a empresa onde será realizada o projeto - a Ubiwhere, as motivações, âmbito e objetivos para o projeto.

No capítulo seguinte, Estado da Arte, é realizada uma investigação e análise dos conceitos mais relevantes para o projeto, de modo a obter um bom conhecimento dos mesmos.

No capítulo 3, Metodologias e plano de trabalho, é definida a metodologia a seguir durante o desenvolvimento do projeto, o plano de trabalho de ambos os semestres e é feita uma análise de riscos.

No quarto capítulo, é descrita a proposta de trabalho para o desenvolvimento da plataforma, onde são abordados os requisitos e funcionalidades a obter. A partir daí são desenhadas as *personas* que representam utilizadores fictícios da plataforma.

No capítulo 5, é apresentado todo o processo de design de interface, em primeiro lugar com um estudo das boas práticas ao nível do design de interface e posteriormente uma descrição de todas as fases do processo de prototipagem.

No 6 capítulo, é descrita a avaliação a que o protótipo de de alta-fidelidade foi sujeito, detalhando o processo, as conclusões e as alterações executadas perante a análise dos seus resultados.

Por último, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho realizado, os resultados relevantes, trabalho futuro e algumas considerações finais.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo é realizada uma pesquisa e análise dos temas que vão ser abordados durante o projeto, com o objetivo de contextualizar e referenciar conceitos e metodologias importantes para o desenvolvimento da dissertação.

Na secção 2.1 é feito um estudo sobre o conceito e definição “*digital twin*”, e a sobre a sua aplicação em edifícios. Na segunda secção é feita uma apresentação da operação em edifícios e suas ferramentas, com o objetivo geral de compreender o comportamento dos edifícios perante o contexto tecnológico de hoje em dia, e de alguns mecanismos utilizados pelos edifícios nas suas operações. A secção 2.3 tem como propósito apresentar exemplos de *digital twin* para edifícios, sendo analisadas duas plataformas.

2.1 Digital Twin

Nesta secção é feito um estudo sobre a tecnologia *digital twin*, iniciando-se com o contexto histórico, seguidamente é explorado o conceito teórico e por último na secção 2.1.3 é realizada uma abordagem a *digital twin* para edifícios, onde são descritas algumas funcionalidades e componentes específicos para os mesmos.

2.1.1 Contexto Histórico

A ideologia e o funcionamento de um *digital twin* aparecem primeiro do que a denominação e conceito propriamente dito. Em 1960, no programa *Apollo*, a *NASA (National Aeronautics and Space Administration)* construiu duas naves espaciais idênticas, sendo que uma delas permaneceria em terra (Grieves and Vickers 2016; Rosen et al. 2015). A nave “gémea” foi primeiramente usada na fase de preparação do voo e posteriormente para simular o comportamento da nave que se encontrava na missão, durante a mesma. Os dados disponíveis do espaço foram utilizados para simular as condições do voo e desta forma ajudar os astronautas em missão (Rosen et al. 2015).

Numa apresentação dirigida à indústria sobre PLM (*product lifecycle management*), em 2002, Dr. *Michael Grieves* mostrou uma imagem que representa o conceito ideal para PLM, representada na figura 1 (Grieves and Vickers 2016). PLM, tal como o nome indica, procura implementar uma gestão de produto durante todo o seu ciclo de vida, com o objetivo de eliminar o desperdício e aumentar a produtividade (Caruso, Dumbacher, and Grieves 2010).

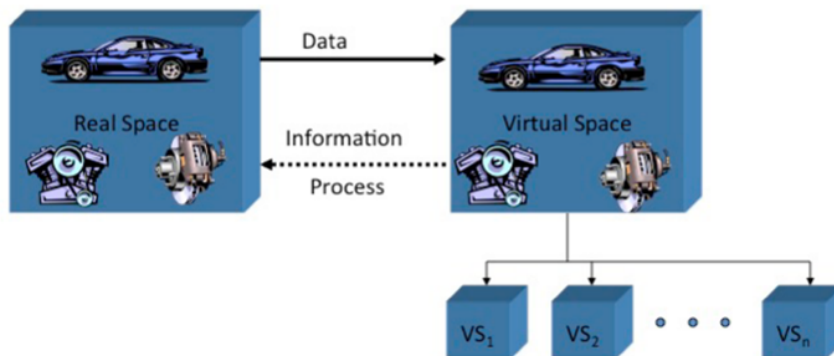


Figura 1 – Modelo conceitual para PLM apresentado por Michael Grieves (Grieves and Vickers 2016)

O autor afirma que nesta imagem são visíveis todos os componentes de um *digital twin*: os espaços virtual e físico, as ligações entre eles que possibilitam a troca de dados e informações e os subespaços virtuais (Grieves and Vickers 2016).

O conceito e a denominação de *digital twin* surgem recentemente nas áreas astronáuticas e aeroespaciais (Grieves and Vickers 2016). Desde 2010 que a NASA tem usado a tecnologia nos seus roteiros tecnológicos. A integração e desenvolvimento de várias tecnologias e produtos relacionados com as estruturas das naves, resultou no “*Virtual Digital Fleet Leader*” ou “*Digital Twin*”, de acordo com a própria NASA (NASA 2015). Através desta tecnologia e do seu desenvolvimento, a NASA pretende uma representação do sistema de voo com uma capacidade de diagnóstico e prognóstico de modo a melhorar a eficiência do sistema, assim como garantir a segurança e autonomia durante todo o ciclo de vida do sistema (NASA 2015).

A indústria aeroespacial foi a principal responsável pelo aparecimento do conceito de *digital twin*, contudo, ao longo do tempo a tecnologia adaptou-se a outros setores da economia, como a engenharia civil (Jiang et al. 2021), a indústria (Qi and Tao 2018) ou os edifícios (Nasaruddin, Ito, and Tuan 2018).

2.2.2 Conceito Teórico

Dr. *Michael Grives* afirma que o conceito básico de *digital twin* tem se mantido desde a sua apresentação de PLM em 2002 (Grieves and Vickers 2016), pois define o *digital twin* como:

“It 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)

Rosen (2015) defende que para responder rapidamente a acontecimentos inesperados, os sistemas devem ser cada vez mais autônomos (Rosen et al. 2015). Contudo, para isto acontecer, eles precisam de conhecer o estado atual dos seus processos e do próprio comportamento na interação que têm com o mundo. Para atingir esta fase Rosen (2015) afirma que o *digital twin* é a solução, pois toda a informação vinda do sistema está disponível em todas as fases do seu ciclo de vida (Rosen et al. 2015). Desta forma, a autonomia do sistema é uma característica fundamental para o *digital twin*.

Segundo Khajavi (2019) existem dois componentes fundamentais para a criação do *digital twin*, sendo o primeiro uma rede de sensores wireless que fornece dados em tempo real para a análise, e o segundo ferramentas de análise desses dados (Khajavi et al. 2019). Assim, e relacionando com os conceitos apresentados anteriormente, percebemos de que forma é que o sistema físico e o sistema digital comunicam e trocam informações, como o Dr. Grieves apresentou. Através destes dois componentes que Khajavi (2019) apresenta como fundamentais para o *digital twin*, a rede de sensores wireless e as ferramentas de análise de dados, que se percebe o estado atual dos processos do sistema e do seu comportamento com o mundo, duas características importantes para o sistema ser mais autônomo, como sugere Roland Rosen (2015) (Khajavi et al. 2019; Rosen et al. 2015).

Grieves e Vickers (2016) abordam ainda a atuação do *digital twin* no tempo, percebendo de que forma é que ele intervém e quais as diferenças nas diferentes fases do ciclo de vida do objeto/sistema que representa (Grieves and Vickers 2016).

“... that this conceptual model was and is intended to be a dynamic model that changes over the lifecycle of the system. The system emerges virtually at the beginning of its lifecycle, takes physical form in the production phase, continues through its operational life, and is eventually retired and disposed of.”

(Grieves and Vickers 2016)

Mais tarde, os autores propõem a existência de dois tipos de *digital twins*, que intervêm de forma diferente, consoante a fase do ciclo de vida que o *digital twin* atravessa: *digital twin prototype* (DTP) e *digital twin instance* (DTI). O primeiro (DTP) aplica-se à fase de produção que se divide no design e no desenvolvimento - este modelo descreve o protótipo físico do artefato, contendo toda a informação necessária para produzir a versão física. O DTI é referente à fase operacional objeto/produto físico, descrevendo esse mesmo artefacto, que ficará ligado durante o seu ciclo de vida ao *digital twin* (Grieves and Vickers 2016).

Os autores apresentam, ainda, dois conceitos que se relacionam com os anteriores: o *digital twin aggregate* (DTA) e o *digital twin environment* (DTE). O primeiro (DTA) funciona como a agregação de todos os DTI's, uma estrutura computacional que tem acesso a todos os DTI's, enquanto que o DTE se trata de um espaço físico para operações com os *digital twins* (Grieves and Vickers 2016).

Posto isto, é possível concluir que o *digital twin* representa um objeto/produto físico, numa representação que conta com um conjunto de informações que o descreve a todos os níveis, desde a sua representação geométrica, à representação dos seus sistemas, ao estado dos seus componentes e ao comportamento que tem nas suas operações com o mundo exterior. O *digital twin*, sendo um sistema dinâmico, pode intervir em qualquer uma das fases do ciclo de vida de um objeto, adequando sempre a sua participação à respetiva fase em que o objeto/produto físico se encontra.

2.2.3 Digital Twin em edifícios

Para Khajavi (2019) a evolução da *IoT*, para além de ter facilitado diferentes aspetos no dia a dia, permitiu também uma evolução nas estruturas dos edifícios. A *IoT* permite a obtenção de dados através das redes de sensores e atuadores presentes no seu ambiente, quando estes estão ligados à internet. O autor afirma, ainda, que esta possibilidade ainda não foi suficientemente investigada, quando aplicada a um *digital twin* de um edifício inteligente (Khajavi et al. 2019). Assim sendo e estando já o conceito de *digital twin* apresentado, é importante agora focar nos aspetos que um *digital twin* para edifícios pode apresentar.

“IoT is the principal architect of automated, safe, secure, comfortable, energy efficient building”

(Pramanik et al. 2019)

Os autores Nasaruddin, Ito e Tuan (2018) apresentam o *digital twin* de um edifício como:

“interaction between the real-world building’s indoor environment and a digital yet realistic virtual representation model of building environment, which provides the opportunity on real-time monitoring and data acquisition.”

(Nasaruddin, Ito, and Tuan 2018)

Relacionando esta definição com o conceito teórico de *digital twin* e a forma como os sistemas comunicam, temas já explorados na secção anterior, percebemos como é que o sistema permite a monitorização e aquisição de dados em tempo real. Através da rede sensorial que recolhe dados por estar presente no edifício e, posteriormente, as ferramentas de análise de dados interpretam os mesmos no sentido de a tomada de decisão ser a mais correta.

Para além da rede sensorial, os dados provêm de sistemas incorporados no próprio edifício como a iluminação, gestão de energia, sistemas de segurança, entre outros (Bosch, 2021).

Hoje em dia estes sistemas funcionam de forma independente. Contudo, a evolução da IoT permite a combinação dos mesmos através dos seus dados, o que tornará os sistemas ainda mais inteligentes. A integração dos dados provenientes dos mais variados sistemas no edifício, vai criar um maior conhecimento sobre a utilização dos espaços, trazendo benefícios para as pessoas responsáveis pela gestão do edifício e também para os utilizadores (Bosch, 2021).

Porém, para Khajavi (2019) existe outro componente fundamental num *digital twin* de um edifício: a representação geométrica do edifício no *digital twin*. Esta representação pode ser extraída do *BIM (building information model)* através do seu modelo 3D *CAD (computer aided design)* ou outro modelo 3D do edifício em questão (Khajavi et al. 2019).

Assim sendo, primeiro de tudo é necessário realçar que o papel da *IoT* será cada vez mais importante não só no dia-dia do humano, mas também na sua presença no edifício, este pode ser manifestado através da incorporação de tecnologias como o *digital twin* nos edifícios. O *digital twin* é composto por um conjunto de componentes com diferentes tipos de competências: (1) representar geometricamente o edifício, através do seu modelo 3D; (2) recolher dados e informações durante as operações do edifício, através da sua rede sensorial e dos seus sistemas; (3) analisar e interpretar os dados, através das ferramentas de análise. Deste modo, o edifício e os seus responsáveis alcançam uma monitorização e gestão do edifício tanto a nível exterior, como interior, assim como uma melhor análise dos seus componentes e sistemas. Dessa forma ajudar a prevenir possíveis falhas, assim como os utilizadores beneficiam de uma melhor gestão dos espaços e materiais.

2.2 Operação em edifícios e as suas ferramentas

Nesta secção é realizado um estudo sobre edifícios e alguns dos seus mecanismos de interoperabilidade durante o ciclo de vida. Nas duas primeiras subsecções é feita uma abordagem a “*smart buildings*” e “*connected buildings*”, numa perceção da relação entre a tecnologia e os edifícios. Na terceira subsecção “Mecanismos de interoperabilidade em edifícios” são estudadas as ferramentas usadas durante o ciclo de vida dos edifícios com diferentes propósitos.

2.2.1 Smart Buildings

Segundo Pramanik (2019) há uma procura de edifícios, mais flexíveis, eficientes, sustentáveis, fiáveis, seguros e confortáveis - traduzindo numa palavra, mais inteligentes (Pramanik et al. 2019).

“Smart building refers to a building that behaves smartly with the coordination of different heterogeneous system by incorporating smart technologies”

(Pramanik et al. 2019)

Para Pramanik (2019) existem dois pilares de inovação e tecnologia inteligente nos *smart buildings*: ICT (*Information and Communications Technology*) e IoT, que vão trabalhar com as suas normas inteligentes no sentido de interligar os sistemas do edifício e estabelecer a comunicação entre eles. Exemplos de sistemas onde estas duas metodologias tecnológicas podem ser incorporadas são: iluminação, sistemas de aquecimento, elevadores, sistemas de acesso, entre outros. Para além disso, um *smart building* é constituído por um conjunto de componentes hardware como sensores, microchips e diferentes tipos de atuadores, estes trabalham em vários sistemas, dentro de diferentes subsistemas e geram uma grande quantidade de dados que é analisada mais tarde ou apenas fornecida para os serviços computacionais (Pramanik et al. 2019).

Os sistemas de controlo nos edifícios que monitorizam e medem os diferentes aspetos das operações são chamados BCS (*building control system*), também conhecidos como BMS (*building management system*) ou BAS (*building automation system*). Estes sistemas são uma tendência no sentido de monitorizar e gerir o edifício como um todo, contando com uma rede hardware-software no qual estão interligados com os controlos dos sistemas MEP (mechanical, electrical and plumbing) e, deste modo conseguem controlar qualquer dispositivo que esteja disponível no sistema, tendo como principal objetivo trazer maior eficiência, conforto e segurança para as pessoas que frequentam o edifício (Afram and Janabi-Sharifi 2014).

A estrutura física de um *smart building* comporta as seguintes componentes: equipamentos tradicionais de automação para edifícios, as componentes hardware, controladores, cabos, sensores e atuadores; sistemas como o de HVAC (*Heating, ventilation, and air conditioning*), iluminação, controlo da qualidade do ar, controlo de humidade, segurança e sistemas que satisfaçam as exigências sustentáveis, como sistemas de colheita da água da chuva ou o rastreamento solar (Chen et al. 2009; Pramanik et al. 2019). Estes sistemas devem possuir uma localização em tempo real para um melhor rastreamento dos equipamentos e conseguir comunicar entre eles de modo a fornecerem uma informação comum do modelo operacional (Chen et al. 2009).

Para Pramanik (2019), o sistema de informação de dados deve comportar 4 elementos chave : (1) IBMS (*Integrated Building Management System*) - responsável por conectar o sistema e as *dashboards* do edifício ao software de análise de dados; (2) sistema de recolha de dados, os vários dispositivos inteligentes que estão conectados através da IoT devem recolher e colecionar dados; (3) uma plataforma de análise de dados que transforme os dados em conhecimento e melhorando a produtividade do edifício; (4) e, por último, FDD (*Fault Detection and Diagnostics*), que tem como objetivo identificar falhas e erros provenientes da plataforma de análise de dados e estabelecer uma hierarquia de relacionamentos e regras dentro dos diferentes dispositivos e processos (Pramanik et al. 2019). Para o suportar o sistema informativo, existem ainda dois componentes que fazem do mesmo processo: o primeiro é aquele que está direcionado para o utilizador final (as pessoas ou empresas que têm o interesse em perceber como o edifício está a funcionar), sendo utilizadas técnicas de visualização como *bulletin board* ou *dashboard* para integrar toda a informação num só

local; a segunda está relacionada com o input externo que permite ao edifício estar integrado com sistemas maiores, como campus de edifícios, *smart grids* ou *smart cities* (Chen et al. 2009).

O desenvolvimento de um *smart building*, está sempre suscetível a ser feito consoante o contexto empresarial, contudo existem certos sistemas que um *smart building* deve incluir (Chen et al. 2009):

- Visualização dos consumos energéticos;
- Informações importantes como o estado do consumo energético corrente, o seu histórico e as suas tendências;
- Operações do edifício integradas com vários sistemas, de forma a que informação esteja disponível;
- Resposta às necessidades, havendo um pico de consumo de energia o edifício deve conseguir responder ao mesmo de forma a não prejudicar as suas operações;
- Controlo da ocupação, considerar os utilizadores parte do sistema, tendo em conta as preferências no ambiente interior, como a luminosidade, temperatura entre outros.

Em suma, e tendo já em conta as principais características do *smart building*, Pramanik (2019) apresenta alguns benefícios na utilização da estrutura inteligente, sendo que no ponto de vista humano, um *smart building* possibilita uma melhor satisfação, conforto e produtividade por parte das pessoas que frequentam o edifício. Adicionalmente, a estrutura de operações comporta uma melhor eficiência energética e de deteção de falhas, que poderá traduzir-se numa redução de custos. O autor aponta ainda que a possibilidade de ter um sistema totalmente automatizado leva a uma gestão mais fácil, tanto da parte humana, como da estrutura do edifício (Pramanik et al. 2019).

2.2.2 Connected Buildings

Tendo já explorado o papel do *IoT* em edifícios e a importância dos dispositivos com que interage presentes no edifício, Guney e Shen (20017) apresentam a *IoT* como a visão de obter a interconectividade entre dispositivos físicos, representada pela presença e conexão de dispositivos como redes sensoriais e atuadores no edifício (Gunay and Shen 2017). Alguns edifícios mais recentes podem ser equipados com mais de 200 sensores e 100 atuadores por 1000m² (Gunay and Shen 2017).

Uma rede sensorial distribuída e conectada entre si e com outros sistemas pode intervir em três aspetos: manutenção de equipamento e controlo da infraestrutura, melhor eficiência no controlo do clima interior e na melhoria na tomada de decisões na reabilitação das infraestruturas (Gunay and Shen 2017). Esta rede inclui sensores e atuadores. Fornece e tem ao seu dispor um conjunto de dados provenientes dos diferentes componentes que levarão aos benefícios apresentados anteriormente. Através da internet podem ser obtidas previsões meteorológicas, dos sensores, informações sobre o clima, de ocupação humana, do estado de

objetos, entre outros. Nos medidores é possível controlar aquecimentos e arrefecimentos e, por fim dos atuadores informações relativas ao controlo do próprio sistema.

Para Gunay e Shen (2017) um aspeto fundamental em relação à manutenção de equipamento e controlo de infraestruturas, é a automatização da deteção de erros e o consequente diagnóstico. Segundo os mesmos autores, a atividade dos sistemas HVAC, é uma das principais operações nas infra estruturas dos edifícios e, dessa forma, a sua performance energética acaba por se tornar instável (Gunay and Shen 2017). Entre 30-50% da energia usada nos edifícios comerciais é desperdiçada por uma manutenção inadequada dos equipamentos HVAC, desse modo é necessário para os gestores de edifícios terem ao seu dispor equipamentos apropriados de análise e permitir tomar decisões preventivas para a sua manutenção (Katipamula, Brambley, and Brambley 2005). Para melhorar a eficiência e a gestão destes tipo de sistemas, as redes de sensores e atuadores têm um papel importante na recolha de dados, vai depois de analisados ajudam a identificar mais facilmente falhas nos sistemas HVAC (Gunay and Shen 2017). O *model-based predictive control* (MPC) é um dos principais métodos usados para otimizar as operações do sistema HVAC. O modelo é orientado por dados em tempo real, fornecidos através de inputs do sistema e são feitas previsões de curto prazo de possíveis perturbações (Gunay and Shen 2017). Para Afram e Janabi-Sharifi (2014) este método apresenta vantagens como: antecipar o controlo das ações em vez de atuar de forma corretiva; integração de estratégias de conservação energética; capacidade de controlar o sistema por parte de qualquer residente no local, entre outras (Afram and Janabi-Sharifi 2014).

O segundo aspeto que Guney and Shen (2017) apresentam como ponto de intervenção por uma rede sensorial distribuída e conectada, é o controlo da temperatura interior do edifício. Esta gestão implica o controlo dos sistemas HVAC e da iluminação elétrica, dois sistemas que contabilizam cerca de 70% da energia usada nos edifícios. Em todo o caso, as previsões meteorológicas extraídas da internet e os dados recebidos por parte da rede sensorial, podem funcionar como forma de controlo de temperatura interior (Gunay and Shen 2017). Gunay e Shen (2017) apresentam um exemplo onde o primeiro autor desenvolveu um algoritmo MPC dentro do sistema de controlo de um centro comercial para calcular a duração do aquecimento interior durante a manhã. Deste modo, nas manhãs mais frias de inverno o aquecimento estava preparado para iniciar mais cedo a sua operação do que nos dias menos frios. Segundo o mesmo autor, o controlo adaptativo é um método que permite sincronizar continuamente as operações, baseado na ocupação periódica do espaço e do comportamento das pessoas, sendo que essa forma de controlo é considerada ser a mais adequada para edifícios com uma ocupação flexível(Gunay and Shen 2017).

Na reabilitação das infra estruturas, a rede sensorial conectada e distribuída dá a possibilidade de investir num processo de análise ou auditoria remota e desta forma poupar recursos e custos às entidades responsáveis por esse processo e que funciona com o principal objetivo de monitorizar a saúde do edifício (Gunay and Shen 2017).

2.2.3 Mecanismos de interoperabilidade em edifícios

Nesta secção é feito um estudo sobre alguns dos mecanismos de interoperabilidade usados em edifícios, com o objetivo de perceber a operação destas metodologias e os métodos usados para os diferentes propósitos que cada uma apresenta. Em 2.2.3.1 é abordado CAD/CAM (Computer-aided design/Computer-aided manufacturing), em 2.2.3.2 o COBie (Construction Operations Building Information Exchange) e por último em 2.2.3.1 o BIM. Neste último ponto são exploradas algumas das suas dimensões e a relação que pode desenvolver junto do *digital twin*.

2.2.3.1 Computer-aided design/Computer-aided manufacturing (CAD/CAM)

CAD é um dos mecanismos interoperáveis usados em edifícios, essencialmente utilizado nas primeiras fases do ciclo de vida do edifício, as fases de design e construção.

“Computer-aided design (CAD) is the use of technology to aid the design and, particularly, the drafting of a part or product, including entire buildings.”

(Aouad et al. 2013)

Segundo o mesmo autor, a fase de arquitetura e design é complexa, os clientes têm dificuldades em transmitir os seus pensamentos por palavras e desta forma os profissionais que estão a cargo deste processo têm adversidades durante o seu trabalho. O autor destaca ainda que um dos principais problemas por parte dos clientes está relacionado com a perceção da dimensão tridimensional. O CAD e o desenho manual foram ao longo da história as soluções exploradas para combater esse problema. Perante a grande quantidade de iterações feitas por parte dos clientes, o CAD apresenta uma grande vantagem em relação a outros processos pois consegue ser alterado de forma rápida (Aouad et al. 2013).

O CAD surge na década de 1950 como a primeira ferramenta que permitiu aos designers interagir com uma caneta diretamente no monitor do ecrã. Este é considerado o primeiro passo do CAD, apresentado por Ivan Sutherland na sua tese de doutoramento e teve como nome “Sketchpad” (Aouad et al. 2013) . Mais tarde a primeira versão comercial do CAD, apresentada por Patrick Hanratty, teve como nome “PRONTO” (Aouad et al. 2013). Nestas primeiras gerações, os sistemas de desenho 2D tinham como principal objetivo a automatização de tarefas de desenho repetitivas, mas também tinham já outro tipo de funcionalidades, como a rotação e escala de elementos (Aouad et al. 2013).

Na década de 1980, quando o CAD foi introduzido na indústria AEC/FM (Architecture Engineering Construction / Facilities Management), apareceram dois tipos de sistemas: entity-based CAD e object-based CAD (Aouad et al. 2013). O primeiro utiliza vetores gráficos para representar o seu design, através de elementos gráficos como pontos, linhas, arcos, entre outros. Existem muitos sistemas 2D baseados nesta abordagem, tal como o AutoCAD, que foram importantes nesta fase devido a permitir um melhor controlo sobre o design que não era possível no desenho à mão. Os modelos 3D funcionam como uma extensão daquilo que foi produzido no 2D. Já a segunda abordagem, object-based CAD, mais adequada ao

contexto atual, usa objetos já desenvolvidos para formar o seu design, tais como paredes, janelas e outro tipo de objectos. Neste sentido, qualquer alteração futura estará sempre dependente da forma em que o objeto inicial foi criado (Aouad et al. 2013).

Depois da conceptualização destas duas abordagens e da evolução registada nos computadores, nomeadamente nas suas placas gráficas, o CAD conseguiu finalmente ser reconhecido. Durante o mesmo período surge o BIM que trouxe outras informações relevantes acerca dos edifícios e permitiu a visualização em tempo real do modelo 3D do edifício. O CAD tornou-se numa ferramenta padrão no setor AEC para a fase conceptualização e design do edifício, com consequências no aumento da produtividade e na redução de custos no processo. Para além dos modelos 3D e 2D que fornece a designers e arquitetos, fornece também informações e dados de tempos e custos (Aouad et al. 2013).

2.2.3.2 Construction Operations Building Information Exchange (COBie)

COBie é outro dos mecanismos interoperáveis usados em edifícios, este está relacionado com a organização e gestão de dados de edifícios. Na indústria AEC/FM, um dos problemas principais tem sido a estruturação da informação digital, de modo a permitir a partilha de diferentes tipos de dados durante todo o ciclo de vida do projeto. O crescente número de sistemas computacionais e metodologias usadas na indústria levou a que cada uma utilizasse o seu próprio formato nos seus dados, causando ineficiência na interpretação e processamento dos dados (Yalcinkaya and Singh 2016).

Perante isso surge o COBie (Construction Operations Building Information Exchange) que é definido como:

“The end-result of the COBie specification can be considered as a common template in which the information structure and the delivery format of COBie specification is planned to reduce inefficiencies in facility information handover.”

(East 2007)

Yalcinkaya and Singh (2016) dá o seu ponto de vista abordando as consequências que o COBie pode trazer:

“COBIE eliminates the need to create and transfer boxes full of paper construction documents to facility operators following completion of the project. COBIE also eliminates the need for post hoc as-built data capture, and it will help to reduce operational costs.”

(Yalcinkaya and Singh 2016)

Os dados apresentados pelo o COBie estão disponíveis em três formatos diferentes: STEP (*standard for exchange of product model*) (Pratt 2004), ifcXML e SpreadsheetM. Os primeiros podem ser interpretados e visualizados através da *web*, contudo a sua interpretação requer alguns conhecimentos tecnológicos, o que nem sempre é uma realidade por parte dos utilizadores finais. Assim, o formato *spreadsheet* tornou-se o mais usado para

representar o COBie, sendo o mais acessível para consultar, verificar ou editar informações por parte de qualquer utilizador. Os dados podem ser exportados do BIM (East 2007).

A principal dificuldade apresentada pelo mesmo autor é referente à grande quantidade de dados e a falta de dependência dos mesmos, para uma perceção clara por parte dos utilizadores neste aspeto impõe-se uma carga de memória pesada.

2.2.3.3 Building Information Model (BIM)

O BIM (Building Information Model) é conceptualizado por Charles Eastman por volta da década de 1970 e é implementado pela primeira vez no sistema RUCAPS CAD (Really Universal Computer Aided Production System) para o design e construção do terminal 3 do London Heathrow Airport (Eastman et al. 2011).

Os mesmos autores apresentam o processo de evolução da ferramenta ao longo do tempo, dividindo-o em diferentes níveis de maturidade. No nível 0 (década de 1990) o BIM é potenciado pelo crescimento do CAD, contudo os dados foram-se dispersando e a partilha de dados era maioritariamente feita por desenhos de papel. No nível 1 surge o contexto empresarial, as empresas começam a usar o modelo 3D do CAD e a partilha de dados digitais torna-se uma realidade através do CDE (Common Data Environment). Em 2010 surge o nível 2, quando a colaboração e partilha de ficheiros e modelos digitais avança para outro patamar de execução, através da utilização de formatos de ficheiros comuns, da introdução Industry Foundation Class (IFC) e Construction Operations Building Information Exchange (COBie). No ponto de vista do autor, hoje em dia muitas empresas se encontram nos níveis 1 e 2 contudo, o nível 3 está em desenvolvimento com o objetivo de trazer mais colaborações por parte dos stakeholders (Eastman et al. 2011).

O BIM foi desenvolvido para incorporar o modelo 3D do CAD com dados e informações adicionais relativas ao edifício, com o principal objetivo de evitar erros na fase de construção. (Khajavi et al. 2019) O comité de NBIMS (*National Building Information Modeling Standards*) dos Estados Unidos da América definem o BIM como:

“BIM is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. A BIM is a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life cycle; defined as existing from earliest conception to demolition.”

(Azhar, Khalfan, and Maqsood 2012)

Já a AGC (Associated General Contractors of America):

“The resulting model, a Building Information Model, is a data-rich, object-oriented, intelligent and parametric digital representation of the facility, from which views and data appropriate to various users”

(Azhar, Khalfan, and Maqsood 2012)

Deste modo percebemos que o BIM funciona como um recurso capaz de atuar nas 3 fases distintas do ciclo de vida de um edifício, sendo que na fase operacional representa

digitalmente as suas características físicas e funcionais, através delas consegue obter dados e informações que depois se transformam numa base de conhecimento capaz de auxiliar na tomada de decisão durante o seu ciclo de vida. Para atingir a esta colaboração é necessário um trabalho das ferramentas tecnológicas ICT dentro de um CDE (Alonso et al. 2019).

O principal benefício do modelo BIM é de fornecer informações acerca do edifício, dos seus espaços, sistemas e componentes. Depois de recolhidas essas informações o objetivo será transferir os dados para as operações de gestão do edifício (Azhar, Khalfan, and Maqsood 2012). Os mesmos autores dão um exemplo dos dados que o modelo comporta para um equipamento *VAV (Variable air volume) box*: a localização, o nome, número de modelo, tipo de produto, manuais de operação e manutenção, informações de serviço e dados de performance. Desta forma torna-se simples e rápido o acesso à informação por parte dos trabalhadores responsáveis pela gestão e manutenção do edifício. Os mesmos autores apresentam ainda diferentes aplicações do BIM para uma melhor manutenção e gestão do edifício: gestão de ordens de trabalho de manutenção, gestão de pedidos de serviço de emergência, planeamento e gestão de espaços e inspeção e gestão de inventário (Azhar, Khalfan, and Maqsood 2012).

Tendo já apresentado o contexto histórico e o conceito teórico do BIM, as suas diferentes formas de atuar e algumas das suas funções no presente, será apresentado de seguida as suas dimensões.

2.2.3.3.1 Dimensões BIM

As dimensões do BIM surgem da necessidade de estabelecer uma diferenciação entre as geometrias 2D e 3D, durante a evolução dos modelos geométricos dos edifícios que começaram com desenhos, passaram para os primeiros modelos 2D através do CAD até ao 3D. A adição de novos aspetos e características a estes modelos compõem novas dimensões da metodologia, 4D é conhecida como dimensão de “scheduling” adicionando informação à sequência do modelo de construção a ser executado e a 5D adicionando informação sobre custos e previsão dos mesmos (Hamil 2021).

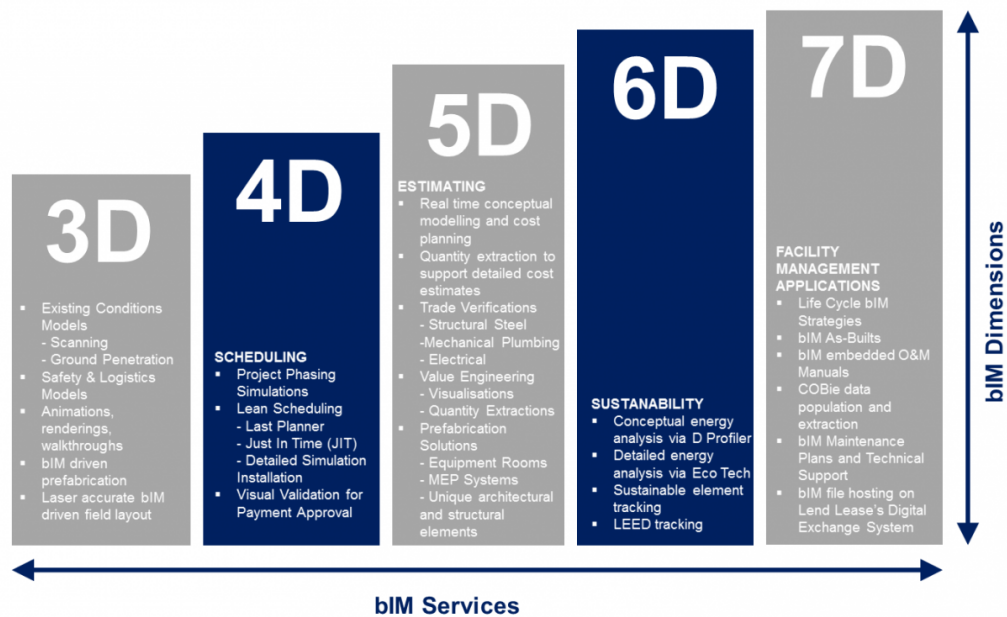


Figura 2 – Dimensões BIM (Architecture n.d.)

Enquanto estas duas dimensões apresentadas anteriormente estão direcionadas para as primeiras fases do ciclo de vida do edifício, as dimensões 6D e 7D incluem características comuns à fase operacional do edifício. A dimensão 6D "Sustainability" permite a integração de dados relacionados com a proteção do ambiente e consumo de energia (Czmoch and Pękala 2014), dessa forma alcançar melhor eficiência dos recursos e de gestão do edifício, promovendo propósitos como a sustentabilidade, manutenção e gestão do ciclo de vida dos recursos, monitorização das condições e simulações em tempo real (Kaewunruen, Sresakoolchai, and Zhou 2020). Os mesmos autores apresentam um caso de estudo onde através do modelo 6D BIM é estabelecida a informação relativa às emissões de carbono emitidas pelo edifício durante o seu ciclo de vida (Kaewunruen, Sresakoolchai, and Zhou 2020). Já a dimensão 7D permite aos gestores e proprietários do edifício gerir operações e instalações, através de um registo dos dados dos recursos mais importantes para a manutenção, recorrendo também a simulações que posteriormente conseguem centralizar todos esses dados num único modelo digital. Deste modo, esta dimensão consegue garantir que qualquer atividade e processo seja registado desde o início da construção do edifício até à sua demolição (Afzal 2021).

2.2.3.3.2 BIM e Digital Twin

Segundo Alonso (2019), existe ainda muita informação de edifícios e dos seus subsistemas que não está incorporada na metodologia BIM. A integração de várias metodologias e ferramentas como a *IoT*, *BMS*, *BAS* e *ERPs* (*Enterprise Resource Planning*) são o exemplo

disso e permitem o acesso a ferramentas para obter e gerir informações críticas dos edifícios (Alonso et al. 2019).

