



Bruno Nunes
**Sistema de Realidade Aumentada
para Apoio à Manutenção**

UMinho | 2022

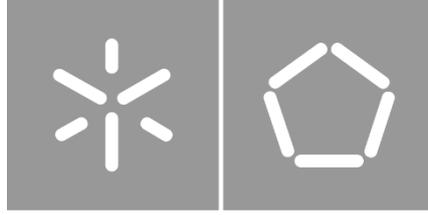


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Bruno Daniel Ribeiro Nunes

**Sistema de Realidade Aumentada para
Apoio à Manutenção**

janeiro de 2022



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Bruno Daniel Ribeiro Nunes

**Sistema de Realidade Aumentada para
Apoio à Manutenção**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão de Sistemas de
Informação

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Luís Gonzaga Mendes Magalhães

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgal
CC BY-NC-SA

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Doutor Luís Gonzaga Mendes Magalhães, quero deixar um agradecimento muito especial por todo o apoio e disponibilidade para a realização deste projeto.

À minha família, que me acompanharam desde sempre num percurso desafiante, celebrando comigo os sucessos e apoiando-me em momentos mais difíceis.

À Ana pelo apoio e carinho e por me ter conseguido aturar, principalmente nestes últimos tempos.

Este trabalho resulta do projeto POCI-01-0247-FEDER-040130 (TSIM), apoiado pelo Programa Operacional para a Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020), no âmbito do Acordo de Parceria PORTUGAL 2020, através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Sistema de realidade aumentada para apoio à manutenção

A tecnologia de realidade aumentada (RA) tem sofrido uma tendência positiva nesta última década, não só nas aplicações desenvolvidas, mas, também, como área de investigação. Só nestes últimos anos passou de dois mil artigos publicados para três mil e quinhentos por ano e com isto vêm, também, novas técnicas e aplicações. Esta dissertação tem como objetivo demonstrar o estado da arte atual da RA na manutenção e identificar soluções disponíveis no mercado, bem como, a criação de um sistema de realidade aumentada para apoio à manutenção. Para isso foi proposta uma abordagem que se dividiu em seis atividades. Primeiro, foi realizada uma introdução à RA, onde foram apresentadas as categorias de *hardware*, como HMD, HHD, computadores, entre outros e foram identificadas as técnicas de rastreamento atualmente utilizadas, podendo estas ser *vision-based* ou *sensor-based*. De seguida, foi apresentado um fluxo de informação típico da área da RA aplicada à manutenção e que tipo de operações estão associadas a este setor (montagem, reparação e diagnóstico), juntamente com o tipo de suporte associado a cada tarefa. Posteriormente, foram identificados três tipos de níveis de inteligência nas técnicas de realidade aumentada, sendo estas o *authoring*, *context-awareness* e *interaction-analysis*, introduzindo assim, os tutores inteligentes e exemplos das suas utilizações perante cada nível de inteligência. Foi, também, realizada uma análise das soluções existentes no mercado, onde foram identificados equipamentos, *SDKs* e soluções comerciais. Foi feita a especificação da solução, onde foram descritas as funcionalidades sobre a forma de requisitos e diagramas de casos de uso, foi, ainda, definido um *layout* e elaborados os protótipos não funcionais. Após a definição da especificação, foi detalhada a arquitetura descentralizada do sistema, a explicação da divisão entre os dois tipos de armazenamento de dados, *MySQL* e sistema de ficheiros, e por fim, foram descritas as funcionalidades de ambas as aplicações desenvolvidas, a de *backoffice*, para a criação da informação e a de orientação, para a realização da manutenção.

Palavras-Chave: Manutenção, Protótipo, Realidade Aumentada, Soluções Comerciais, Tutores Inteligentes;

ABSTRACT

Augmented reality system for maintenance support

Augmented reality (AR) technology has undergone a positive trend in the last decade, not only in the developed applications, but also, as a research area. In the last few years alone, it has gone from two thousand published articles to three and a half thousand a year and, with this, new techniques and applications also came. This dissertation aims to demonstrate the current state of the art of AR in maintenance and to identify solutions available on the market, as well as the creation of an augmented reality system to support maintenance. For this, an approach was proposed that was divided into six activities. First, an introduction to AR was carried out, in which the categories of hardware, such as HMD, HHD, computers, among others, were presented and the tracking techniques currently used were identified, which could be vision-based or sensor-based. Then, a normal flow of information in AR to support maintenance and type of operations that are associated with this sector (assembly, repair, and diagnosis) were presented, together with the type of support associated with each task. Subsequently, three types of intelligence levels were identified in augmented reality techniques, these being authoring, context-awareness and interaction-analysis, thus introducing intelligent tutors and examples of their uses in each level of intelligence. An analysis of existing solutions on the market was also carried out, where equipment, SDKs and commercial solutions were identified. The solution specification was made, where functionalities were described in the form of requirements and use case diagrams, a layout was also defined, and non-functional prototypes were elaborated. After defining the specification, the decentralized architecture of the system was detailed, the division between the two types of data storage, MySQL and file system was explained, and finally, the functionalities of both developed applications were described, the backoffice app, for the creation of information and the guidance app, for carrying out maintenances.

Keywords: Augmented Reality, Commercial Solutions, Intelligent Tutors, Maintenance, Prototype;

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO	1
1.2.	OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS	2
1.3.	ABORDAGEM METODOLÓGICA	2
1.4.	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	3
2.	ESTADO DA ARTE	5
2.1.	PROCESSO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.2.	INTRODUÇÃO À REALIDADE AUMENTADA	5
2.2.1.	DISPOSITIVOS DE REALIDADE AUMENTADA	5
2.2.2.	TÉCNICAS DE TRACKING	7
2.3.	REALIDADE AUMENTADA NA MANUTENÇÃO	8
2.3.1.	FLUXO DE INFORMAÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA NA MANUTENÇÃO	9
2.3.2.	ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO	9
2.4.	NÍVEIS DE INTELIGÊNCIA DAS TÉCNICAS DE REALIDADE AUMENTADA	13
2.5.	TUTORES INTELIGENTES	14
2.5.1.	UTILIZAÇÃO DO CONTEXTO	15
2.5.2.	MONITORIZAÇÃO DE ATIVIDADES	15
2.6.	SOLUÇÕES EXISTENTES	16
3.	ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO	19
3.1.	REQUISITOS DO SISTEMA	19
3.2.	DIAGRAMAS DE CASOS DE USO	33
3.3.	DEFINIÇÃO DO LAYOUT	39
3.4.	PROTÓTIPOS NÃO FUNCIONAIS	41
4.	IMPLEMENTAÇÃO	46
4.1.	ARQUITETURA DA SOLUÇÃO	47
4.2.	SISTEMA DE FICHEIROS E MODELO DE DADOS	49
4.3.	PROTÓTIPO INICIAL	53
4.3.1.	APLICAÇÃO DE BACKOFFICE	53
4.3.2.	APLICAÇÃO DE ORIENTAÇÃO	57
5.	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	59
6.	BIBLIOGRAFIA	62

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D – Duas dimensões ou bidimensional

3D – Três dimensões ou tridimensional

A – Authoring

API – Application Programming Interface

AR – Augmented Reality

CA – Context-Awareness

CAD – Computer Aided Design

DSRM – Design Science Research Methodology

GUID – Globally Unique Identifier

HCI – Human Computer Interaction

HHD – Handheld Display

HMD – Head Mounted Display

IA – Interaction-Analysis

OST – Optical see-through

RA – Realidade Aumentada

SAR – Spatial Augmented Reality

SDK – Software Development Kit

SLAM – Simultaneous Localisation and Mapping

UI – User Interface

UML – Unified Modeling Language

UX – User Experience

VST – Video see-through

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Percentagem de Hardware mencionado. Retirado de (Palmarini et al., 2018).....	6
Figura 2 - Diferenças entre VST e OST. Retirado de (Reinhart & Patron, 2003).....	6
Figura 3 - Técnicas de rastreamento. Retirado de (Palmarini et al., 2018).....	8
Figura 4 - Ambiente de AR simplificado. Retirado de (Fraga-Lamas et al., 2018)	9
Figura 5 - Número de artigos classificados por operação e tipo de suporte. Retirado de (Fernández del Amo et al., 2018).	9
Figura 6 - Operação de montagem com instruções passo-a-passo, elementos gráficos de RA e animações.....	11
Figura 7 - Operação de montagem com instruções através de modelos estáticos.....	11
Figura 8 - Operação de reparação com acesso a instruções passo-a-passo, a imagens, descrições e localização do equipamento defeituoso através de um modelo virtual.	12
Figura 9 - Operação diagnóstica do equipamento, através de marcadores, com acesso às temperaturas dos vários componentes	12
Figura 10 - HMD Hololens com a funcionalidade de assistência remota da Microsoft Dynamics 365. .	14
Figura 11 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Designer.....	34
Figura 12 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Designer (Caso de Uso - Gerir Máquina).....	34
Figura 13 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Designer (Caso de Uso – Gerir Manutenção).	35
Figura 14 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Designer (Caso de Uso – Gerir Elemento da Máquina).....	36
Figura 15 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Designer (Caso de Uso – Gerir Tarefa).	36
Figura 16 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Técnico.	37
Figura 17 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Técnico (Caso de Uso – Manusear Conteúdo).	38
Figura 18 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Técnico (Caso de Uso – Navegar na Operação de Manutenção).	39
Figura 19 - Paleta de cores	40
Figura 20 - Ícones utilizados no sistema.....	40
Figura 21 - Estilos e tipos de letra	41
Figura 22 - Protótipo da plataforma do designer.	42
Figura 23 - Protótipo da plataforma do designer (Inspetor temporário das máquinas).....	43
Figura 24 - Protótipo da plataforma do designer (Inspetor temporário dos passos).	43
Figura 25 - Protótipo da plataforma do designer (Inspetor temporário dos elementos das máquinas, manutenções e das tarefas).....	44
Figura 26 - Protótipo da plataforma do técnico (Leitor do código QR da máquina).	44
Figura 27 - Protótipo da plataforma do técnico (Seleção da manutenção).	45
Figura 28 - Protótipo da plataforma do técnico (Lista das tarefas da manutenção).	45
Figura 29 - Protótipo da plataforma do técnico (Operação de manutenção).....	46
Figura 30 - Vista geral da arquitetura	47
Figura 31 - Vista geral da arquitetura (lado do cliente).	48
Figura 32 - Vista geral da arquitetura (lado do fornecedor).....	48
Figura 33 - Arquitetura de comunicação.....	49

Figura 34 - Estrutura do Sistema de ficheiros.	51
Figura 35 - Modelo de dados da base de dados operacional.	52
Figura 36 - Interface do da aplicação de backoffice.	54
Figura 37 - Representação do dropdown das máquinas.	54
Figura 38 - Representação do dropdown dos elementos da máquina.	55
Figura 39 - Estrutura da informação da coleção compilada.	56
Figura 40 - Estrutura da informação da máquina compilada.	56
Figura 41 - Início de uma tarefa de manutenção.	57
Figura 42 - Apresentação de conteúdo do lado esquerdo do técnico.	58
Figura 43 - Navegação na operação de manutenção.	58
Figura 44 - Rotação de modelo 3D durante uma operação de manutenção.	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Equipamento disponível no mercado.....	16
Tabela 2 - SDKs disponíveis no mercado.....	17
Tabela 3 - Soluções existentes com o respetivo equipamento e plataformas suportadas.....	18
Tabela 4 - Link para soluções existentes.....	19
Tabela 5 - Requisitos não funcionais	21
Tabela 6 - Requisitos funcionais.....	27

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo inicia com a apresentação de um enquadramento e as motivações deste projeto de dissertação, juntamente com os objetivos e resultados esperados, de seguida é apresentada a abordagem metodológica que será utilizada no estado da arte e no desenvolvimento da dissertação. Após isto, é dada a organização do documento, e por fim, é realizada uma revisão de literatura sobre a realidade aumentada na área da manutenção e é descrito o processo de desenvolvimento de uma aplicação deste carácter.

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que permite sobreposição de imagens virtuais sobre o mundo real em tempo real (R. T. Azuma, 1997; Zhou et al., 2008). Apesar da tecnologia existente permitir a criação de um sistema de realidade aumentada para apoio à manutenção, as suas limitações, também são evidentes, como por exemplo, o hardware utilizado e a sensação de náuseas enquanto a sua utilização que ocorre em alguns utilizadores, os problemas de latência existentes nas aplicações desenvolvidas, etc. No entanto, a investigação e a criação de produtos deste tipo fazem com que surjam cada vez mais e melhores técnicas de realidade aumentada e soluções associadas a este tipo de tecnologia.