Para Khajavi (2019), BIM e *digital twin* podem ser comparados através dos seguintes aspetos: foco de aplicação, utilizadores, tecnologia de suporte, software, fases do ciclo de vida e origem. Na análise que Khajavi (2019) faz relativamente ao foco da aplicação das duas metodologias, BIM é utilizado principalmente para evitar erros durante a fase de design do edifício. Permite facilitar a comunicação entre stakeholders, monitorizar e melhorar a eficiência do processo de construção, sendo que os seus utilizadores são arquitetos, engenheiros e construtores, que trabalham nas duas primeiras fases do ciclo de vida do edifício mas, também, gestores de instalações de modo a fazer um gestão e um planeamento do edifício (Khajavi et al. 2019). Já o *digital twin* está relacionado com a melhoria no conforto do humano no edifício e na gestão das suas operações (Qi and Tao 2018), sendo utilizado, sobretudo, pelos gestores de instalações durante a fase operacional do seu ciclo de vida (Qi and Tao 2018). O autor realça que o *digital twin* irá fornecer dados importantes ao nível da arquitetura para futuros edifícios, baseado nas falhas detetadas na fase de operações do edifício que o seu modelo representa. Na comparação entre dois temas, Khajavi (2019), afirma ainda que existe um aspeto em que o *digital twin* funciona contrariamente à plataforma BIM, uma vez que que o primeiro através dos seus componentes recolhe dados em tempo real e analisa-os, enquanto o BIM não tem a necessidade de trabalhar em tempo real (Khajavi et al. 2019).

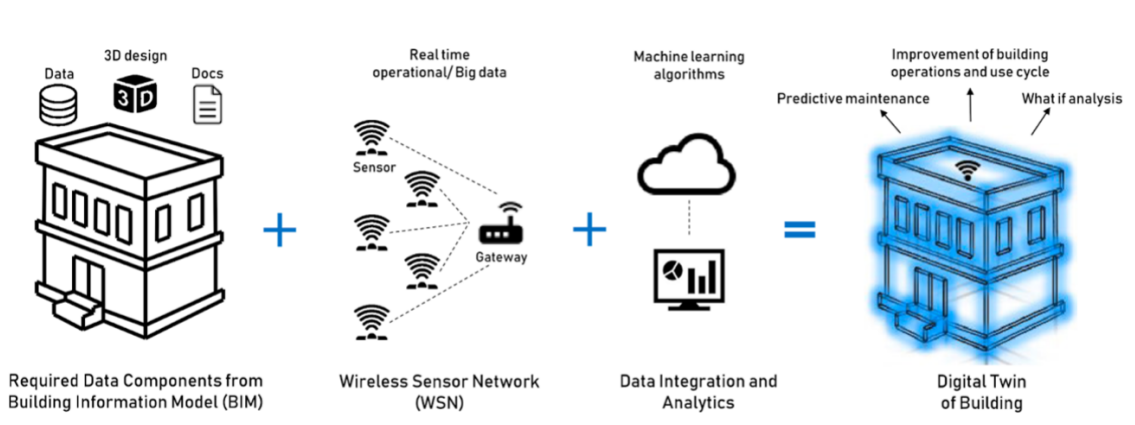


Figura 3 – BIM e digital twin (Khajavi et al. 2019)

Na figura 3 é feito um resumo das três componentes que, para o autor, formam um *digital twin* de um edifício, com a metodologia BIM como parte integrante no mesmo (Khajavi et al. 2019).

O BIM fornece a sua representação 3D, que extrai do modelo CAD mais um conjunto de dados e documentos sobre o seu edifício. Os dois restantes componentes, já abordados no capítulo destinado ao *digital twin*, estão relacionados com a extração de dados em tempo real

por parte dos sensores e, posteriormente, a sua análise recorrendo a algoritmos de *Machine Learning*.

2.3 Análise de exemplos

Depois de estudados os conceitos de *digital twin* e do contexto atual de edifícios perante as tendências tecnológicas são agora apresentados dois exemplos de plataformas de *digital twin* para edifícios.

O primeiro exemplo apresentado em 2.3.1 é a Sphere BIM *digital twin* platform e o segundo em 2.3.2 Twinit – Invicara *digital twin* Platform.

2.3.1 Sphere BIM Digital Twin Platform

A plataforma Sphere (Service Platform to Host and share RESidential data) permite aos cidadãos, aos AEC stakeholders, administradores citadinos e outras entidades reguladoras, uma melhor avaliação e desenvolvimento das 3 fases distintas da vida de um edifício. No artigo onde descreve a plataforma, Rubén Alonso (2019) afirma que existe muita informação relativa a edifícios e aos seus subsistemas que ainda não é explorada pela metodologia BIM, nomeadamente a sua relação com as novas tendências tecnológicas como apresentado no secção anterior (Alonso et al. 2019).



Figura 4 – Conceito de *Building Digital Twin Instance* (Loscos et al. 2019)

O desenvolvimento da plataforma integrou dois planos de investigação, inovação e desenvolvimento: primeiro a integração do conceito de *digital twin* no projeto, com o objetivo de incorporar não só a fase de design e construção do edifício, mas também a fase operacional, ainda que em menor evidência; o segundo referente à plataforma integrada com uma infraestrutura de sistema *ICT* baseada em *Paas (Platform as a Service)*, que permite a obtenção de dados e informações de maior escala, atingindo um melhor entendimento e sincronização dos processos, que conseqüentemente leva a uma melhor e mais simples interação com a plataforma (Alonso et al. 2019).

Um dos principais desafios desta plataforma, é a sua intervenção com a fase de construção, onde pretende obter uma melhor qualidade de construção de uma forma sustentável. Através da melhoria da performance energética e num uso eficiente dos recursos. Para o autor, a qualidade de construção tem um impacto direto na qualidade de vida dos cidadãos e na sustentabilidade ambiental (Alonso et al. 2019).

O carácter interoperável e flexível da plataforma com base nas *ICT*, faz com que seja integrada toda a informação já existente sobre o edifício em causa, e assim possível a criação do *digital twin*. Este é fornecido em paralelo com o edifício físico e nele foram investigados três planos de inovação:

(1) O “building-centred *digital twin* environment”, envolvendo as fases de design, construção e operacional, o sistema tem como objetivo agregar todos os dados relevantes do edifício. Desta forma, pretende melhorar a produtividade em menos tempo e a tomada de decisões económicas e ambientais.

(2) Conceito de DTE (*digital twin environment*), através de um enquadramento de uma *framework* *IDDS (integrated design and delivery solutions)*, com o objetivo de proporcionar a todos os envolvidos uma colaboração de dados e conhecimentos durante o ciclo de vida do edifício.

(3) A contínua atualização e sincronização do seu *digital twin* com as tendências da tecnologia para edifícios, de modo que no futuro todos os edifícios baseados do modelo BIM, consigam comunicar com outros sistemas computacionais, assim como outros *digital twins* - o autor dá um exemplo de um complexo residencial, onde a análise de qualquer ação pode ser analisada num ponto de vista multidimensional antes de qualquer procedimento.

Simplificar as atividades, melhorar a interconectividade e reduzir a complexidade, são três vantagens que podem ser alcançadas com a *Sphere*, segundo o autor. Para isso apresenta algumas tecnologias que vão trabalhar com o *digital twin*: ferramentas CAD/BIM (Computer-aided design/Building Information Model), uso de padrões *OpenBIM* (McGinley and Krijnen 2021), *IFC (Industry Foundation Classes)* *BCF (BIM Collaboration Format)* (Kuo and Oraskari 2016), *COINS (Construction Industry Solutions)* e *COBie* (East 2007; Yalcinkaya and Singh 2016), ciclos de trabalho baseados em *Kanban*, onde não existe comunicação por *emails*, visualização contextualizada através de um modelo 3D/IFC e uma redução no tempo de resposta a pedidos com o uso de bases de Relational Graph Databases (Alonso et al. 2019).

A figura 5 corresponde a uma demonstração de uma das ferramentas da plataforma, a Flink2Go para detetar facilmente defeitos na fase de construção do edifício e fazer uma gestão dos mesmos. Na figura é possível observar quais são as operações de trabalho a decorrer no momento, assim como os seus detalhes específicos (Sphere 2021).

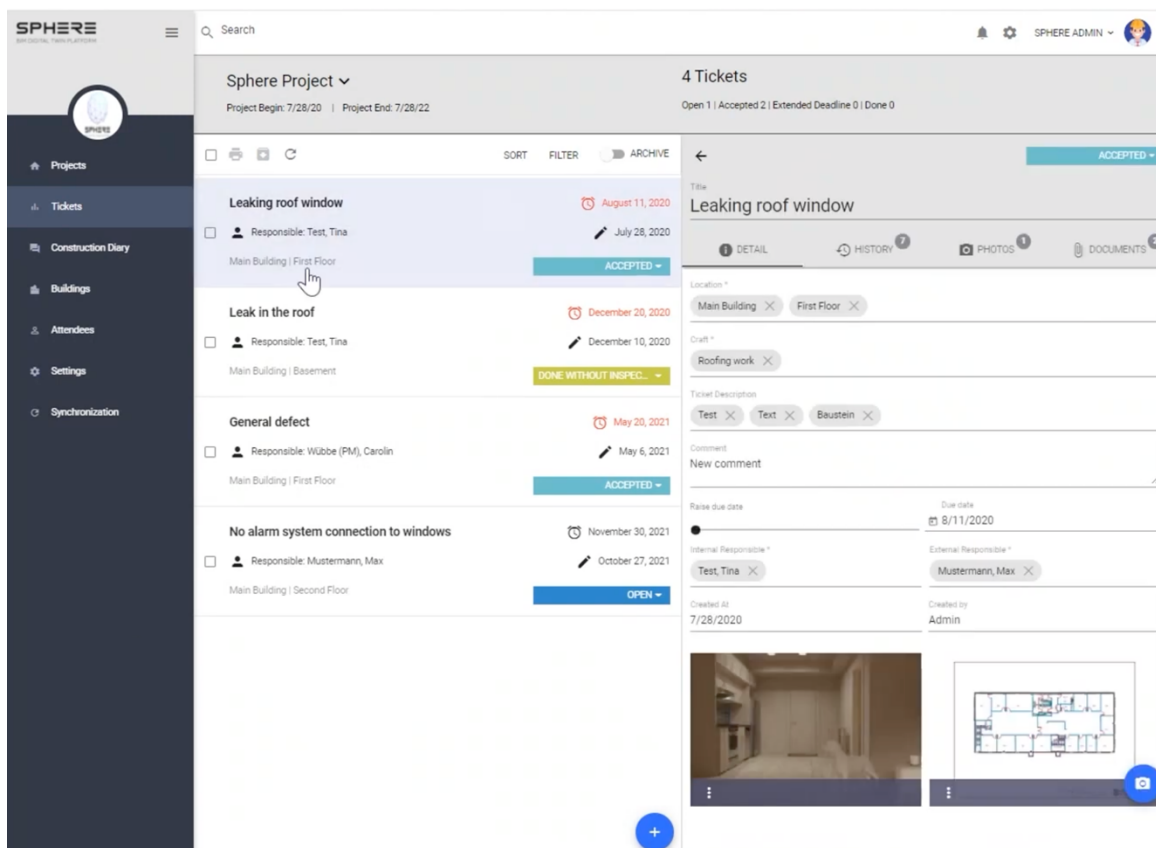


Figura 5 – Flink2Go dashboard (Sphere 2021)

As figuras 6 e 7 mostram a representação do edifício, seja ela global através do modelo 3D, seja por andares que neste caso apresentam plantas 2D de cada setor (Sphere 2021).

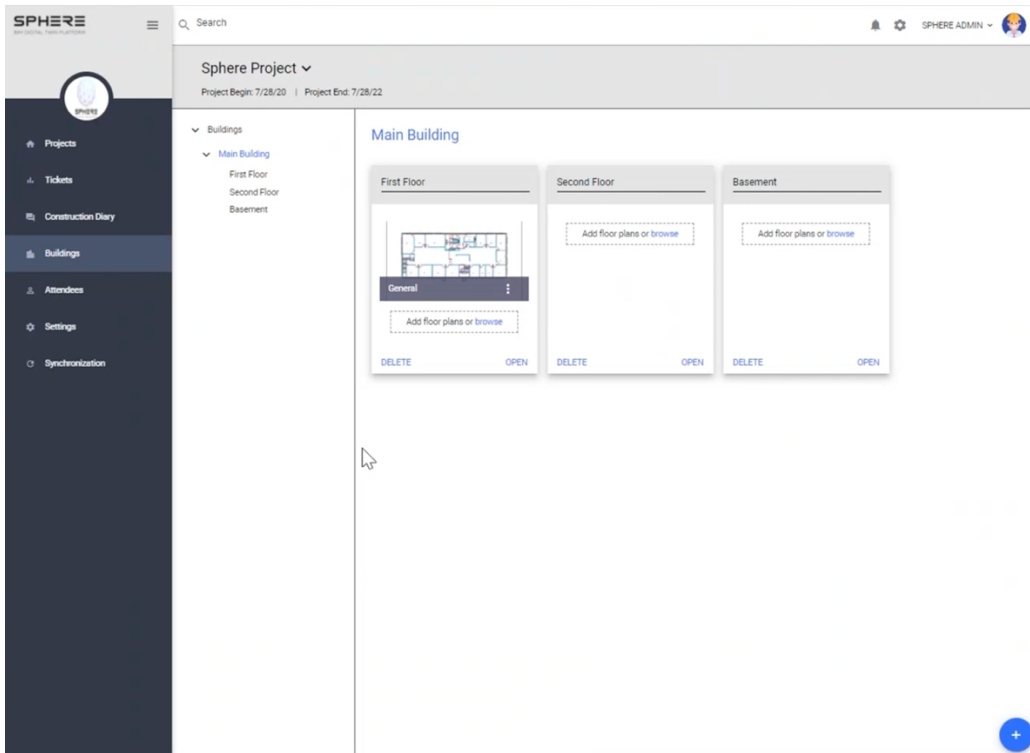


Figura 6 – Flink2Go – menu de vista do edifício por andares (Sphere 2021)

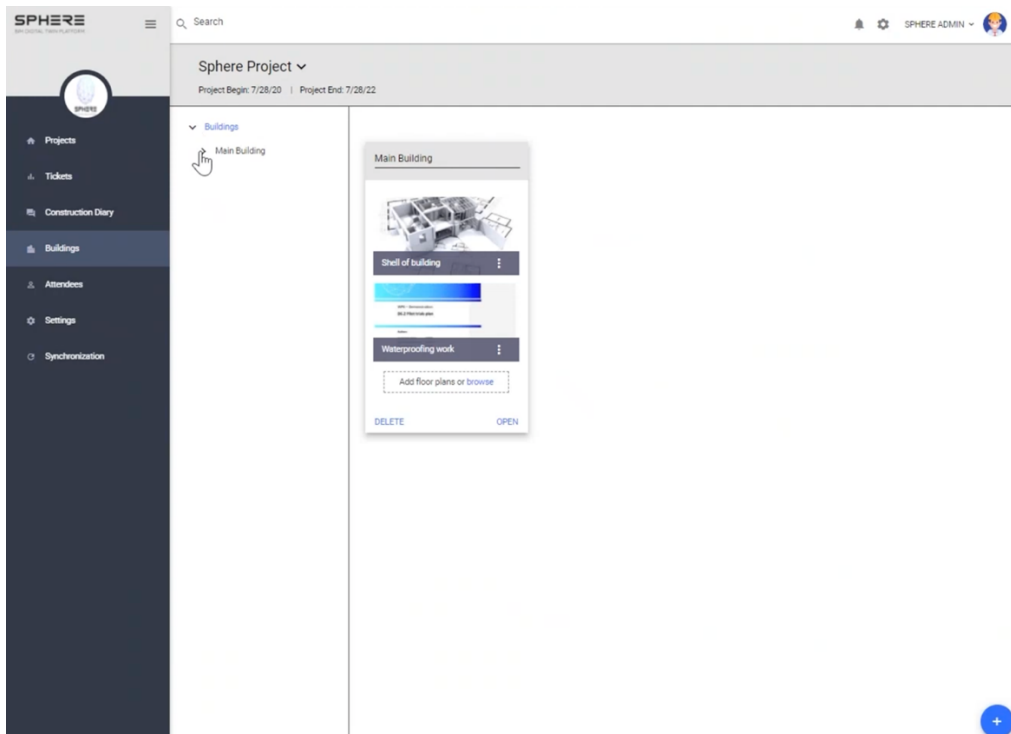


Figura 7 – Flink2Go – menu de vista do edifício global (Sphere 2021)

2.3.2 Twinit – Invicara Digital Twin Platform

O *Twinit* é a plataforma *digital twin* da *Invicara*, uma empresa dedicada ao desenvolvimento de Digital Twins para edifícios. A empresa não considera este tipo de plataforma como um produto pré definido, mas sim como algo interoperável, flexível com soluções inteligentes. Funciona sobre quatro objectivos base: (1) melhorar a confiança e transparência, com um trabalho cuidadoso na obtenção de dados; (2) redução da ineficiência e desperdício, através de uma melhor performance nos equipamentos e numa melhor utilização energética; (3) aumentar a sustentabilidade e o conforto, pensando sempre na experiência dos ocupantes; (4) por último permitir a monitorização e a ação nas operações do edifício (Invicara, 2022).

O carácter flexível e programável permite ao utilizador definir e construir a solução que mais lhe interessa, podendo combinar com outras soluções que já tem ao seu dispor. A empresa define 8 serviços base no funcionamento da *Twinit*: (1) serviço de autenticação e permissões de utilizador; (2) serviço de gestão e controlo de versões de ficheiros; (3) serviço gráfico correspondendo aos modelos 3D; (4) plantas 2D e outros formatos de ficheiros gráficos; (5) serviços de telemetria permitindo a integração da solução com outros sistemas; (6) serviços de itens, uma organização cuidadosa dos itens que permitem uma consulta e análise simples; (7) serviço de dados, integrando todo o tipo de dados numa só ferramenta; (8) serviço de notificação, manter os utilizadores informados de acontecimentos críticos ou não que possam ocorrer; por último serviço de análise, numa deteção de erros e diagnóstico (Invicara, 2022).

A plataforma pode ser dividida em dois modelos: o *Asset Twin* e o *Performance Twin*. O primeiro pode ser utilizado de duas formas: uma onde não são utilizadas soluções tecnológicas e no qual o utilizador é que realiza a sua própria configuração segundo o que já existe na plataforma, ou a segunda que já envolve algum trabalho por parte do fornecedor para adaptar o modelo consoantes alguns requisitos do cliente (Invicara, 2022).

O *Asset Twin* vai associar todos os dados e informações num modelo de dados, permitindo a gestão dos equipamentos, construindo um sistema que associa espaços a componentes, e documentos relevantes do edifício. Através do modelo 3D ou de outra representação do edifício é possível visualizar esse sistema de forma intuitiva. O *Asset Twin* é composto por três componentes base, o “*Asset Inventory*”, um inventário que especifica todos os equipamentos presentes no edifício, como representa a figura 8, onde é possível observar os componentes, leituras em tempo real, ficheiros e dados específicos. (Invicara, 2022).

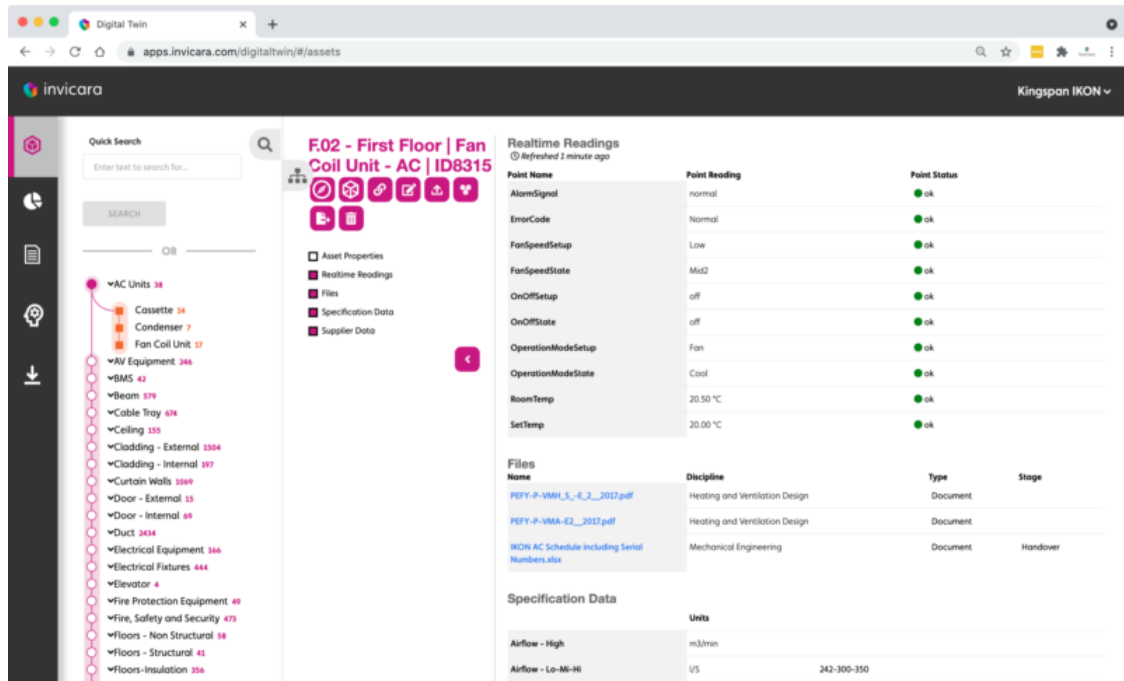


Figura 8 – “Asset inventory” (Invicara, 2022)

“FM (facility management) Apps Integration” é outros dos componentes do Asset Twin, um conjunto de aplicações da indústria FM, que pretende alcançar uma melhoria na manutenção, agregando informações sobre os componentes e fornecendo uma visão 360 das suas instalações, como representa a figura 9.

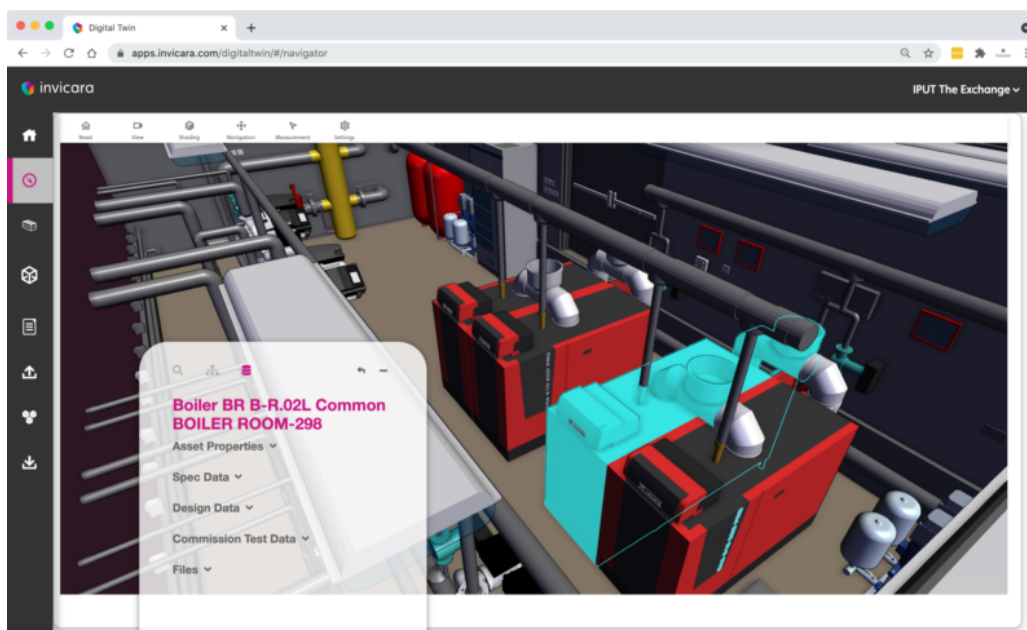


Figura 9 – “FM (facility management) Apps Integration” (Invicara, 2022)

Por último, a “Systems Integration” que desenvolve a integração de outros tipos de sistemas que podem trabalhar em vários sentidos. Por exemplo, para melhorar o conforto dos ocupantes do edifício, ou um sistema financeiro que auxilie a gestão de contas. Um ambiente flexível capaz de integrar aplicações e sistemas para um certo propósito, como representa a figura 10.

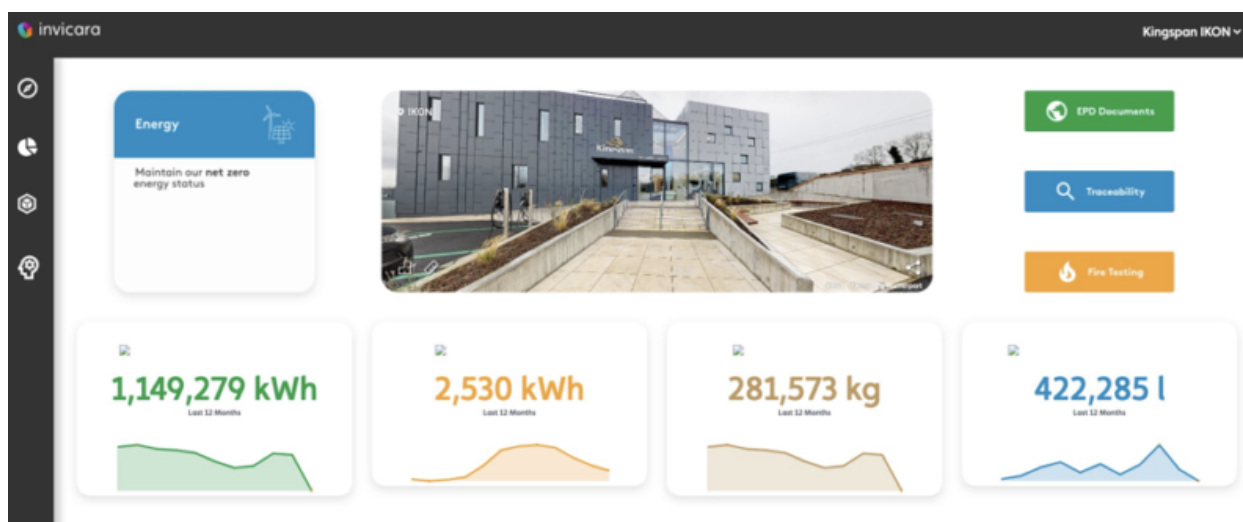


Figura 10 – “Systems Integration” (Invicara, 2022)

Já o Performance Twin integra toda a informação relevante produzida pelos sistemas e processos de gestão de edifícios, tendo como objetivo a criação de uma visualização clara dos dados e informações, removendo a dificuldade cognitiva envolvente na perceção do mesmo, focando nos aspetos que o cliente considera mais importantes. Entre alguns aspetos destacam as métricas da performance energética, o desempenho de equipamentos e a monitorização de deteção de falhas. O modelo segue 4 características: (1) a “Sustainability”, que pretende auxiliar os clientes a cumprir com os objetivos sustentáveis; (2) “custom apps” carácter flexível que pode encorpar aplicações que venham a preencher vazios em certas operações; (3) “Realtime data” incorporação de dados em tempo real e (4) “Intelligence and insights”, através de uma análise inteligente que o leva a obter conhecimento sobre o seu edifício. A figura 11 mostra um exemplo do Performance Twin, referente ao sistema energético onde são visíveis os consumos em diferentes espaços de tempo e por tipo de sistema.

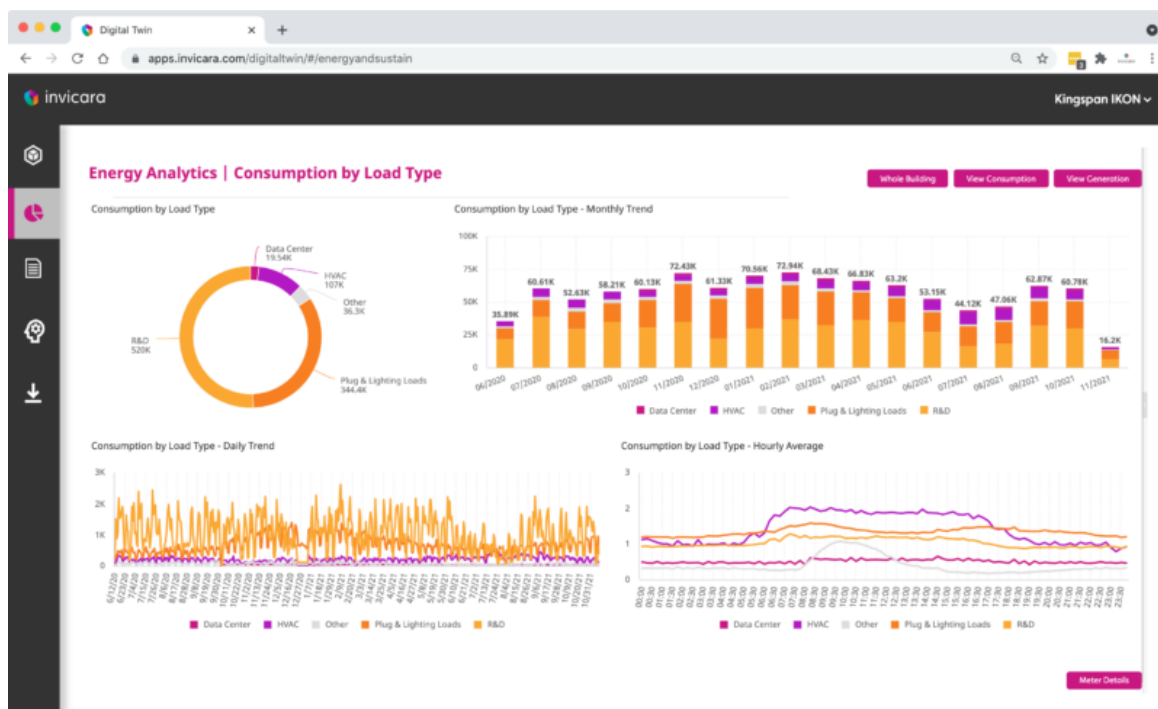


Figura 11 – “Performance Twin” (Invicara n.d.)

2.3.3 Resumo da análise de exemplos

Depois de apresentados estes dois exemplos, é importante perceber quais os aspetos mais relevantes de ambos para o contexto desta dissertação.

Relativamente ao primeiro exemplo, a plataforma *sphere* juntou o BIM ao *digital twin*, começando por identificar que ainda existe muita informação no BIM em falta sobre os sistemas e subsistemas do edifício. Através da junção das duas e do uso de outras tecnologias e padrões, o autor pretende abranger o espectro de ação a todas as fases do ciclo de vida do edifício e promover uma constante colaboração de dados e conhecimentos com outros ambientes e deste modo alcançar mais produtividade, menores gastos energéticos e sustentabilidade durante o ciclo de vida do edifício, com especial foco na fase de construção. Apesar de assumir uma intervenção durante as três fases de operação do edifício, a plataforma *sphere* encontra-se focada nas duas primeiras fases do ciclo de vida do edifício. Durante estas fases pretende garantir uma melhor qualidade de construção de uma forma sustentável, pois o autor acredita que através dela consegue ter um impacto na qualidade de vida dos cidadão e sustentabilidade ambiental. Assim sendo a plataforma não permite uma intervenção direta no dia a dia do edifício, nem das necessidades do humano na sua fase operacional. Assim foi identificado algo que pode ser trabalhado através nesta dissertação, um trabalho dentro da fase operacional do edifício com preocupação não só com o humano no edifício, mas também com o desempenho dos seus sistemas.

Já o segundo exemplo, a plataforma *Twinit*, mais focado na fase operacional do edifício tem como principais características a interoperabilidade e flexibilidade na utilização da

plataforma, onde o utilizador pode fazer ajustamentos para a solução que mais lhe interessa, o que permite incorporar outros sistemas já utilizados nas suas operações. Nos objetivos base que apresentam, apontam o lado humano como umas das partes fundamentais, onde pretendem garantir o conforto e o bem estar do humano e do edifício em causa. Estas duas características foram reconhecidas como fundamentais para o projeto apresentado nesta dissertação, assim como alguns dos seus serviços apresentados anteriormente, entre os quais são destacam-se: plantas 2D e outros formatos de ficheiros gráficos; serviço de itens, uma organização cuidadosa dos itens que permitem uma consulta e análise simples; serviço de dados, integrando todo o tipo de dados numa só ferramenta; serviço de notificação, manter os utilizadores informados de acontecimentos críticos ou não que possam ocorrer.

2.4 Conclusões

Como forma de concluir o capítulo é importante agora sintetizar as ideias-chaves que foram investigadas, de modo a conseguir criar o contexto para um melhor entendimento das decisões tomadas nos próximos capítulos.

O *digital twin* é visto como uma tecnologia que através do seu carácter autónomo consegue perceber o estado atual dos seus processos e do seu próprio comportamento na interação que têm com o mundo, o que lhe permite responder rapidamente a acontecimentos inesperados. Esta característica surge da sua capacidade de disponibilizar e interpretar informação durante todo o ciclo de vida do sistema físico que representa. Num *digital twin* para edifícios a *IoT* pode intervir com a obtenção de dados através de diferentes tipos de sensores e atuadores. A representação geométrica do edifício, a recolha de dados e informações das suas operações e posteriormente a sua análise, são três competências que correspondem para uma melhor monitorização e gestão do edifício. Isto aplica-se não só relativamente ao interior do edifício, mas também na interação com o exterior, para obter uma melhor análise dos seus componentes e sistemas.

Num *smart building* é fundamental que os sistemas funcionem de acordo com normas inteligentes, permitindo interoperabilidade. Para além disso devem ser compostos por diferentes tipos de componentes hardware que vão gerar uma grande quantidade de dados, que depois é analisada ou direcionada para os serviços computacionais. Neste aspeto conseguimos estabelecer desde já uma relação destas características identificadas como fundamentais para um *smart building*, com a atuação de um *digital twin* através da atividade da sua rede sensorial e a das suas ferramentas de análises de dados, como forma de atingir uma perceção do estado atual dos seus processos e do seu comportamento na interação que têm com o mundo. São identificados ainda certas informações e sistemas que um *smart building* deve incluir, como a visualização dos consumos energéticos, operações do edifício integradas com vários sistemas, uma resposta às necessidades do edifício e controlo de ocupação dos seus espaços. O papel das redes de sensores, medidores, atuadores e da internet é fundamental para o alcance destes sistemas e informações. Só uma rede conectada e distribuída entre si e os outros sistemas, é que vai permitir todo o trabalho identificado

anteriormente, com isso atinge uma melhor manutenção de equipamento e controlo de infraestruturas, melhor eficiência no controlo do clima interior e na melhoria na tomada de decisão na reabilitação de infraestruturas.

Tendo em conta já toda a análise feita, será apresentado no próximo capítulo a metodologia a seguir durante esta dissertação, assim como o plano de trabalhos.

Capítulo 3

Metodologias e plano de trabalhos

Neste capítulo é feita uma apresentação de como será desenvolvido o projeto dentro do contexto empresarial, assim como todos os aspetos envolventes desse processo. O capítulo está dividido em duas secções, o primeiro onde é apresentada a metodologia (3.1) usada durante o projeto e a segunda onde é apresentado o plano de trabalhos (3.2).

3.1 Metodologias

Admitindo o carácter inovador e as diferentes temáticas que o projeto comporta, é fundamental uma total compreensão das mesmas para o seu desenvolvimento. Por este motivo, foi adotada uma abordagem metodológica no desenvolvimento deste projeto.

A abordagem metodológica utilizada no projeto é *Design Science Research* (Peffer et al. 2007), esta abordagem divide-se em diferentes fases, num processo que pode ser iterativo e é baseado na pesquisa e enriquecimento de conhecimentos na área em questão, com o objetivo de obter um bom conhecimento do tema.