Atualmente, a informação sobre as operações de manutenção é guardada sob a forma de manuais de instrução em formato físico. Este formato revela muitas desvantagens, visto que na maioria das tarefas de manutenção, o operador necessita, não só, das suas mãos livres, como, também, da informação num lugar de fácil acesso. A existência deste formato em papel faz com que a consulta de informação e a sua aplicabilidade sejam ineficientes e ineficazes, pois a indústria requer, cada vez mais, as linhas de produção limpas e com o mínimo indispensável. A utilização de realidade aumentada (RA) possibilitará ultrapassar estas desvantagens colocadas pelo formato físico dos manuais de instruções, bem como possibilita a redução de erros humanos cometidos pelos operadores, visto que estes irão operar os equipamentos com auxílio do sistema, tornando-se mais simples e interativo.

1.2. OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS

Na dissertação foi desenvolvido um protótipo de um assistente à manutenção, utilizando técnicas de RA, de modo a aumentar a eficiência e eficácia das operações de manutenção realizadas pelos operadores, onde se pretendeu explorar todas as áreas da manutenção, fazendo referência a tutores inteligentes (algoritmos capazes de reconhecer o ponto onde o utilizador se encontra e que passos seguir para a realização de uma tarefa de manutenção), assistência remota, monitorização de atividades e soluções existentes no mercado.

Os principais objetivos definidos para a aplicação de assistência à manutenção desenvolvida foram:

- Com recurso a técnicas de realidade aumentada, criar novos métodos para a visualização da informação, com a finalidade de facilitar a sua consulta e atualização;
- A criação de manuais interativos para auxílio às tarefas efetuadas pelos operadores;
- O desenvolvimento de um sistema de auxílio à manutenção, explorando funcionalidades inteligentes de identificação de problemas existentes, apresentação de instruções para a resolução dos mesmos e a monitorização dos operadores na execução das tarefas de manutenção.

Como resultados esperados, ambiciona-se que no final do projeto sejam entregues os seguintes componentes:

- Protótipo do sistema;
- Documentação técnica.

1.3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

A metodologia encontra-se dividida em seis atividades, que podem ser traduzidas nas seguintes tarefas planeadas para o desenvolvimento do projeto:

- **Plano de Trabalho** – Elaborar um documento com o enquadramento e motivação, bem como os objetivos e resultados esperados, abordagem metodológica e calendarização das tarefas;

- **Estudo do Estado da Arte e Especificação da Aplicação** – Selecionar e analisar literatura atualmente existente sobre o tema de dissertação e, de seguida, especificar as funcionalidades da aplicação a implementar.
- **Construção da Base de Dados** – Desenhar e construir uma base de dados para suportar as funcionalidades do sistema.
- **Construção de um Protótipo e Respetivos Testes** – Elaborar um protótipo de um assistente de manutenção utilizando técnicas de realidade aumentada e realizar testes de funcionamento, de modo a verificar o seu estado, durante a sua conceção.
- **Escrita da Dissertação/Publicação de Artigos** – Escrever o documento da dissertação/publicar artigos, de modo a divulgar os resultados obtidos.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este documento é composto por cinco capítulos.

No primeiro capítulo, referente à introdução, é realizado um breve enquadramento e motivação para a escrita da dissertação, seguido dos objetivos e resultados esperados, abordagem metodológica e a própria organização do documento.

No segundo capítulo, referente ao estado da arte, é descrito o processo de revisão bibliográfica, é dada uma introdução à realidade aumentada, juntamente com os dispositivos e técnicas de *tracking* que são utilizadas com esta tecnologia, é feita, também, uma breve introdução da realidade aumentada na manutenção, explicando o fluxo de informação nela existente e os tipos de atividades existentes. É dado a conhecer os diferentes níveis de inteligências das técnicas de realidade aumentada, seguida de uma introdução a tutores inteligentes, onde existe a utilização do contexto e a monitorização de atividades. Por fim, são dadas a conhecer as várias soluções existentes na área da realidade aumentada para apoio à manutenção.

No terceiro capítulo, referente à especificação da solução a desenvolver, são detalhados os requisitos do sistema, diagramas de casos de uso, a definição do layout das aplicações e a elaboração de protótipos não funcionais das mesmas.

No quarto capítulo, referente à implementação da solução, é descrita a arquitetura implementada, o sistema de ficheiros e o modelo de dados construídos e a descrição do protótipo inicial desenvolvido, para a aplicação de backoffice e a aplicação de orientação.

Para finalizar, o quinto capítulo, referente às conclusões retiradas na escrita do documento e no desenvolvimento da solução e a sugestão de trabalho futuro.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. PROCESSO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No processo de pesquisa de artigos, foram impostos os limites de (1) ser uma revisão de literatura e (2) dos últimos cinco anos. Foi utilizado principalmente o “Scopus” e ocasionalmente o “Google”. Relativamente aos termos de pesquisa foi utilizada a *query* (TITLE-ABS-KEY ("Augmented Reality") AND TITLE-ABS-KEY (maintenance) OR TITLE-ABS-KEY (assembly)) AND DOCTYPE (re) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2021. Com base nos resultados obtidos, foram selecionados os documentos com base no título e *abstract* para posteriormente serem analisados. Por fim, foi realizado um *backward tracking* para complementar a pesquisa inicial.

2.2. INTRODUÇÃO À REALIDADE AUMENTADA

A definição de realidade aumentada tem evoluído ao longo dos anos, como também, as suas técnicas, aplicações, *hardware* e *software*. Um sistema de RA tem de ser capaz de combinar objetos reais e virtuais num ambiente real, tem de ser interativo, correr em *real-time* e alinhar os objetos reais e virtuais entre si (R. Azuma et al., 2001). Este grande crescimento e atenção nesta área é devido à introdução dos *smartphones*, e constante investigação por parte de grandes organizações, como a *Google*, *IBM*, *HP*, etc e universidades. Esta tecnologia tem sido aplicada com sucesso em várias áreas, incluindo na área da manutenção (S. Henderson & Feiner, 2011).

2.2.1. DISPOSITIVOS DE REALIDADE AUMENTADA

Aplicações de RA requerem ambos *hardware* e *software*, para serem desenvolvidas e aplicadas com sucesso. No que toca a *hardware*, este pode ser dividido em 6 categorias, segundo um estudo que envolveu a análise de trinta artigos (Palmarini et al., 2018):

- Head Mounted Display (HMD), como o *google glass* ou *hololens*;
- Hand Held Display (HHD), como iPad ou qualquer outro dispositivo móvel;
- Computador
- Projetor
- Háptico

- Sensores

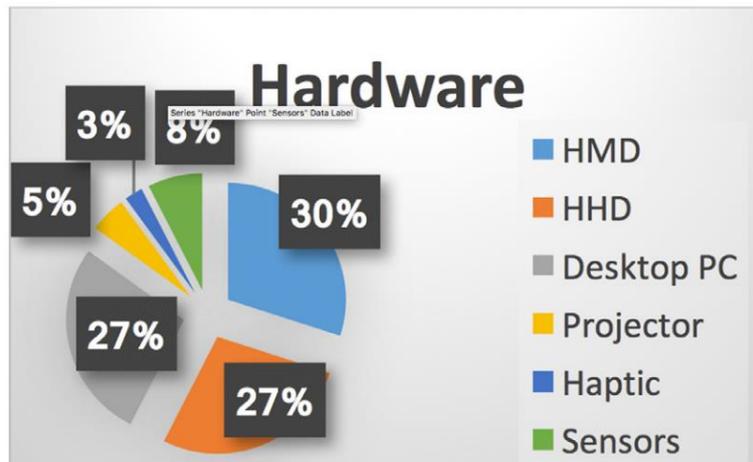


Figura 1 - Percentagem de Hardware mencionado. Retirado de (Palmarini et al., 2018).

Os primeiros e os mais mencionados, HMDs, podem ser embutidos com câmaras e sensores para facilitar a captura e exibição de imagens usando o movimento da cabeça. Estes podem, ainda, ser divididos em dois tipos: optical see-through (OST) ou video see-through (VST) (Nee et al., 2012; Reinhart & Patron, 2003; Zhou et al., 2008b). A tecnologia dos primeiros é baseada em lentes transparentes que permitem ao utilizador ver através delas enquanto refletem imagens geradas pelo computador (Kress & Starner, 2013; Reinhart & Patron, 2003). O segundo tipo, VST, captura o mundo real, sobrepõe a informação gerada pelo computador e mostra o “novo mundo” através de um *display* (Reinhart & Patron, 2003).

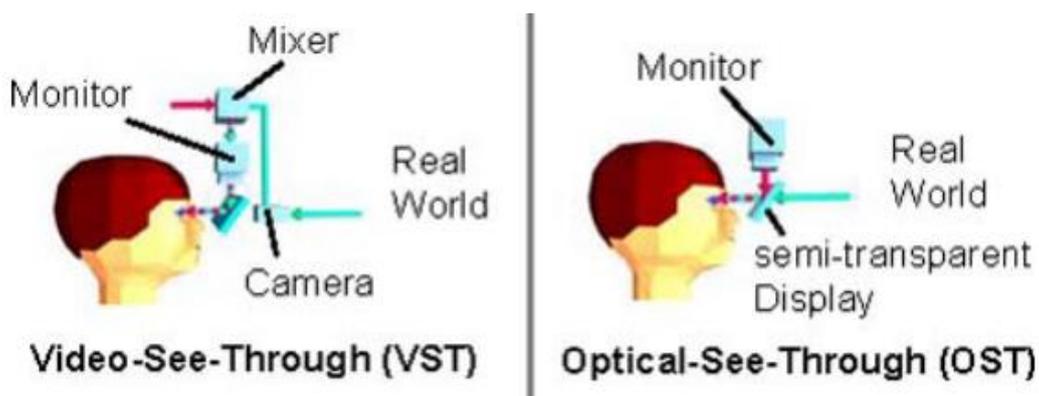


Figura 2 - Diferenças entre VST e OST. Retirado de (Reinhart & Patron, 2003).

Cada um destes tipos tem as suas vantagens e desvantagens, não havendo, ainda, um consenso relativamente a qual das tecnologias é superior (Rolland & Fuchs, 2000). Uma das principais vantagens

desta categoria, em relação às outras, é a portabilidade e a possibilidade que estes possuem em ter a informação gerada pelo computador sobreposta no mundo real à frente dos seus olhos (Kress & Starner, 2013; Reinhart & Patron, 2003).

A segunda categoria, HHDs, é composta, maioritariamente, por *smartphones* e *tablets*. Os seus custos, capacidades e portabilidade faz com que estes sejam plataformas promissoras em RA (Carmigniani et al., 2011). No entanto, a dimensão dos seus ecrãs e a necessidade de serem segurados com a mão faz com que estes não sejam a melhor escolha para trabalhos na manutenção (S. J. Henderson & Feiner, 2007).

Os computadores são bastante utilizados, mas por diferentes razões, para desenvolver protótipos, trabalhos de manutenção estáticos e outros, que não são do lado do operador, como, por exemplo, assistência remota, do lado do técnico (Palmarini et al., 2018).

Os projetores podem ser utilizados sem a necessidade de utilizar um HMD. Este tipo de configuração é chamado de *spatial augmented reality* (SAR) e pode ser dividido em dois grupos, dependendo do tipo de instalação, fixo ou portátil (Nee et al., 2012). No entanto são pouco utilizados na área da manutenção, como podemos ver na Figura 1.

As últimas duas categorias têm a função de recolha de informação pela parte do operador. Por exemplo, onde ele está situado, que movimentos está a fazer, etc.

2.2.2. TÉCNICAS DE TRACKING

Para além do equipamento necessário para ver a junção do real com o virtual, precisamos, também, de algo que nos indique o que vamos ver e onde o vamos ver. É crucial efetuar um rastreamento preciso, que indique a localização do utilizador e os seus movimentos (Ong et al., 2008).

Estas técnicas podem ser *visual-based* ou *sensor-based* e quando ambas são utilizadas é designado como *hybrid-tracking*. As primeiras podem ser divididas em duas categorias: *a priori* ou *ad-hoc* e podem ser utilizadas em conjunto, em que a informação pode ser despoletada utilizando o método *à priori* e, de seguida, criada utilizando o método *ad-hoc* (Siltanen, 2012).