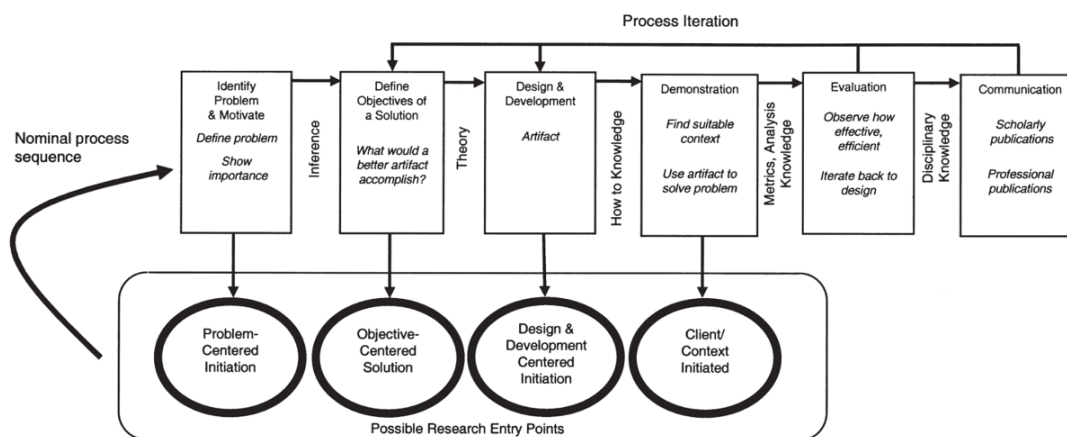


Figura 11 – *Design Science Research* (Peffer et al. 2007)

Seguindo a estrutura metodológica apresentada por Peffer et al. (2007), a primeira fase corresponde à identificação do problema e a motivação, que consistiu em conhecer o contexto existente nas temáticas de *digital twin* e edifícios, através de uma investigação particular de ambos os conceitos e, mais tarde, da sua interligação. Posteriormente foi fundamental a estruturação dos termos que iriam ser abordados no capítulo 2 Estado da Arte para uma melhor organização da informação recolhida. Esta fase corresponde às tarefas de investigação e definição do índice.

A segunda fase corresponde à definição de objetivos, apesar de na estrutura aparecer em segundo lugar, foi o ponto de partida do projeto através de uma comunicação clara e objetiva dos objetivos globais para o projeto por parte da empresa. A partir daí o trabalho consistiu na interpretação desses objetivos, e logo de seguida iniciada a primeira fase da metodologia, já apresentada. Posto isto, houve o retorno a esta segunda fase onde foi desenvolvida a proposta de desenvolvimento para o projeto, já com conhecimento mais profundo sobre as temáticas abordadas. Inicialmente o trabalho foi desenvolvido de uma forma bastante iterativa entre ambas as fases, apesar do modelo apresentar uma estrutura bem definida, sempre que necessário temos a possibilidade de voltar a fases anteriores.

A terceira fase do processo consistiu na proposta de design da plataforma, que foi o principal foco no segundo semestre de trabalho, onde o objetivo foi obter um protótipo de alta-fidelidade através das *mockups* dos diferentes ecrãs.

A quarta fase corresponde à demonstração, no contexto da empresa, através de uma avaliação da solução. Esta fase é correspondente à tarefa dos testes de usabilidade, onde o protótipo foi testado com o objetivo de identificar falhas ao nível da interface, ou do comportamento na interação com o utilizador.

Na quinta fase, avaliação, é feita uma comparação dos objetivos definidos na segunda fase do processo, com os resultados obtidos durante a fase de demonstração. Por último na sexta fase, comunicação, onde é dado a conhecer o projeto e as suas principais características.

3.2 Plano de trabalho

3.2.1 Semestre 1

Entre Setembro de 2021 e Janeiro de 2022 decorreu o primeiro semestre de trabalho, visando dois objetivos principais: adquirir um bom conhecimento do tema, através de uma investigação teórica e pesquisa das diferentes soluções relacionadas com área de estudo; o segundo, planear o trabalho a ser realizado durante o semestre seguinte. Depois de alcançados, estavam criadas as bases que sustentaram o desenvolvimento do projeto prático.

A primeira fase de investigação foi fundamental no decorrer do trabalho do semestre, uma vez que o tema de *digital twin* é inovador, nomeadamente no setor dos edifícios. Foi feita uma investigação sobre ambos os temas e da forma como se podem relacionar. A investigação foi realizada através de uma recolha e análise de material bibliográfico obtido através de uma pesquisa pessoal e por recomendação dos orientadores. Durante este processo, para uma melhor análise da literatura, foram recolhidas as ideias consideradas mais importantes dos diferentes materiais analisados, organizadas numa folha de cálculo com um pequeno comentário sobre as mesmas. A par deste processo foi iniciada a escrita do capítulo do Estado da Arte.

Depois de adquirir um bom conhecimento sobre o tema, iniciou-se o planeamento do segundo semestre, tendo em conta todo o trabalho realizado anteriormente e a investigação

feita, foi desenvolvida a primeira versão da proposta de desenvolvimento do projeto prático, os seus requisitos e funcionalidades.

3.2.2 Semestre 2

No segundo semestre, entre fevereiro de 2022 e setembro de 2022, decorreram os trabalhos de desenvolvimento da plataforma, através do desenvolvimento da proposta de design da interface.

Nas primeiras semanas foi necessário reajustar o planeamento que tinha sido idealizado no primeiro semestre, e redefinir de uma forma mais clara e objetiva os requisitos e funcionalidades da plataforma. Depois da fase de reajuste foi iniciado o processo de prototipagem, que permitiu obter uma visão mais clara das funcionalidades propostas e dessa forma realizar os últimos ajustes e alcançar um melhor entendimento para os requisitos e funcionalidades que iriam ser representados nos ecrãs.

Os primeiros protótipos em papel e os *sketches* foram o primeiro passo no processo de prototipagem, seguido com o desenvolvimento de *wireframes* em várias versões, sendo a última aquela que funcionou como base para o desenvolvimento do protótipo de alta-fidelidade, que corresponde à última fase deste processo. Todas estas etapas, foram guiadas pelos requisitos e funcionalidades definidos anteriormente, contudo durante as duas primeiras fases correspondentes aos protótipos em papel/*sketches*, estes acabaram por ser mais uma vez ajustados e repensados com maior pormenor. Esta transformação dos requisitos numa representação como os protótipos em papel e *sketches*, mesmo em baixa fidelidade, levou a uma maior perceção dos detalhes e pormenores que cada requisito e funcionalidade comportava. Já a fase de *wireframes* esteve mais relacionada com a forma como eram apresentadas as diversas informações que a plataforma possui, e já alguma preocupação com aspetos relacionados com a usabilidade da plataforma. Na última etapa referente ao desenvolvimento dos protótipos de alta-fidelidade, o foco foi o desenvolvimento dos ecrãs com base nas boas práticas de *web design* e design de interação, que serão apresentadas mais à frente, no contexto do trabalho desenvolvido anteriormente.

Nas figuras 12 e 13, são representados os gráficos de *Gantt* que representam o planeamento do trabalho para os dois semestres, sendo que a amarelo está representado o tempo estimado e a azul o tempo real. O gráfico da figura 13 revela uma clara diferença nas linhas temporais, salientando-se que a data da entrega foi adiada para Setembro.

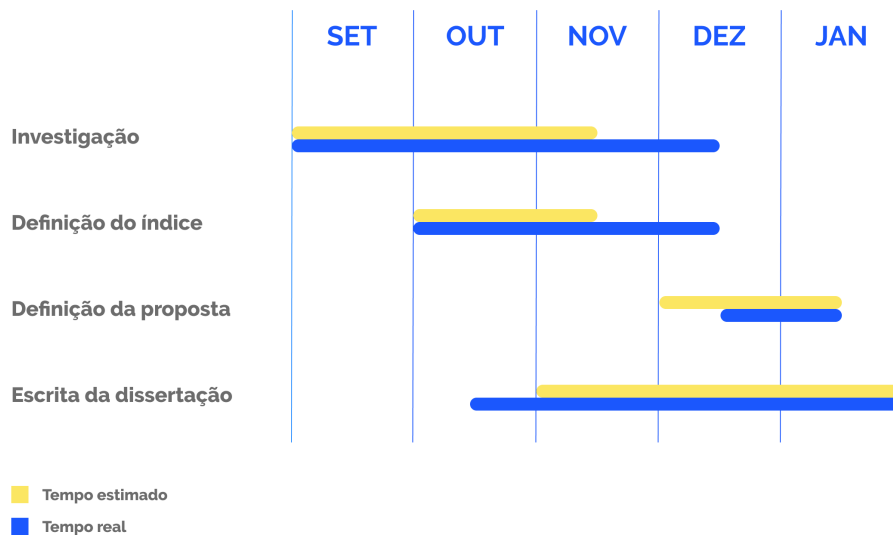


Figura 12 – Diagrama de Gantt – 1º semestre

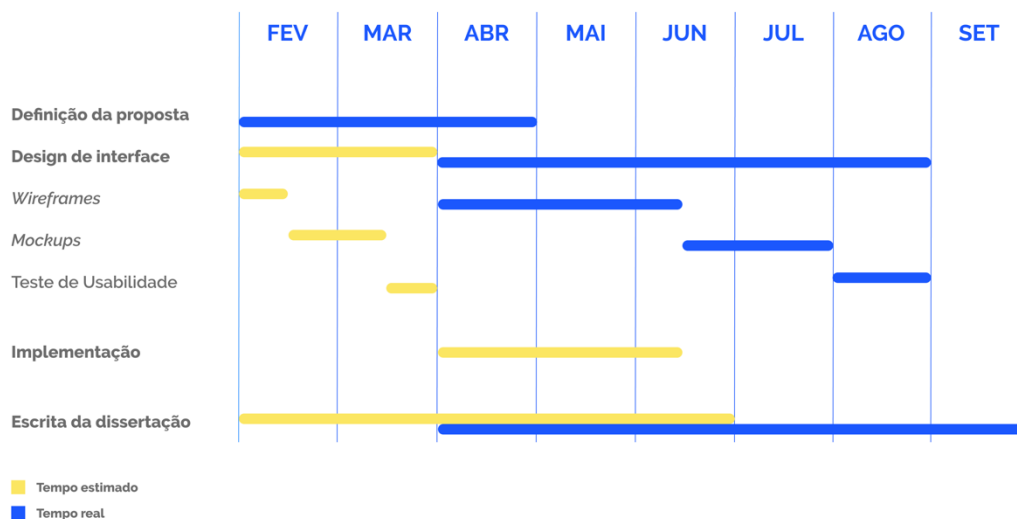


Figura 13 – Diagrama de Gantt – 2º semestre

Através da análise dos gráficos identificamos três tarefas que acabaram por consumir mais tempo do que aquilo que foi estimado. No 1º semestre a investigação, a definição da proposta em ambos os semestres e o design de interface, já no segundo semestre. A investigação

comportava um grau de complexidade considerável, dadas as temáticas de *digital twin* e da sua relação com os edifícios, contudo representou um atraso considerado recuperável. Já a definição da proposta acabou por tomar outra proporção, uma vez que foi alvo de muitos momentos de reflexão e consequentemente ajustes ao longo do tempo. Esta tarefa está diretamente relacionada com o design de interface, pois tal como já foi explicado, as primeiras fases desse processo levaram a diversos ajustes na definição de proposta para o projeto. Ainda relativamente à tarefa do design de interface, as duas mudanças de orientador na empresa, fizeram com que, durante esta fase, não houvesse um acompanhamento corrente ao nível do processo de design, havendo apenas pontualmente. Assim sendo, sendo identificado um desfasamento temporal no decorrer dos trabalhos da dissertação e tendo sempre como prioridade alcançar um protótipo o mais detalhado e completo possível, foi descartada a tarefa de implementação da interface, o que permitiu o foco total na conclusão do design da interface e a execução dos testes de usabilidade. Nesse sentido, fortaleceu-se em primeiro lugar o processo de prototipagem através de uma maior atenção aos detalhes tanto ao nível do design de interface, como ao nível do design de interação. Assim como nas tarefas referentes à avaliação da plataforma, realizando os testes mais detalhados aos utilizadores no sentido de identificar o maior número de falhas no protótipo, como será explicado mais à frente.

Capítulo 4

Proposta

Neste capítulo é apresentada a proposta para o desenvolvimento do projeto, baseada no estudo já realizado do tema, demonstrado no capítulo 2 Estado da Arte, na metodologia apresentada no capítulo anterior e nos objetivos definidos previamente pela empresa para a plataforma. O capítulo divide-se em três secções: a primeira onde são apresentados os requisitos da plataforma (4.1), de seguida as funcionalidades que irão responder aos requisitos apresentados (4.2) e por último o desenvolvimento de *personas* (4.3).

4.1 Requisitos

A literatura exposta no capítulo do estado da arte confirma que o *digital twin* pode intervir nas três fases do desenvolvimento de qualquer sistema físico que represente, são elas: o design, a construção e as operações. Durante estas três fases um *digital twin* tem uma perceção do estado atual dos seus processos e do seu comportamento na interação com o mundo, como já foi analisado e referido no capítulo 2. Assim sendo, seguindo a linha condutora da literatura estudada, tendo em conta que o objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de uma prova de conceito de uma aplicação *web* que funcione como um *digital twin* do edifício, estas duas características foram as bases para uma boa seleção dos requisitos da plataforma. Sendo o edifício o sistema físico que se pretende representar, a importância do funcionamento sobre normas inteligentes de um *smart building* foi também algo que foi importante na idealização dos requisitos da plataforma.

A fase operacional do edifício será o foco deste *digital twin*, que representará um edifício de utilidade pública. O edifício e os seus dados não serão reais, nem especificado particularmente o edifício em causa, é admitido apenas o carácter de utilidade pública ao mesmo, tendo em conta o contexto empresarial e o trabalho da *urban platform* (Ubiwhere 2022), uma vez que se trata de uma prova de conceito de uma possível futura linha de produto. Por isso é também assumido que o edifício é constituído por todo o tipo de hardware capaz de fornecer informação de monitorização do edifício, assim como de algoritmos que irão trabalhar esses dados no sentido de informar e auxiliar na tomada de decisão. O carácter de utilidade pública do edifício, exige que o *digital twin* consiga intervir no conforto e segurança do humano do edifício, para além de representar e auxiliar as operações de uma forma eficiente e sustentável.

Sumarizam-se de seguida os principais requisitos identificados:

- Representação geométrica do edifício e componentes, para o utilizador possuir um conhecimento rápido e claro do edifício e daquilo que o compõe;

- Representação das condições interiores e exteriores do edifício, e do impacto que podem representar, de forma a conhecer o estado atual do interior e exterior de modo a auxiliar na tomada de decisões;
- Representação da performance energética e o seu impacto na sustentabilidade das operações do edifício, através de uma precessão daquilo que pode ser alterado ou melhorado;
- Representação dos comportamentos e falhas dos seus componentes e sistemas, com o intuito de os corrigir e se possível evitar futuras ocorrências.

Através destes requisitos é pretendido que a plataforma permita que o seu utilizador tenha uma perceção do estado atual dos processos do edifício em causa e do seu comportamento na interação com o mundo, seguindo as normas inteligentes de um *smart building*. Para isso serão apresentadas de seguida as funcionalidades específicas que vão ao encontro dos requisitos referidos anteriormente.

4.2 Funcionalidades

Para que os requisitos da plataforma sejam cumpridos, é necessário um conjunto de funcionalidades que satisfaçam os mesmos. Nesta secção é feita uma descrição das funcionalidades da plataforma, e da forma como correspondem aos requisitos apresentados anteriormente.

Para responder ao primeiro requisito representação geométrica do edifício e componentes, as funcionalidades propostas são: vista global 2D do edifício assim plantas de cada andar do edifício, representação dos diferentes componentes dentro das plantas de cada andar e visualização de condições interiores e alertas de cada andar em específico. A representação das condições interiores e exteriores e o impacto que podem representar, será representado naturalmente por uma monitorização das condições interiores referentes a todo o edifício e de um andar em particular, assim como das condições exteriores no presente momento e as previsões nos próximos dias, para além disso será permitido fazer obter previsão de algumas condições interiores assim como uma simulação consoante a alteração de alguns parâmetros relacionados com essas condições. Ainda referente a esta funcionalidade é importante referir que estes dados foram referenciados pelo *Smart Data Model* da *FIWARE Foundation* no domínio das *smart cities*, por sugestão da empresa.

O terceiro requisito, representação da performance energética, tem como funcionalidades a representação do histórico recente dos diferentes recursos energéticos, assim como de uma previsão futura da sua utilização em comparação com aquilo que seria o consumo ideal, tal como no requisito anterior é permitido também fazer uma simulação dos consumos após a alteração de alguns parâmetros. Por último a representação dos comportamentos e falhas dos seus componentes e sistemas, é feito um sumário de todos os alertas ou comportamentos indesejados gerados pela plataforma, junto de outros que tenham sido reportados pelo próprio utilizador, sendo que esta capacidade de reportar problemas outra funcionalidade do *digital twin*.

4.3 Personas

O conceito de *persona* foi desenvolvido 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). Mais tarde, Pruitt (2010) apresenta *personas* como representações fictícias, específicas e concretas de possíveis utilizadores, que transmitem informações sobre os mesmos à equipa que está a desenvolver o produto (Andlin and Pruitt 2010). O mesmo autor apresenta as seguintes vantagens na utilização de *personas*: criam pressupostos e conhecimentos sobre utilizadores, de modo a criar uma linguagem comum sobre os mesmos; permitem que o foco no design seja para um pequeno grupo de utilizadores; suscitam interesse e empatia para com os futuros utilizadores por parte da equipa (Andlin and Pruitt 2010).

Assim sendo foram desenvolvidas quatro *personas* com o objetivo de perceber o comportamento e possíveis problemas que estes utilizadores podem encontrar no desempenho das suas funções. Estas foram baseadas nos objetivos previamente definidos pela empresa para o projeto e pela investigação feita até à data.

Cada *persona* está dividida em duas partes, “sobre” e “objetivos”, na primeira é apresentado o carácter humano da *persona*, enquanto nos segundos são descritos os objetivos que a *persona* apresenta para o seu cargo. Todas as informações sobre cada *personas* são fictícias.

PERSONA 1

Simão Almeida

42 anos, Gestor de Hotel

SOBRE

Simão, nascido e criado em Aveiro, mudou-se para Coimbra para se formar em Gestão. No primeiro ano da licenciatura percebeu que não estava satisfeito com o que estava a estudar, então decidiu ingressar no curso de Gestão Hoteleira. Depois disso começou a trabalhar como gestor de balcão de atendimento no Meliá em Coimbra, a sua dedicação e paixão pelo seu trabalho e pela hotelaria fez com que aos 40 anos se tornasse o responsável pela gestão do hotel.

É casado e pai de dois filhos, durante a sua vida toda percorreu o mundo em diversas viagens com amigos e família. Depois de casar e constituir família, não conseguiu realizar tantas viagens como gostaria contudo, foi obrigado a tornar-se uma pessoa muito mais organizada e metódica, característica que ao longo do tempo foram fundamentais no seu trabalho.

OBJECTIVOS

Durante o seu dia-a-dia Simão pretende aceder facilmente a uma visualização do seu hotel, das zonas que o compõem e dos diferentes sistemas em operação.

Gostaria ainda de conseguir consultar e analisar os consumos energéticos do seu edifício e perceber quais as zonas e sistemas que mais consomem eletricidade.

PERSONA 2

Catarina Silva

28 anos, Responsável pelo zona de restauração no hotel

SOBRE

Catarina, oriunda do Porto, é formada em Gestão e Produção de Cozinha e é responsável pela zona de restauração do Hotel Meliá em Coimbra. A forma cuidadosa e perfeccionista com que trabalha, foi o grande motivo para alcançar um posto de trabalho tão importante, tão cedo na sua carreira. Esta paixão faz com que muitas vezes seja a última a sair da zona de restauração e a primeira a chegar no dia seguinte, para garantir que o espaço está pronto para receber os seus hóspedes.

OBJECTIVOS

Gostaria de perceber a taxa de ocupação da zona de restauração que gere nos diferentes momentos do dia.

Para além disso, gostaria de garantir as melhores condições de conforto aos seus hóspedes, com o acesso e controlo das condições interiores do espaço, a temperatura e qualidade do ar.

PERSONA 3

Fernando Pereira

30 anos, Segurança de Hospital

SOBRE

Fernando tem 30 anos, nasceu e cresceu na cidade de Coimbra onde continua a residir atualmente. Depois de concluir o 12º ano decidiu integrar um curso de segurança privada, após concluído trabalhou ocasionalmente em diferentes sítios. Há dois anos surgiu a oportunidade de integrar o grupo de seguranças do CHUC (Centro Hospitalar da Universidade de Coimbra), onde tem trabalhado a tempo inteiro.

Sempre foi uma pessoa bastante ativa no seu dia, sempre disponível para ajudar quem necessita, já participou em várias iniciativas de voluntariado.

OBJECTIVOS

Gostaria de antecipar facilmente uma evacuação no edifício na área que está responsável, caso não seja possível localizá-la facilmente e reportá-la para o sistema.

Para além disso pretende garantir todas as condições de conforto antes e após o início do funcionamento do hospital, tais como a temperatura e qualidade do ar interior da secção.

PERSONA 4

Eng^o António Vasconcelos

52 anos, Vereador Municipal

SOBRE

António, é Vereador da Câmara Municipal de Coimbra, cidade de onde é natural e onde se formou em Engenharia e Gestão Industrial. Durante a sua vida sempre foi um apaixonado pela sua cidade, tendo por opção própria permanecido nela para concluir os seus estudos e mais tarde ingressado na vida política com o objectivo de ajudar a cidade e as suas gentes. Uma das suas responsabilidades enquanto Vereador Municipal é o pelouro de Edifícios e Infraestruturas.

OBJECTIVOS

Pretende durante a sua análise urbana, ter uma perceção rápida das operações do edifício em análise, dos recursos humanos que apresenta e utilizadores que o frequentam.

Gostaria ainda de ter uma perceção clara e de fácil acesso aos consumos energéticos do edifício em análise.

4.4 Conclusões

A definição dos requisitos e das funcionalidades da plataforma fez com que se obtivesse uma visão mais clara, objetiva e limitada do pretendido para a plataforma. A primeira secção correspondente aos requisitos, apresentou de um ponto vista global a sua intervenção, sendo admitido um carácter de utilidade público no edifício, um trabalho sobre a sua fase operacional, tendo em especial atenção a presença humana no edifício dado as características do mesmo. As funcionalidades representam a forma de como os mesmos requisitos vão ser concretizados, sendo que são os aspetos que serão identificados na interface.

Através do desenho das *personas* foi alcançado um melhor conhecimento sobre possíveis utilizadores, assim como a garantia que as funcionalidades apresentadas iam ao encontro dos objetivos das mesmas.

Deste modo, estavam reunidas as condições para iniciar o processo de design de interface, que será apresentado no próximo capítulo.

Capítulo 5

Design de Interface

Neste capítulo é feita uma apresentação do processo da proposta de design da interface, iniciado com uma investigação sobre os conceitos e metodologias mais relacionadas com as temáticas, onde na secção 5.1 é explorado o tema de *Web Design*, e de seguida, em 5.2 um estudo direccionado para a interação com o utilizador e parâmetros de usabilidade a serem seguidos. Posteriormente, na secção 5.3 é descrito as primeiras fases do processo de prototipagem, e por fim em 5.4 apresentado o resultado final através do protótipo de alta-fidelidade.

5.1 *Web Design*

Nesta secção é feita uma abordagem ao *Web Design*. O design de interface quando dirigido para a *web* tem como nome *Web Design*, sendo que serão abordadas três componentes fundamentais para o desenvolvimento de uma interface: tipografia, grelha e cor (Lupton 2014).

Para Ellen Lupton (2014) uma interface bem desenhada ajuda a moldar o conhecimento e a função do fluxo de conteúdo que representa. Um dos princípios que a autora defende que deve ser cumprido para alcançar uma boa interface é o conceito de “*hide and reveal*”: a capacidade de mostrar grandes quantidades de informação num espaço reduzido (Lupton 2014).

5.1.1 Tipografia

Em qualquer que seja a atividade do nosso quotidiano, rapidamente percebemos que a tipografia é algo omnipresente, apesar de muitos considerarem algo normal da sua rotina, ela acaba por ter um papel essencial (Jury 2006).

Em 2006, Oliver Reichenstein afirmou que 95% da informação presente na *web* é linguagem escrita (Reichenstein 2006). Aponta ainda, que a tipografia tem apenas um dever: transmitir o que nela está escrito, seja no papel ou na *web*. Se uma obra impressa não pode ser lida, essa obra torna-se um produto sem propósito, o mesmo se aplica às interfaces *web*. Para o designer é importante otimizar a tipografia sendo que a legibilidade, acessibilidade e usabilidade, são características fundamentais para alcançar esse propósito (Reichenstein 2006).

Ellen Lupton (2014) afirma que uma boa tipografia passa despercebida, confundindo-se com o fundo do ecrã, sendo que na *web* é importante reconhecer e responder às várias circunstâncias em que se pode encontrar, tais como diferentes tamanhos de dispositivos.

(Lupton 2014). A mesma autora, de modo a auxiliar os designers nas suas escolhas tipográficas, apresenta um sistema onde aborda seis características que classificam uma tipografia e que formam um sistema de ranking: (1) legibilidade, avaliar a distinção entre caracteres; (2) flexibilidade, avaliar os diferentes pesos e tamanhos; (3) elegância, quão elegante é a fonte; (4) capacidade de leitura, avaliar se é confortável a leitura em texto corrido; (5) espetacularidade, capacidade de memorizar a fonte e os seus detalhes; (6) otimização, capacidade da fonte se otimizar no ecrã (Lupton 2014).

A escolha tipográfica é um dos aspetos mais importantes quando se está a trabalhar com tipografia, contudo o trabalho exercido na mesma é também muito importante para atingir o resultado pretendido. Assim, a grelha tipográfica, tamanho e hierarquia são ainda aspetos importantes a ter em consideração.

De acordo com Ellen Lupton o tamanho na *web* não pode ser trabalhado da mesma forma como é para um livro ou uma revista, pois os utilizadores olham para o objeto físico mais perto dos olhos do que para um computador, assim os ecrãs necessitam de tamanhos maiores. A hierarquia tipográfica corresponde às diferentes alternâncias de escala, pesos ou cor, representam uma estrutura ordenada dentro de uma página, sendo que cada nível hierárquico é composto por uma ou mais características que são aplicadas da mesma forma ao longo da página (Lupton 2014). A grelha tipográfica funciona como o método de organizar a página ainda vazia em linhas e colunas de espaço branco, o objetivo da grelha é dar aos diferentes elementos uma estrutura comum, proporcionando flexibilidade para diferentes posicionamentos (Lupton 2014). Com a grelha formada os elementos podem já ser dispostos e aí o tamanho e hierarquia tipográfica têm um papel importante.

5.1.2 Grelha

Para *J. S. Maria* (2014) a grelha ajuda a organizar todo o conteúdo da página e reforça a hierarquia tipográfica, com o objetivo de ajudar o utilizador a analisar todo o conteúdo e a expor um sistema informativo sobre ele. O autor dá o exemplo do uso de uma grelha: se os títulos aparecem sempre na mesma posição, ou as imagens sempre com a mesma dimensão, é transmitida uma sensação de consistência ao utilizador, deste modo conseguem encontrar facilmente aquilo que procuram distinguindo mais facilmente essa informação dos restantes elementos. (Maria 2014).

“But a grid’s power lies in the suggestion of flow and alignment. A grid does not dictate where elements go; it merely serves as a collection of possibilities. A grid allows you to frame your layout with purpose to align page elements and build hierarchical relationships.”

(Maria 2014)

Depois desta definição é importante perceber que a intenção principal do uso de uma grelha não é limitar as opções do designer, mas ajudá-lo a trabalhar com princípios como o alinhamento e a hierarquia.

J. S. Maria (2014) apresenta 3 tipos de grelha que podem ser aplicadas nas páginas *web*: grelha de colunas, grelha modular e a grelha hierárquica. A utilização de uma grelha de colunas é a mais comum nas páginas *web*. Consiste na aplicação de colunas verticais uniformes, espaçadas da mesma forma ao longo da página. A grelha modular é semelhante à grelha de colunas, mas com divisões horizontais, formando módulos. Por último, a grelha hierárquica oferece mais flexibilidade ao *design* da página, através de uma divisão horizontal da página em secções de diferentes tamanhos consoante a importância que o *designer* lhe pretende atribuir.

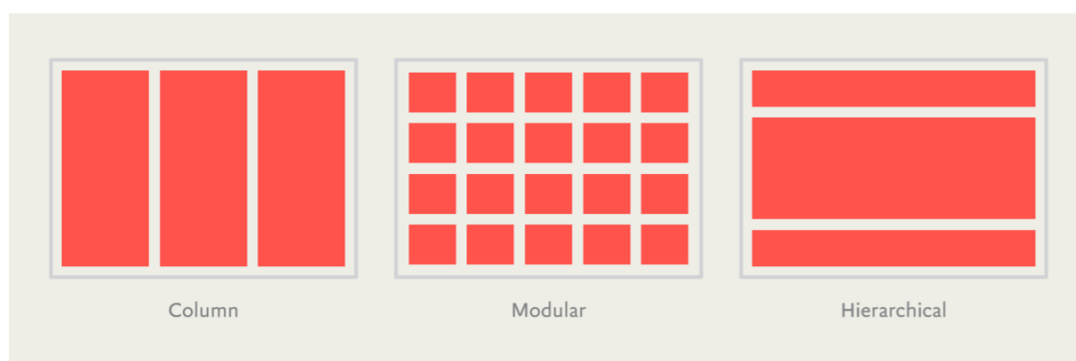


Figura 14 – Tipos de grelhas apresentadas por J. S Maria (Maria 2014)

5.1.3 Cor

Para Eddie Opara e Cantwell (2015) a cor é uma componente inerente ao design gráfico, por representar caráter, disposição e capacidade. O autor acredita ainda que a cor tem a capacidade de alterar as nossas percepções e, conseqüentemente, o nosso pensamento. Deste modo, afirma que a cor é uma linguagem que precisamos desesperadamente de dominar, sendo necessários melhores métodos para que ela se torne mais relevante para as necessidades dos designers de hoje em dia (Opara and Cantwell 2015).

O papel da cor na visualização de informação é crucial e, desse modo, é importante evitar que sua percepção seja semelhante quando colaboram no mesmo aspeto. Para isso, na escolha da paleta de cor destinada ao projeto, devem ser usadas cores de diferentes temas. O contraste entre a cor de fundo e os dados em primeiro plano é algo que o designer deve ter em conta, este não deve ser confundido com as cores usadas nos dados apresentados. Assim a cor deve ser categorizada pela função, conteúdo e hierarquia, com o intuito de alcançar mais clareza e melhor interpretação da informação (Opara and Cantwell 2015).

Posto isto, a escolha de uma paleta de cores equilibrada ajudará a obter uma melhor organização da informação e dos dados, de modo a tornar a visualização da interface uma experiência fluida e clara.

5.2 Design de Interação

O princípio “*hide and reveal*” apresentado por Ellen Lupton, referenciado na introdução da secção 5.1 *web design*, estabelece uma boa relação para a temática a abordar nesta secção. Uma vez que a plataforma é baseada em dados e informação, e é pretendido que o utilizador alcance o seu objetivo de forma rápida e eficaz, o conceito “*hide and reveal*” assume uma relevância importante, pois a capacidade de mostrar grandes quantidades de informação num espaço reduzido deve estar aliada à possibilidade do utilizador conseguir selecionar aquilo que quer ver, e dessa forma alcançar o seu objetivo.

Os serviços são constituídos por uma série de interações entre o cliente e o sistema, através de vários pontos de interação durante a sua experiência. Para acrescentar valor ao cliente, é necessário investir tempo a compreender como é que o cliente irá interagir com o sistema. Primeiro, através de olhar para o produto do ponto de vista do cliente e depois através de uma interação consistente com o utilizador (Stickdorn and Schneider 2011).

“Interaction design for services therefore relates to the design of desired employee behaviour, as much as design of interactions with technology.”

(Stickdorn and Schneider 2011)

Assim sendo, é fundamental estudar e compreender quem irá utilizar os produtos interativos e o contexto onde vão ser usados.

5.2.1 Usabilidade

A usabilidade está diretamente relacionada com a facilidade de utilização, a rapidez e suavidade com que um cliente executa uma determinada tarefa e o risco que a mesma comporta caso o objetivo não seja conseguido. Enquanto a utilidade responde à pergunta de “o quê?”, a usabilidade responde a “como?”, as suas principais métricas são tempo, erros e fluxo (Stickdorn and Schneider 2011).

Krug (2014) apresenta “*Don’t make me think!*” como a primeira lei da usabilidade, afirmando que assim que se olha para uma página *web* deve ser evidente o que se deve fazer, como chegar a um determinado objetivo e como a usar, sem perder muito tempo a pensar no que fazer. Reconhece, também, que nem sempre é possível tornar tudo evidente para o utilizador e, nesse caso, a página deve ser autoexplicativa, onde o utilizador terá que pensar um pouco (Krug 2014).

Para além das métricas já apresentadas de tempo, erros e fluxo e da necessidade do sistema ser evidente e claro, ou autoexplicativo em certos casos, *Shneiderman* apresenta “Oito Regras de Ouro do Design de Interfaces”. Estas regras, quando cumpridas, contribuem para aumentar a usabilidade de qualquer sistema (Shneiderman and Plaisant 1999):

- Procura da consistência: utilizar sequências de ações consistentes em situações similares e terminologia idêntica nas instruções;
- Utilização de atalhos, de modo a facilitar a navegação e a transformação de conteúdo;

- Oferecer feedback formativo, para qualquer ação do utilizador deve ser dado um feedback por parte do sistema;
- Auxiliar até ao final do processo; perante cada ação o utilizador deve ter conhecimento onde se encontra;
- Solucionar problemas de forma simples, dentro do possível, não permitindo que o utilizador cometa erros graves e, caso aconteça, a interface deve detetá-lo e guiar o utilizador à sua resolução de forma simples;
- Permitir a fácil reversão de ações: sempre que possível o utilizador deve ter a opção de reverter uma ação, o utilizador tem que ter a sensação que mesmo cometendo um erro, ele pode ser corrigido;
- Suportar o controlo por parte do utilizador: o utilizador deve sentir-se o responsável pelo sistema e que ele responde às suas ações;
- Reduzir a carga de informação a memorizar: através de uma interface simples e organizada, de modo a evitar que o utilizador tenha que memorizar informação.

5.3 Prototipagem

A prototipagem é uma fase do trabalho referente à terceira etapa da metodologia apresentada previamente, sendo que é uma das mais importantes de todo o processo. Divide-se em diferentes pontos, tem o objetivo de desenvolver um protótipo consoante as boas práticas descritas nas duas secções anteriores.

5.3.1 Protótipos de baixa fidelidade

Depois de serem definidos os requisitos e funcionalidades do *digital twin*, como a primeira fase do processo de prototipagem, foram desenhados os primeiros protótipos de baixa fidelidade em papel, que posteriormente foram passados para digital, como primeiros *sketches*. Através desta primeira etapa foi possível pensar e entender a forma como os ecrãs se iriam interligar entre eles, tal como as diferentes funcionalidades se iriam organizar em cada ecrã. Assim foram desenhados 5 ecrãs, com algumas variantes de acordo com as funcionalidades.