As técnicas *visual-based* são mais frequentemente utilizadas em relação às *sensor-based*, pelo que são mais investigadas. Estas podem ser divididas em três tipos:

- Model-based
- Feature-based

- Marker-based

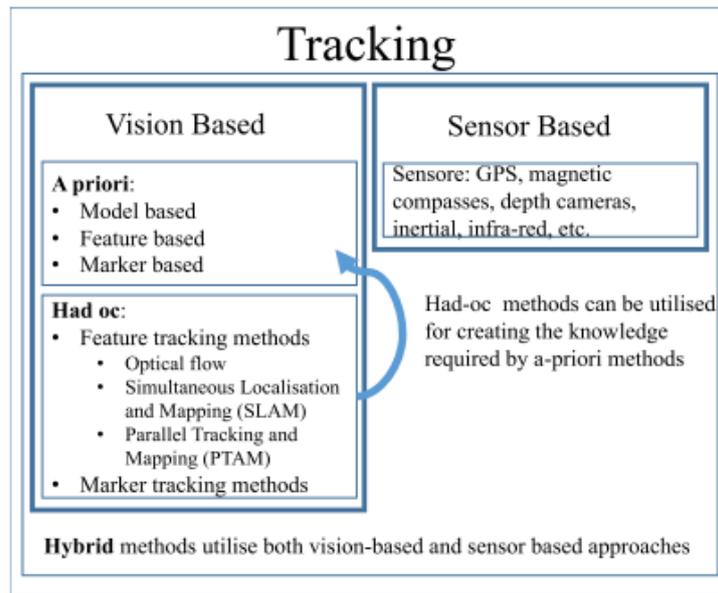


Figura 3 - Técnicas de rastreamento. Retirado de (Palmarini et al., 2018)

As mais utilizadas das três são as *marker-based* (Wang et al., 2016a), pois são consideradas mais robustas e precisas, no entanto dependem da visibilidade do marcador. Num ambiente industrial este pode não estar sempre visível ou nas condições necessárias (limpos ou não danificados), por isso não é considerado o tipo adequado para estes ambientes (Fiorentino et al., 2014; Zhu et al., 2014).

No entanto, podemos substituir estas técnicas por *markerless tracking*. Devido à técnica *ad-hoc*, SLAM, podemos criar um mapa num ambiente não preparado e ao mesmo tempo, saber a localização do utilizador, baseando-nos nas características da cena extraída (Tan et al., 2013). Porém, esta técnica não considera a atualização das estruturas 3D, ou seja, a área de trabalho teria de ser estacionária, caso não o fosse teria de se reconstruir o modelo 3D do início em cada *frame* (Wang et al., 2016a).

2.3. REALIDADE AUMENTADA NA MANUTENÇÃO

A manutenção é uma das áreas na qual RA tem sido implementada com sucesso (S. Henderson & Feiner, 2011). Esta é uma parte fundamental das organizações, contribuindo para o seu bom funcionamento. Devido à grande quantidade de produtos e à sua cada vez maior complexidade, o conhecimento necessário para efetuar os processos de manutenção é cada vez maior e mais intensivo (Fernández del Amo et al., 2018). Por isso, a apresentação da informação certa no tempo certo para a

pessoa correta é crucial para o aumento da eficiência nas operações de manutenção (Lee et al., 2008; Parida & Kumar, 2004).

2.3.1. FLUXO DE INFORMAÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA NA MANUTENÇÃO

Na Figura 4 podemos ver o fluxo de informação e tipo de *hardware* utilizado num ambiente de manutenção.

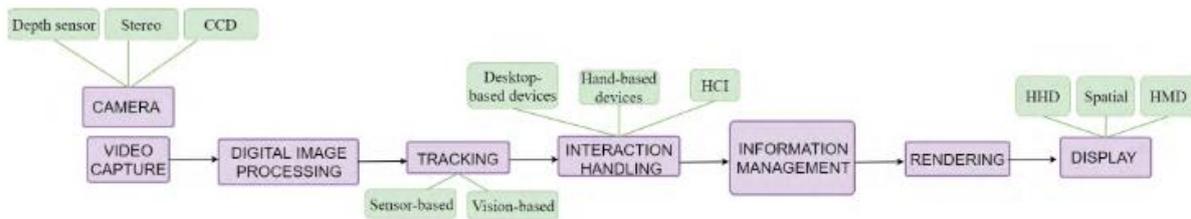


Figura 4 - Ambiente de AR simplificado. Retirado de (Fraga-Lamas et al., 2018)

Sumarizando a figura, a informação é capturada através de uma câmara, a imagem/vídeo obtido é analisado e processado (através de algoritmos). Depois é feito o rastreamento tanto do utilizador como do modelo/marcador (dependendo da técnica que esteja a utilizar) e são registadas as interações feitas com o mundo virtual. Por fim, é processada essa informação e apresentada através de um *display* ao utilizador. É de notar que este é um processo cíclico, pois é necessário fazer a atualização constante das interações do utilizador e apresentação de informação.

2.3.2. ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

Num estudo realizado por (Fernández del Amo et al., 2018), foram identificados setenta e quatro artigos relevantes para a área de RA na manutenção. Neste estudo foram classificados seis tipos de operações, no entanto apenas se irá mencionar as três mais discutidas, visto que serão as mais relevantes para o âmbito do projeto.

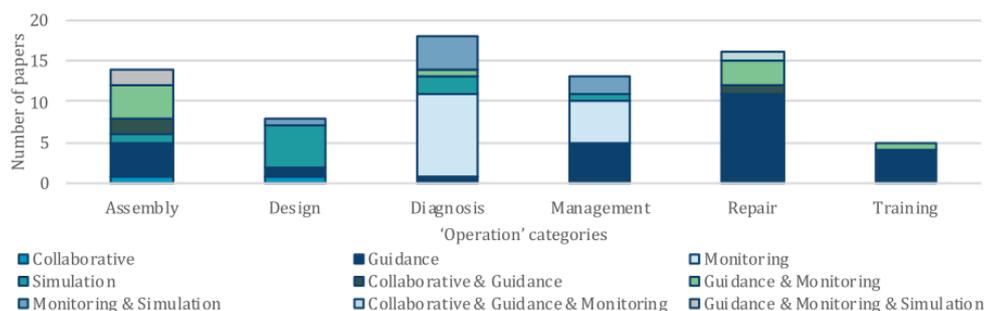


Figura 5 - Número de artigos classificados por operação e tipo de suporte. Retirado de (Fernández del Amo et al., 2018).

Na Figura 5 é possível identificar que para cada operação de manutenção existe uma tendência para um tipo de suporte específico. Nomeadamente, para a operação de montagem o tipo de suporte mais discutido foi a orientação, monitorização e simulação. Para a reparação foi a colaboração, orientação e monitorização. Por fim, para a manutenção diagnóstica foi a monitorização e simulação.

Monitorização e orientação são facilmente identificados/fáceis de perceber o que significam no contexto aplicado. Porém, colaboração e simulação poderão ser um pouco mais difíceis de compreender. Por colaboração entende-se que é algo relacionado com interoperabilidade do sistema, de maneira a facilitar a colaboração entre um especialista e um operário. Por simulação quer-se dizer que é algo relacionado com a simulação de processos reais através de modelos e/ou animações.

A operação de manutenção tem como principal objetivo melhorar o desempenho da organização garantido sempre o bom funcionamento desta. No entanto, esta operação tem várias ramificações, pode ser para consertar algum equipamento, verificar o estado da linha de produção, etc. Devido à complexidade da categorização da operação de manutenção esta foi dividida em três atividades:

- Montagem
- Reparação
- Diagnóstico

A montagem é, neste momento, o setor mais popular no que toca a sistemas construídos e investigação na área de RA.

O processo de montagem nem sempre é direto/simples e pode ser aplicado em qualquer tipo de equipamento. Para desenvolver um sistema deste tipo é necessário fazer um esforço para recolher todos os requisitos para cada tipo de operação de montagem para poder desenvolver a melhor solução de RA possível.

A visualização de informação deve ser dinâmica e animada, de maneira a oferecer um melhor suporte ao técnico que irá realizar esta operação. Alguns exemplos de funcionalidades e formas de apresentação desta informação podem ser vistos na Figura 6 e Figura 7.



Figura 6 - Operação de montagem com instruções passo-a-passo, elementos gráficos de RA e animações.

Na Figura 6 é possível identificar com mais clareza o passo da montagem, como também, que ferramenta utilizar e onde a utilizar, tornando assim, o processo muito mais simples.

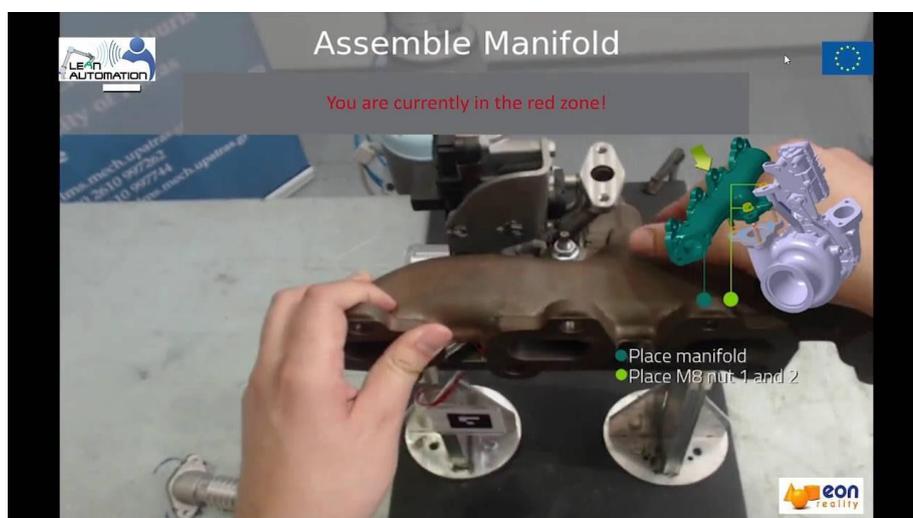


Figura 7 - Operação de montagem com instruções através de modelos estáticos.

A Figura 7 mostra uma aplicação simples de RA, onde indica o modelo 3D do equipamento no qual se está a efetuar a tarefa de montagem, com algumas descrições do que fazer.



Figura 8 - Operação de reparação com acesso a instruções passo-a-passo, a imagens, descrições e localização do equipamento defeituoso através de um modelo virtual.

As qualidades de um sistema de reparação não são muito diferentes de um sistema de montagem, pois esta, maioritariamente, envolve a mudança de componentes defeituosos, de modo a garantir o bom funcionamento do equipamento. Esta deve focar-se mais em imagens, “*dos and don'ts*”, para garantir que a componente reparada é a correta e que está bem instalada. O mesmo se aplica no processo de montagem.



Figura 9 - Operação diagnóstica do equipamento, através de marcadores, com acesso às temperaturas dos vários componentes

O diagnóstico já é uma atividade com o intuito diferente das outras, o objetivo desta operação é avaliar o estado atual do equipamento e analisar a causalidade da deterioração e degradação funcional. Atualmente, os equipamentos mais complexos já possuem ferramentas capazes de diagnosticar o estado da mesma e apresentam essa informação num computador. A realidade aumentada poderia melhorar este processo, mostrando os resultados do diagnóstico sobre o equipamento em questão, como é possível verificar na Figura 9.

2.4. NÍVEIS DE INTELIGÊNCIA DAS TÉCNICAS DE REALIDADE AUMENTADA

No ponto anterior foram identificadas as várias atividades existentes na manutenção e que tipo de suporte será mais relevante para cada uma delas. Agora será investigado que tipo técnicas existem para realizar este tipo de tarefas e o que é cada uma delas. Segundo (Fernández del Amo et al., 2018) Existem três tipos de técnicas importantes:

- *Authoring* (A)
- *Context-Awareness* (CA)
- *Interaction-Analysis* (IA)

O primeiro, *Authoring*, é um conjunto de métodos/técnicas para criar conteúdo “aumentado” utilizado pelo sistema de RA. O segundo, *Context-Awareness*, é o conjunto de métodos/técnicas para caracterizar o conteúdo “aumentado”, dependendo da tarefa que está a ser realizada. Por fim, *Interaction-Analysis*, é o conjunto de métodos/técnicas para analisar a interação entre o utilizador e o conteúdo “aumentado”, de modo a proporcionar *feedback* necessário para o operador conseguir terminar a tarefa (Zhu et al., 2015).

Estes são importantes na área da manutenção, visto que possibilitam às atividades de deste setor, uma forma de visualizar a informação apropriada, de modo a aumentar a eficiência, adaptam a informação apresentada ao operador, de forma a aumentar a sua eficácia e recebem o *feedback* proveniente deste e analisam o seu desempenho, com o objetivo de melhorar todo este processo (Fernández del Amo et al., 2018).