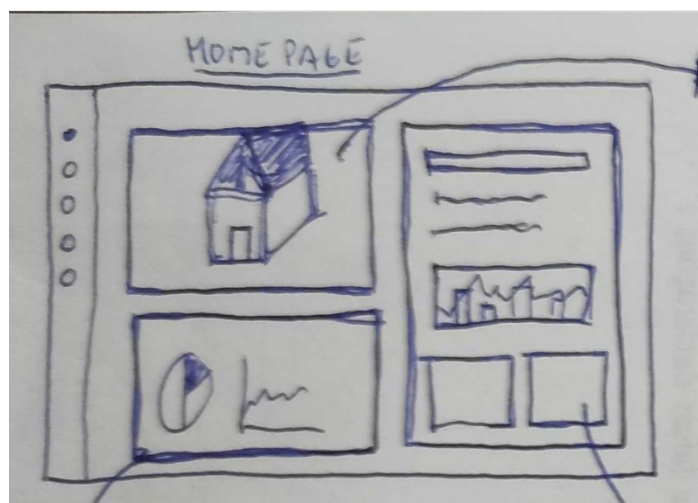


Figura 15 – Protótipo em papel da *home page*

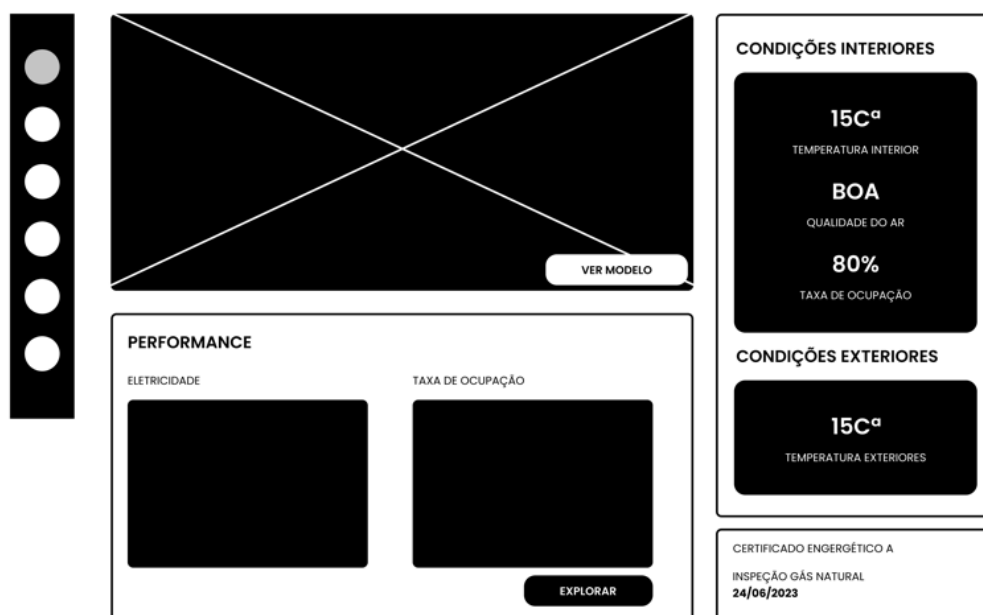


Figura 16 – *Sketch home page*

O primeiro conjunto de figuras 15 e 16, é referente à *home page*, trata-se do primeiro ecrã com que o utilizador terá contacto. É disposta a representação do edifício, a monitorização das condições interiores e a sua performance energética, assim como as opções de navegação para as outras páginas.

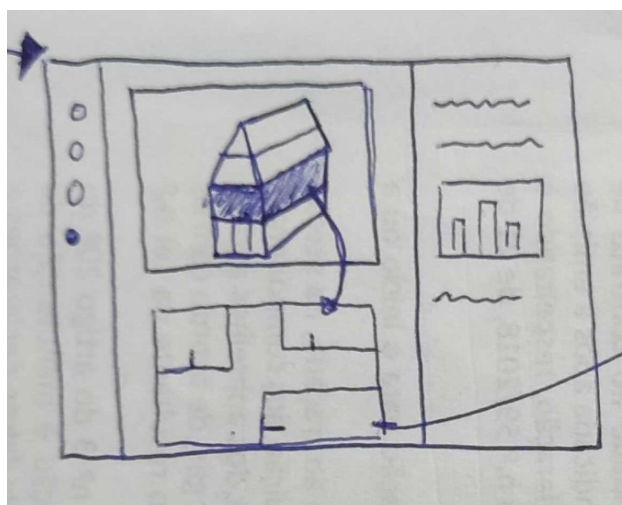


Figura 17 – Protótipo em papel da representação

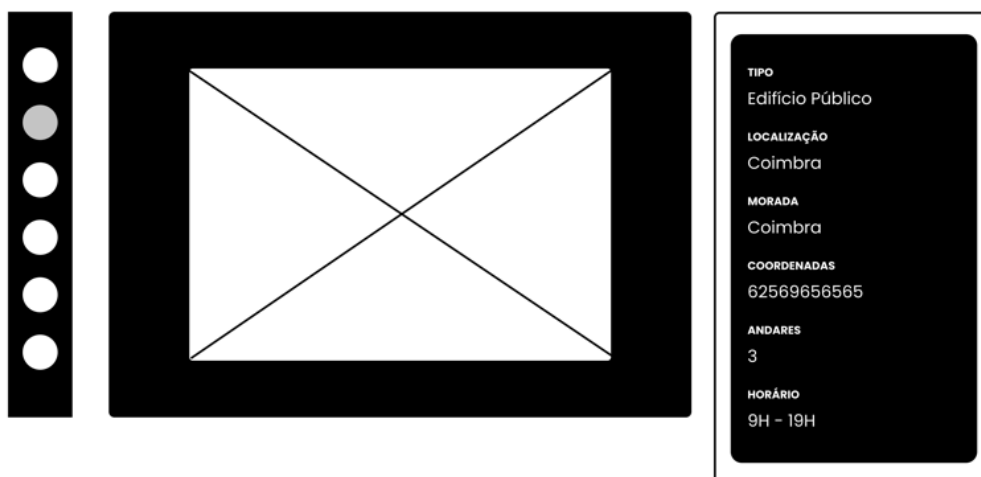


Figura 18 – *Sketch* da página de representação

As figuras 17 e 18 mostram o ecrã referente à representação geométrica do edifício, através do seu modelo 3D, da planta 2D específica de cada andar, e dos componentes que compõem cada andar. Para chegar às duas últimas informações é necessário a interação do utilizador com a plataforma: caso seja selecionado um andar, as informações serão atualizadas sobre o mesmo. Dentro desse andar, caso seja selecionado um componente específico o mesmo se aplica.

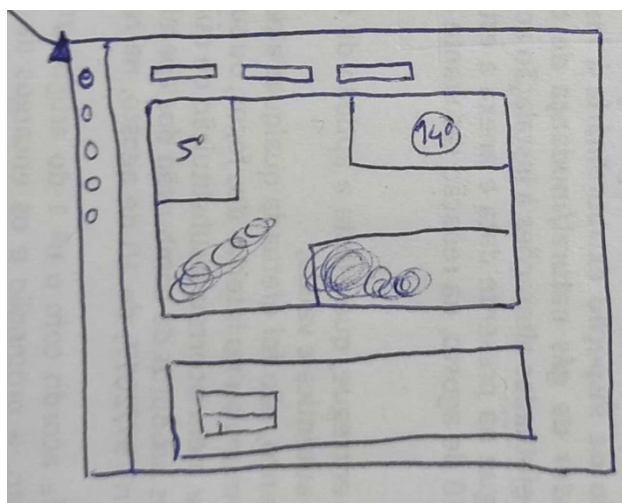


Figura 19 – Protótipo papel monitorização



Figura 20 – Sketch da página de representação

O conjunto de figuras 19 e 20, apresentam o ecrã que representa a monitorização com dados em tempo real das condições exteriores e interiores do edifício, sendo que as últimas podem ser filtradas por zonas ou vista como a totalidade do edifício. Neste ecrã verificamos já algumas diferenças entre o protótipo em papel e o *sketch*, nomeadamente a forma como foram dispostos os dados de monitorização. Nos protótipos em papel eram dispostos dentro de uma representação 2D do andar selecionado. Esta abordagem acabou por ser modificada

como forma de incluir não só as condições interiores, mas também as exteriores e para tornar o ecrã mais flexível, o que permitiria também acrescentar mais dados.

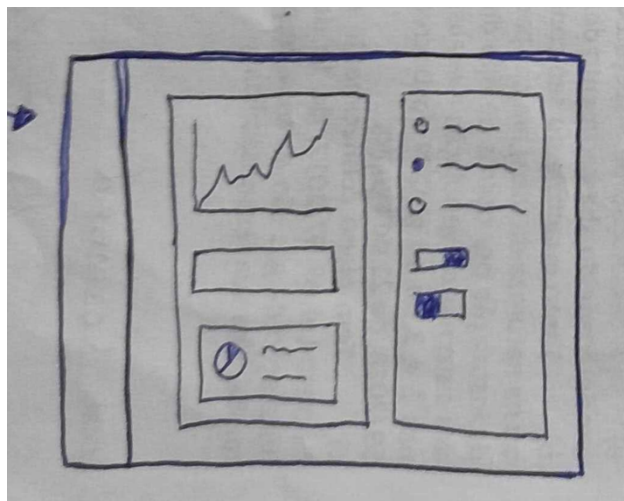


Figura 21 – Protótipo em papel da performance energética

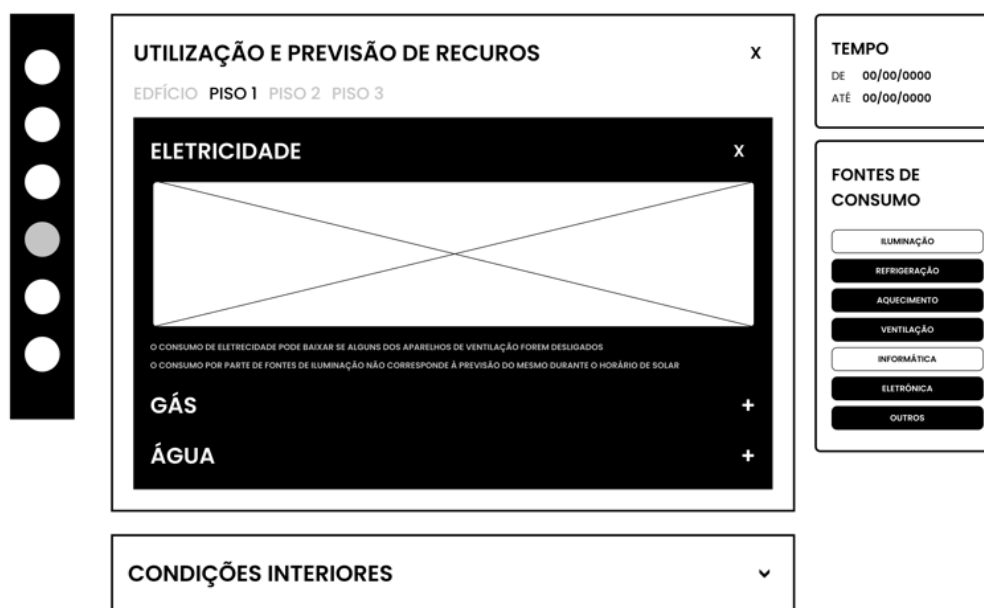


Figura 22 – Sketch da página de performance energética

Já o quarto ecrã, presente nas figuras 21 e 22, é referente à representação da performance energética, que pode ser dividido em dois: de um lado a representação através de um gráfico e do outro a secção para filtrar as informações dispostas nos gráficos. No *sketch* é apresentado já o recurso de eletricidade selecionado, assim como a filtragem por tempo e por fonte de consumo.

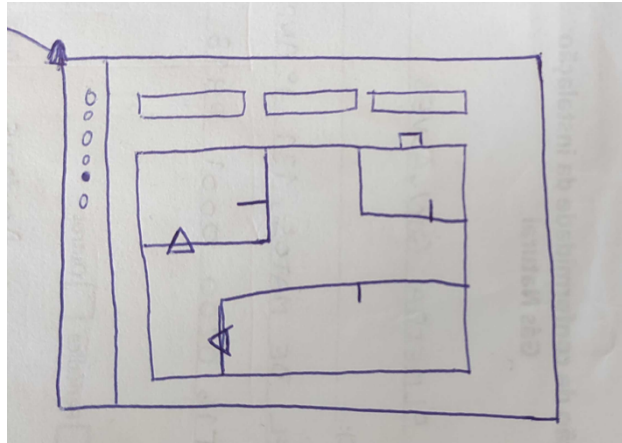


Figura 23 – Protótipo em papel do menu de controlo

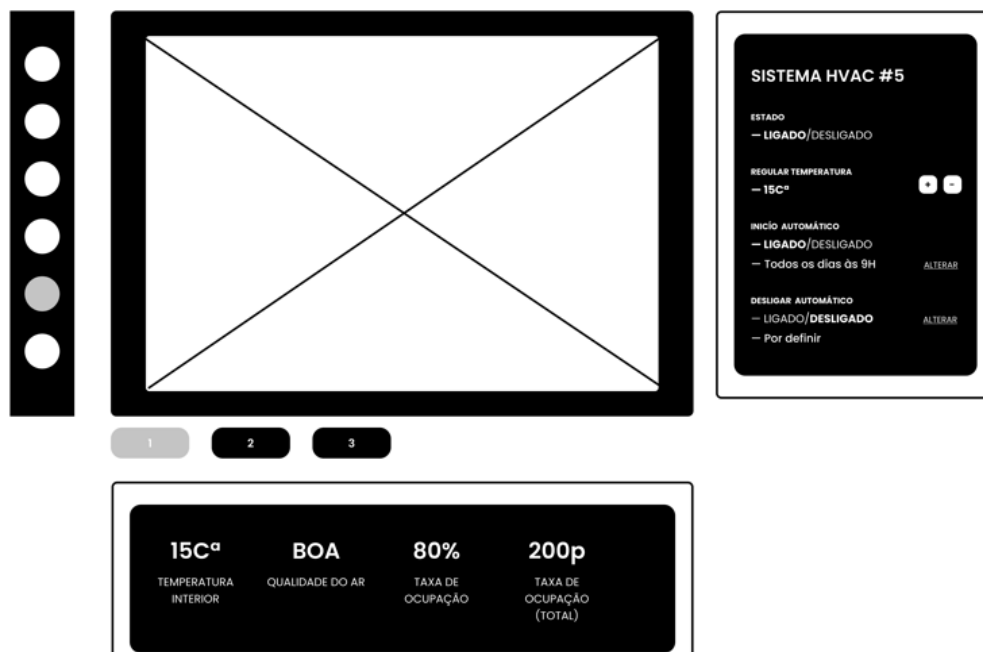


Figura 24 – Sketch da página de menu de controlo, com componente seleccionado.

O último ecrã pensado nesta fase está representado nas figuras 23 e 24 é o ecrã de controlo, onde o utilizador visualiza os detalhes de um componente específico e pode exercer um controlo sobre o mesmo. Após ser seleccionado um componente, por exemplo como visualizado na figura o “sistema hvac #5”, é disposto as informações específicas sobre o mesmo, assim como as condições interiores presentes nesse andar, de modo a auxiliar na tomada de decisão sobre o componente.



Figura 25 – Sketch menu alertas.

Por último, foi desenhado um sketch de um ecrã que não foi pensado nem idealizado no protótipo de papel, mas que vem ao encontro dos requisitos e funcionalidades idealizadas para a plataforma. Na figura 25 é apresentado o sketch da representação dos comportamentos e falhas dos componentes e sistemas do edifício. Para além da apresentação de todos os alertas recentes no edifício, estes podem também ser filtrados por tempo, espaço e tipo de sistema.

Durante este processo, mesmo admitindo a sua baixa fidelidade, todas as ideias e funcionalidades pensadas foram postas em prática e avaliadas sobre a sua participação na plataforma, sendo inclusive identificadas algumas diferenças entre os protótipos em papel e os primeiros sketches, que servem de base para o desenvolvimento dos *wireframes*, que serão apresentados de seguida.

5.3.2 Wireframes

Um *wireframe* é um diagrama básico que representa os conteúdos e funcionalidades principais de uma ou várias páginas de uma interface *web*. Estes podem assumir diferentes níveis na fidelidade, sendo que as primeiras versões consistem em esboços com contornos pretos e brancos e caixas que representam diferentes tipos de elementos como texto, imagens, gráficos, entre outros que irão ser aplicados na interface (Hamm 2014).

Após os protótipos em papel e *sketches*, onde a plataforma foi estruturada em termos de navegação e das diferentes funcionalidades que cada ecrã possui, foram desenhados os *wireframes* com base nesse trabalho e nos requisitos e funcionalidades apresentados no

capítulo anterior. Nesta fase já houve algum contacto com as boas práticas do design de interação analisadas no início do capítulo, tendo sempre em conta o nível de fidelidade que os *wireframes* assumem. Este processo assumiu diferentes fases que resultaram em três diferentes versões dos *wireframes*, sendo que o nível de fidelidade, apesar de continuar a ser baixo, foi aumentando entre as três versões. Nesta subsecção será apresentada a sua última versão, contudo as outras versões encontram-se no anexo 1 e 2.

Tendo este conjunto de ecrãs, representados pelas figuras 26,27 e 28, como exemplo para demonstrar e apresentar o processo de desenvolvimento de *wireframes*, percebemos que as alterações foram aparecendo de forma natural em cada versão, em diferentes níveis: conteúdos, funcionalidades, representação de dados e também do ponto de vista do design de interface e da sua usabilidade.

Nas figuras seguintes verificamos um exemplo das três versões de *wireframes* de um ecrã.

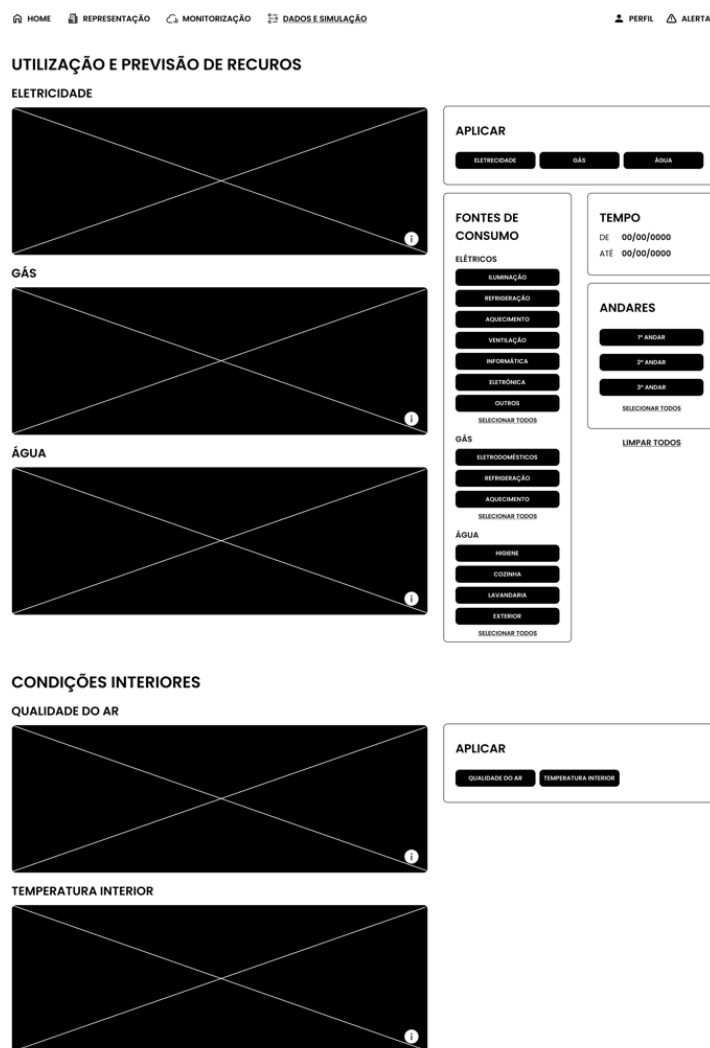


Figura 26 – Wireframe 1.0 - Dados e simulação.

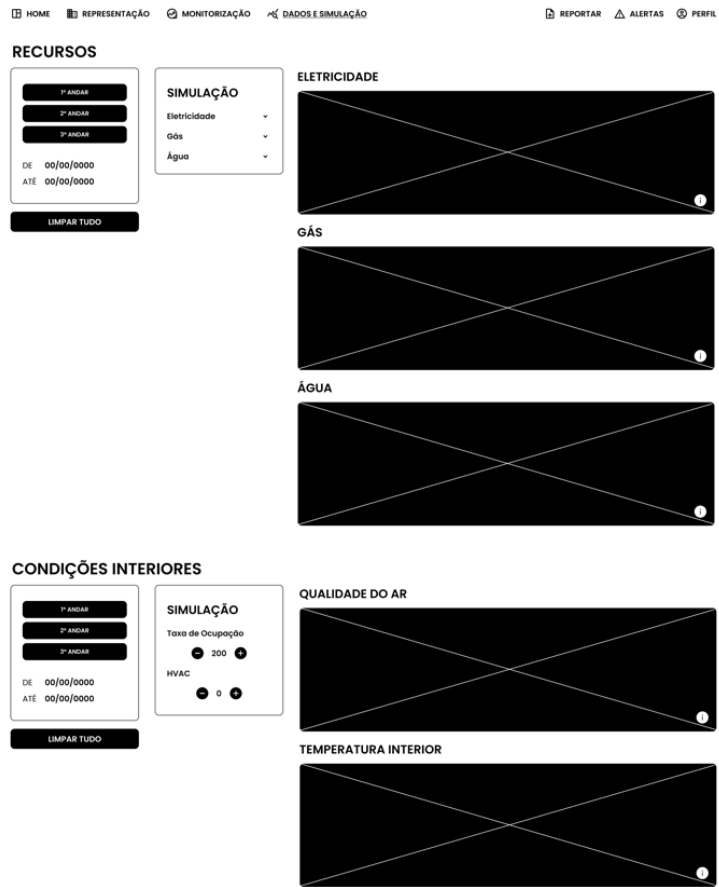


Figura 27 – Wireframe 2.0 - Dados e simulação.

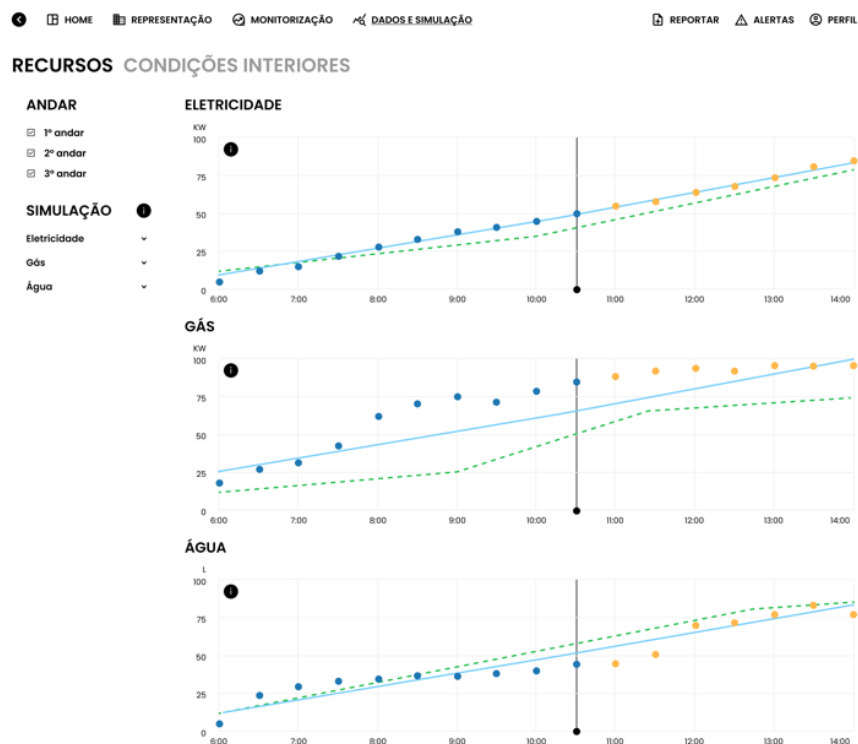


Figura 28 – Wireframe 3.0 - Dados e simulação.

Seguindo o exemplo apresentado pelas figuras 26, 27 e 28, podemos verificar algumas alterações como os filtros que na primeira versão eram compostos por um conjunto de conteúdos, e na última versão já não existiam, assim como a alteração no seu posicionamento no ecrã. Estas mudanças foram constantes em todos os ecrãs durante o processo, e deve-se fundamentalmente aos diferentes ajustes que os requisitos e funcionalidades sofreram como já foi explicado anteriormente.

De seguida serão apresentadas as últimas versões do processo de desenvolvimentos dos *wireframes*, detalhando a forma como os ecrãs respondem aos requisitos e funcionalidades apresentados no capítulo 4. Antes disso, será importante referir que, considerando o conceito apresentado por Hamm (2014), as últimas versões dos *wireframes* apresentam já um nível elevado de fidelidade. Contudo não foram aplicados nenhum estudo de tipografia, cor ou grelha, pois estes serão abordados mais à frente no capítulo relacionados com o desenvolvimento do protótipo de alta-fidelidade.

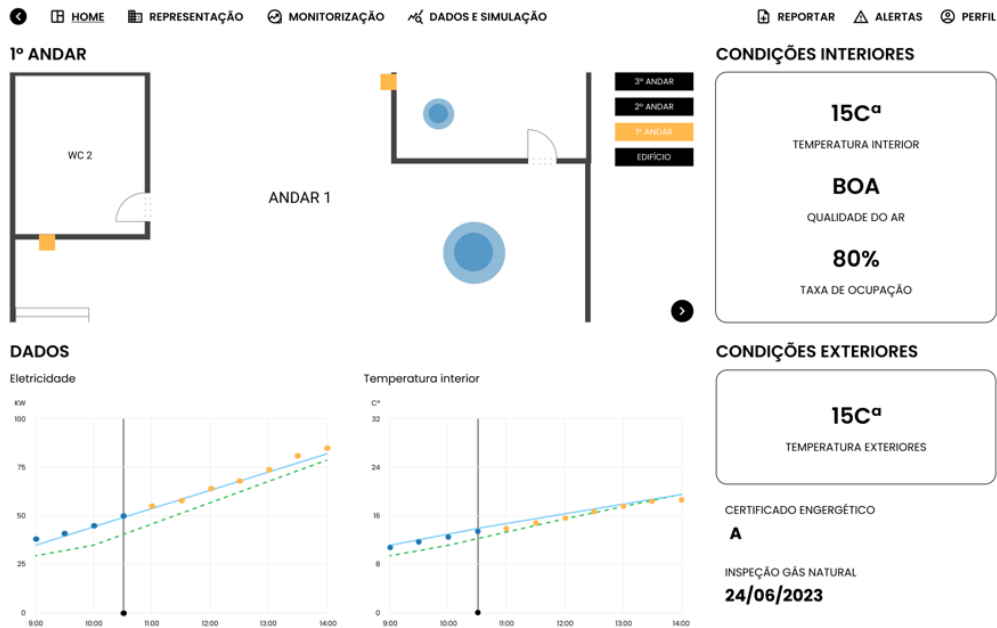


Figura 29 – Wireframe 3.0 – Home page

O primeiro ecrã, representado pela figura 29, é referente à *home page* onde é pretendido que o utilizador tenha uma visão global da informação que o *digital twin* tem disponível, sendo esta referente à zona seleccionada entre os diferentes andares ou a globalidade do edifício. O ecrã é composto pela sua representação geométrica, dados sobre performance energética e condições interiores e a monitorização das condições do edifício.

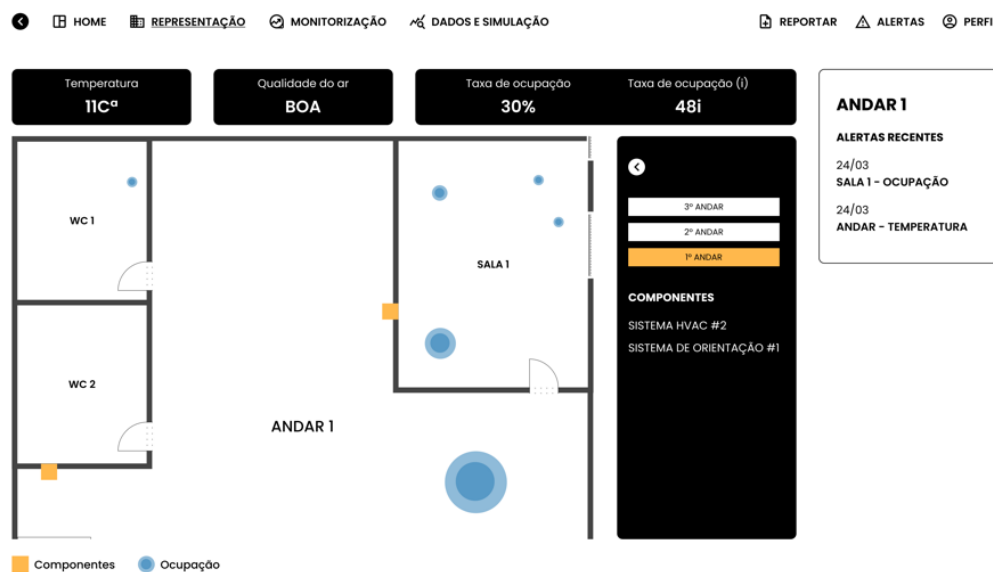


Figura 30 – Wireframe 3.0 –Representação

A figura 30, mostra um segundo ecrã relacionado especificamente com o requisito de representação geométrica do edifício e dos seus componentes, onde está disposta a planta 2D do andar selecionado, com a representação das zonas de ocupação assim como dos diferentes componentes que a compõem. Os componentes podem ser selecionados e a partir daí ver os detalhes ou efetuar uma ação no mesmo, esta funcionalidade foi apresentada anteriormente num ecrã particular, contudo como forma de não repetir informação e de simplificar a interface com menos um ecrã. De modo a auxiliar a tomada de decisão foi também adicionada informações sobre monitorização das condições interiores, assim como um registo curto dos alertas mais recentes do respetivo andar. Neste ecrã foram ainda incorporadas as funcionalidades do ecrã de controlo apresentado anteriormente.



Figura 31 – Wireframe 3.0 – Monitorização

A figura 31, referente à monitorização das condições do edifício, é constituída por dados em tempo real tanto das condições interiores como das condições exteriores. Neste ecrã é visível já uma diferença clara entre aquilo que foram os protótipos em papel e os primeiros *sketches*, para esta versão final de *wireframes*, tendo o propósito de conseguir suportar mais informações e as transmitir de uma forma mais clara e direta.

RECURSOS CONDIÇÕES INTERIORES

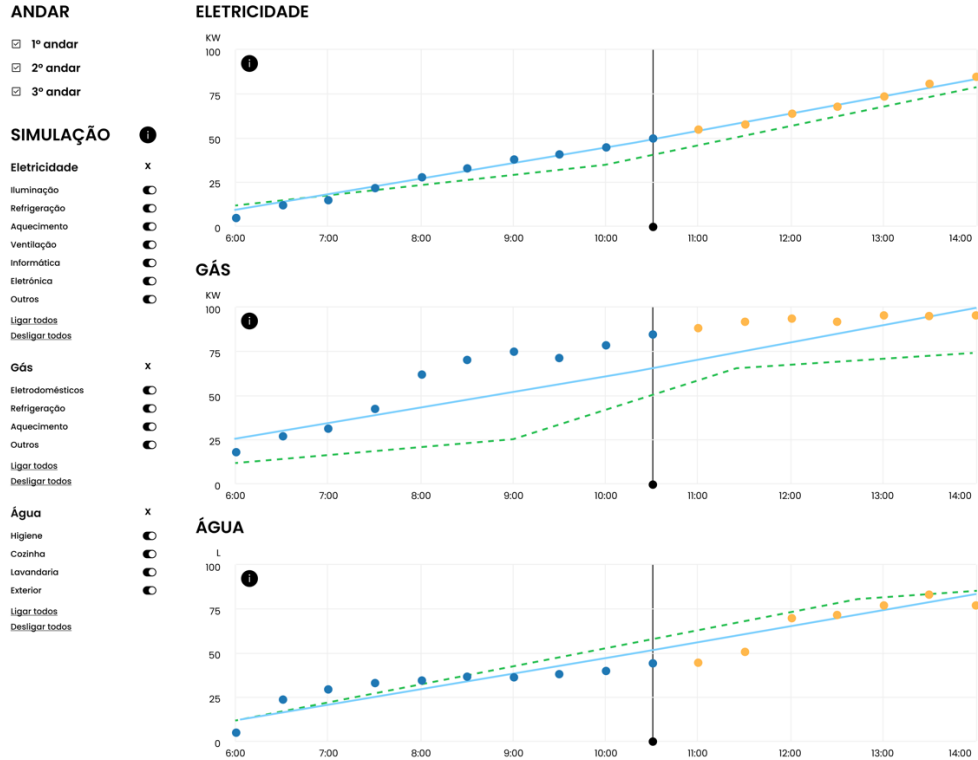


Figura 32 – Wireframe 3.0 – Dados e simulação

A figura 32 mostra o ecrã de dados e simulação que vai ao encontro de dois requisitos: (1) o conhecimento do estado atual das condições interiores do edifício; e (2) a representação da performance energética. Os parâmetros da performance energética e das condições interiores são representados cada um por um gráfico *scatter* que mostra os diferentes consumos ou medidas por hora, e o *digital twin* faz uma previsão para as horas seguintes. Como é visível na figura, os recursos que são explorados são a eletricidade, gás e água. As condições interiores são a qualidade do ar, nível de CO₂, temperatura interior e taxa de ocupação. Adicionalmente, é disposto um menu onde o utilizador pode simular os diferentes consumos ou medidas consoante a atuação de certos parâmetros.

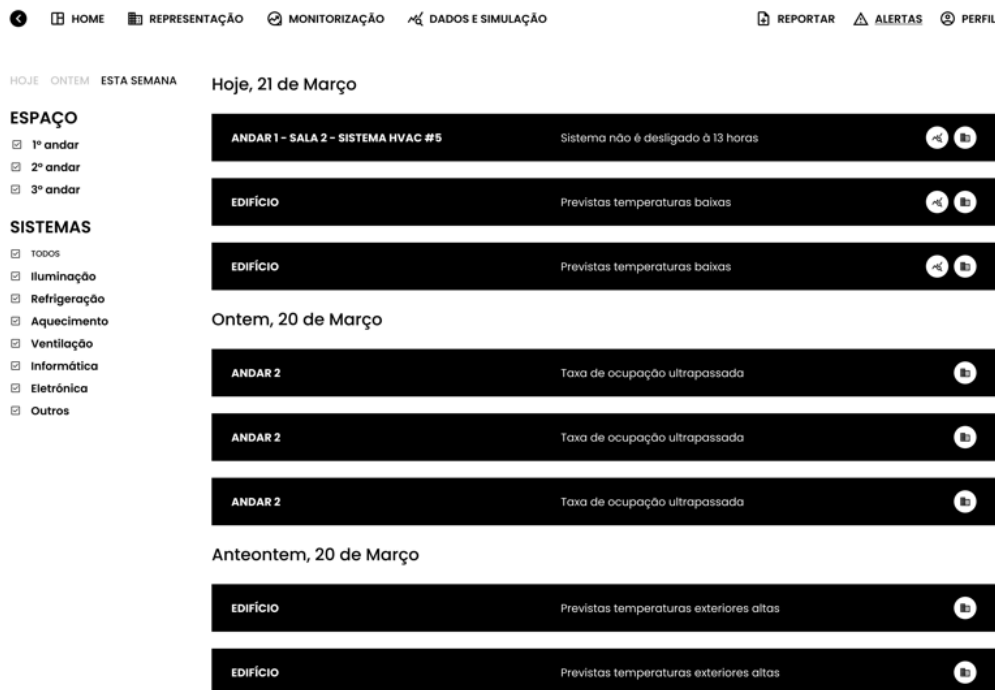


Figura 33 – Wireframe 3.0 – Alertas

Por último, a figura 33 mostra o ecrã de Alertas, que tem o propósito de disponibilizar e guardar o histórico de falhas, derivadas de erros que o *digital twin* identifique ou que sejam reportadas. Adicionalmente, é possível filtrar este conjunto de informação por tempo, espaço e tipo de sistema.

Concluindo, o desenvolvimento de wireframes foi um processo onde os materiais foram sujeitos a diversas alterações, pois permitiu uma melhor perceção do tipo de funcionalidades, informações e outros detalhes do *digital twin*, levando assim a algumas alterações não só nos ecrãs, mas também em funcionalidades específicas da plataforma.

5.4 Protótipo de alta-fidelidade

Nesta secção é descrito o processo de desenvolvimento do protótipo de alta-fidelidade, que iniciou após a conclusão da última versão de *wireframes* e ocorreu em várias etapas. A primeira, referente à subsecção 5.4.1, foi a análise do *material design*, um sistema de design de interface criado pela *Google*. Seguidamente foi definido o universo gráfico para o projeto com base nas recomendações e perspetiva do *material design*, descrito na subsecção 5.4.2. Por último, é apresentado o desenvolvimento do protótipo de alta-fidelidade e os resultados finais, na secção 5.4.3.