Estas aplicações de RA são capazes de capturar o conhecimento relacionado ao “*know-how*” de uma operação de manutenção, através das técnicas de CA é possível fornecer um suporte mais eficaz com base no operador e no estado da tarefa. Através de métodos de IA é possível recolher feedback da situação na qual o operador se encontra sobre determinada tarefa, avaliá-la e transferir de volta esse conhecimento.

Com o intuito de suportar estas técnicas, soluções como a assistência remota, como por exemplo, o *Microsoft Dynamics 365*, permitem a troca de conhecimento através de comunicação por áudio e vídeo, tornando a tarefa de reparação mais eficaz, visto que o operário pode partilhar o seu campo de visão em tempo real e o especialista pode aconselhar o mesmo à medida que este vai efetuando a reparação.



Figura 10 - HMD Hololens com a funcionalidade de assistência remota da Microsoft Dynamics 365.

2.5. TUTORES INTELIGENTES

Um sistema de tutor inteligente é uma funcionalidade que é capaz de fornecer ao utilizador instruções diretas personalizadas, sem a intervenção humana, enquanto desempenha uma tarefa. Por outras palavras, à medida que se vai executando uma tarefa o sistema reconhece o que está a ser feito e oferecer informação personalizada para aquele utilizador em real-time.

2.5.1. UTILIZAÇÃO DO CONTEXTO

Tutores inteligentes utilizam, de certa forma técnicas de CA, visto que por contexto entende-se que é qualquer tipo de informação que pode ser utilizada para descrever a situação de uma entidade (esta pode ser um operário, local, objeto...), ou seja, o contexto é uma das partes inteligentes dos tutores.

Este tipo de técnica pode ser categorizado em dois tipos, contextos e regras. As regras determinam como irá ser considerado o contexto, estas podem ser *ad-hoc*, ou algorítmicas (*hard-coded* na aplicação) ou baseadas no conhecimento da tarefa. Os contextos são os dados relevantes para a modificação da informação a ser apresentada, pode ser único, quando é considerado apenas uma variável, ou múltiplo, quando são duas ou mais (Fernández del Amo et al., 2018).

No estudo feito por Fernández del Amo et al, em ambas as atividades de montagem e reparação são utilizadas técnicas de contexto único e algorítmicas e de contexto múltiplo e baseadas em conhecimento. No entanto, para a atividade diagnóstica é apenas utilizado o contexto único e algorítmico. Este último é o método mais simples, visto que apenas utiliza uma variável através de um algoritmo feito para a aplicação específica, devido a isto também sofre de problemas de adaptabilidade, uma vez que é feito para um caso em específico. No entanto, as técnicas baseadas em conhecimento não sofrem deste problema, visto que não é necessário analisar as variáveis relevantes, porque as representações de conhecimento já as consideram, no entanto é mais difícil oferecer um contexto tão preciso como os métodos algorítmicos (Ceruti et al., 2017; Espíndola et al., 2013; Makris et al., 2013; Wang et al., 2016b; Zhu et al., 2015).

2.5.2. MONITORIZAÇÃO DE ATIVIDADES

A monitorização de atividades tem como objetivo melhorar o acompanhamento do processo de manutenção, de modo a otimizar recursos e a melhorar a sua eficácia e eficiência. Esta monitorização é feita automaticamente e está ligado ao nível de inteligência de técnicas previamente discutida de *interaction analysis*.

Muitos dos sistemas desenvolvidos incorporam a funcionalidade de avançar os passos das instruções através de comandos de voz, no entanto, isto nem sempre é possível fazer, visto que num ambiente industrial pode existir muito ruído e o sistema pode não ser capaz de reconhecer a voz do técnico. Uma outra solução seria, manualmente, passar para o passo seguinte, porém, a realização este tipo de atividade faz com que o técnico tenha de focar noutra tipo de interação para além da operação de manutenção que está a realizar, o que resultaria numa diminuição da eficiência deste. No entanto,

com a possibilidade de incorporar a funcionalidade de tutores inteligentes, recolhendo a informação da posição do técnico e do ambiente que o rodeia, o sistema seria capaz de identificar o estado da tarefa e, conseqüentemente, saber quando passar para o próximo passo.

Quanto maior a autonomia destes sistemas menor vai ser a sua adaptabilidade, porém irá melhorar a eficiência do processo de transmissão de informação. Este tipo de sistema pode ser dividido em duas categorias, captura de informação e a sua análise. Cada um destes pontos poder ser automático ou manual. No entanto, se ambas forem manuais, estas técnicas não fazem, verdadeiramente, uma análise, apenas servem de suporte para os utilizadores que vão fazer as decisões. Por este motivo, ambas as categorias devem ser o mais automáticas possível. Ao alcançar a automatização deste processo será possível, dependendo das interações do utilizador, criar ou modificar conteúdo para o respetivo utilizador (Fernández del Amo et al., 2018).

2.6. SOLUÇÕES EXISTENTES

Nas seguintes tabelas podemos identificar o equipamento existente, os SDKs utilizados e as presentes soluções oferecidas comercialmente. Este ponto foca dar conhecimento sobre as opções e funcionalidades que já existem e funcionam, de modo a facilitar a posterior especificação do sistema a construir.

Fabricante	Modelos/equipamento
Vuzix	Vuzix Blade, M4000, M400, M300XL
Liteye	LE-720A, LE-750, LZAD
Cinoptics/Cybermind	AIRO SXGA, AIRO II, AIRO HELM, Datagloves, Trackers, Cyber-I SXGA, Visette45SXGA
NVIS	nVisor ST50, nVisor MH60
EPSON	BT-30C, BT-35E/30E, BT-300, BT-350
EverySight	Raptor
Google	Glass Enterprise Edition 2
Kopin	SOLOS
ODG	R-7, R-7HL, R-9
Toshiba	dynaEdge AR100
ThirdEye	Gen X2
Garmin	Varia Vision
Optinvent	ORA-2
Magic leap	Magic leap 1
Daqri	Daqri smart glasses
Microsoft	Hololens 1, Hololens 2

Tabela 1 - Equipamento disponível no mercado.

SDK	Tipo de Licença	Plataforma
ALVAR	Free, SDK Comercial	Android, iOS, Windows, Flash
ARKit	SDK Comercial	Xcode 9 e iOS 11
ARCore	Free, SDK Comercial	Android
ARLab	Free, SDK Comercial	Android, iOS
ARmedia	Free, SDK Comercial	Android, iOS, Windows, Flash
ARToolKit	Open Source, SDK Comercial	Android, iOS, Linux, OSX, Windows
ArUco	Open Source	Linux, OSX, Windows
Augmenta Interaction Platform	SDK Comercial	Android, Linux, Windows
Aurasma	Free, SDK Comercial	Android, iOS
BazAr	Open Source	Linux, OSX, Windows
BeyondAR	Free	Android
Beyond Reality Face	SDK Comercial	Flash
Catchoom	Free, SDK Comercial	Android, iOS
IN2AR	Free, SDK Comercial	Flash, Android, iOS
Instant Reality	Free, SDK Comercial	Android, iOS, Linux, OSX, Windows
Layar	Free, SDK Comercial	Android, iOS
Mixare	Open Source	Android, iOS
OpenSpace3D	Open Source	Android, iOS, Linux, OSX, Windows
SSTT	Proprietário	Android, iOS, Linux, OSX, Windows, Windows Mobile
UART	Open Source	iOS, OSX, Windows
Vuforia	Free, SDK Comercial	Android, iOS
Wikitude	Free, SDK Comercial	Android, iOS, BlackBerry OS
ZappCode Creator	SDK Comercial	Android, iOS
Skylight	Proprietário	Android, iOS

Tabela 2 - SDKs disponíveis no mercado.

Soluções Existentes	Equipamento	Plataformas
Acty	Vuzix, ODG, RealWear, Google Glass, Epson	Android, iOS, Windows
Apizee Diag	Vuzix	Android, iOS, Windows
AR4Vision	Hololens	Android
Arvizio MR Studio	Hololens	Android, iOS, Windows
CN2 Assist		Android, iOS
Cyient AR-Assisted Maintenance	Daqri, Hololens	Android, iOS
Daqri Worksense	Daqri	
Dynamics 365 Remote Assist	Hololens	Android, Windows
EON Reality AR Assist	Hololens	Android, iOS

Epson Moverio Assist	Epson	OSX, Windows
Fieldbit Hero	Epson	Android, iOS
Help Lightning		Android
Imagine Assist	Hololens, Epson	OSX, Windows
Kirloskar Pump Repair		Android, iOS
Nuveon	Hololens	
Reflekt ONE	Hololens	Android, iOS, Windows
Reflekt Remote	Vuzix, Daqri, Magic Leap	Android, iOS, Windows
Revia AdvisAR	Hololens	Windows Mobile, Windows
Skylight AR	Hololens, Epson, Vuzix, Google Glass, RealWear	Android, iOS
Taqtile	Hololens, Magic Leap	iOS, Windows
TechSee Live Field Services		Android, iOS, OSX
Troia TSENSE		Android, iOS
Vuforia Chalk		Android, iOS
Worklink	Hololens	Android, iOS
XM Reality Remote Guidance	Vuzix	Windows Mobile, Android, iOS

Tabela 3 - Soluções existentes com o respetivo equipamento e plataformas suportadas.

Soluções Existentes	Link
Acty	https://www.acty.com/en/index.php
Apizee Diag	https://www.apizee.com/visual-assistance/
AR4Vision	https://ar4vision.com/
Arvizio MR Studio	https://www.arvizio.io/
CN2 Assist	http://cn2xr.com/assist
Cyient AR-Assisted Maintenance	https://www.cyient.com/augmented-reality-workforce-solutions
Daqri Worksense	N/A
Dynamics 365 Remote Assist	https://dynamics.microsoft.com/en-us/mixed-reality/remote-assist/
EON Reality AR Assist	https://eonreality.com/
Epson Moverio Assist	https://epson.com/moverio-assist-virtual-remote-assistance-inspections
Fieldbit Hero	https://www.fieldbit.net/products/fieldbit-hero/
Help Lightning	https://helplightning.com/product
Imagine Assist	https://www.imagine.in/product-assist/
Kirloskar Pump Repair	N/A
Nuveon	https://www.nuveon.com/
Reflekt ONE	https://www.re-flekt.com/reflekt-one
Reflekt Remote	https://www.re-flekt.com/reflekt-remote
Revia AdvisAR	https://reviatech.com/our-solutions/revia-advisar?lang=en
Skylight AR	https://upskill.io/skylight/how-it-works/
Taqtile	https://taqtile.com/

TechSee Live Field Services	https://techsee.me/techsee-live-field-services/
Troia TSENSE	https://www.tsense.si/
Vuforia Chalk	https://chalk.vuforia.com/
Worklink	https://www.scopear.com/solutions/worklink-platform/
XM Reality Remote Guidance	https://xmreality.com/xmreality-for-field-service/

Tabela 4 - Link para soluções existentes.

É possível identificar uma tendência para a utilização de equipamentos como o *Hololens* da *Microsoft* e para plataformas móveis, nomeadamente, *Android* e *iOS*. A tendência da RA é esta se tornar cada vez mais móvel, por isso existem cada vez mais soluções para plataformas como estas, para além dos seus custos reduzidos, dispositivos *Android* e *iOS*, são cada vez mais capazes. No entanto, a liberdade e a capacidade de se focar na tarefa que um HMD oferece faz com que estes sejam, também, equipamentos muito favorecidos.

3.ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO

Nesta secção são identificadas e compreendidas todas as funcionalidades que foram implementadas no sistema de modo a satisfazer as necessidades impostas pelos clientes. Devido a esta importância, as especificações são a primeira etapa a realizar no ciclo de desenvolvimento.

Para isso foi realizado o levantamento de requisitos funcionais e não funcionais, diagramas de casos de uso, a definição do layout e a elaboração de protótipos não funcionais.

Todos os diagramas representados foram criados utilizando a aplicação web, *diagrams.net*, usando a linguagem UML e para a elaboração dos protótipos não funcionais foi utilizada a aplicação web, *figma*. A escolha destas ferramentas deveu-se ao facto de ambas possuírem uma curva de aprendizagem baixa e garantirem a possibilidade de partilhar os seus conteúdos e trabalhá-los simultaneamente com os restantes membros da equipa.

3.1. REQUISITOS DO SISTEMA

Inicialmente, foram levantados os requisitos funcionais e não funcionais do sistema. Esta atividade foi realizada em conjunto com a elaboração dos diagramas de casos de uso. Esta enumeração

servirá para listar todas as funcionalidades do sistema (requisitos funcionais) e atributos de qualidade e restrições (requisitos não funcionais) que se aplicarão às mesmas. Também se caracterizará cada um desses requisitos com uma noção de importância, para guiar a sua implementação e ao mesmo tempo permitir a sua validação.