5.4.1 Material Design

O *material design* foi lançado em 2014 pela *Google*, disponibilizando toda a linguagem, sistemas e documentação dos seus princípios de design. Criado para ajudar as equipas a construir experiências digitais de alta qualidade em todas as plataformas, e dessa forma reagir às inconsistências dos princípios de *web design*, tornando-os mais simples para que as experiências digitais sejam mais responsivas e intuitivas (Hooks 2021). À data da realização desta dissertação já foi lançada o *material design 3*, a terceira versão deste sistema, contudo, esta ainda se aplica somente a aplicações *android*, pelo que será analisado e aplicado no trabalho o *material design 2*.

As diretrizes deste sistema referenciam todos os aspetos envolventes no *web design*: ambiente, *layout*, navegação, cor, tipografia, som, ícones, formas, movimento, interação, comunicação e *machine learning*. Em relação ao ambiente, a profundidade através do uso de luz, que por sua vez produz sombra e funciona através da colocação dos componentes em diferentes posições ao longo do eixo z, resultando na sua elevação.

No *layout*, as estruturas da interface assentam sobre grelhas responsivas onde a comprimento da coluna é definido por uma percentagem do tamanho do ecrã, de modo adaptar-se a qualquer ecrã, já o espaçamento entre elas e as margens para o limite do ecrã são um valor fixo que vai variando entre os diferentes tamanhos de ecrãs. Ao método de espaçamento aplica-se um sistema de medição de 8dp, sendo que os ícones e a tipografia podem utilizar 4dp, uma vez que podem ter menores dimensões.

No que diz respeito à navegação, o sistema sugere diferentes tipos: navegação lateral, quando esta é entre páginas do mesmo nível hierárquico; a navegação progressiva, que consiste na navegação gradual ao longo das páginas; e a navegação invertida, que permite a navegação para trás, quer cronologicamente, quer hierarquicamente.

Para a paleta de cores, é sugerido a escolha de uma cor primária e uma secundária que reflitam a marca ou produto a representar, variantes das mesmas e outras cores adicionais como cores de fundos, de erro, tipografia ou iconografia.

Já a tipografia, apresenta um sistema tipográfico composto por 13 estilos de diferentes tamanhos, pesos e espaçamentos, cada um deles com um significado e propósitos específicos, tais como títulos, subtítulos, corpo de texto ou legendas, de modo a criar uma experiência tipográfica consistente e uma hierarquia forte dos conteúdos.

O som é mais um elemento informativo de forma a melhorar a experiência do utilizador, podendo assumir um carácter informativo, honesto e de confirmação.

Para a iconografia, sendo esta uma das opções de representação de componentes, é importante que ao longo de toda a interface os ícones se mantenham coerentes e que tenham a capacidade de se distinguirem uns dos outros facilmente.

No que diz respeito à forma, os componentes podem assumir diferentes tipos de forma de modo a direcionar atenções, a uma melhor identificação ou um comunicar um estado, assim estes podem assumir cantos curvos ou superfícies retas.

O movimento e a interação são capazes de transformar uma interface simples e básica, numa divertida de utilizar, tornando-a expressiva e fácil de utilizar.

A comunicação nomeadamente de confirmação e de reconhecimentos de uma ação podem reduzir a incerteza sobre uma ação que o utilizador fez ou está para fazer.

O *machine learning* é uma diretriz recentemente explorada pelo *material design*, ainda sem grande exploração, mas dá a capacidade de fazer previsões e executar tarefas sem instruções específicas.

Em suma, a aplicação das diretrizes do *material design* permite a criação de interfaces harmoniosas e coerentes, tendo sempre em consideração as necessidades específicas de cada produto, que ao vai encontro do carácter flexível que apresenta. Por isto mesmo, pelos resultados considerados vantajosos e pelo enquadramento com a interface idealizada até à esta fase, optou-se por seguir este sistema no desenho da interface. O primeiro passo para a aplicação do *material design* é a definição do universo gráfico seguindo a sua abordagem que será explorada na próxima subsecção.

5.4.2 Universo Gráfico

Nesta subsecção será abordado o processo de definição do universo gráfico da interface, nomeadamente às três componentes fundamentais que foram analisadas no capítulo 5.1 *Web Design*, tipografia, grelha e cor, assim como a iconografia. Esta definição teve como base a estrutura e documentação do *material design*, com o objetivo de tornar a interface limpa, intuitiva e coesa. Através destas definições foram construídos todos os componentes gráficos da plataforma que serão dispostos no anexo 3.

5.4.2.1 Tipografia

Tendo em conta a ideia que Oliver Reichenstein apresentou, em que 95% da informação na *web* é linguagem escrita, apresentada anteriormente na secção 5.1 e o facto de um dos principais objetivos desta interface é a transmissão de informação de forma clara e expressiva, é admitido um papel fulcral à tipografia no desenho da interface. Seguindo a ideia apresentada por *Ellen Lupton* na primeira secção do capítulo, onde defende que a boa tipografia passa despercebida, confundindo-se com o fundo ecrã, sendo que na *web* é importante reconhecer e responder às várias circunstâncias em que se pode encontrar, a escolha do sistema tipográfico foi feita a pensar na experiência do utilizador e na capacidade da mesma transmitir a informação que representa.

Numa primeira instância, foram selecionadas várias fontes com dois propósitos diferentes: umas para títulos e subtítulos e outras para corpo de texto e legendas, tal como sugere o sistema tipográfico do *material design*. Após isso foram feitos testes, iniciando-se pela avaliação segundo o sistema apresentado por *Ellen Lupton* que classifica uma tipografia: legibilidade, flexibilidade, elegância, capacidade de leitura, espetacularidade e otimização.

Depois de concluída a fase de teste foi selecionada a fonte *Space Grotesk* para títulos e subtítulos (Figura 34) e a *Open Sans* para corpo de texto (Figura 35 e 36).

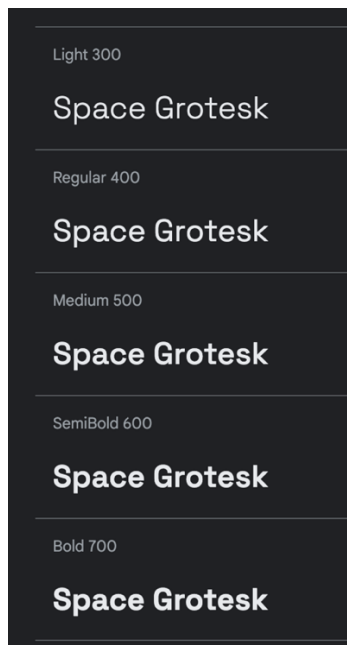


Figura 34 – *Space Grotesk*

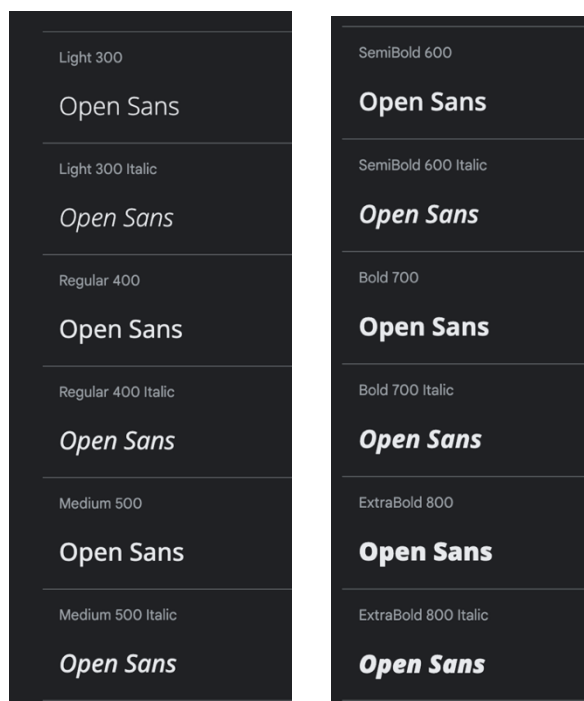


Figura 35 e 36 – *Open Sans*

Ambas as fontes são não serifadas. A primeira surge como uma variante da *Space Mono family* em 2006, retendo os mesmos detalhes de mono espaçamento da sua família, mas foi otimizada para uma melhor legibilidade. A segunda é lançada pela *Google* em 2011 e é baseada da fonte *Droid Sans*, uma tipografia destinada a ser usada em ecrãs mais pequenos, como dispositivos móveis, já a *Open Sans* pertencendo ao género humanista das fontes não serifadas, é altamente legível em ecrãs de qualquer tamanho.

Por último, seguindo o sistema tipográfico do *material design*, foi desenvolvido o mesmo para o desenho da interface do *digital twin*, com as fontes adaptadas aos estilos com diferentes tamanhos, pesos e espaçamentos, cada um apresenta um propósito diferente. O *material design* apresenta 13 estilos, 6 para títulos, 2 para subtítulos, 2 para corpo de texto e 3 para outros propósitos como botões e legendas, sendo que houve a necessidade de criar mais estilo para títulos de escala mais reduzida (*heading 7*), para o sistema tipográfico da interface, como estão representados na figura 37 e 38.

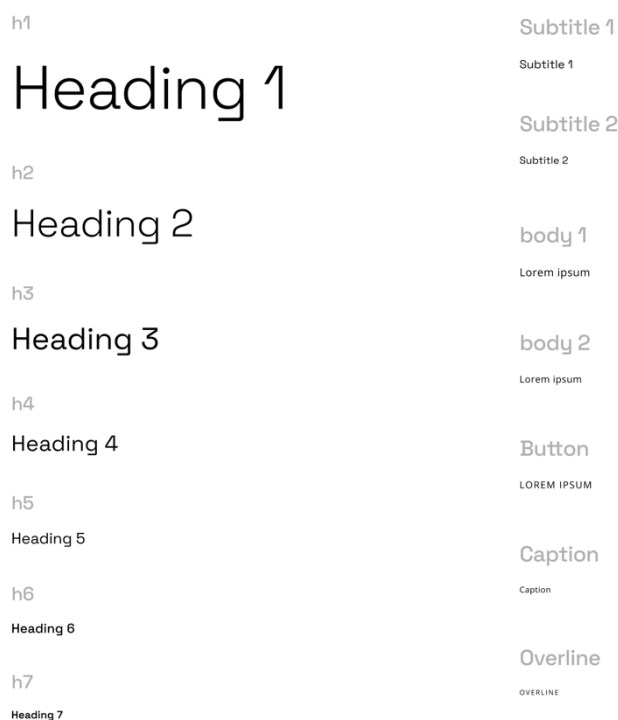


Figura 37 e 38 – Sistema tipográfico

5.4.2.2 Grelha

Recordando e concordando com a importância da grelha para J. S. Maria, apresentada anteriormente, ao afirmar que a grelha ajuda a organizar todo conteúdo da página e reforça a hierarquia tipográfica, com o objetivo de ajudar o utilizador a analisar todo o conteúdo e a expor um sistema informativo sobre ele (Maria 2014), tornasse fundamental a adoção de uma estrutura que permita isso mesmo durante o processo de desenvolvimento de

prototipagem. Desse modo foi criada a primeira parte da grelha referente a esse componente da página figura 39, que segundo a definição dos tipos de grelha por J.S. Maria, trata-se de uma grelha hierárquica, onde será colocada a barra de navegação, pois este componente assume uma dimensão horizontal, e este tipo de grelha permite o mesmo espaçamento para a disposição do restante conteúdo em todos os ecrãs.

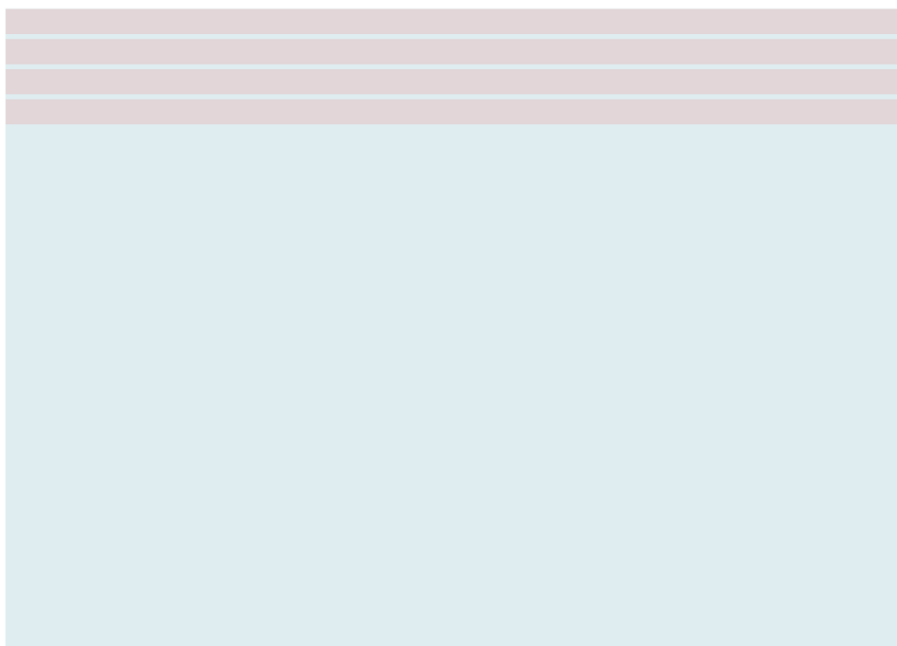


Figura 39 – Grelha hierárquica

Para o restante conteúdo foi definida uma grelha responsiva inspirada na diretriz de *layout do material design*, uma grelha de colunas segundo a terminologia apresentada por J. S. Maria. Esta é composta por 12 colunas em que cada coluna tem o comprimento igual a 16% do comprimento do ecrã, um espaçamento de 24dp e uma margem lateral de 60dp, valores estes que seguem a regra de múltiplos de 8 inspirada no *Material Design*.

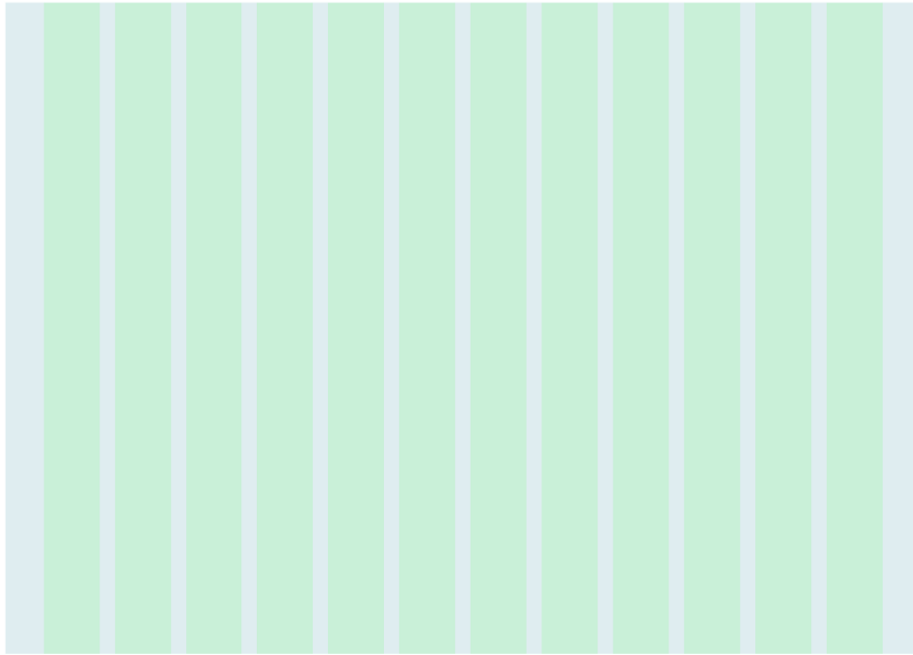


Figura 40 – Grelha de colunas

A grelha de 12 colunas apresenta uma grande flexibilidade no que diz respeito ao posicionamento dos diferentes componentes, pois estes podem assumir uma posição entre diferente número de colunas, ainda assim é fundamental também que a interface respire através do espaçamento entre colunas, que é obrigatório respeitar entre o posicionamento de componentes.

5.4.2.3 Cor

De acordo com a análise da componente cor efetuada no início do capítulo, onde representa carácter, disposição e capacidade, alinhando-a com os princípios definidos pelo *material design*, a paleta de cores foi selecionada de modo equilibrado, com o propósito de obter a melhor organização da informação e criar uma experiência fluida e clara na visualização da interface. Para isso, é importante garantir que as cores selecionadas potenciem a legibilidade e reconhecimento dos diversos elementos gráficos, nunca retirando o destaque de informação realmente importante.






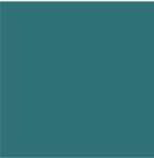




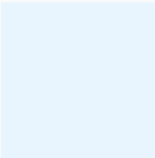
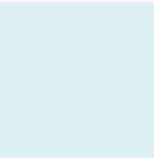
Cor Primária	Cor Secundário	Cor Terciária
 <p>Hex #051f39 RGB (5,31,57) CMYK (91, 46, 0, 78) HSL (210°, 83.9, 12.2)</p>	 <p>Hex #3a84c6 RGB (58,132,198) CMYK (71, 33, 0, 22) HSL (208.3°, 55.1, 50.2)</p>	 <p>Hex #006569 RGB (0,101, 105) CMYK (100,4,0,59) HSL (182.3,100%,20.6%)</p>
 <p>Hex #134168 RGB (19,65,104) CMYK (82, 38, 0, 59) HSL (207.5,69.1%,24.1%)</p>	 <p>Hex #5eb6f9 RGB (94,182,249) CMYK (62, 27, 0, 2) HSL (205.9°, 92.8, 67.3)</p>	 <p>Hex #317279 RGB (49,114,121) CMYK (60, 6, 0, 53) HSL (185.8,42.4%,33.3%)</p>
 <p>Hex #49607e RGB (73,96,126) CMYK (42, 24, 0, 51) HSL (214°, 26.6, 39)</p>	 <p>Hex #b8e0fc RGB (184, 224, 252) CMYK (27, 11, 0, 1) HSL (204.7°, 91.9, 85.5)</p>	 <p>Hex #79bdc5 RGB (121,189,197) CMYK (39, 4, 0, 23) HSL (186.3,39.6%,62.4%)</p>
 <p>Hex #b9c5d2 RGB (185, 197, 210) CMYK (12, 6, 0, 18) HSL (211.2°, 21.7, 77.5)</p>	 <p>Hex #e9f5fe RGB (233,245,254) CMYK (8, 4, 0, 0) HSL (205.7°, 91.3, 95.5)</p>	 <p>Hex #dfeef1 RGB (223, 238, 241) CMYK (7, 1, 0, 5) HSL (190°, 39.1, 91)</p>

Figura 41 – Temas de cor primário, secundário e terciário

A paleta de cores da interface é composta por uma cor primária, secundária e terciária. O *material design*, sugere apenas a utilização de uma cor primária e secundária, contudo durante o desenvolvimento do protótipo de alta-fidelidade foi necessária a inclusão de um terceiro tema de cor, de modo a alcançar um melhor contraste entre componentes. Na figura 40 estão representados os temas de cor primários, secundários e terciários, sendo que a cor primária e as suas variantes foi a mais utilizada para conteúdo principal dos diferentes ecrãs, enquanto a secundária e terciária para outros componentes que não tenham o mesmo destaque na interface.

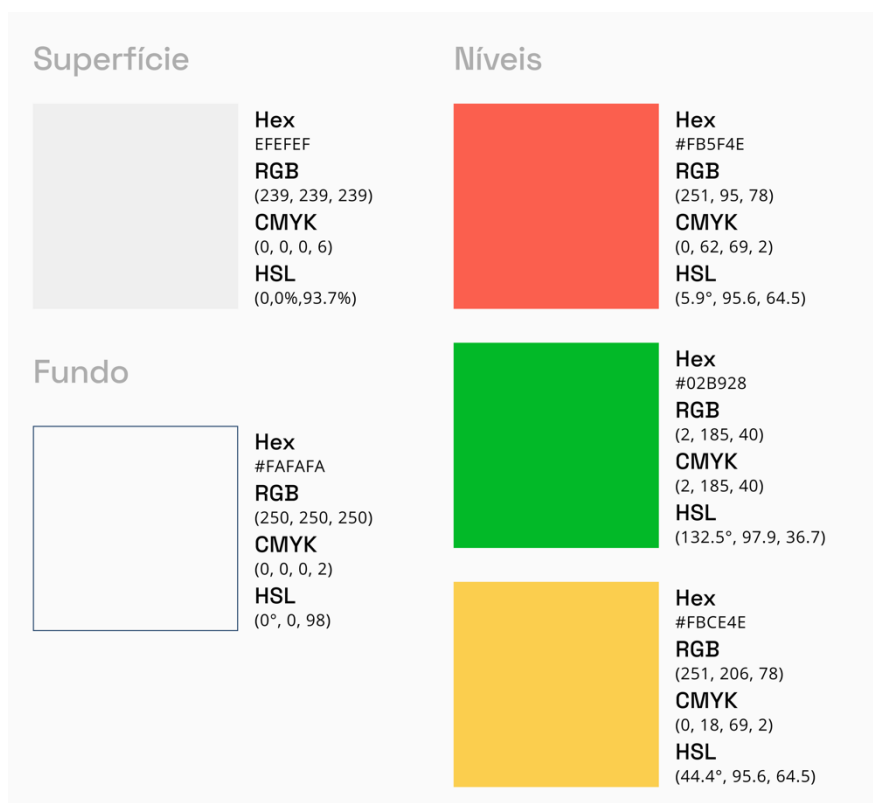


Figura 42 – Outros temas de cores

Seguindo as diretrizes do *material design* é também sugerido a seleção de um tema de cor destinada a superfícies e fundo. O primeiro destinado à superfície dos diferentes componentes como forma e o segundo como cor fundo para os diferentes tipos de ecrã. Para além destes e consoante a apresentação de algumas informações e funcionalidades da interface, foram seleccionadas algumas cores adicionais para representar o estado ou performance das mesmas.

5.4.2.1 Iconografia

Como referido anteriormente, a iconografia deve-se manter coerente ao longo de toda a interface com a capacidade de se distinguir facilmente os diferentes tipos de ícones. Os ícones podem ser divididos em dois tipos: os semânticos e os decorativos. Os primeiros transmitem algum significado ou ação na interface, como por exemplo a presença de ícones num botão, neste caso desencadeiam uma determinada ação quando clicados. Já os decorativos auxiliam os títulos que aparecem na interface, contribuindo para uma maior hierarquia e diferenciação dos elementos em causa.

No desenvolvimento da interface foram utilizados os ícones do *material design icons*, que posteriormente foram adaptados aos estilos da plataforma, respeitando sempre o conteúdo base do seu repositório. Este sistema disponibiliza gratuitamente cerca de dois mil ícones, em

cinco estilos diferentes e em vários tamanhos e densidades. Dentro destes foram seleccionados os necessários para os componentes, funcionalidades e representação da plataforma, dispostos em anexo 3.

5.4.3 Protótipo de alta-fidelidade

Depois de concluído o processo dos primeiros esboços, protótipo de baixa fidelidade, *wireframes* e definido o universo gráfico para a plataforma foi desenvolvido o protótipo de alta-fidelidade e os diferentes *mockups* para cada ecrã da interface.

Homepage

A homepage é a primeira página com que o utilizador tem contacto na plataforma. Nesta página é pretendido que o utilizador consiga ter uma visão global do estado geral do edifício ou dos seus andares em particular. Na figura 43 está representado esse primeiro momento, com a vista global do edifício, onde é possível observar as suas condições interiores como a temperatura interior, qualidade do ar e taxa de ocupação, assim como a temperatura exterior. Para além disso é possível observar dois gráficos: um relativo ao consumo de eletricidade e outro relativo à temperatura interior, onde é possível através da interação com o mesmo ver o histórico de valores registado nas últimas horas, assim como a previsão do consumo ou valor registado nas próximas horas.



Figura 43 – Homepage - Edifício

A figura 44 mostra o mesmo ecrã referente ao 3º andar, após a seleção do utilizador. A representação é feita através de uma planta 2D com representação das diferentes salas e das zonas de ocupação no momento.

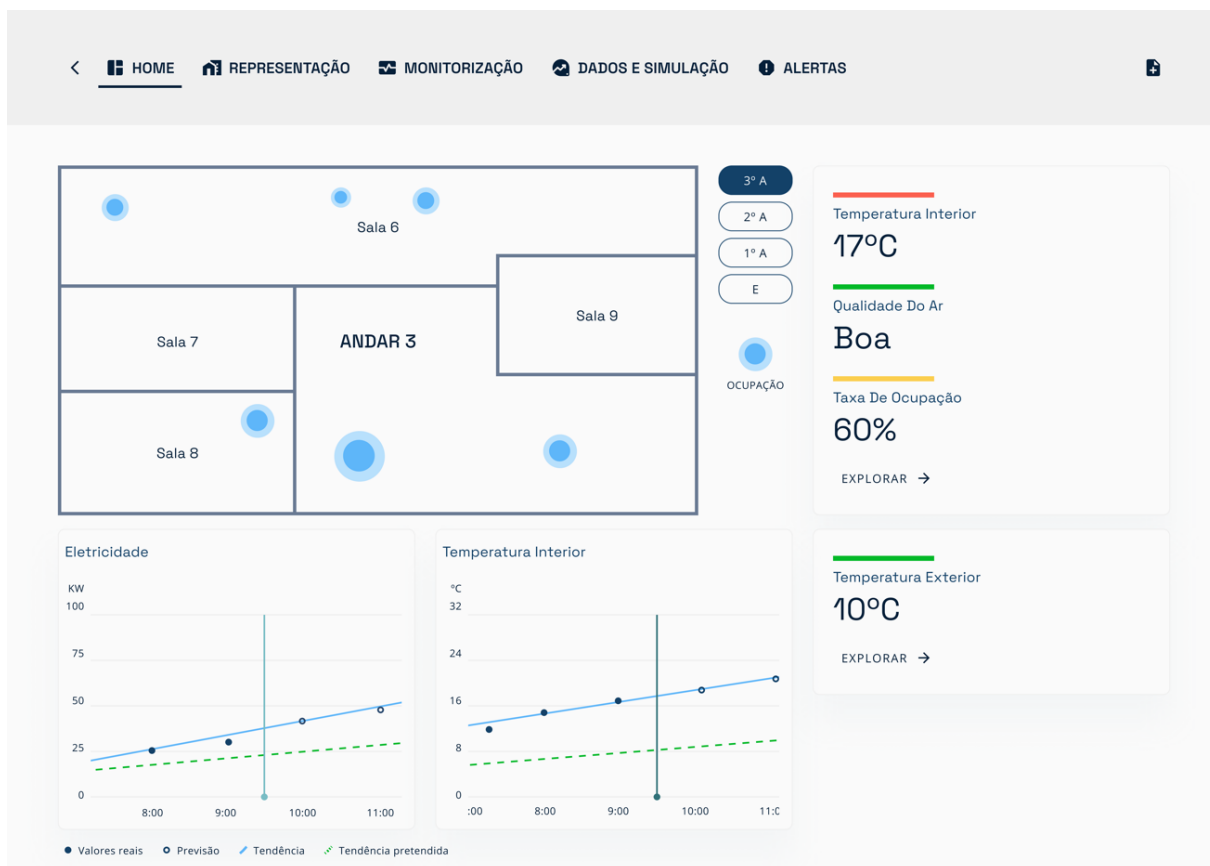


Figura 44 – Homepage – 3º andar

Representação

Este ecrã pretende dar ao utilizador uma representação mais detalhada de um andar específico do edifício, através da apresentação dos seus componentes, das suas condições interiores e dos alertas recentes sinalizados nesse andar. É também neste ecrã que o utilizador consegue atuar perante um componente específico.

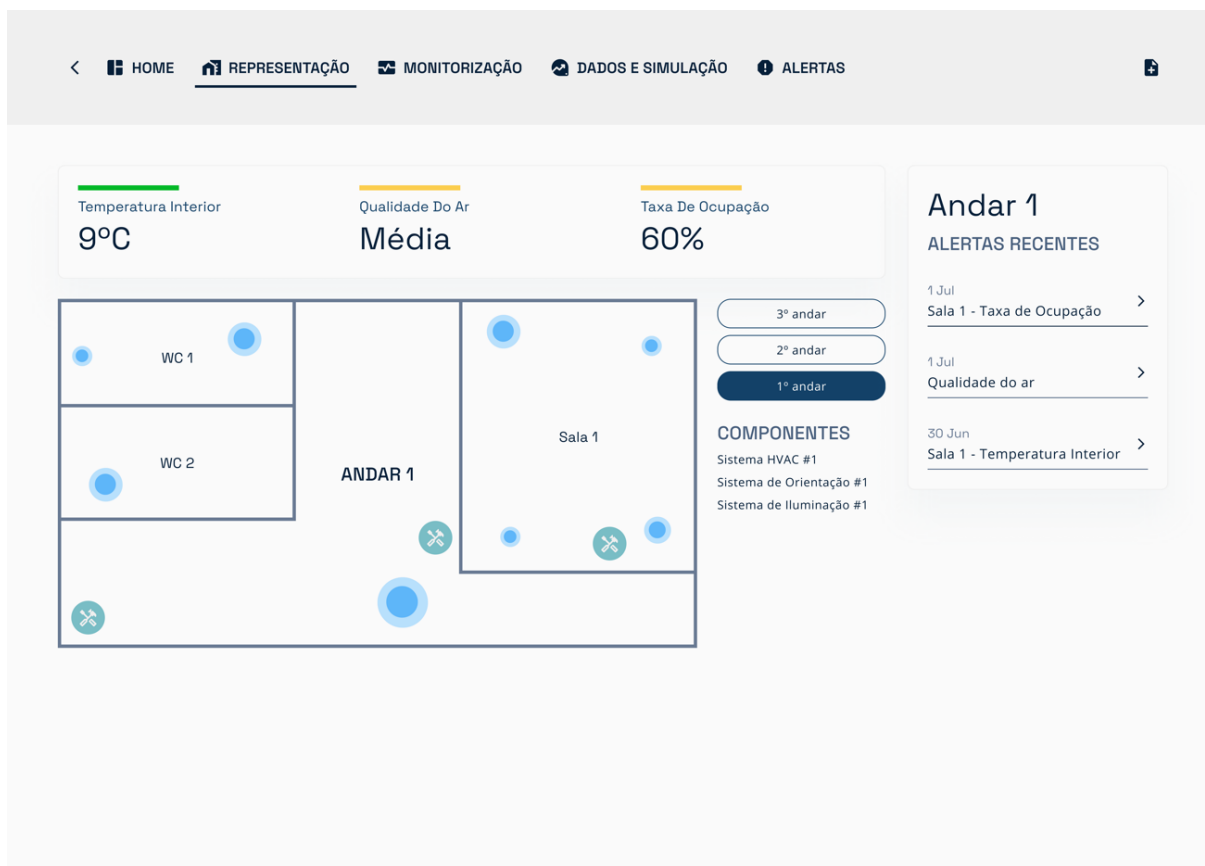


Figura 45 – Representação – 1º andar

Na figura 45 é visualizado o ecrã de representação do 1º andar, onde é apresentada mais uma vez a sua planta 2D. Estão representadas as zonas de ocupação e os componentes que fazem parte do andar, podendo interagir com eles através da planta, ou do menu à sua direita. Para tornar a representação do andar o mais completa possível, são apresentadas ainda as condições interiores e uma secção com os alertas recentes do mesmo andar. Ambas as informações estão presentes para ajudar o utilizador na tomada de decisão, caso pretenda interagir com um componente específico, como mostra a figura 46. Após a seleção de um componente, o menu de alertas desaparece e este transforma-se no menu de controlo para o componente selecionado. Analisando o exemplo da figura, foi selecionado um sistema *HVAC*, onde é possível ligar ou desligar o sistema, assim como controlar a sua temperatura e intensidade.

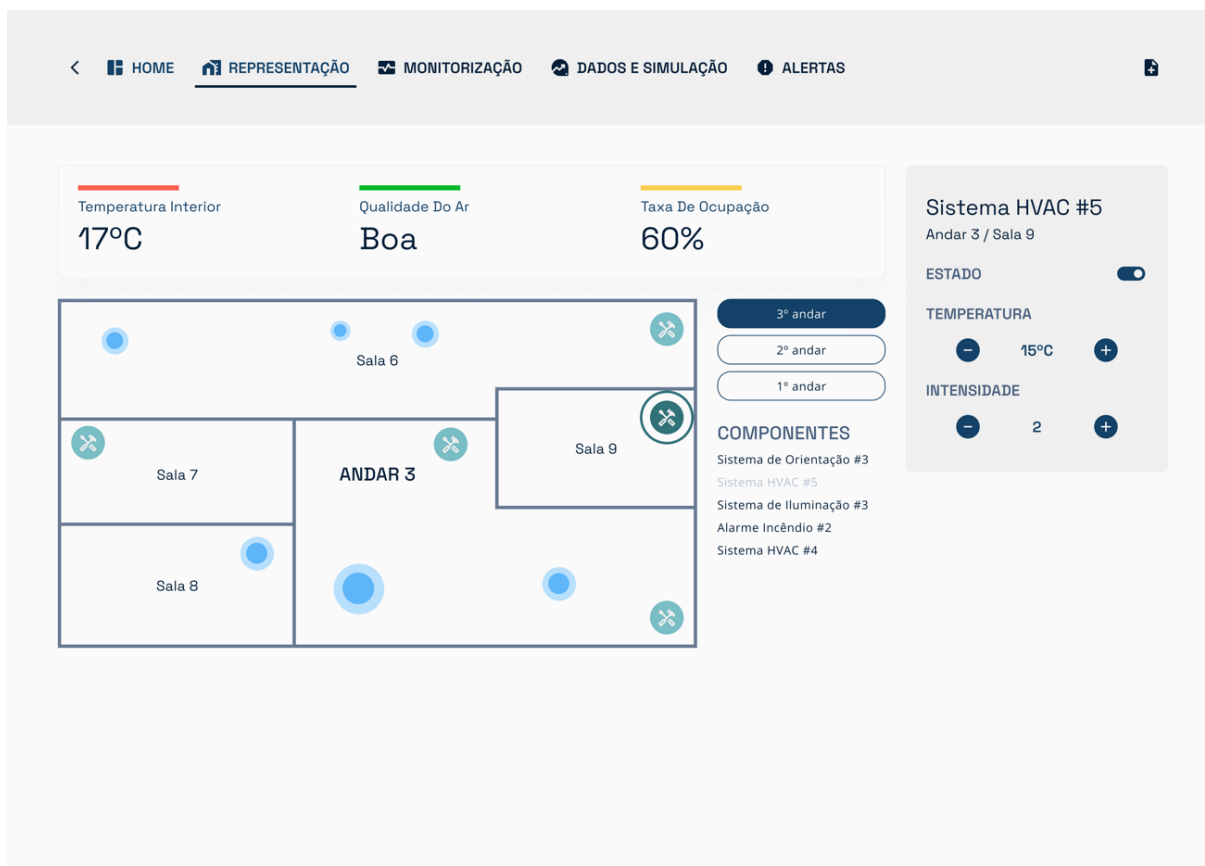


Figura 46 – Representação – Componente selecionado no 3º andar

Monitorização

O ecrã de monitorização, presente na figura 47, pretende apresentar as condições exteriores e interiores do edifício. As condições exteriores estão divididas em duas partes: a primeira com informações sobre a atualidade e a segunda com previsão de algumas das condições apresentadas anteriormente para os próximos dias. Já as condições interiores fazem referência à temperatura interior, qualidade do ar e taxa de ocupação, de cada andar específico e da globalidade do edifício.

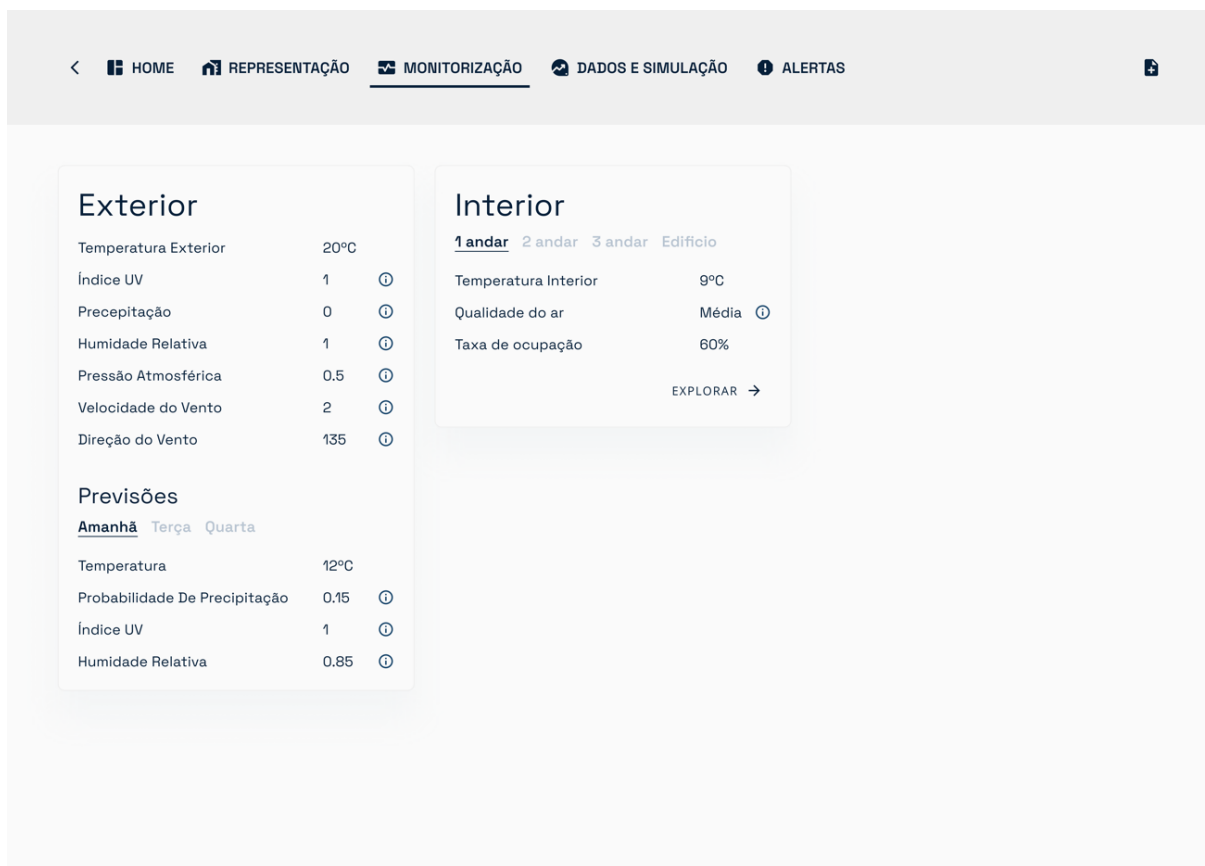


Figura 47 – Monitorização

A figura 47 representa o ecrã de monitorização. Nas condições exteriores é apresentado a previsão para o dia seguinte e nas condições interiores os dados referentes aos 1º andar do edifício. Na secção das condições interiores existe ainda uma opção de explorar as mesmas que guiará o utilizador para a página de dados e simulação. A escolha dos dados foi referenciada pelo *Smart Data Model* da *FIWARE Foundation*, como já foi explicado anteriormente. Este modelo apresentava também uma interpretação dos seus valores, que é apresentada assim que o utilizador passa o rato sobre o ícone, como representa a figura 48.

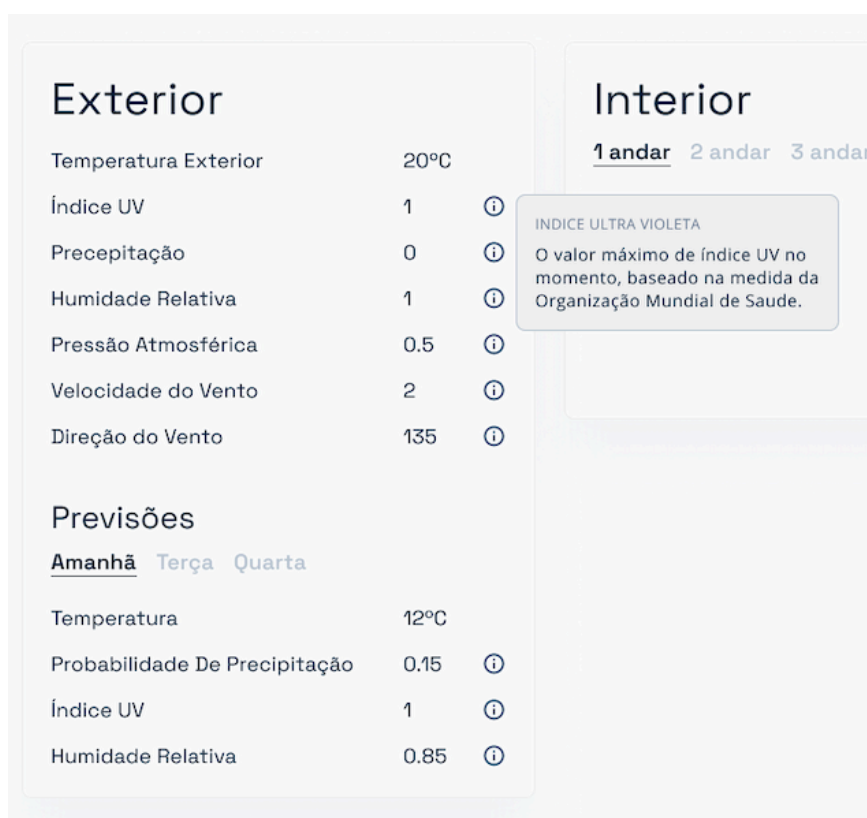


Figura 48 – Monitorização – Explicação índice ultra violeta

Dados e simulação

O ecrã “Dados e Simulação” vai permitir ao utilizador chegar à informação sobre a performance energética e as condições interiores. Relativamente à performance energética são representados os consumos de eletricidade, gás e água. Nas condições interiores são demonstrados os parâmetros da qualidade do ar, nível de CO₂, taxa de ocupação e temperatura interior. São representados através de um gráfico *scatter plot*, que apresenta no seu eixo x o tempo em horas, e no eixo y a unidade de medição ou consumo do parâmetro em causa. O gráfico indica os valores reais horários registados até ao momento, e faz uma previsão dos valores nas próximas horas, sendo traçada a linha tendência sobre esses dados. Para além disso, como forma de auxiliar na avaliação e compreensão dos valores reais e a sua previsão, o gráfico apresenta ainda os valores ideais para o edifício.



Figura 49 – Dados e simulação – Recursos

Do lado direito da figura 49 observamos a performance energética com os parâmetros visíveis de eletricidade e gás. Para aceder ao gráfico referente à água o utilizador teria que interagir com o *scroll*. Do lado esquerdo observamos outras funcionalidades do ecrã, nomeadamente, a filtragem por um andar específico ou pela globalidade do edifício e o menu de simulação, que apresenta três blocos e mostra algumas das diferentes fontes de consumo dos parâmetros representados. Assim o utilizador vai conseguir simular os diferentes consumos de performance energética através da interação com o conteúdo desses blocos, onde define o estado dessa fonte de consumo. Por exemplo, caso o utilizador desligue a iluminação dentro do bloco de eletricidade, o gráfico apresentaria uma nova linha que apresentava o consumo de eletricidade não incluindo as fontes de consumo de iluminação.

Nas condições interiores, o menu de simulação é distinto, mas o seu funcionamento é semelhante ao da performance energética. O utilizador pode efetuar a simulação através de duas propriedades. Primeira, a taxa de ocupação, que por predefinição representa o valor atual no espaço selecionado. Segunda, a ventilação (valor predefinido é zero), sendo possível aumentar/diminuir o nível de ventilação no espaço, pode assumir valores negativos quando o utilizador pretende simular um nível menor de ventilação, ou positivos quando pretende fazer o contrário.

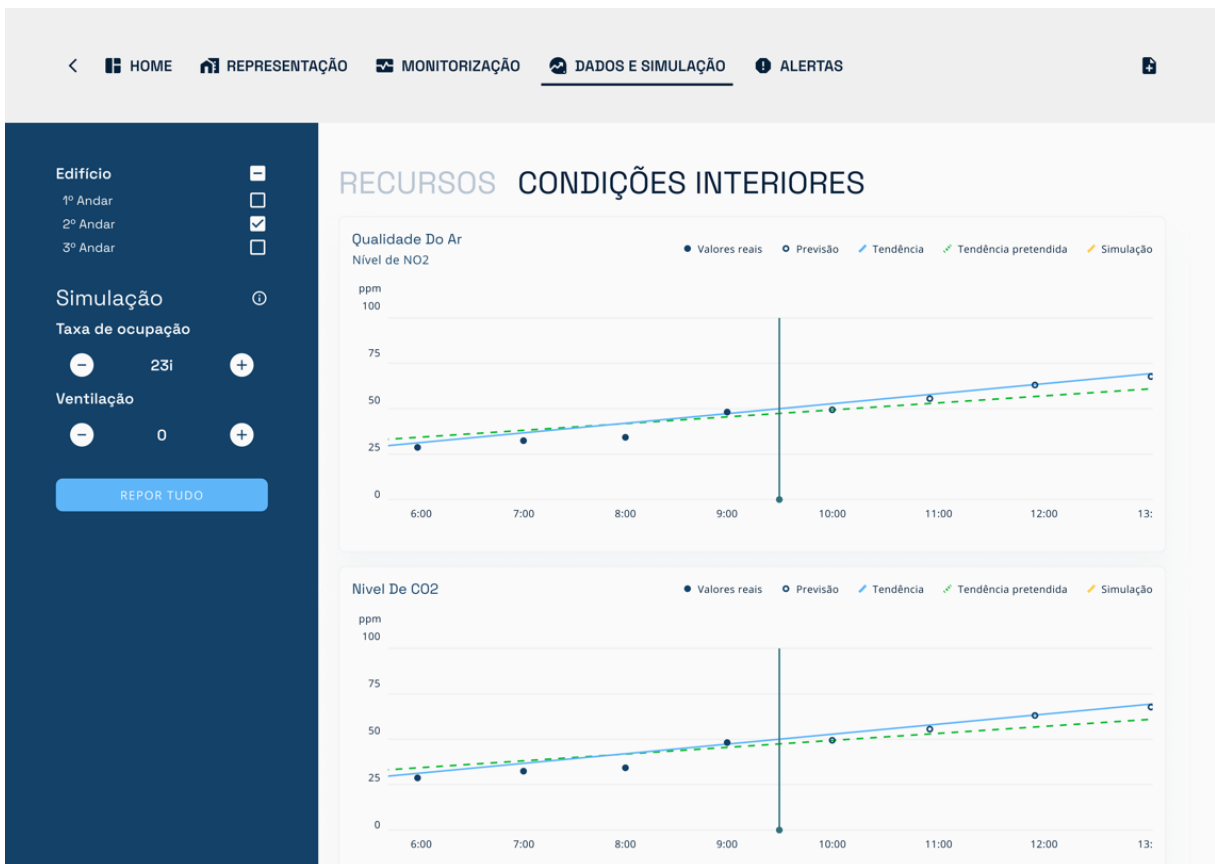


Figura 50 – Dados e simulação – Condições Interiores

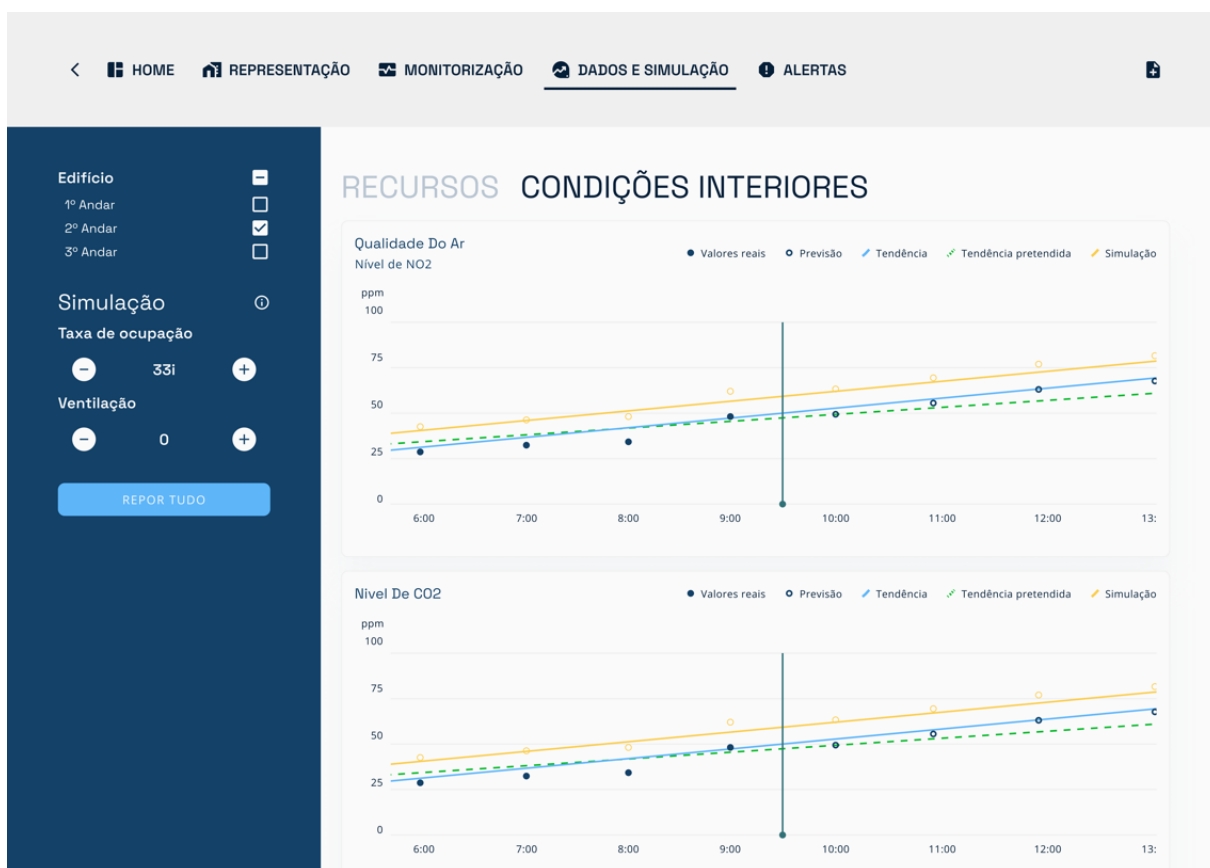


Figura 51 – Dados e simulação – Simulação de condições Interiores

A figura 51 representa as condições interiores visíveis do 2º andar do edifício para a qualidade do ar e o nível de CO2. A figura 51 mostra uma interação com o menu de simulação no mesmo ecrã, com um aumento de 10 pessoas na taxa de ocupação e mostrando os valores respetivos no gráfico.

Alertas

No ecrã de alertas (Figura 52) é feita uma síntese das falhas de comportamento no edifício. Cada alerta é composto pela data, descrição e localização que faz referência obrigatoriamente ao andar, podendo referir a sala e componente. Os alertas podem ser filtrados através de 3 formas: por espaço, obedecendo à mesma lógica que o ecrã anterior, globalidade do edifício, por um conjunto de andares ou por um andar específico; por tempo, pelo dia corrente, o dia anterior ou a pela semana a decorrer; e por último por tipo de sistema.

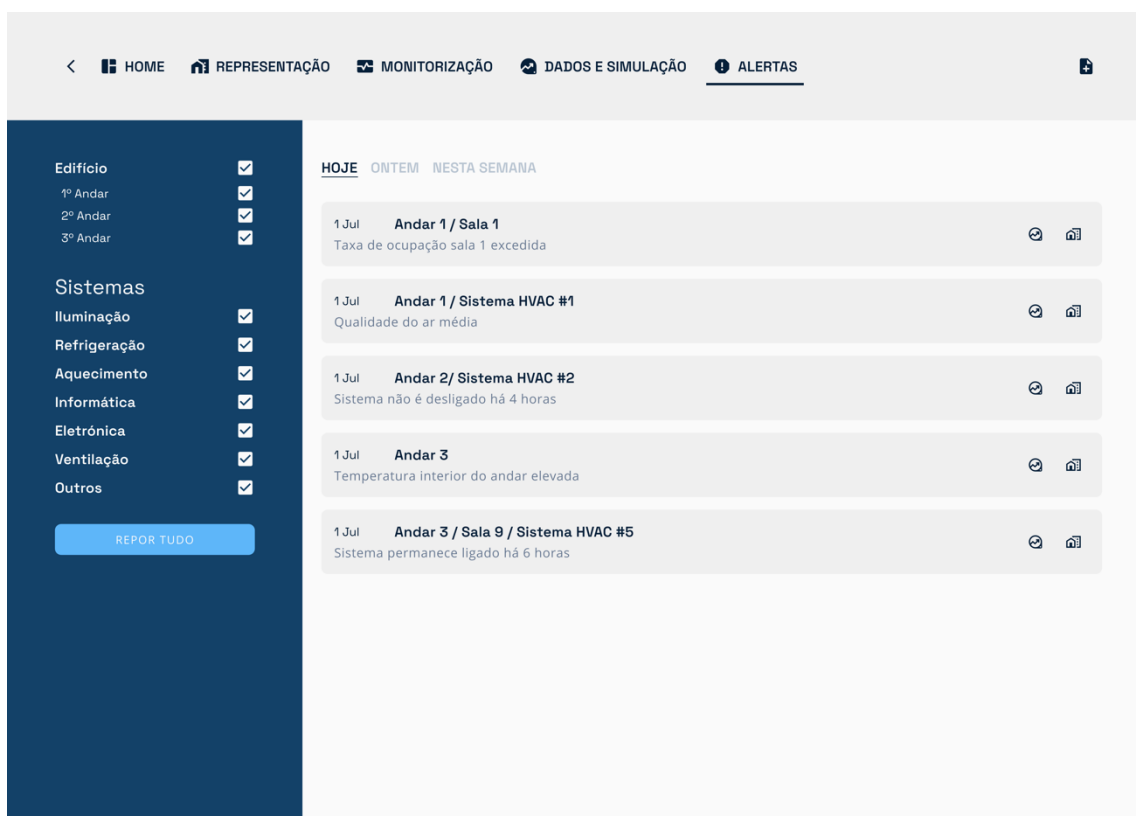


Figura 52 – Alertas

Reportar

Através da janela modal reportar, que se vai sobrepor à interface, é possível reportar um alerta do interior do edifício, que posteriormente será apresentado nos diferentes ecrãs onde surge esta informação, no ecrã de representação que faz referência aos alertas recentes do andar selecionado e no ecrã de alertas que faz uma apresentação global de todas as falhas e comportamentos do edifício.



Figura 53 – Reportar um problema

É ilustrado na figura 53 um evento de reportar problema no 2º andar, em 01/07/2022, referente ao componente “Sistema HVAC #2” com a descrição “Sistema não é desligado há 4 horas”.

5.5 Conclusão

O processo de prototipagem, durante as suas diferentes fases teve sempre como objetivo a criação de uma interface simples e harmoniosa para o utilizador, sendo que para isto foi necessário a aplicação das boas práticas tanto ao nível do *web design*, como do design de interação estudados no início do capítulo. As diferentes fases deste processo tiveram um maior foco e aplicação numa das duas vertentes. As duas primeiras fases mais direcionadas para o design de interação e a usabilidade da plataforma, e a última mais aplicada ao *web design*.

Depois da conclusão do protótipo de alta-fidelidade, que finalizou o processo de prototipagem é importante agora avaliar a solução encontrada, que será apresentada no próximo capítulo.

Capítulo 6

Avaliação da Interface

Neste capítulo é explicada a forma como foi realizada a avaliação da interface, iniciando pelo processo de realização dos testes de usabilidade na secção 6.1. Na secção seguinte (6.2) é feita uma análise dos seus resultados. Por último, na secção 6.3 são descritas as alterações efetuadas de acordo com os resultados dos testes.

6.1 Testes de Usabilidade

Nesta secção são descritos todos os passos que antecederam a realização dos testes de usabilidade, desde a definição do seu contexto, objetivos e estratégia. Dentro destas subsecções é apresentado o guião dos testes assim como as diferentes tarefas que os utilizadores realizaram.

A realização dos testes de usabilidade foi essencial, permitindo detetar falhas ao nível da usabilidade da interface, assim como a ausência de algum conteúdo que se podia revelar importante, tornando a interface mais completa, fácil e agradável de utilizar.

6.1.1 Contexto

Com a finalização do protótipo de alta-fidelidade, ficaram reunidas as condições para avançar com a realização dos primeiros testes. Tratando-se de um protótipo, este funciona por um fluxo interativo entre os ecrãs desenhados, onde as diferentes funcionalidades estão representadas da mesma forma, não admitindo a operacionalidade normal de um ambiente de implementação. Apesar disso, o fluxo dos testes foi preparado para uma simulação natural das funcionalidades de cada tarefa, de modo que o ambiente de testes fosse mais próximo da realidade *web*.

O principal objetivo da realização dos testes de usabilidade é o de avaliar a interface consoante o comportamento dos utilizadores ao realizarem um determinado conjunto de tarefas. O funcionamento da interface perante aquilo que os utilizadores esperam alcançar, é também uma forma de avaliar e identificar falhas na interface.

6.1.2 Estratégia

Os testes de usabilidades exigiram uma preparação prévia para garantir que decorriam da forma mais controlada e consistente com todos os utilizadores. Assim foram elaborados três tipos de testes, consoante as primeiras 3 *personas* apresentadas no capítulo 4, sendo que a última (*persona* 4) foi descartada por ser uma *persona* pensada para uma fase mais avançada do *digital twin* e não para o estado atual do protótipo. Cada teste é composto por um

conjunto diferente de tarefas aplicadas ao tipo de *persona* que está associado. Foi contabilizado o tempo que os utilizadores demoravam a executar cada tarefa e no final preenchido o questionário *User Experience Questionnaire* (UEQ) (Schrepp 2014). Este questionário é composto por 26 itens, cada um representado por dois termos com significados opostos e uma escala de -3 a 3. As extremidades numéricas representam cada um dos termos e é pedido ao utilizador que selecione um valor dentro dessa escala consoante aquilo que foram as suas sensações ao longo do teste.

attractive o o o o o o o unattractive

Figura 54 – Exemplo de item (Schrepp 2014)

A ordem dos itens é aleatória, sendo que metade dos itens começam com o termo positivo e a outra metade com o termo negativo. Quando o item apresenta primeiro o termo negativo, a primeira opção significa o valor -3 como resposta mais negativa, e a 3 como resposta mais positiva, sendo o 0 valor neutro. Aplica-se o contrário quando o item apresenta primeiro o termo negativo. Os 26 itens avaliam 6 características: atratividade, impressão geral do produto; perspicuidade, facilidade e clareza a aprender a utilizar o produto; eficácia, conseguir resolver as suas tarefas sem esforço necessário; confiabilidade, o utilizador sente o controlo na interação com a interface; estimulação, a motivação que o utilizador sente a usar o produto e por último a inovação, a capacidade de captar o interesse dos utilizadores.

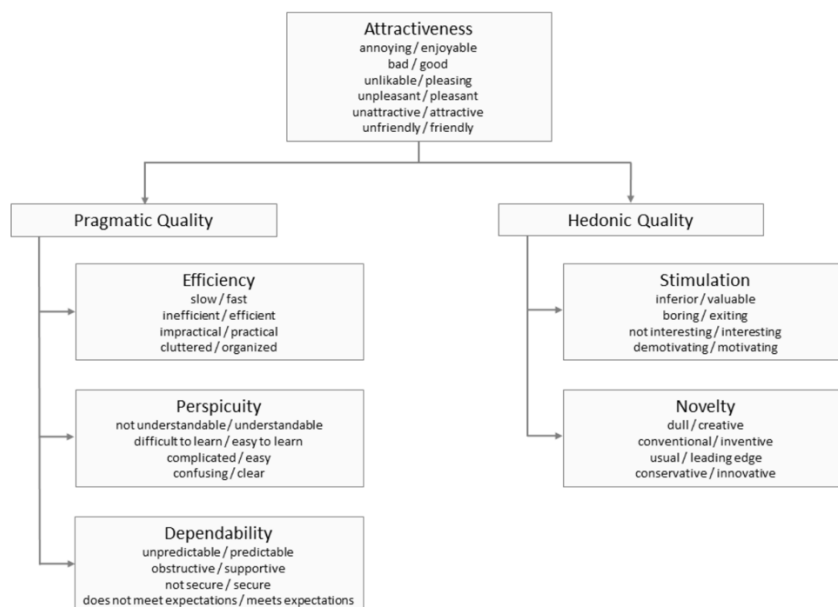


Figura 55 – Estrutura do UEQ (Schrepp 2014)

Depois do questionário preenchido, houve a oportunidade de conversar com os utilizadores sobre o teste, detalhar em que sentiram mais dificuldades e o contrário, assim como obter algumas sugestões de melhoria.

6.1.3 Tarefas

Nesta secção são apresentadas as tarefas solicitadas aos utilizadores.

Teste 1 – Persona 1 – Gestor de edifício

Tarefa 1:

- 1) Obter uma visão global do 3º andar do edifício.
- 2) Ver ao detalhe a planta do 3º andar do edifício.
- 3) Explorar o alerta mais recente.
- 4) Observar todos os alertas referentes a essa semana do 2º e 3º andares.

Tarefa 2:

- 1) Obter uma visão global do 3º andar do edifício.
- 2) Visualizar o consumo de eletricidade do 3º andar anteriores e as previsões para as próximas horas.
- 3) Visualizar os consumos de água no 3º andar anteriores e as previsões para as próximas horas.

Tarefa 3:

- 1) Explorar as condições exteriores do edifício
- 2) Interpretar o valor do Índice UV.
- 3) Ver a previsão para o quarta-feira.

Teste 2 – Persona 2 – Gestor de zona

Tarefa 1:

- 1) Ter uma visão global do segundo andar do edifício.
- 2) Visualizar os diferentes valores da taxa de ocupação no 2º andar entre as 9h e as 14h.
- 3) Simular um aumento da taxa de ocupação do 2º andar em 10 pessoas e ver a previsão do nível de CO2 no mesmo andar.

Tarefa 2:

- 1) Analisar as condições exteriores do edifício.

- 2) Ver a previsão de temperatura exterior para terça-feira.
- 3) Ver a qualidade do ar média do edifício e analisar o seu valor.
- 4) Explorar os valores da qualidade do ar do edifício ao longo das últimas horas.

Tarefa 3:

- 1) Ir ao menu alertas.
- 2) Ver alertas referentes ao 3º andar.
- 3) Explorar a representação do alerta referente ao “Andar 3/Sala 9/Sistema HVAC #5”.
- 4) Selecionar o componente “Sistema HVAC 5”.
- 5) Desligar o sistema.

Teste 3 – Persona 3 – Segurança do edifício

Tarefa 1:

- 1) Ter uma visão global do 1º andar do edifício.
- 2) Explorar as previsões da temperatura interior para as próximas horas.
- 3) Ver ao detalhe a planta do 1º andar do edifício.
- 4) Ver a descrição do alerta referente à qualidade do ar da do andar no dia 1 de Julho.

Tarefa 2:

- 1) Reportar uma falha no sistema, no 2º andar, data de 1 Julho, sistema HVAC #2, com descrição “Sistema não é desligado há 4 horas”.
- 2) Visualizar os alertas no 2º andar no dia de hoje.

6.1.4 Resultados e análise

Depois de todos os testes concluídos, foram analisadas as informações recolhidas, assim como todas as observações dadas pelos utilizadores após o preenchimento do questionário. Nesta subsecção são apresentados os resultados de cada conjunto de testes, assim como a análise dos mesmos. Em 6.1.4.1 são apresentadas as falhas e dificuldades que cada utilizador demonstrou na execução do teste. Seguidamente (6.1.4.2), os resultados relativos à contabilização dos tempos de realização de cada tarefa e por último os resultados do questionário *UEQ*.

6.1.4.1 Falhas e dificuldades

Durante os testes foi feito um registo de alguns comportamentos considerados errados na execução das diferentes tarefas de cada teste. Irão ser apresentadas três tabelas, cada uma referente ao conjunto de testes de cada *persona*, onde estarão mencionadas as falhas e dificuldades que cada utilizador teve (podem ser comuns a vários utilizadores, sendo esse um indicador para as alterações a efetuar no protótipo). As tabelas são também importantes para uma análise dos valores dos tempos de execução de tarefas.

Persona 1	Utilizador 1	Utilizador 2	Utilizador 3
Tarefa 1			
Tentar chegar à visão global do 3º andar através da vista lateral do edifício	X	X	X
Não visualizou os alertas no ecrã da representação			X
Tarefa 2			
Não visualizou o gráfico de eletricidade na home page	X	X	X
Não percebeu que o gráfico dava para arrastar	X		X
Interação com o menu de simulação para visualizar o gráfico de eletricidade		X	X
Tarefa 3			
—			

Tabela 1 – Falhas e dificuldades detetadas nas tarefas durante a realização dos testes da *persona* 1

Na tabela 1 estão representadas as falhas e dificuldades referentes ao conjunto de testes da *persona* 1. Começando pela tarefa 1, é identificado uma falha comum a todos os utilizadores, que também acabou por se revelar nos restantes conjuntos de testes: na *homepage* os utilizadores tiveram tendência em interagir com a representação do edifício e descartaram por completo o menu vertical que se encontra ao lado da representação. Para além disso, os dois gráficos representados no mesmo ecrã foram também ignorados pelos utilizadores, acabando por interagir com outros elementos (que os levaram para outros ecrãs) na tentativa de encontrar a informação que estava presente na homepage. De seguida dois pontos que se aplicam ao ecrã de dados e simulação (ocorrendo em dois dos três utilizadores): o primeiro referente à não perceção da interatividade com o gráfico e o segundo relativo a uma interação com o menu de simulação, quando o pretendido era apenas a visualização dos gráficos.

Persona 2	Utilizador 1	Utilizador 2	Utilizador 3
Tarefa 1			
Ida para a página de monitorização para ver à taxa de ocupação	X	X	X
Tentar chegar ao 2º andar através da vista lateral do edifício		X	X
Dificuldade em filtrar espaço pelo 2º andar		X	
Tarefa 2			
Dificuldade em identificar ao gráfico da qualidade do ar	X		
Não associou inicialmente previsão a monitorização		X	
Não percebeu inicialmente onde estavam as previsões		X	
Tarefa 3			
Não percebeu o significado dos botões no alerta	X	X	X

Tabela 2 – Falhas e dificuldades detetadas nas tarefas durante a realização dos testes da *persona 2*

No conjunto de testes da *persona 2* representado pela tabela 2, foram identificadas duas falhas comuns a todos os utilizadores. Estes assumiram que para visualizar ao detalhe os valores da taxa de ocupação teriam de aceder ao ecrã de monitorização. Só a partir daí é que posteriormente os utilizadores exploravam as condições interiores representadas e chegavam ao ecrã dados e simulação. A segunda falha identificada, é referente a uma falha no ecrã dos alertas, onde nenhum dos utilizadores conseguiu perceber o significado dos botões que cada alerta disponha. Para além disso, repetiram-se algumas das falhas e dificuldades do conjunto de testes da *persona 1* como é o caso da tentativa de interação com a representação global do edifício.

Persona 3	Utilizador 1	Utilizador 2
Tarefa 1		
Não visualizou o gráfico de temperatura interior na home page	X	X
Não visualizou os alertas no ecrã da representação		X
Tarefa 2		
Não percebeu inicialmente onde estava o botão de reportar	X	X

Tabela 3 – Falhas e dificuldades detetadas nas tarefas durante a realização dos testes da *persona 3*

Por último, analisando a tabela 3, que representa as falhas e dificuldades do conjunto de testes da *persona 3*, os gráficos presentes na homepage voltaram a ser descartados para obter a informação lá disposta. Também existiram dificuldades em perceber onde se encontrava o botão que permitia a abertura do formulário.

6.1.4.2 Tempos de realização de tarefas

A contabilização dos tempos de execução de cada tarefa permitiu perceber quais são aquelas tarefas e funcionalidades que não apresentam uma solução ou alternativa fácil e rápida. Através da média dos tempos de realização de tarefas, foi possível identificar quais são as que envolvem mais tempo e esforço. Um dado importante para ter em conta na análise dos valores apresentados, é que o utilizador vai ganhando um melhor entendimento da plataforma ao longo do teste, o que significa que não tem o mesmo conhecimento no início da tarefa 1 como no início da tarefa 3, podendo representar algum desnível nos tempos de execução das tarefas nos diferentes testes.

Persona 1	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3
Utilizador 1	109s	76s	38s
Utilizador 2	92s	125s	18s
Utilizador 3	75s	62s	32s
Média	92s	87s	29s

Tabela 4 – Tempos de realização das tarefas e respetiva média da *persona 1*

A tabela 4 apresenta os valores do tempo de execução de tarefas referentes aos testes da *persona 1*. Podemos concluir que as tarefas 1 e 2 levaram mais tempo a executar, principalmente pela falha identificada no que toca a interação com o menu vertical da *homepage*, sendo que a partir daí o processo revelou-se mais fluído, tal como a tarefa 3 (mais rápida de executar).

Persona 2	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3
Utilizador 1	134s	46s	78s
Utilizador 2	267s	166s	47s
Utilizador 3	51s	43s	18s
Média	150s	85s	47s

Tabela 5 – Tempos de realização das tarefas e respetiva média da *persona 2*

Neste teste, representado pela tabela 5 referente à *persona 2*, podemos concluir que a primeira tarefa foi aquela que tomou mais tempo aos utilizadores de forma considerável em diferentes níveis, tanto ao nível de comparação entre a média de execução das tarefas, mas também considerando os tempos de cada tarefa por utilizador. A causa está relacionada com a dificuldade já abordada da interação com o menu vertical da *homepage*, e posteriormente

pela associação que os utilizadores fizeram da visualização dos detalhes da taxa de ocupação ao ecrã da monitorização.

Persona 3	Tarefa 1	Tarefa 2
Utilizador 1	124s	144s
Utilizador 2	125s	92s
Média	125s	164s

Tabela 6 – Tempos de realização das tarefas e respetiva média da *persona 3*

No que diz respeito aos conjuntos de testes da *persona 3*, representado pela tabela 6, a tarefa 2 era a mais simples e teoricamente mais rápida de executar. Porém, a dificuldade de perceção da navegação até ao formulário de reportar um problema justifica a média do tempo de execução mais elevada.

6.1.4.3 Questionário

Para a análise das respostas ao questionário preenchido pelos utilizadores que testaram o protótipo, foi utilizado uma ferramenta cujo autor é o Dr. Martin Schrepp (Schrepp 2014), onde através de um documento *excel* são calculadas automaticamente todas estatísticas necessárias. A versão utilizada desta ferramenta é a 10.