Para cada requisito é atribuída uma prioridade. O método utilizado neste ponto é o MoSCoW, que sugere quatro grupos:

- **Must:** requisito que deve ser considerado;
- **Should:** requisito a ser considerado;
- **Could:** requisito desejável, mas não obrigatório;
- **Won't:** um requisito que pode ser considerado no futuro.

Para uma melhor percepção e contextualização dos requisitos identificados, foi definida uma estrutura em que cada um é caracterizado pelo seguinte conjunto de propriedades:

- **ID:** identificação do requisito;
- **Descrição:** descrição do requisito;
- **Tipo:** o tipo do requisito;
 - Funcional;
 - Não Funcional;
- **Categoria:** a categoria do requisito;
 - Funcional ou de Dados (se do tipo funcional);
 - Aspeto, Usabilidade, Performance, Operacional, Manutenção e Suporte, Segurança ou Legal (se do tipo não funcional);
- **Origem:** permite identificar as fontes do requisito;
- **Interfaces:** esta propriedade é composta pelos utilizadores finais, que correspondem às partes interessadas que utilizarão o sistema e também aos componentes/aplicações externas, identificando a necessidade de desenvolver interfaces para se comunicar com outros sistemas já instalados;

- **Dependências:** dependências entre requisitos;
- **Problemas identificados:** identifica as possíveis restrições ou problemas para atender ao requisito;
- **Prioridade:** permite a definição da prioridade dos requisitos por meio do método MoSCoW.

ID	Requisitos Não Funcionais	Prioridade
1	O sistema deverá integrar os módulos de natureza gráfica em Unity.	Must
2	O sistema deverá garantir uma comunicação segura.	Must
3	O sistema deverá usar um design modular de comunicação.	Must
4	O sistema deverá funcionar localmente de modo offline.	Should
5	O sistema deverá poder ser atualizado de modo offline.	Should
6	O sistema deverá ter suporte multilingue.	Should
7	O sistema deverá ter suporte a ambos os temas, claro e escuro.	Should
8	A interface deverá usar a Roboto como fonte de texto.	Must
9	A interface deverá seguir os padrões e guias standard de usabilidade.	Must
10	A interface deverá minimizar input da parte do utilizador.	Should
11	A interface deverá ser responsiva.	Should
12	A interface deverá ajudar o utilizador a não cometer erros.	Could
13	A interface deverá evitar ocluir o campo de visão do utilizador.	Should
14	A interface deverá garantir a coerência entre todas as aplicações do sistema.	Must
15	O sistema deverá ser compatível com os Hololens 1.	Must
16	O sistema deverá minimizar a quantidade de informação descarregada por cada pedido.	Should
17	A interface deverá usar pistas na interação com objetos virtuais.	Should
18	As sequências de instruções deverão ser flexíveis.	Must
19	As sequências de instruções deverão ser armazenadas eficientemente.	Must

Tabela 5 - Requisitos não funcionais

ID: 1 – Descrição: O sistema deverá integrar os módulos de natureza gráfica em Unity.

Fundamento: Familiaridade para desenvolvimento futuro;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Manutenção;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Sem interfaces;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Aplicações em Unity com elevada quantidade de UI necessitam de ser otimizadas por motivos de performance;

Prioridade: Must.

ID: 2 – Descrição: O sistema deverá garantir uma comunicação segura.

Fundamento: Dada a natureza confidencial do sistema a comunicação entre as interfaces e o servidor deve ser cifrada;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Segurança;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- O método usado poderá ter que ser reformulado por cada terminal da comunicação;

Prioridade: Must.

ID: 3 – Descrição: O sistema deverá usar um design modular de comunicação.

Fundamento: O método de comunicação deverá ser desenvolvido de forma a ser facilmente alterado;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Manutenção e Suporte;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Dependendo da plataforma da aplicação o módulo poderá ter que ser refratado;

Prioridade: Must.

ID: 4 – Descrição: O sistema deverá funcionar localmente de modo offline.

Fundamento: Todos os serviços devem estar disponíveis sob uma rede local, sem necessidade de uma conexão ao exterior;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Operacional;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Serviços de suporte e assistência irão estar indisponíveis num ambiente offline;

Prioridade: Should.

ID: 5 – Descrição: O sistema deverá poder ser atualizado de modo offline.

Fundamento: As atualizações aos designs e serviços devem poder ser feitas de modo manual;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Operacional;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Pode ser necessária a criação de um guia de instalação do sistema;

Prioridade: Should.

ID: 6 – Descrição: O sistema deverá ter suporte multilíngue.

Fundamento: Caráter internacional dos utilizadores;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Usabilidade;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Todos os textos da interface deverão ser identificados por um ID para posterior tradução dinâmica;

Prioridade: Should.

ID: 7 – Descrição: O sistema deverá ter suporte a ambos os temas, claro e negro.

Fundamento: Temas negros podem reduzir o consumo de energia da aplicação, mas nem sempre são apropriados para todos os ambientes;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Aspeto;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Necessita da definição das paletas de cores das aplicações;

Prioridade: Should.

ID: 8 – Descrição: A interface deverá usar a Roboto como fonte de texto.

Fundamento: Assegurar uniformidade na aparência do produto;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Aspeto;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 9 – Descrição: A interface deverá seguir os padrões e guias standard de usabilidade.

Fundamento: Ao se usar de padrões de design conhecidos e se garantir a conformidade da aplicação com os standards de usabilidade, melhora-se a experiência do utilizador;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Usabilidade;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Requer um cuidado acrescido no design da interface;

Prioridade: Must.

ID: 10 – Descrição: A interface deverá minimizar input da parte do utilizador.

Fundamento: Um elevado número de inputs por ação reduz a usabilidade global do sistema;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Usabilidade;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Em interfaces onde se use realidade aumentada ou mista, deve-se ter em conta a oclusão do ecrã;

Prioridade: Should.

ID: 11 – Descrição: A interface deverá ser responsiva.

Fundamento: Todas as interações que resultem numa ação ou num tempo de espera longo devem ser representadas ou indicadas;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Usabilidade;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Procedimentos síncronos tendem a aumentar o tempo de resposta de cada ação;

Prioridade: Should.

ID: 12 – Descrição: A interface deverá ajudar o utilizador a não cometer erros.

Fundamento: Dada a sua natureza, existe sempre a hipótese de um utilizador cometer um erro. Pelo qual, quando aplicável, a interface deve oferecer a capacidade de desfazer a ação;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Usabilidade;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- O número de ações que podem ser desfeitas poderá ser limitado;

Prioridade: Could.

ID: 13 – Descrição: A interface deverá evitar ocluir o campo de visão do utilizador.

Fundamento: Em realidade aumentada ou mista o campo de visão é um recurso valioso. Como tal, deve-se reduzir ao máximo a interface usada nessas alturas;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Usabilidade;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Hololens;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- A redução dos elementos de interface pode levar à introdução de mais ações por parte do utilizador devido a menus escondidos;

Prioridade: Should.

ID: 14 – Descrição: A interface deverá garantir a coerência entre todas as aplicações do sistema.

Fundamento: Se as aplicações partilharem os mesmos componentes de interface, a integridade do sistema é maior, e o período de adaptação menor;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Usabilidade;

Origem: Requisitos globais do produto;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Dependendo da plataforma da aplicação os componentes de interface poderão ter que ser refratados;

Prioridade: Must.

ID: 15 – Descrição: O sistema deverá ser compatível com os Hololens 1.

Fundamento: Incluir o Hololens apenas durante o processo da manutenção;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Operacional;

Origem: Navegação da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Pode introduzir algumas limitações nas tecnologias disponíveis;

Prioridade: Must.

ID: 16 – Descrição: O sistema deverá minimizar a quantidade de informação descarregada por cada pedido.

Fundamento: Ao se preferir um elevado número de pedidos em vez de pedidos com uma elevada quantidade de dados, melhora-se a disponibilidade global do sistema;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Performance;

Origem: Conteúdo da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Requer que todos os pedidos sejam atendidos de forma assíncrona;

Prioridade: Should.

ID: 17 – Descrição: A interface deverá usar pistas na interação com objetos virtuais.

Fundamento: A interface deverá indicar quais os objetos com interação e o tipo de interação que está a ocorrer com uma ação;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Usabilidade;

Origem: Conteúdo da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Should.

ID: 18 – Descrição: As sequências de instruções deverão ser flexíveis.

Fundamento: O método de construção de sequências de instruções deve ser desenhado para possibilitar alterações ou expansões futuras sem grandes alterações no sistema;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Manutenção;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 19 – Descrição: As sequências de instruções deverão ser armazenadas eficientemente.

Fundamento: O método de construção de sequências de instruções deve possibilitar a reutilização de elementos e evitar duplicação de dados;

Tipo: Não Funcional – **Categoria:** Performance;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- A reutilização de elementos requer o isolamento dos mesmos e a priorização de relações do tipo muitos para muitos na base de dados;

Prioridade: Must.

ID	Requisitos Funcionais	Prioridade
1	O utilizador poderá criar, editar e remover coleções.	Should
2	Os elementos da organização devem estar guardados em coleções.	Must
3	Todos os elementos devem estar unicamente identificados.	Must
4	O utilizador poderá criar, editar e remover máquinas.	Must
5	O utilizador poderá criar, editar e remover elementos da máquina.	Must
6	O utilizador poderá criar, editar e remover tarefas.	Must
7	O utilizador poderá criar, editar e remover passos da tarefa.	Must
8	As tarefas poderão conter vários passos.	Must
9	Os elementos da máquina poderão ter várias tarefas e passos associados.	Must
10	O utilizador poderá adicionar, editar e remover conteúdo.	Must
11	Os passos poderão conter vários conteúdos virtuais associados.	Must
12	O utilizador poderá criar, editar e remover manutenções.	Must
13	As manutenções deverão ter tarefas e os conteúdos dessa tarefa associados.	Must
14	Deverá ser possível criar um objeto de manutenção com todas as suas informações.	Must
15	O técnico poderá executar a operação de manutenção nos Hololens.	Must
16	O técnico poderá navegar pelas tarefas da operação de manutenção.	Must
17	O técnico poderá parar uma manutenção a qualquer altura.	Must
18	O técnico poderá visualizar a descrição ou lista de instruções da tarefa.	Must
19	O sistema deverá carregar o conteúdo de um passo para o ambiente virtual do utilizador.	Should
20	O técnico poderá manipular o conteúdo virtual da tarefa.	Should
21	O técnico poderá marcar uma tarefa como solução da manutenção.	Could
22	O técnico deve dar feedback após a operação de manutenção.	Could

Tabela 6 - Requisitos funcionais

ID: 1 – Descrição: O utilizador poderá criar, editar e remover coleções.

Fundamento: Agrupar informação da organização;

Tipo: Funcional – **Categoria:** Funcional;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Should.

ID: 2 – Descrição: Os elementos da organização devem estar guardados em coleções.

Fundamento: Permitir fazer a subsecção de informação da organização;

Tipo: Funcional — **Categoria:** Dados;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Quantidade de possíveis coleções;

Prioridade: Must.

ID: 3 – Descrição: Todos os elementos devem estar unicamente identificados.

Fundamento: Identificação da informação do sistema;

Tipo: Funcional — **Categoria:** Dados;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 4 – Descrição: O utilizador poderá criar, editar e remover máquinas.

Fundamento: Agrupar informação dos elementos da máquina;

Tipo: Funcional — **Categoria:** Funcional;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Requisito 1;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 5 – Descrição: O utilizador poderá criar, editar e remover elementos da máquina.

Fundamento: Agrupar informação dos elementos da máquina;

Tipo: Funcional — **Categoria:** Funcional;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Requisito 1;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 6 – Descrição: O utilizador poderá criar, editar e remover tarefas.

Fundamento: Agrupar informação das tarefas;

Tipo: Funcional — **Categoria:** Funcional;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Requisito 5;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 7 – Descrição: O utilizador poderá criar, editar e remover passos da tarefa.

Fundamento: Agrupar os passos da tarefa;

Tipo: Funcional — **Categoria:** Funcional;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Requisito 6;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 8 – Descrição: As tarefas poderão conter vários passos.

Fundamento: Permite agrupar múltiplas instruções relacionadas;

Tipo: Funcional — **Categoria:** Dados;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Requisito 6 e 7;

Problemas Identificados:

- Os passos não devem de ser reutilizados por múltiplas tarefas;

Prioridade: Must.

ID: 9 – Descrição: Os elementos da máquina poderão ter várias tarefas e passos associados.

Fundamento: Identificação da informação do sistema;

Tipo: Funcional — **Categoria:** Dados;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Requisitos 5, 6 e 7;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 10 – Descrição: O utilizador poderá adicionar, editar e remover conteúdo.

Fundamento: Agrupar conteúdo da organização;

Tipo: Funcional — **Categoria:** Funcional;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 11 – Descrição: Os passos poderão conter vários conteúdos virtuais associados.

Fundamento: Um passo poderá incluir conteúdo virtual como fotos, vídeos, documentos, etc. para ser apresentado durante a operação de manutenção;

Tipo: Funcional — **Categoria:** Dados;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Requisito 10;

Problemas Identificados:

- Os conteúdos não devem de ser restringidos a um conjunto finito de tipos;
- Deve permitir a inclusão de tipos adicionais no futuro;

Prioridade: Must.

ID: 12 – Descrição: O utilizador poderá criar, editar e remover manutenções.

Fundamento: Agrupar manutenções das máquinas.

Tipo: Funcional — **Categoria:** Funcional;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Requisitos 4, 6, 7 e 8;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 13 – Descrição: As manutenções deverão ter tarefas e os conteúdos dessa tarefa associados.

Fundamento: Associar apenas o conteúdo necessário às manutenções.

Tipo: Funcional — **Categoria:** Dados;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Designer;

Dependências: Requisitos 6, 7, 8, 11 e 12;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 14 – Descrição: Deverá ser possível criar um objeto de manutenção com todas as suas informações.

Fundamento: Agrupar manutenções das máquinas.

Tipo: Funcional – **Categoria:** Dados;

Origem: Estruturação dos dados;

Interfaces: Todas as aplicações;

Dependências: Requisito 13;

Problemas Identificados:

- Tamanho do ficheiro;

Prioridade: Must.

ID: 15 – Descrição: O técnico poderá executar a operação de manutenção nos Hololens.

Fundamento: Incluir o Hololens apenas durante o processo da manutenção;

Tipo: Funcional– **Categoria:** Funcional;

Origem: Navegação da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens, Técnico;

Dependências: Sem dependências;

Problemas Identificados:

- É necessário um método de comunicação e sincronização entre o dispositivo móvel e o Hololens para um uso integrado;

Prioridade: Must.

ID: 16 – Descrição: O técnico poderá navegar sequencialmente pelos objetivos da operação de manutenção.

Fundamento: Método base da navegação da operação de manutenção. Percorre sequencialmente todas as tarefas e os passos que a compõem;

Tipo: Funcional– **Categoria:** Funcional;

Origem: Navegação da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens, Técnico;

Dependências: Requisito 15;

Problemas Identificados:

- Sem problemas identificados;

Prioridade: Must.

ID: 17 – Descrição: O técnico poderá parar uma manutenção a qualquer altura.

Fundamento: O técnico deve ter a liberdade de poder parar uma operação de manutenção, seja por pausa, troca ou termino da mesma;

Tipo: Funcional– **Categoria:** Funcional;

Origem: Navegação da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens, Técnico;

Dependências: Requisito 15;

Problemas Identificados:

- Deve de existir uma distinção explícita entre termino e pausa;

Prioridade: Must.

ID: 18 – Descrição: O técnico poderá visualizar a descrição ou lista de instruções da tarefa.

Fundamento: As tarefas podem incluir uma descrição ou uma lista de instruções textuais para o utilizador seguir;

Tipo: Funcional— **Categoria:** Funcional;

Origem: Conteúdo da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens, Técnico;

Dependências: Requisito 15;

Problemas Identificados:

- As instruções não podem ocluir a visão do utilizador;

Prioridade: Must.

ID: 19 – Descrição: O sistema deverá carregar dinamicamente o conteúdo de um passo para o ambiente virtual do utilizador.

Fundamento: As instruções dos passos poderão conter diversos conteúdos associados que estão disponíveis no ambiente virtual do utilizador;

Tipo: Funcional— **Categoria:** Funcional;

Origem: Conteúdo da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens;

Dependências: Requisito 15;

Problemas Identificados:

- A memória do dispositivo pode limitar o número de conteúdos disponíveis a qualquer momento;

Prioridade: Should.

ID: 20 – Descrição: O técnico poderá manipular o conteúdo virtual da tarefa.

Fundamento: O conteúdo virtual poderá ser movido, escalado, rodado ou ancorado sobreposto ao mundo real;

Tipo: Funcional— **Categoria:** Funcional;

Origem: Conteúdo da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens, Técnico;

Dependências: Requisito 19;

Problemas Identificados:

- Apenas conteúdo 3D poderá ser rodado;

Prioridade: Should.

ID: 21 – Descrição: O técnico poderá marcar uma tarefa como solução da manutenção.

Fundamento: Deve ser possível indicar qual foi a tarefa que solucionou o problema.

Tipo: Funcional— **Categoria:** Funcional;

Origem: Conteúdo da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens, Técnico;

Dependências: Requisito 15;

Problemas Identificados:

- Selecionar tarefa incorreta;

Prioridade: Could.

ID: 22 — Descrição: O técnico deve dar feedback após a operação de manutenção.

Fundamento: Deve ser possível captar as opiniões e ideias dos técnicos que realizaram a operação de manutenção.

Tipo: Funcional— **Categoria:** Funcional;

Origem: Conteúdo da operação de manutenção;

Interfaces: Hololens, Técnico;

Dependências: Requisito 17;

Problemas Identificados:

- Possibilitar diferentes tipos de feedback;

Prioridade: Could.

3.2. DIAGRAMAS DE CASOS DE USO

Após ponderação, foram considerados dois tipos de atores. O primeiro, a pessoa responsável pela criação hierárquica do objeto e as suas devidas sequências de manutenção, e o segundo, o colaborador que irá utilizar os elementos criados pelo primeiro. Estes serão designados, respetivamente, por designer e técnico.

Devido à complexidade e diferenciação das funcionalidades destes dois atores, os casos de uso foram separados em duas plataformas. A plataforma do designer e a plataforma do técnico, devido à existência de casos de uso complexos foram assinalados a azul os que foram depois detalhados num outro diagrama à parte do inicial.

Nas figuras Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14 e Figura 15 podemos ver os diagramas de casos de uso referentes à plataforma do designer, onde estão detalhadas, de uma forma macro, as funcionalidades a serem desenvolvidas na etapa de implementação.

O designer, inicialmente, poderá criar, editar ou remover uma coleção ou gerir conteúdo, é de notar que sempre que algo é adicionado ou criado é gerado um GUID, como é possível visualizar na Figura 11.

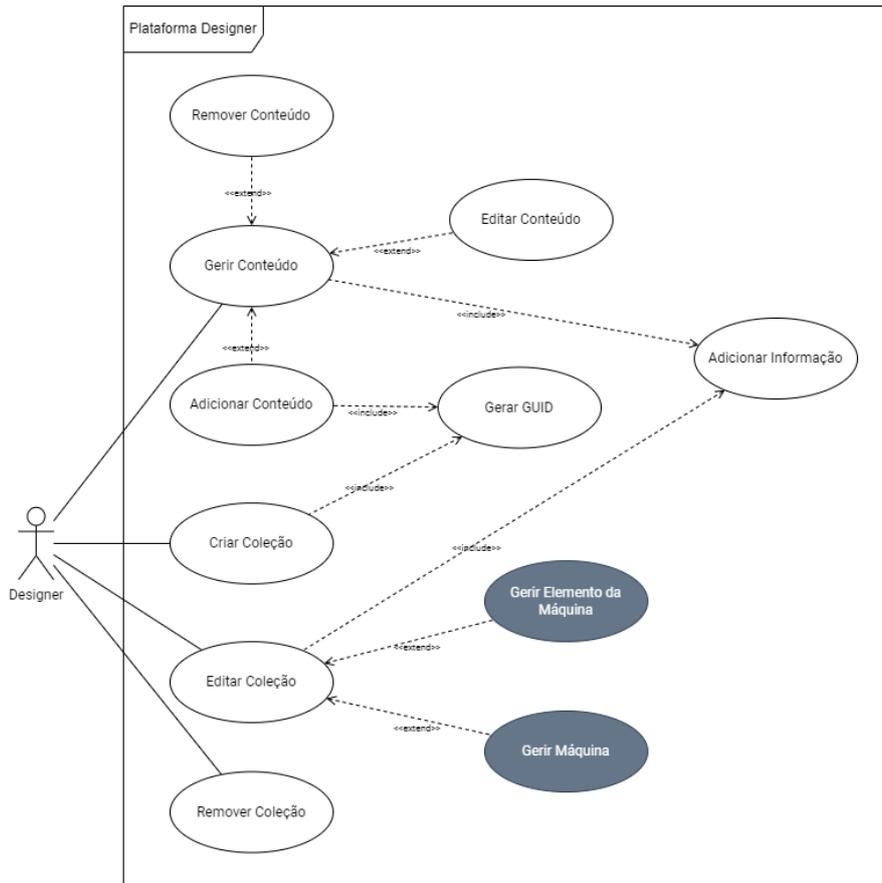


Figura 11 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Designer.

Na Figura 12, dentro do caso de uso “Gerir Máquina”, o designer tem as opções de criar, editar ou remover uma máquina e enquanto a edita, pode associar elementos ou gerir manutenções.

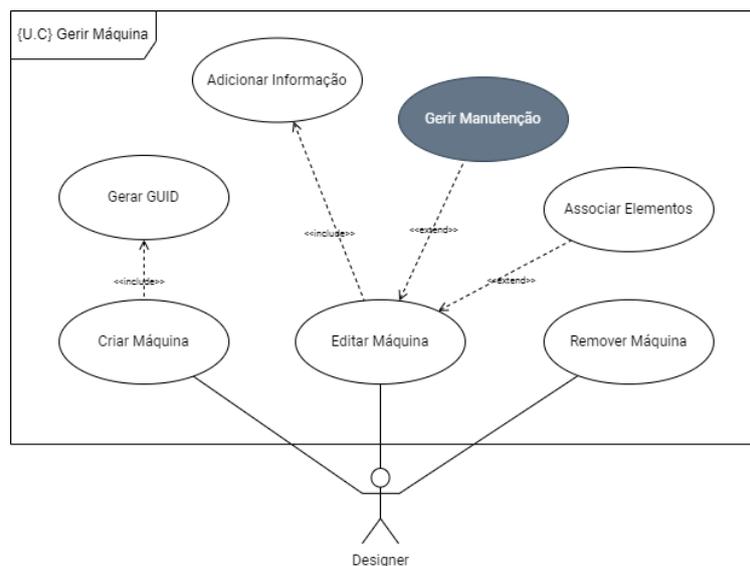


Figura 12 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Designer (Caso de Uso - Gerir Máquina).

Na Figura 13, dentro do caso de uso “Gerir Manutenção”, o designer tem as opções de criar, editar ou remover uma manutenção e enquanto a edita, pode associar tarefas e seleccionar os seus conteúdos.

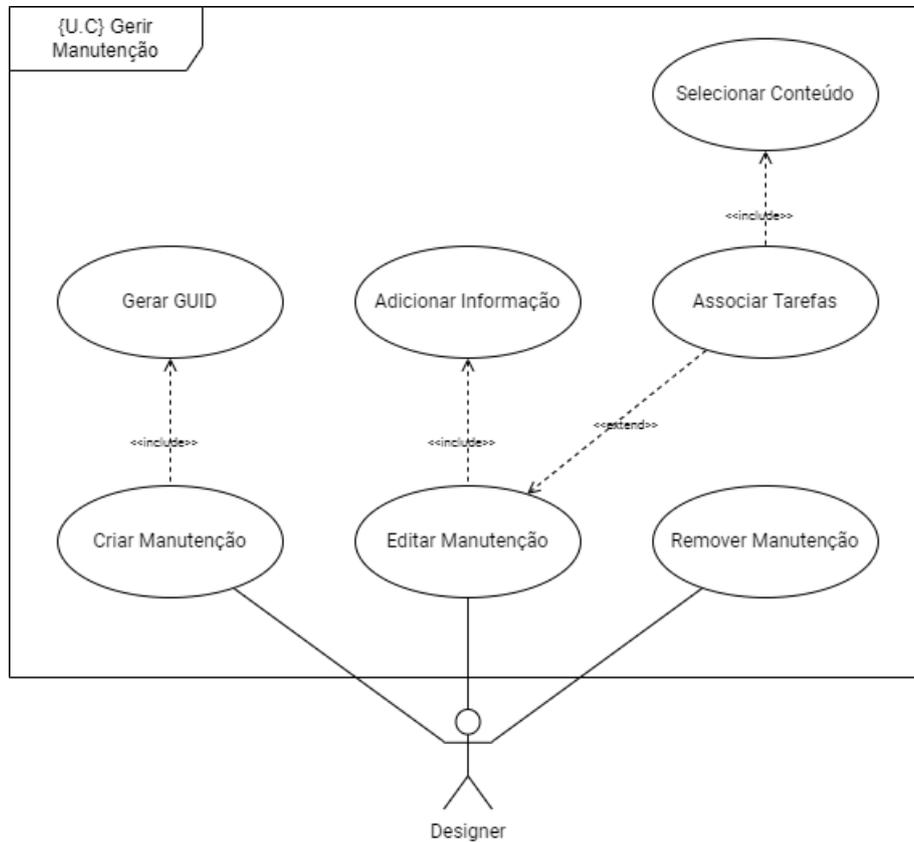


Figura 13 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Designer (Caso de Uso – Gerir Manutenção).