Item	Mean	Variance	Std. Dev.	No.	Left	Right	Scale
1	2,0	0,6	0,8	8	annoying	enjoyable	Attractiveness
2	1,9	0,7	0,8	8	not understandable	understandable	Perspicuity
3	0,6	3,1	1,8	8	creative	dull	Novelty
4	1,5	2,0	1,4	8	easy to learn	difficult to learn	Perspicuity
5	1,9	2,7	1,6	8	valuable	inferior	Stimulation
6	1,3	1,6	1,3	8	boring	exciting	Stimulation
7	2,1	0,4	0,6	8	not interesting	interesting	Stimulation
8	0,5	3,7	1,9	8	unpredictable	predictable	Dependability
9	2,3	0,8	0,9	8	fast	slow	Efficiency
10	1,3	3,9	2,0	8	inventive	conventional	Novelty
11	2,1	0,4	0,6	8	obstructive	supportive	Dependability
12	2,3	0,5	0,7	8	good	bad	Attractiveness
13	1,8	1,6	1,3	8	complicated	easy	Perspicuity
14	1,9	0,7	0,8	8	unlikable	pleasing	Attractiveness
15	1,3	2,8	1,7	8	usual	leading edge	Novelty
16	1,8	1,1	1,0	8	unpleasant	pleasant	Attractiveness
17	2,0	0,9	0,9	8	secure	not secure	Dependability
18	1,8	1,1	1,0	8	motivating	demotivating	Stimulation
19	1,9	1,0	1,0	8	meets expectations	does not meet expectations	Dependability
20	2,1	0,4	0,6	8	inefficient	efficient	Efficiency
21	2,0	0,9	0,9	8	clear	confusing	Perspicuity
22	2,1	0,4	0,6	8	impractical	practical	Efficiency
23	1,8	1,6	1,3	8	organized	cluttered	Efficiency
24	1,3	1,4	1,2	8	attractive	unattractive	Attractiveness
25	1,9	0,4	0,6	8	friendly	unfriendly	Attractiveness
26	1,6	1,7	1,3	8	conservative	innovative	Novelty

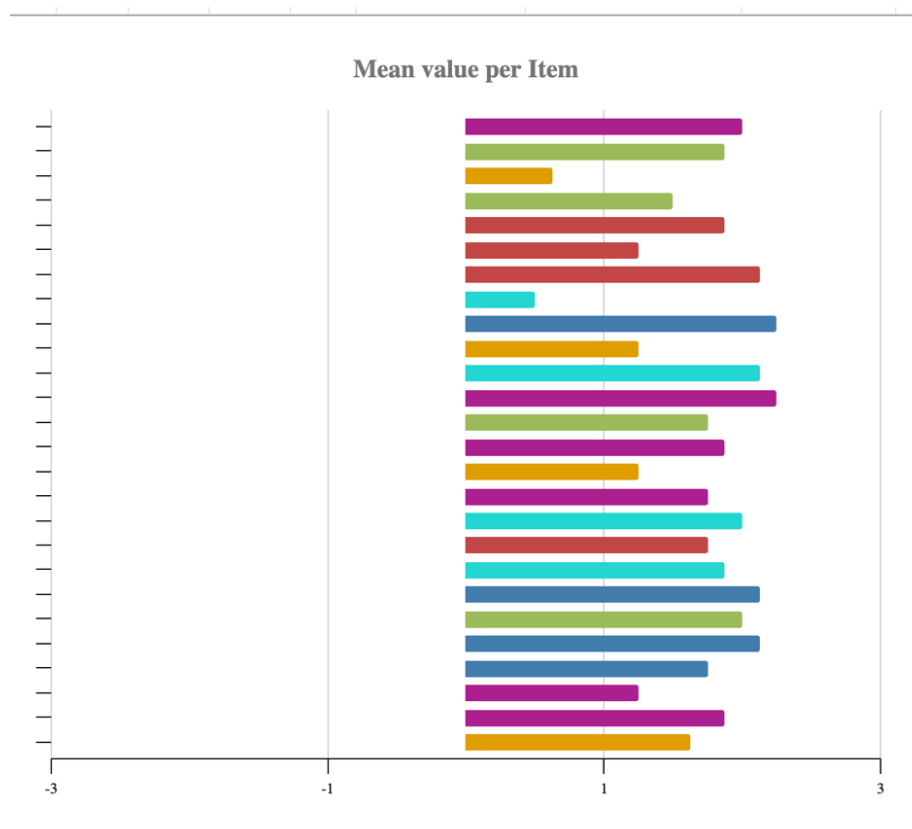


Figura 56 e 57 – Avaliação por item

Nas figuras 56 e 57 é demonstrada uma avaliação por cada item do questionário, esta avaliação item a item permite identificar valores discrepantes. Cada linha no gráfico apresentado na figura 56 é referente a um item do questionário e na última coluna a escala a que está associado. Focando a atenção na coluna “*mean*”, que apresenta um valor que se for compreendido entre -0.8 e 0.8 representa uma avaliação natural para a escala correspondente, os que forem maiores que 0.8 uma avaliação positiva e os que forem menores de -0.8 uma avaliação negativa. No que diz respeito à coluna “*variance*” os itens que apresentam maior valor podem representar que o item foi mal interpretado por alguns utilizadores. No gráfico referente à figura 57 são apresentados os mesmos valores pela mesma ordem do gráfico da figura anterior, tendo associada a si a cor referente à sua escala.

UEQ Scales (Mean and Variance)		
Attractiveness	1,833	0,51
Perspicuity	1,781	0,54
Efficiency	2,063	0,23
Dependability	1,625	0,09
Stimulation	1,750	0,79
Novelty	1,188	1,80

Figura 58 – Avaliação por escalas UEQ

Na figura 58 verificamos uma avaliação de valores por escala. As escalas de *efficiency* e *attractiveness* apresentam os melhores valores na avaliação, sendo que a escala *novelty* consideravelmente a menos boa em termos do valor de avaliação.

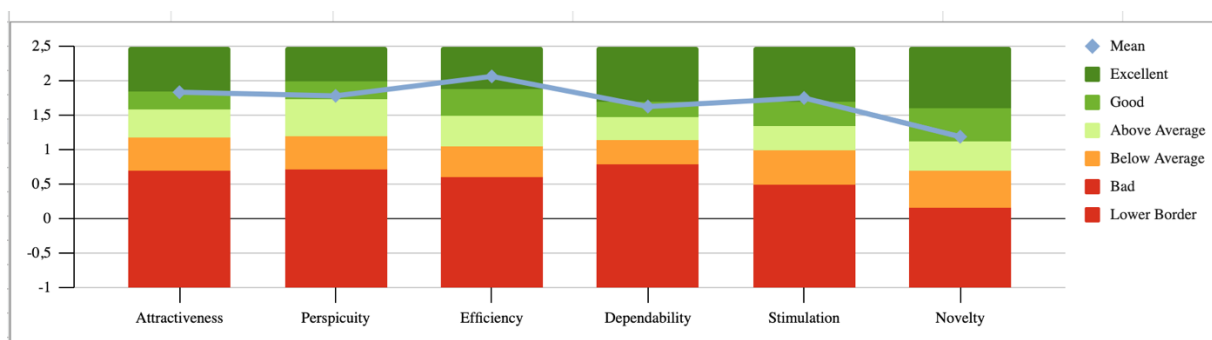


Figura 59 – Gráfico de avaliação geral

Apresentando agora os mesmos dados, contudo com uma avaliação global dos valores, na figura 59 podemos verificar que todas as escalas apresentam valores consideravelmente acima da média com exceção para a escala “*novelty*”, como já foi identificado anteriormente.

No anexo 4 encontram-se outros elementos de avaliação, fornecidos pela ferramenta de Martin Schrepp.

6.2 Alterações efetuadas

Da análise dos testes de usabilidade e do feedback recolhido por parte dos utilizadores que testaram a plataforma, resultou um conjunto de alterações a efetuar, com o propósito de melhorar a sua experiência de utilização da interface. São seguidamente detalhadas as mudanças realizadas em cada ecrã.



Figura 60 – Home page vista do edifício alterada



Figura 61 – Home page vista do 3º andar alterada

As figuras 60 e 61 incluem duas representações possíveis do ecrã da home page. A primeira, na figura 60, é referente à vista global do edifício e a segunda, na figura 60, relativa à do 3º andar do edifício. Uma das falhas mais comuns nos testes realizados foi a interação do utilizador para obter uma visão global de um andar específico, uma vez que a vista do edifício é aquela que por predefinição se encontra visível. Nesse sentido foram feitas duas alterações: (1) a vista do edifício passou a ser interativa, com o utilizador a poder seleccionar o andar que quer através da sua representação no ecrã e (2) o menu que antes se encontrava do lado direito da representação do edifício, passou para o lado esquerdo com o intuito de se tornar visível mais facilmente.

Ainda na *home page*, foram registadas duas dificuldades relacionadas com os gráficos presentes no ecrã. A primeira relativa à sua identificação na interface e a segunda relacionada com o entendimento da interação que o utilizador podia ter com os mesmos. Assim, o título de cada gráfico subiu um grau na hierarquia tipográfica e foi adicionado um ícone para representar a interação com o gráfico.

Na representação, registou-se apenas pequenas alterações e uma adição ao ecrã anteriormente desenhado que foi submetido ao teste de usabilidade. Através da figura 62, verificamos que no menu de alertas, o título passou a ser “Alertas” e não o andar em que o utilizador se encontra, de modo que o componente permaneça com o título daquilo que

representa. Foi adicionada ainda uma legenda para a representação da taxa de ocupação e dos diferentes componentes presentes na planta 2D do andar em questão.

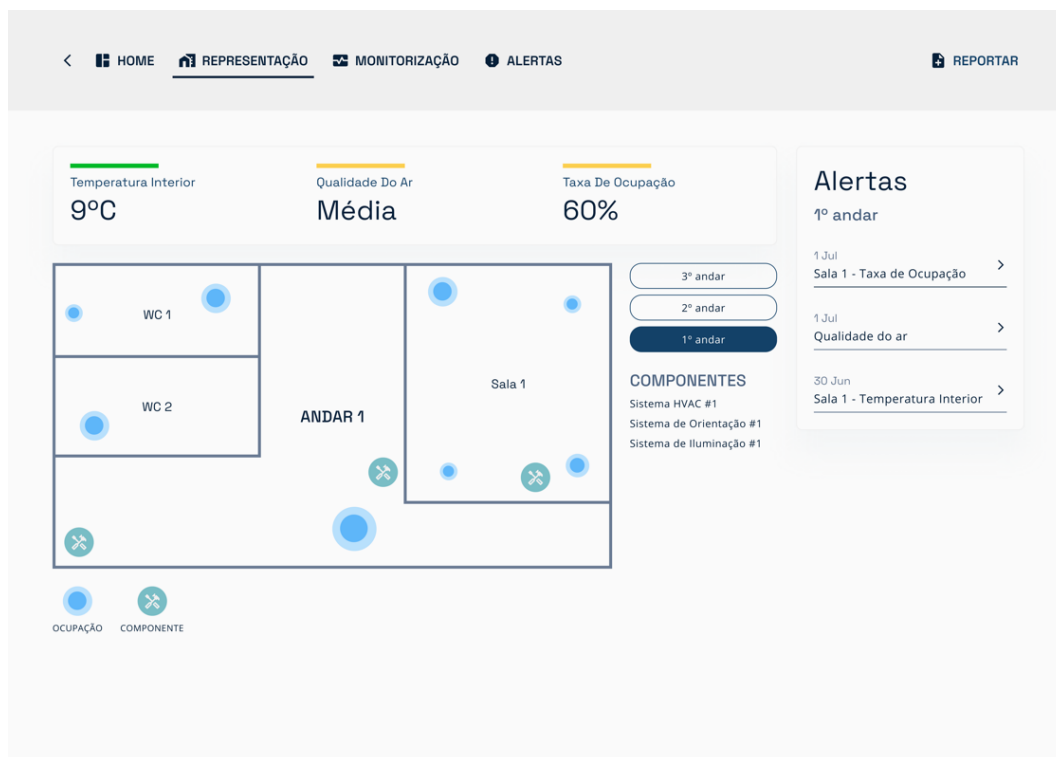


Figura 62 – Representação

De seguida, será apresentada a maior alteração feita nesta fase, relativa aos ecrãs de monitorização e dados e simulação. Foi feita uma junção destes dois ecrãs permanecendo apenas com o ecrã de monitorização. Os testes mostraram que a tendência dos utilizadores seria navegar até ao ecrã de monitorização para ver qualquer parâmetro ao detalhe, ao invés de explorar o de Dados e Simulação (chegavam até lá através do ecrã de monitorização). As figuras 63, 64 e 65, mostram os 3 ecrãs da monitorização, sendo que podem ser selecionados através dos filtros de texto.



Figura 63 – Monitorização Recursos

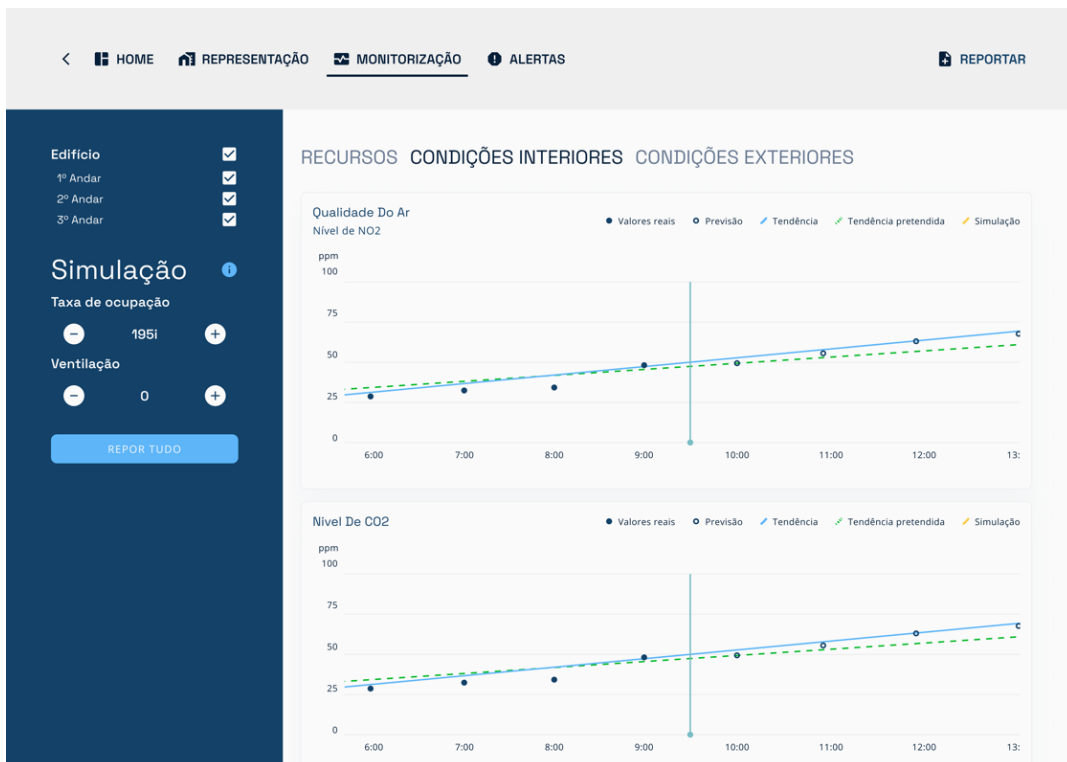


Figura 64 – Monitorização Condições Interiores

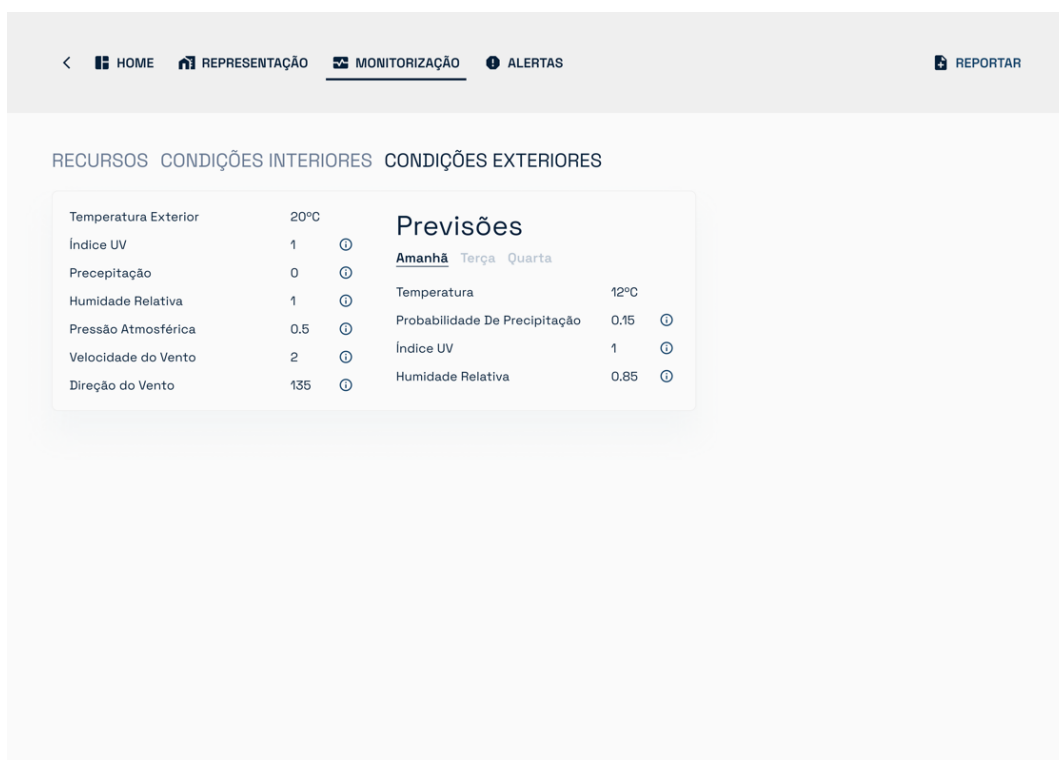


Figura 65 – Monitorização Condições Exteriores

Através da figura 64 verificamos que o conteúdo relativo às condições interiores foi removido. Isto deve-se a dois motivos: no mesmo ecrã existe uma secção que representa as mesmas em maior detalhe e as informações que eram apresentadas encontram-se igualmente na *home page* e no ecrã de representação. Analisando agora as figuras 62 e 63, foi identificada uma dificuldade na interação com a visualização dos gráficos que levou alguns utilizadores a interagir com o menu de simulação por equívoco. Deste modo, houve uma subida da hierarquia tipográfica do menu de simulação, assim como um destaque extra no ícone que dá informação sobre o mesmo, isto com o intuito de tornar claro aquilo que esse menu representa e como funciona.

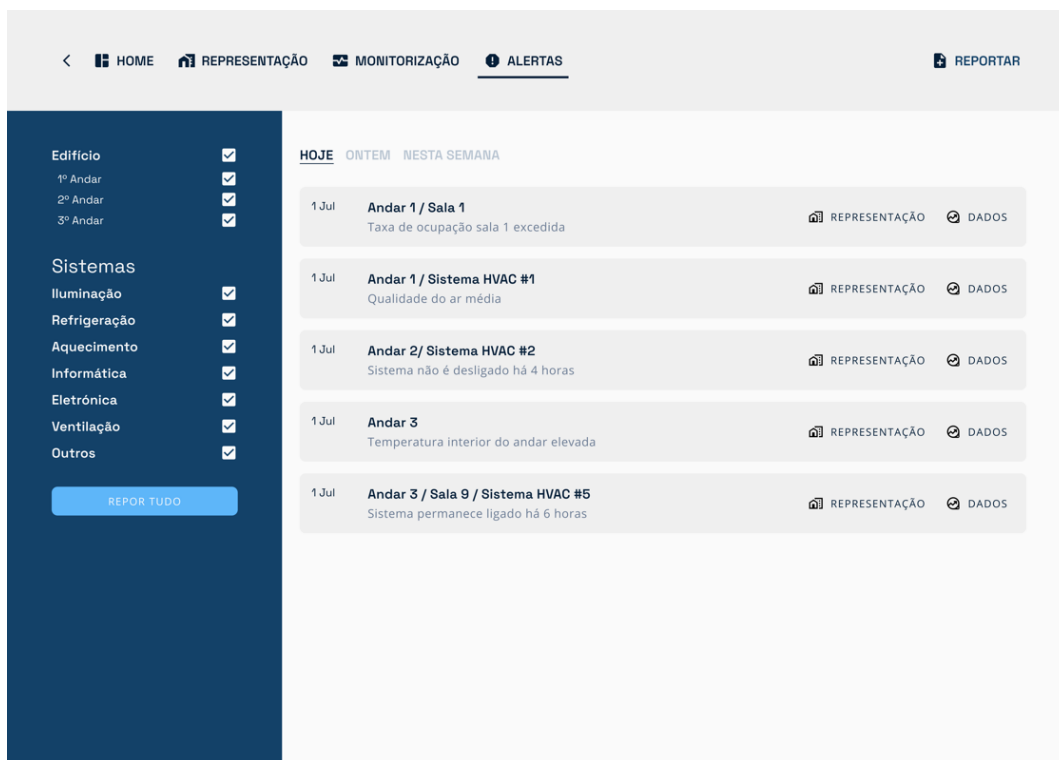


Figura 66 – Alertas

Por último, foi identificada uma falha na disposição das possíveis interações em cada alerta. A figura 66 representa a solução desse problema através de uma alteração de botões de ícone para botões normais com legenda e assim tornar mais claro o significado destes elementos.

Capítulo 7

Conclusão

No último capítulo desta dissertação é feito um resumo do trabalho realizado, apresentando os resultados e o trabalho futuro a realizar.

7.1 Trabalho realizado

Após a introdução ao tema sobre o qual se iria desenrolar o projeto, foi fundamental a definição do âmbito em que esta dissertação se iria incorporar, uma vez que a temática de *digital twin* apresenta um carácter inovador considerável e um espectro de atuação em diferentes áreas, de formas distintas. Este primeiro passo foi fundamental para o início dos trabalhos durante o primeiro semestre, que apresentava dois objetivos principais: um bom conhecimento do tema, através de uma fase de estudo, investigação e análise das diferentes temáticas do projeto; e um bom planeamento do trabalho para todo o ano, que permitisse alcançar os objetivos definidos para o projeto.

A investigação sobre as temáticas envolvidas no projeto foi inicializada após uma definição de áreas, temas e conceitos, que se aplicavam no contexto da dissertação. Estas dividiram-se em dois grandes blocos, *digital twin* e edifícios: relativamente ao primeiro foi crucial a investigação ao contexto histórico e conceito teórico, depois disso entender qual a sua relação e funcionamento com o modelo físico que nesta dissertação importa, o edifício; depois o estudo sobre os edifícios e a sua relação com a tecnologia, foi também um tema analisado, através da investigação dos conceitos de *smart buildings* e *connected buildings*. Foram estudados ainda alguns mecanismos de interoperabilidade usados nos edifícios hoje em dia. Para finalizar esta fase foram analisados dois exemplos de plataformas semelhantes que, apesar de apresentarem propósitos distintos, deram uma visão concreta do que é um *digital twin* para edifícios. Todo este processo foi fundamental para adquirir um bom conhecimento das temáticas abordadas e foi alcançado com sucesso, contudo revelou-se complexo o que provocou uma maior duração desta tarefa, dado o desconhecimento existente sobre esta área e o seu carácter recente e inovador, nomeadamente na relação entre *digital twins* e *edifícios*.

No seguimento de toda a investigação, de modo a garantir que todo o processo de trabalho decorria de forma faseada e iterativa, foi definida a metodologia a seguir durante o projeto, assim como o plano de trabalhos. Após isso o trabalho incidiu na idealização da proposta para o projeto prático, com a definição dos requisitos da plataforma e posteriormente do levantamento das funcionalidades do *digital twin*. Para alcançar uma proposta clara e objetiva, o trabalho foi se desenvolvendo do simples para o complexo e sujeito a vários reajustes.

Desta forma estavam reunidas as condições para avançar com o projeto prático, iniciando com a fase de prototipagem, primeiro através dos protótipos de baixa fidelidade e depois dos *wireframes*, estes visam ilustrar a interface em termos de forma e são o ponto de partida para o desenvolvimento do protótipo de alta-fidelidade. Antes disso, foi necessário também definir o universo gráfico da plataforma, que permitisse manter a coerência, simplicidade e harmonia na interface. Assim, foi iniciado o processo de desenho do protótipo de alta-fidelidade através do desenvolvimento de *mockups* para cada ecrã seguindo sempre o universo gráfico pensado para a plataforma, admitindo mesmo certos ajustes ao mesmo durante este o desenho do *mockups*.

Por último o protótipo foi sujeito a testes de usabilidade com um resultado bastante eficaz, pois permitiu detetar falhas, inconsistências e comportamentos indesejados da plataforma, que depois de analisados foram corrigidos com prontidão. Depois desta fase, estava planeado a implementação *frontend* do protótipo já corrigido, contudo como foi explicado no capítulo 3, este processo não chegou a ser iniciado.

7.2 Resultados

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

Relembrando que o principal objetivo do projeto passava pelo desenvolvimento de uma prova de conceito de uma aplicação *web*, que representasse um edifício digitalmente e que fosse visto como um *digital twin* do edifício. A investigação e análise apresentada no capítulo 2 Estado da Arte, mostrou que a tecnologia *digital twin* aplicada aos edifícios é uma temática que necessita de algum aprofundamento e investigação nos seus conceitos. Nos materiais analisados esta relação aplica-se maior parte das vezes às primeiras fases do ciclo de vida do edifício, tendo pouca aplicação direta na sua fase operacional e no dia a dia do humano no edifício. Esse foi um dos aspetos que foi trabalhado ao longo desta dissertação, o impacto na fase operacional do edifício, no seu funcionamento de uma forma produtiva e sustentável e também no humano no edifício, tentando garantir da melhor forma o seu conforto e segurança. Para atingir estes aspetos, é também importante realçar duas características da plataforma, a primeira a capacidade de apresentar dados em tempo real, não só referentes às condições exteriores e interiores, mas também relacionadas com a presença humana, como a taxa de ocupação nos diferentes locais ou na globalidade do edifício. A segunda, relacionada com a capacidade de visualizar as tendências de futuro do funcionamento do edifício, nomeadamente as funcionalidades de simulação e previsão, que potencia o carácter inteligente da plataforma.

O estudo das áreas do design de interface, design de interação e o conhecimento prévio nestas áreas, adquirido ao longo do percurso académico, permitiu também combater um dado que foi identificado no capítulo 2, que o design de interface dos exemplos apresentados não ia ao encontro das boas práticas apresentadas de *web design* e de design de interação. Desse modo, o processo de prototipagem e posteriormente a definição do universo gráfico,

deram todas as ferramentas para um desenvolvimento do protótipo de alta-fidelidade de uma forma simples, coerente e harmoniosa.

7.3 Trabalho Futuro

Acreditando no potencial da tecnologia *digital twin* e na sua aplicação aos edifícios, existem um conjunto de melhorias e funcionalidades que podem ser implementadas neste projeto.

A primeira proposta de trabalho futuro é a implementação de dados reais na plataforma, através de uma definição concreta do edifício que se pretende representar e inserir todo o tipo de informações disponíveis na plataforma. A partir deste ponto, é possível adquirir um maior grau de certeza perante o tipo de informação disposta nos diferentes ecrãs. Este trabalho sobre o tipo de informação leva a outra proposta de trabalho futuro, referente à flexibilidade da plataforma, onde o utilizador pode selecionar aquilo que pretende ver com maior destaque. Isto aplica-se principalmente à *homepage*, mas também às restantes páginas podendo ou não ser aplicadas apenas a, por exemplo, um andar específico.

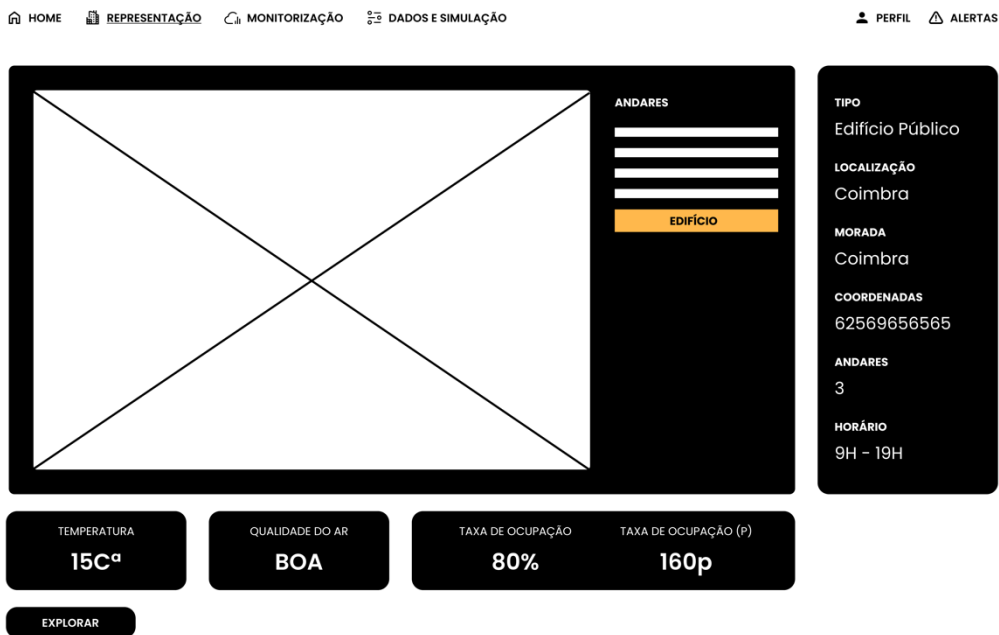
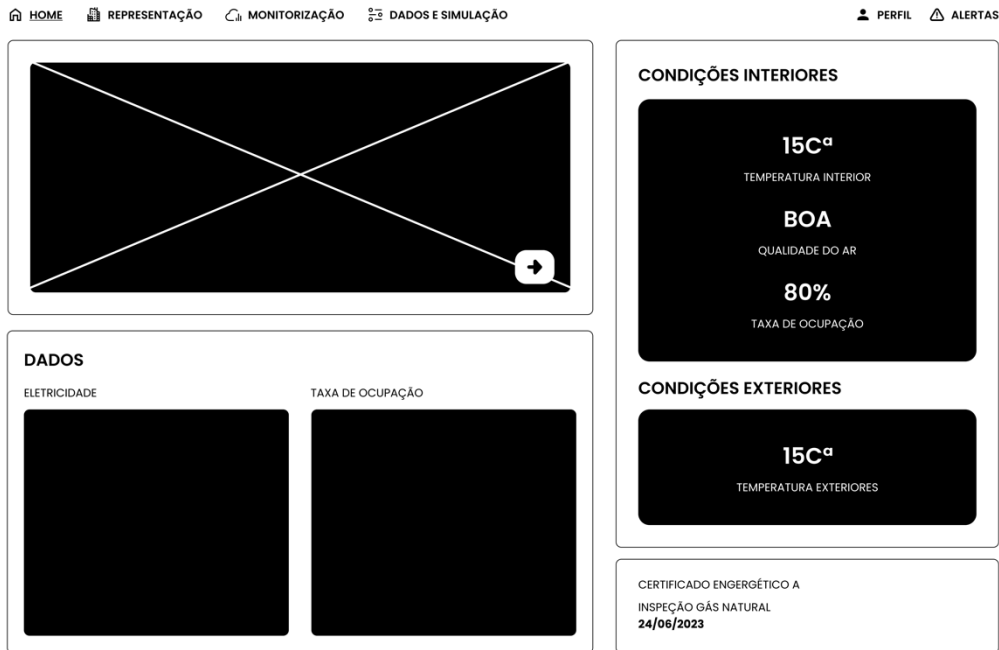
O ecrã de representação, tem algumas particularidades que merecem alguma atenção relativamente ao trabalho futuro. A primeira é referente à vista global do edifício, onde deve ser incorporado um modelo 3D do edifício, de modo a tornar a representação mais próxima daquilo que é a realidade. O segundo ponto aplica-se a ambas as representações do edifício, a global podendo já ser assumido o modelo 3D, e a específica de cada andar, o modelo 2D, passa pôr na representação aplicar uma avaliação do estado das diferentes zonas que compõem a representação, de forma a conseguir identificar rapidamente possíveis problemas ou falhas. Apesar de ser possível identificar esse tipo de comportamentos, a intenção desta proposta passa por transformar a leitura dessa informação de texto, números ou gráficos para algo geométrico.

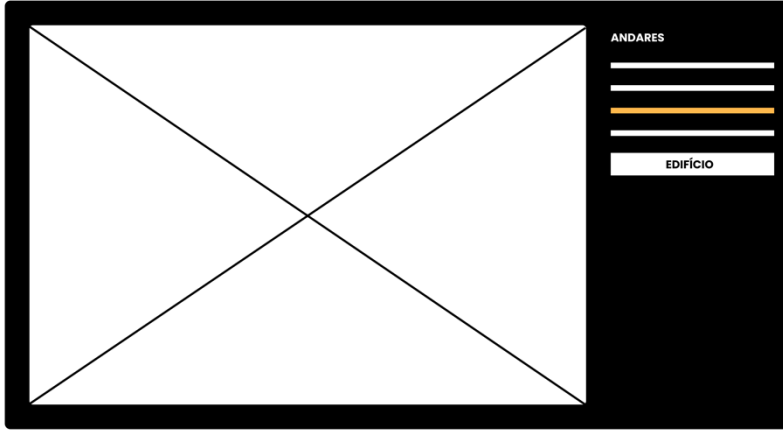
No que toca ao aspeto da visualização de dados e simulação, a primeira proposta de trabalho futuro passa por adequar o tipo de gráfico ao parâmetro que está a ser avaliado e, caso se aplique, potenciar a análise temporal do gráfico, para além de apresentar o gráfico entre horas, conseguir explorar em dias ou semanas.

Relativamente ao design interface existem também pontos que devem ser trabalhados no futuro, tais como a responsividade da interface, a sua capacidade para se adaptar a todos os tipos de ecrãs de diferentes tamanhos. A implementação de transições e animações que tornem a interface mais “divertida” e fluída, neste sentido uma interação diferente com os dados da plataforma.