Na Figura 14, dentro do caso de uso “Gerir Elemento da Máquina”, o designer tem as opções de criar, editar ou remover um elemento da máquina e enquanto o edita, pode gerir as suas tarefas.

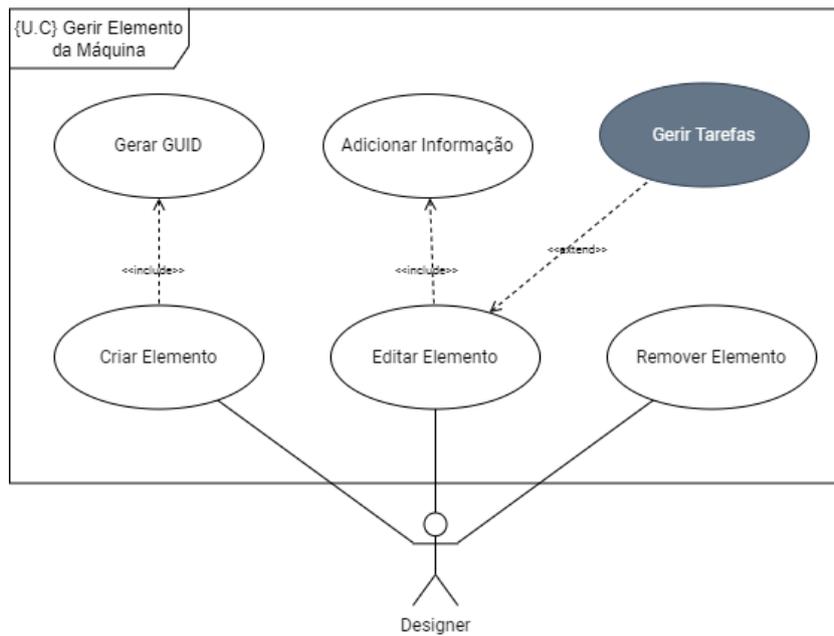


Figura 14 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Designer (Caso de Uso – Gerir Elemento da Máquina).

Na Figura 15, dentro do caso de uso “Gerir Elemento da Máquina”, o designer tem as opções de criar, editar ou remover uma tarefa e enquanto a edita, pode criar, editar ou remover os passos referentes a essa tarefa, pode, também, enquanto edita o passo, associar conteúdo a este.

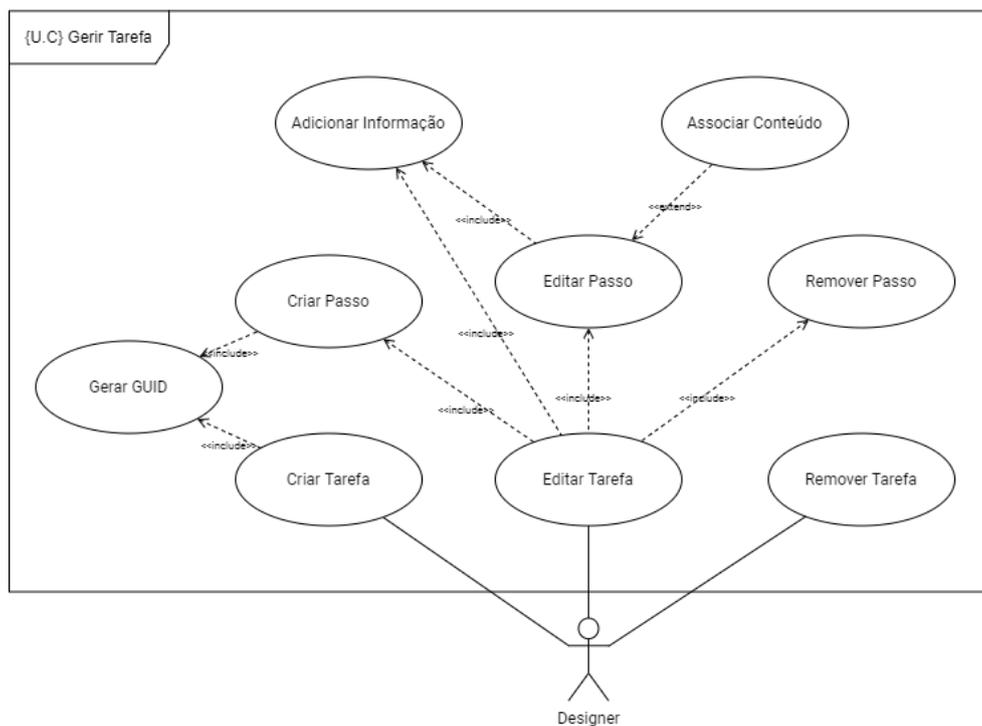


Figura 15 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Designer (Caso de Uso – Gerir Tarefa).

Por fim, são representadas, nas figuras Figura 16, Figura 17 e Figura 18, as funcionalidades referentes à plataforma do técnico.

O técnico, inicialmente, poderá selecionar uma máquina, lendo um código QR, e executar uma operação de manutenção, dentro da manutenção, é lhe possibilitado navegar na operação de manutenção, manusear conteúdo e, por fim, finalizar a manutenção, podendo ou não deixar feedback, como é exemplificado na Figura 16.

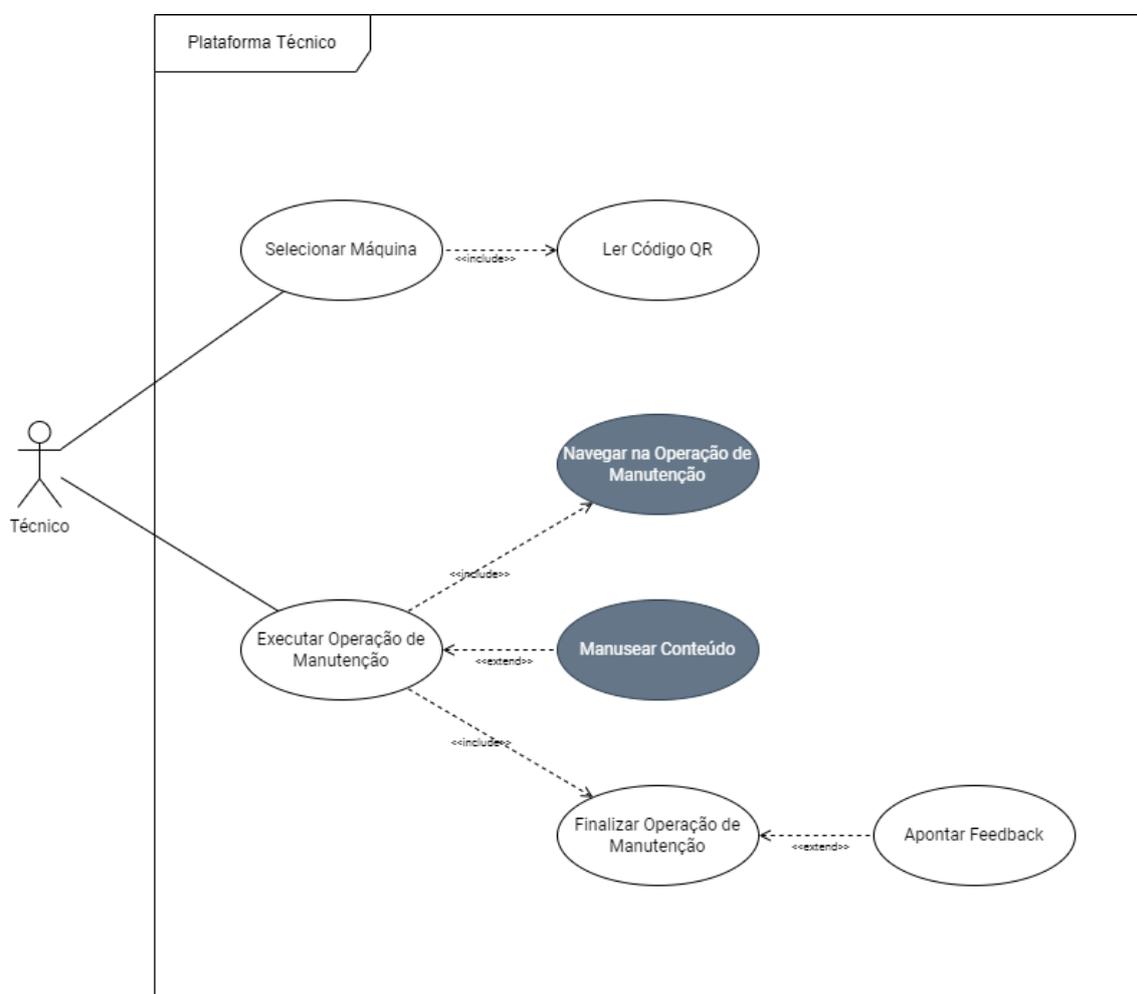


Figura 16 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Técnico.

Na Figura 17, dentro do caso de uso “Manusear Conteúdo”, o técnico tem as opções de mover, redimensionar, rodar, ancorar e alterar a visibilidade do conteúdo.

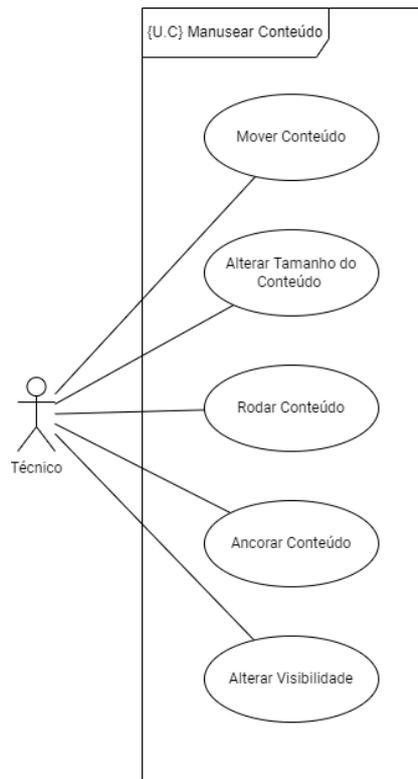


Figura 17 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Técnico (Caso de Uso – Manusear Conteúdo).

Na Figura 18, dentro do caso de uso “Navegar na Operação de Manutenção”, o técnico tem as opções de avançar e retroceder nos passos, avançar e retroceder nas tarefas e, por fim, finalizar a tarefa, e caso pretenda poderá marcá-la como solução.

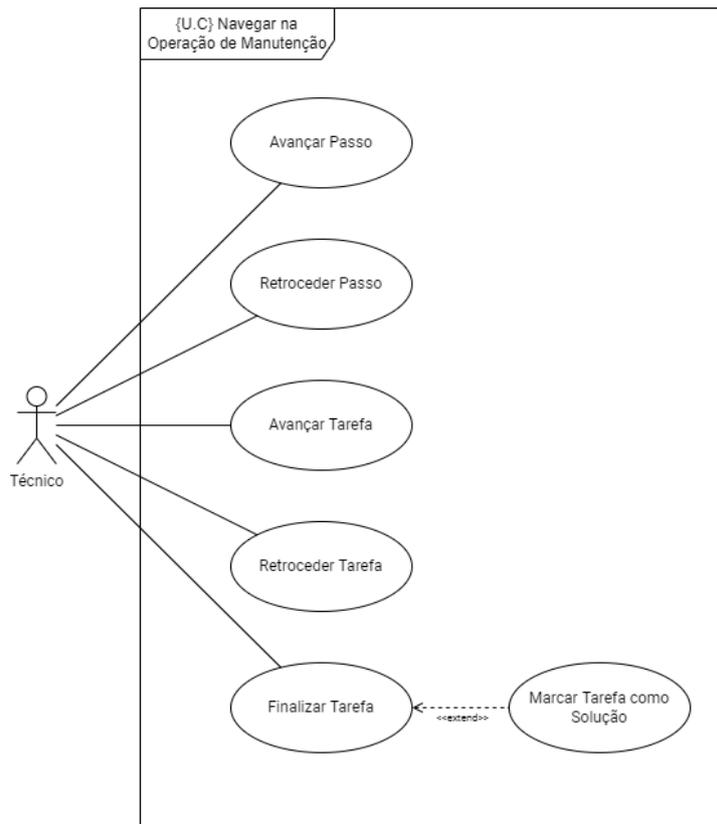


Figura 18 - Diagrama de Casos de Uso da Plataforma do Técnico (Caso de Uso – Navegar na Operação de Manutenção).