Anexos

Anexo 1 - Wireframes versão 1.0





ANDAR 2

COMPONENTES

- SISTEMA HVAC #5
- SISTEMA DE ORIENTAÇÃO #3
- JANELAS SALA 3
- PORTA SALA 3
- JANELAS SALA 3
- SISTEMA DE ORIENTAÇÃO #3
- JANELAS SALA 3
- PORTA SALA 3
- JANELAS SALA 3

TEMPERATURA
11C^a

QUALIDADE DO AR
BOA

TAXA DE OCUPAÇÃO
30%

TAXA DE OCUPAÇÃO (P)
21p

EXPLORAR

CONDIÇÕES INTERIORES

EDIFÍCIO PISO 1 PISO 2 PISO 3

TEMPERATURA 15C^a	QUALIDADE DO AR BOA	TAXA DE OCUPAÇÃO 80%	TAXA DE OCUPAÇÃO (P) 160p
---------------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------

EXPLORAR

CONDIÇÕES EXTERIORES

TEMPERATURA 3.3C^o	PRECIPITAÇÃO 0.0	ILUMINAÇÃO 1000	HUMIDADE RELATIVA 1000p
PRESSÃO ATMOSFÉRICA 938.9	VELOCIDADE DO VENTO 160	DIREÇÃO DO VENTO 2	

PREVISÕES

AMANHÃ TERÇA QUARTA QUINTA

TEMPERATURA 3.3C^o	PRECIPITAÇÃO 5.4	ILUMINAÇÃO 600	HUMIDADE RELATIVA 30p
--	----------------------------	--------------------------	---------------------------------

TUDO HOJE ONTEM ANTEONTEM

Hoje, 21 de Março

ANDAR 1 - SALA 2 - SISTEMA HVAC #5	SISTEMA NÃO É DESLIGADO À 13 HORAS	🔍 📄
EDIFÍCIO	PREVISTAS TEMPERATURAS BAIXAS	🔍 📄

Ontem, 20 de Março

ANDAR 2	TAXA DE OCUPAÇÃO DO ANDAR ULTRAPASSADA	🔍 📄
---------	--	-----

Anteontem, 20 de Março

EDIFÍCIO	PREVISTAS TEMPERATURAS ALTAS	🔍 📄
----------	------------------------------	-----

TEMPO

DE 00/00/0000
ATÉ 00/00/0000

ESPAÇO

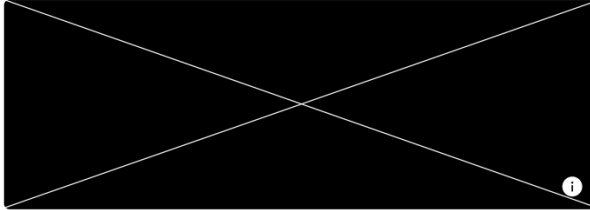
- 1º andar
- 2º andar
- 3º andar
- Todos

SISTEMAS

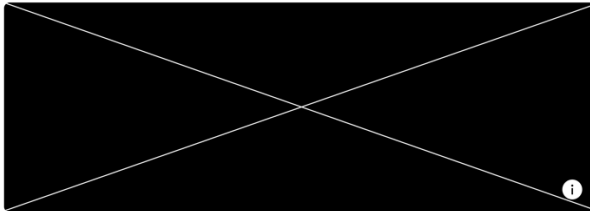
- Iluminação
- Ventilação
- Orientação
- Acessos
- Outros
- Todos

UTILIZAÇÃO E PREVISÃO DE RECURSOS

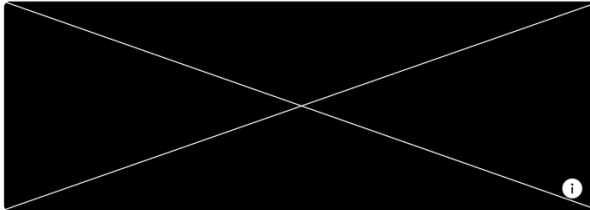
ELETRICIDADE



GÁS



ÁGUA



APLICAR

ELETRICIDADE

GÁS

ÁGUA

FONTES DE CONSUMO

ELÉTRICOS

ILUMINAÇÃO

REFRIGERAÇÃO

AQUECIMENTO

VENTILAÇÃO

INFORMÁTICA

ELETRÓNICA

OUTROS

SELECIONAR TODOS

GÁS

ELETRDOMÉSTICOS

REFRIGERAÇÃO

AQUECIMENTO

SELECIONAR TODOS

ÁGUA

HIGIENE

COZINHA

LAVANDARIA

EXTERIOR

SELECIONAR TODOS

TEMPO

DE 00/00/0000

ATÉ 00/00/0000

ANDARES

1º ANDAR

2º ANDAR

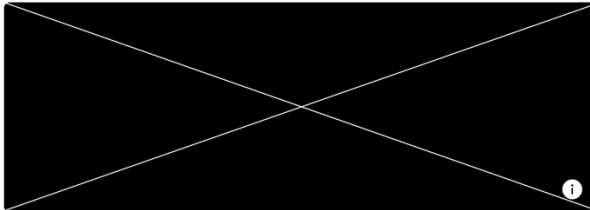
3º ANDAR

SELECIONAR TODOS

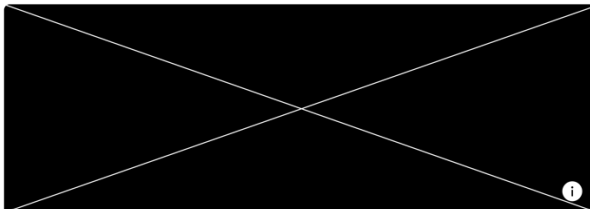
LIMPAR TODOS

CONDIÇÕES INTERIORES

QUALIDADE DO AR



TEMPERATURA INTERIOR

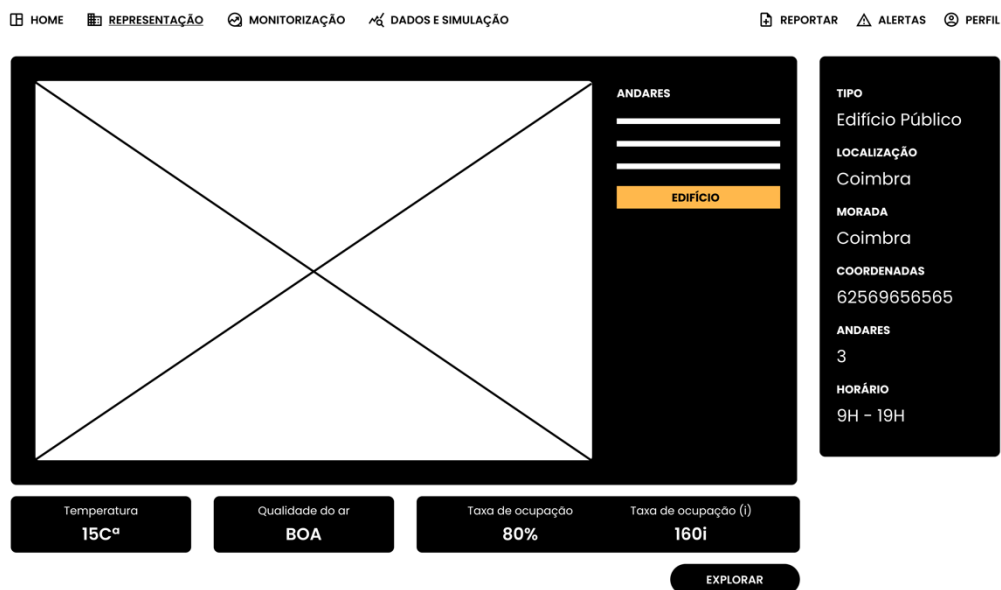
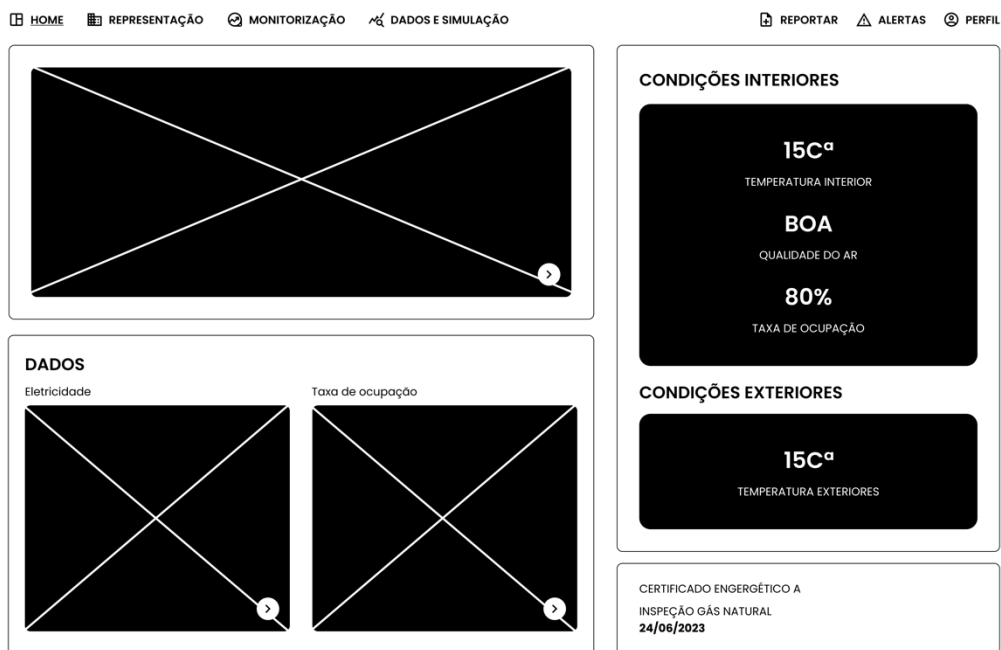


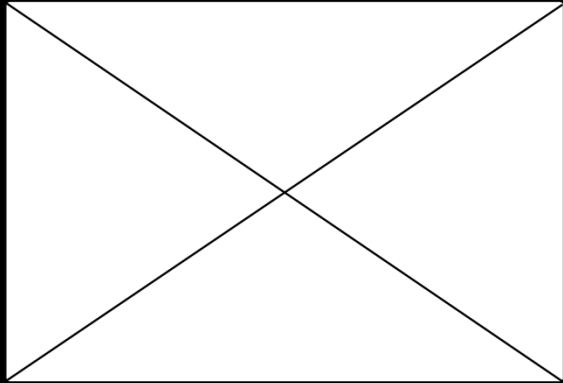
APLICAR

QUALIDADE DO AR

TEMPERATURA INTERIOR

Anexo 2 - Wireframes versão 2.0





ANDARES

EDIFÍCIO

COMPONENTES

SISTEMA HVAC #5

SISTEMA DE ORIENTAÇÃO #3

JANELAS SALA 3

PORTA SALA 3

JANELAS SALA 3

ANDAR 2

ALERTAS RECENTES

SALA 3 - HVAC #5	25/03
SALA 1 - OCUPAÇÃO	24/03
ANDAR - TEMPERATURA	24/03
SALA 3 - HVAC #5	22/03

Temperatura

11C^a

Qualidade do ar

BOA

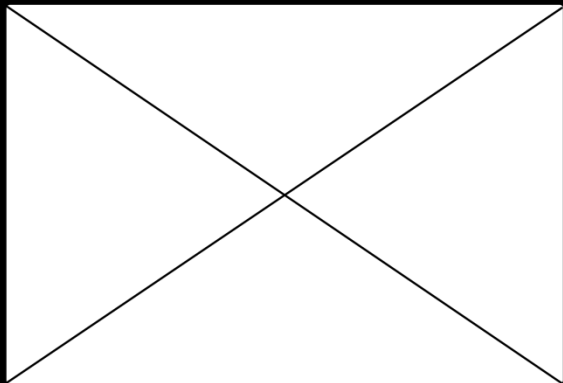
Taxa de ocupação

30%

Taxa de ocupação (i)

16

EXPLORAR



ANDARES

EDIFÍCIO

COMPONENTES

SISTEMA HVAC #5

SISTEMA DE ORIENTAÇÃO #3

JANELAS SALA 3

PORTA SALA 3

JANELAS SALA 3

ANDAR 2

SISTEMA HVAC #5

REFERÊNCIA

4565-ASD

DESDE

26/05/2012

INICIO DA ATIVIDADE

17/03/2022 - 10H

ESTADO

Ligado

TEMPERATURA - +

15 C^o

INTENSIDADE - +

2

Temperatura

15C^a

Qualidade do ar

BOA

Taxa de ocupação

80%

Taxa de ocupação (i)

160i

EXPLORAR

CONDIÇÕES INTERIORES

Edifício Piso 1 Piso 2 Piso 3

Temperatura 15C^a	Qualidade do ar BOA	Taxa de ocupação 80%	Taxa de ocupação (p) 160i
---------------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------

EXPLORAR

CONDIÇÕES EXTERIORES

Temperatura 3.3C^o	Precipitação 0.0	Iluminação 1000	Humidade relativa 100p
Pressão atmosférica 938.9	Velocidade do vento 160	Direção do vento 2	

PREVISÕES

Amanhã Terça Quarta Quinta

Temperatura 3.3C^o	Precipitação 5.4	Iluminação 600	Humidade relativa 30p
--	----------------------------	--------------------------	---------------------------------

TUDO HOJE ONTEM ANTEONTEM

Hoje, 21 de Março

ANDAR 1 - SALA 2 - SISTEMA HVAC #5	Sistema não é desligado à 13 horas
EDIFÍCIO	Previstas temperaturas baixas

Ontem, 20 de Março

ANDAR 2	Taxa de ocupação ultrapassada
---------	-------------------------------

Anteontem, 20 de Março

EDIFÍCIO	Previstas temperaturas exteriores altas
----------	---

TEMPO

DE 00/00/0000
ATÉ 00/00/0000

ESPAÇO

1^o ANDAR
2^o ANDAR
3^o ANDAR
SELECIONAR TODOS

SISTEMAS

ILUMINAÇÃO
REFRIGERAÇÃO
AQUECIMENTO
VENTILAÇÃO
INFORMÁTICA
ELETRÓNICA
OUTROS
SELECIONAR TODOS

RECURSOS

1º ANDAR
2º ANDAR
3º ANDAR

DE 00/00/0000
ATÉ 00/00/0000

LIMPAR TUDO

SIMULAÇÃO

Eletricidade x

ILUMINAÇÃO
REFRIGERAÇÃO
AQUECIMENTO
VENTILAÇÃO
INFORMÁTICA
ELETRÔNICA
OUTROS

SELECIONAR TODOS
DESSELECIONAR TODOS

Gás x

ELETRODOMÉSTICOS
REFRIGERAÇÃO
AQUECIMENTO

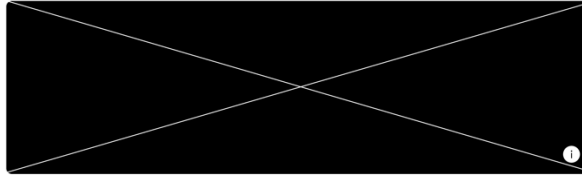
SELECIONAR TODOS
DESSELECIONAR TODOS

Água x

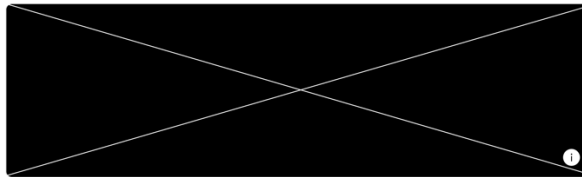
HIGIENE
COZINHA
LAVANDARIA
EXTERIOR

SELECIONAR TODOS
DESSELECIONAR TODOS

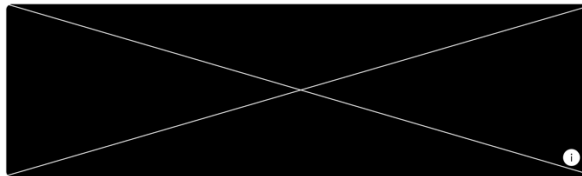
ELETRICIDADE



GÁS



ÁGUA



CONDIÇÕES INTERIORES

1º ANDAR
2º ANDAR
3º ANDAR

DE 00/00/0000
ATÉ 00/00/0000

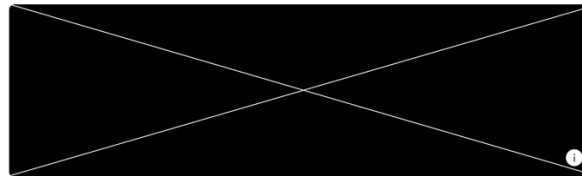
LIMPAR TUDO

SIMULAÇÃO

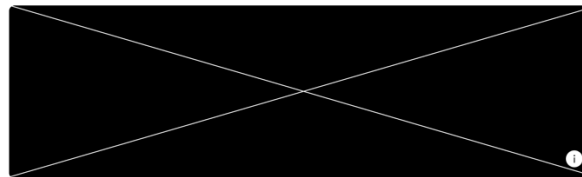
TAXA DE OCUPAÇÃO
- 200 +

HVAC
- 0 +

QUALIDADE DO AR

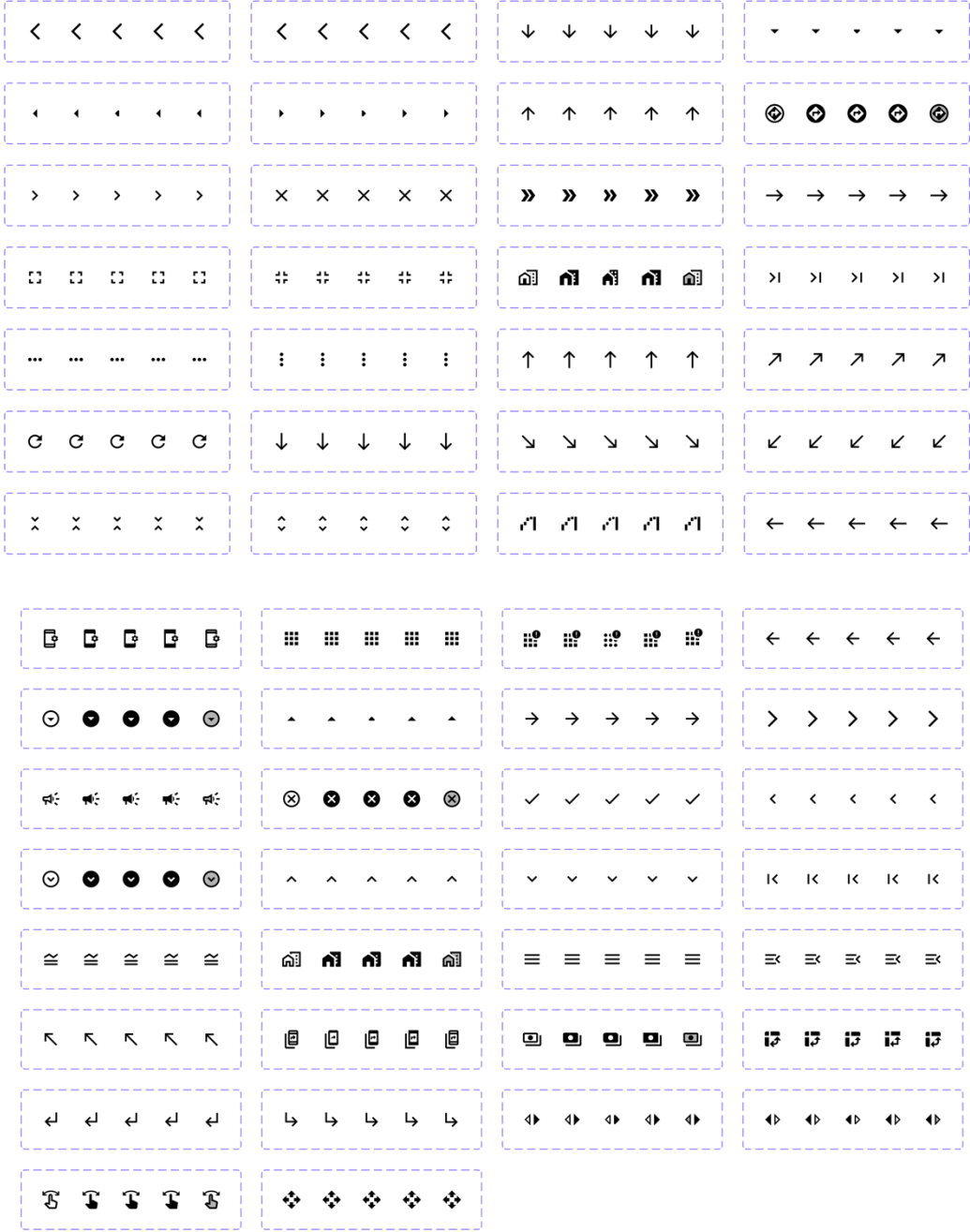


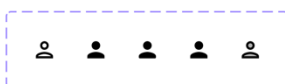
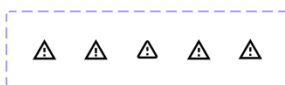
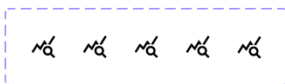
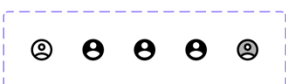
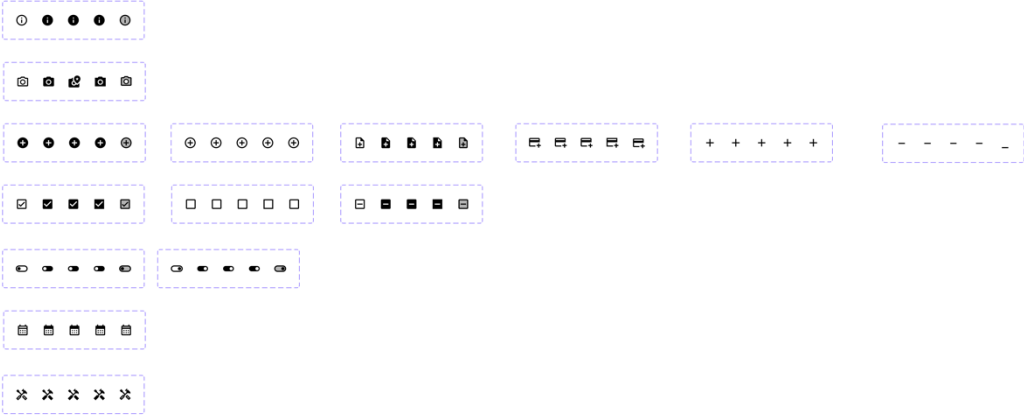
TEMPERATURA INTERIOR



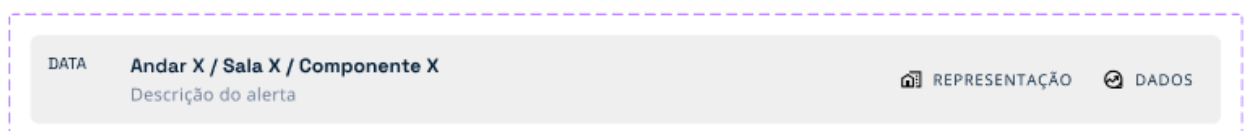
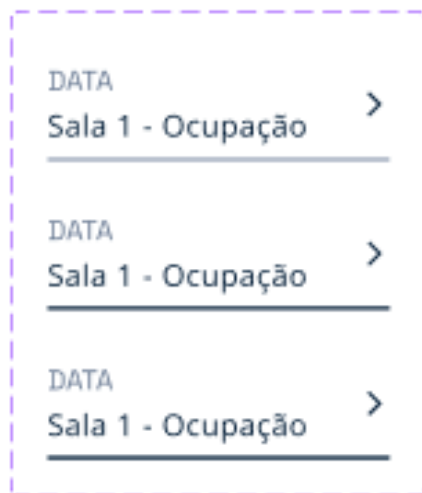
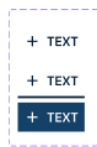
Anexo 3 - Universo gráfico

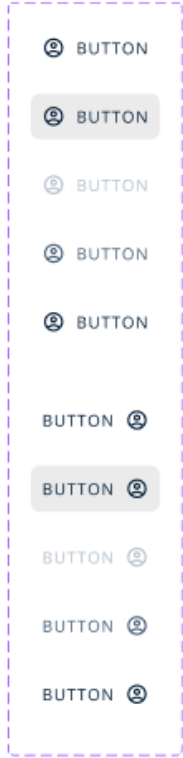
Iconografía

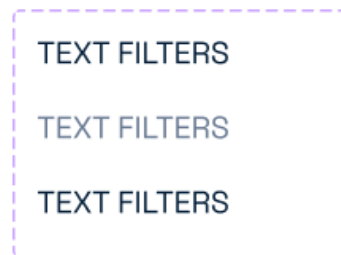
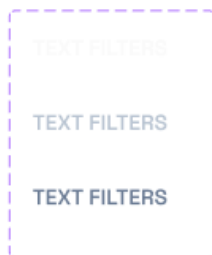
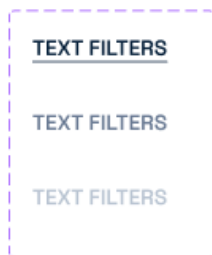
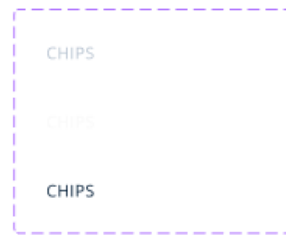
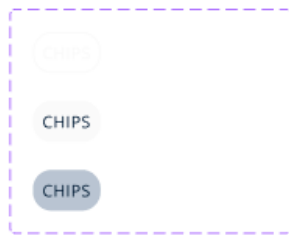
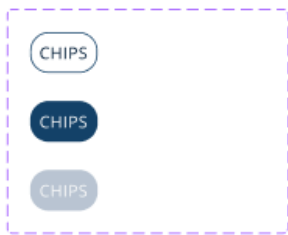




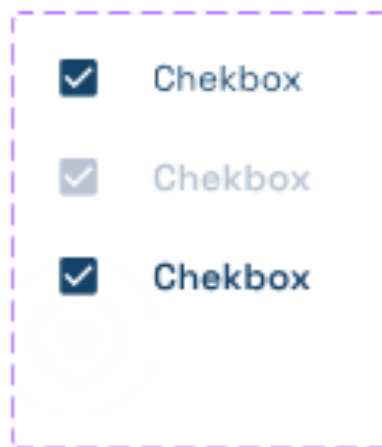
Componentes gráficos

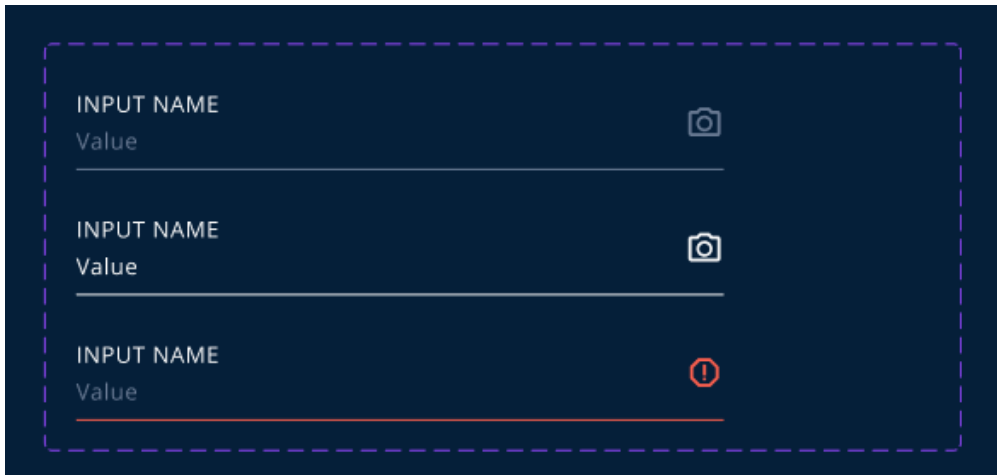




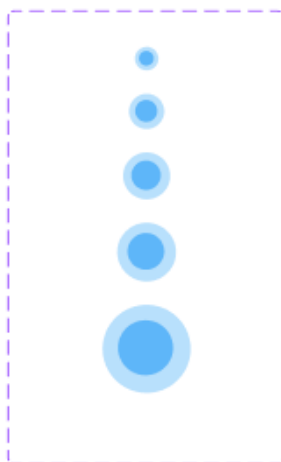


1 andar 2 andar 3 andar Edificio



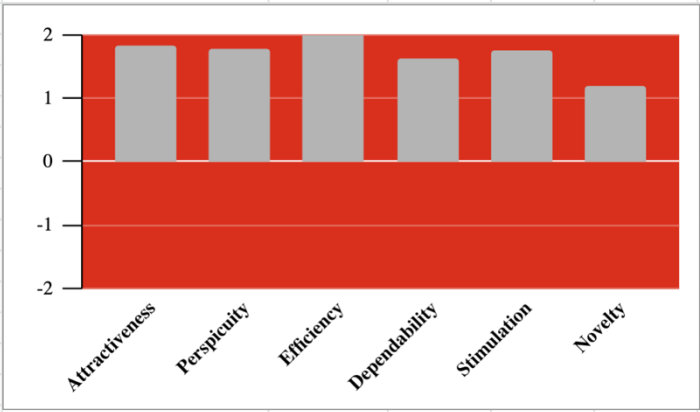
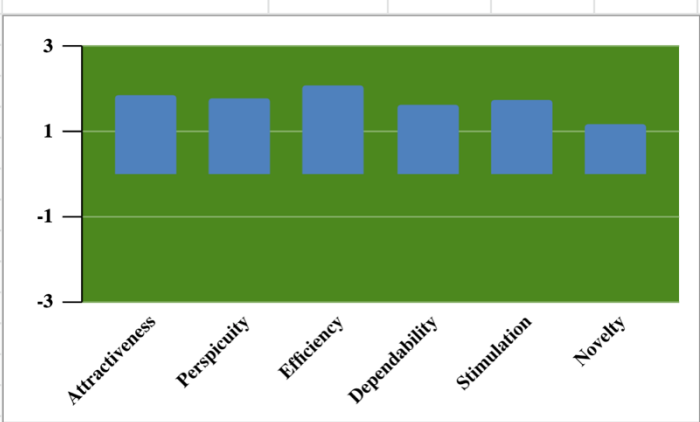


● Valores reais



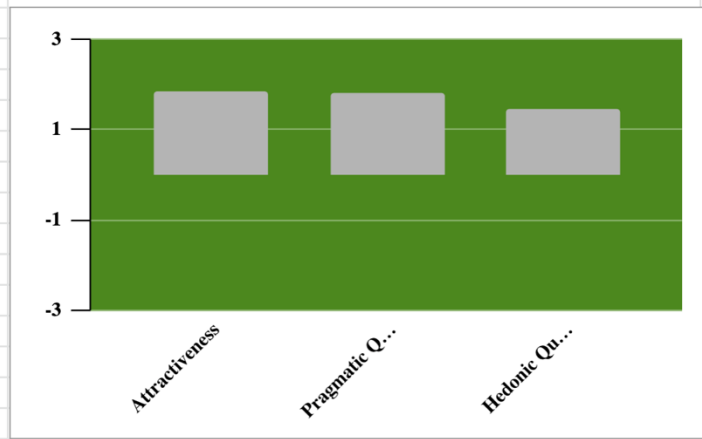


Anexo 4 – UEQ Avaliação



Pragmatic and Hedonic Quality	
Attractiveness	1,83
Pragmatic Quality	1,82
Hedonic Quality	1,47

The scales of the UEQ can be grouped into pragmatic quality (Perspicuity, Efficiency, Dependability) and hedonic quality (Stimulation, Originality). Pragmatic quality describes task related quality aspects, hedonic quality the non-task related quality aspects. Below the mean of the three pragmatic and hedonic quality aspects is calculated.



Referências

- Afram, Abdul, and Farrokh Janabi-Sharifi. 2014. "Theory and Applications of HVAC Control Systems - A Review of Model Predictive Control (MPC)." *Building and Environment* 72: 343–55.
- Afzal, Muhammad. 2021. "BIM 7D - Research on Applications for Operations & Maintenance." Universidade do Minho.
- Alonso, Rubén et al. 2019. "SPHERE: BIM Digital Twin Platform." *Proceedings* 20(1): 9.
- Andlin, Tamara, and John Pruitt. 2010. *The Essential Persona Lifecycle*.
- Aouad, Ghassan, Song Wu, Angela Lee, and Timothy Onyenobi. 2013. "Computer Aided Design Guide for Architecture, Engineering and Construction." *Computer Aided Design Guide for Architecture, Engineering and Construction*.
- Architecture, First In. "THE ADVANTAGES OF BIM AND ITS FUTURE." <https://www.firstinarchitecture.co.uk/the-advantages-of-bim-and-its-future/>.
- Azhar, Salman, Malik Khalfan, and Tayyab Maqsood. 2012. "Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond." *Australasian Journal of Construction Economics and Building* 12(4): 15–28.
- Bosch. "When Digitalization Shows Us the Way." <https://www.boschbuildingsolutions.com/xc/en/news-and-stories/digitalization/> (December 24, 2021).
- Chen, Han et al. 2009. "The Design and Implementation of a Smart Building Control System." *Proceedings - IEEE International Conference on e-Business Engineering, ICEBE 2009; IEEE Int. Workshops - AiR 2009; SOAIC 2009; SOKMBI 2009; ASOC 2009*: 255–62.
- Czmoch, Ireneusz, and Adam Pękala. 2014. "Traditional Design versus BIM Based Design." *Procedia Engineering* 91(TFoCE): 210–15.
- East, E William. 2007. "Construction Operations Building Information Exchange (COBIE): Requirements Definition and Pilot Implementation Standard." *Construction Engineering Research Laboratory ERDC/CERL TR-07-30* (June): 1–195.
- Eastman, Chuck et al. 2011. "BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers." In , 15–16. [https://books.google.com.br/books?id=aCi7OzwkojOC&printsec=frontcover&dq=BIM+handbook:+a+guide+to+building+information+modeling+for+owners,+managers,+designers,+engineers+and+contractors+\(2nd.+ed.\)&hl=fr&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=BIM+handbook%3A+a+guid](https://books.google.com.br/books?id=aCi7OzwkojOC&printsec=frontcover&dq=BIM+handbook:+a+guide+to+building+information+modeling+for+owners,+managers,+designers,+engineers+and+contractors+(2nd.+ed.)&hl=fr&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=BIM+handbook%3A+a+guid).
- Grieves, Michael, and John Vickers. 2016. "Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems." *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches* (August): 85–113.
- Gunay, Burak, and Weiming Shen. 2017. "Connected and Distributed Buildings Sensing In." : 27–34.
- Hamil, Stephen. 2021. "BIM Dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D BIM Explained." <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>.

- Hamm, Matthew J. 2014. *Wireframing Essentials : An Introduction to User Experience Design : Learn the Fundamentals of Designing the User Experience for Applications and Websites*.
- Hooks, Racheal. 2021. "The Evolution of Material Design."
- Hu, Yong et al. 2013. "Software Project Risk Analysis Using Bayesian Networks with Causality Constraints." *Decision Support Systems* 56(1): 439–49.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2012.11.001>.
- Invicara. "About Packaged Solutions - Platform | Invicara."
<https://invicara.com/platform/packaged-solutions/about-packaged-solutions> (January 16, 2022a).
- . "Asset Twin - Platform | Invicara." <https://invicara.com/platform/packaged-solutions/asset-twin> (January 16, 2022b).
- . "Platform Services - Platform | Invicara." <https://invicara.com/platform/composable-solutions/platform-services> (January 16, 2022c).
- Jury, David. 2006. "What-Is-Typography-Intro."
- Kaewunruen, Sakdirat, Jessada Sresakoolchai, and Zhihao Zhou. 2020. "Sustainability-Based Lifecycle Management for Bridge Infrastructure Using 6D BIM." *Sustainability (Switzerland)* 12(6).
- Katipamula, Srinivas, Michael R Brambley, and Michael R Brambley. 2005. "Methods for Fault Detection , Diagnostics , and Prognostics for Building Systems — A Review , Part I." *HVAC and R Research* 11(1): 3–25.
- Khajavi, Siavash H. et al. 2019. "Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings." *IEEE Access* 7(October): 147406–19.
- Krug, Steve. 2014. 51 Choice Reviews Online *Don't Make Me Think, Revisited: A Common Sense Approach to Web Usability*. New Riders.
- Kuo, V, and J. Oraskari. 2016. "A Predictive Semantic Inference System Using BIM Collaboration Format (BCF) Cases and Machine Learning." *CIB World Building Congress 2016* (May): 368–78.
- Loscos, E et al. 2019. "Digital Twin Definitions for Buildings." : 27.
- Lupton, Ellen. 2014. *Type on Screen: A Critical Guide for Designers, Writers, Developers, and Students*.
- Maria, Jason Santa. 2014. *On Web Typograhly*.
- McGinley, Tim, and Thomas Krijnen. 2021. "Multi-Disciplinary Learning from OpenBIM." *Proceedings of the 38th International Conference of CIB W78* (October): 703–12.
<https://itc.scix.net/paper/w78-2021-paper-070>.
- Nasaruddin, Afiqah Ngah, Teruaki Ito, and Tee Boon Tuan. 2018. "Digital Twin Approach to Building Information Management." *The Proceedings of Manufacturing Systems Division Conference 2018*: 304.
- Opara, Eddie, and John Cantwell. 2015. "Color Works." *Current Psychiatry Reports* 8(June): 1–194.
https://pure.royalholloway.ac.uk/portal/files/25394667/Bulleemor_Day_Philippa_Emotion_regulation_attention_and_mindfulness_in_adolescents_with_social_emotional_and_behavioural_difficulties.pdf.

- Peppers, Ken, Tuure Tuunanen, Marcus A. Rothenberger, and Samir Chatterjee. 2007. "A Design Science Research Methodology for Information Systems Research." *Journal of Management Information Systems* 24(3): 45–77.
- Pramanik, Pijush Kanti Dutta et al. 2019. *Green Smart Building*.
- Pratt, Michael J. 2004. "Extension of ISO 10303, the STEP Standard, for the Exchange of Procedural Shape Models." *Proceedings - Shape Modeling International SMI 2004* 2004: 317–26.
- Reichenstein, Oliver. 2006. "Web Design Is 95% Typography: How to Use Type on the Web." <https://ia.net/topics/the-web-is-all-about-typography-period> (December 26, 2021).
- Rosen, Roland, Georg Von Wichert, George Lo, and Kurt D. Bettenhausen. 2015. "About the Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing." *IFAC-PapersOnLine* 28(3): 567–72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>.
- Schrepp, Dr. Martin. 2014. "User Experience Questionnaire Handbook." *Procedia Computer Science* 27: 491–98.
- Shneiderman, Ben, and Catherine Plaisant. 1999. 1 Cjem *DESIGNING THE USER INTERFACE*.
- Sphere. 2021. "Italian Pilot Tools Demo Presentation - Sphere." <https://sphere-project.eu/italian-pilot-tools-demo-presentation/> (January 24, 2022).
- Stickdorn, Marc, and Jakob Schneider. 2011. *This Is Service Design Thinking*.
- Techopedia. 2021. "Smart City." <https://www.techopedia.com/definition/31494/smart-city> (January 13, 2022).
- Ubiwhere. 2022. "Urban Platform." <https://urbanplatform.city/> (January 14, 2022).
- Yalcinkaya, Mehmet, and Vishal Singh. 2016. "Evaluating the Usability Aspects of Construction Operation Building Information Exchange (COBie) Standard." *CIB World Building Congress* (June): 1–11. <https://www.researchgate.net/publication/303811016>.