3.3. DEFINIÇÃO DO LAYOUT

A elaboração dos protótipos é uma fase importante para colmatar e discutir ideias, pois aqui, são desenhadas, com base nas funcionalidades descritas nos requisitos e nos casos de uso, as primeiras versões de como é esperado o sistema ficar visualmente. Devido a este passo, o cliente consegue ter uma melhor percepção de como serão disponibilizadas as funcionalidades do sistema, podendo assim, opinar e decidir com antecedência, de uma forma mais eficiente, sem que seja necessária a fase de desenvolvimento.

Com a elaboração dos protótipos foram definidos quatro critérios, correspondentes à paleta de cores utilizada, ao estilo e tipo de ícones utilizados, ao estilo e tipo de letra e ao *layout* das aplicações do sistema.

Para a paleta de cores foram criados dois tipos de temas, escuro e claro, no qual estão definidas exatamente o mesmo número de cores:

- Três de fundo;

- Três de texto;
- Uma para delinear;
- Uma para preencher/extras;
- Quatro de estado;
- Cinco de ênfase

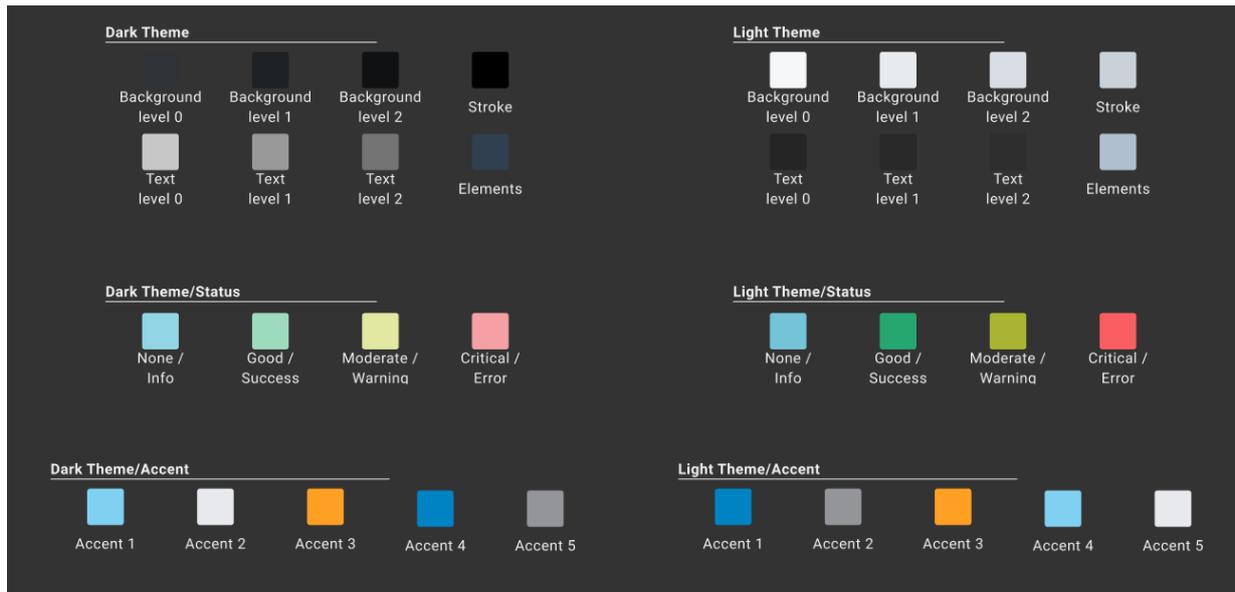


Figura 19 - Paleta de cores

Relativamente aos ícones foram utilizadas apenas fontes cuja licença é Apache 2.0 ou MIT. Os ícones utilizados foram retirados das seguintes bibliotecas:

- Material Design Icons (*Material Design Icons*, n.d.);
- System Ulcons (*System Ulcons*, n.d.);
- Clarity (*Overview / Clarity Design System*, n.d.).

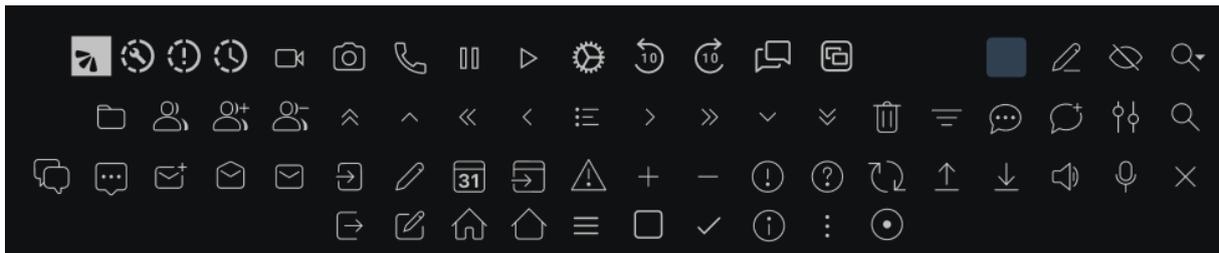


Figura 20 - Ícones utilizados no sistema

Apesar da fonte de letra já estar decidida, foram criados vários tipos de variações da letra para garantir a uniformidade entre as aplicações do sistema. O título e subtítulo serão usados em situações de separação de secções e barras laterais nas aplicações. O body, devido ao seu tamanho e espaçamento, é utilizado na maioria dos textos do sistema, desde descrições e designações a abas das aplicações. Por fim, as variações designadas por caption e overline, são utilizadas quando são apresentadas informações de estado, ou de utilização ao utilizador.



Figura 21 - Estilos e tipos de letra

3.4. PROTÓTIPOS NÃO FUNCIONAIS

Relativamente aos protótipos não funcionais, estes, por razões de uniformidade e familiaridade, devem ser construídos com base no mesmo aspeto, isto é, devem usar a mesma base para os definir.

É esperado que o tamanho dos botões, o design das listas, etc, sejam semelhantes entre as aplicações. Para isto foram utilizadas as mesmas fontes, para o design e interface aquando da criação dos protótipos.

Como é possível identificar na Figura 22, a plataforma do designer estará dividida em três partes, a biblioteca, onde estarão todas as máquinas e elementos das máquinas, o inspetor, onde será possível editar a informação do elemento selecionado, e os recursos, onde estarão todo o tipo de conteúdos.

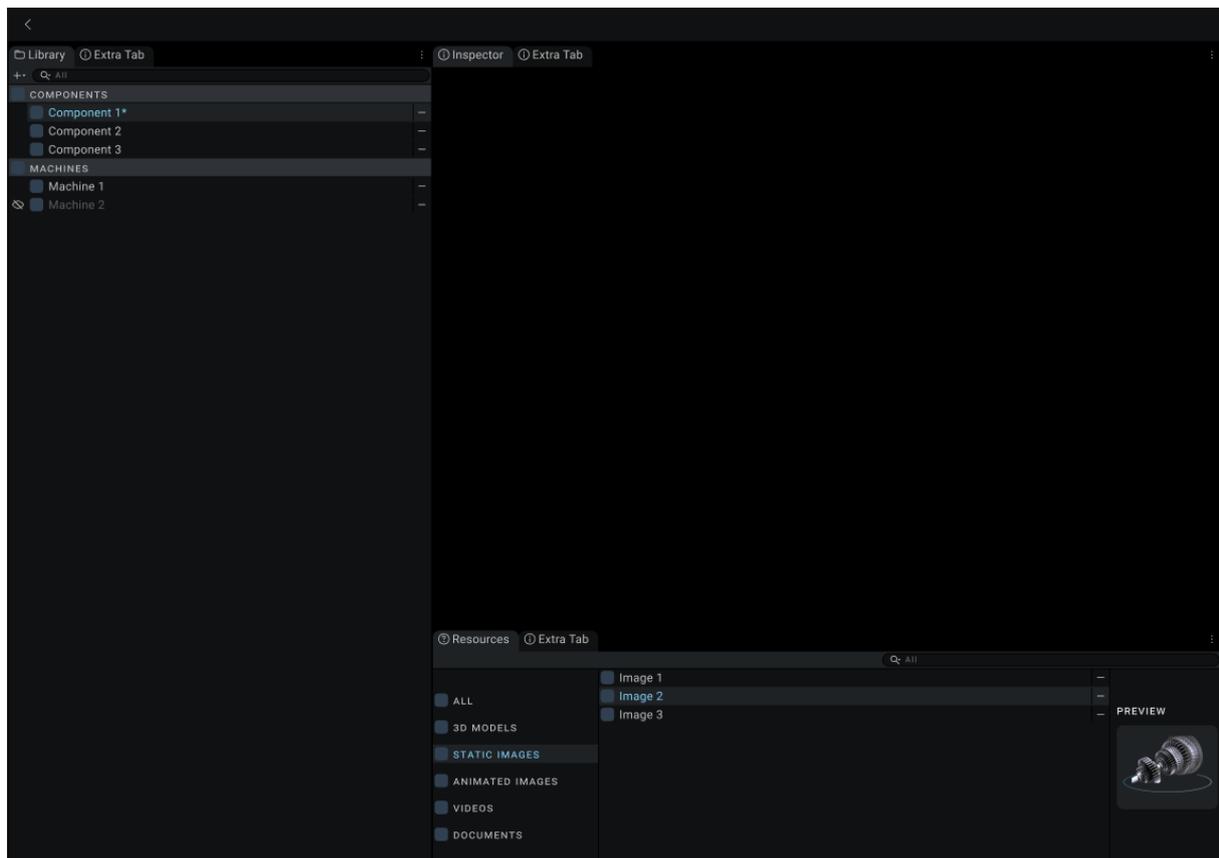


Figura 22 - Protótipo da plataforma do designer.

No inspetor, este poderá estar dividido em máquinas, elementos das máquinas, tarefas e passos. Na Figura 23, está representada a ideia da estrutura do inspetor das máquinas. Este terá uma representação visual e do lado esquerdo a informação relativa à hierarquia da mesma.

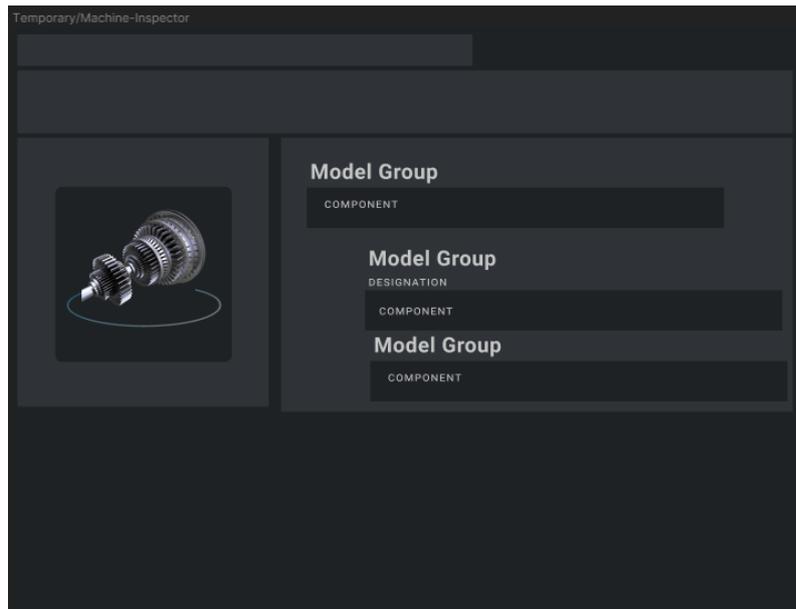


Figura 23 - Protótipo da plataforma do designer (Inspetor temporário das máquinas).

Na Figura 24, está representada a ideia elaborada para o inspetor dos passos. No topo está a informação relativa ao passo, no meio, estarão duas tabelas de conteúdos, para representar à esquerda e à direita, e no fim, uma pré-visualização de como ficará numa operação de manutenção.

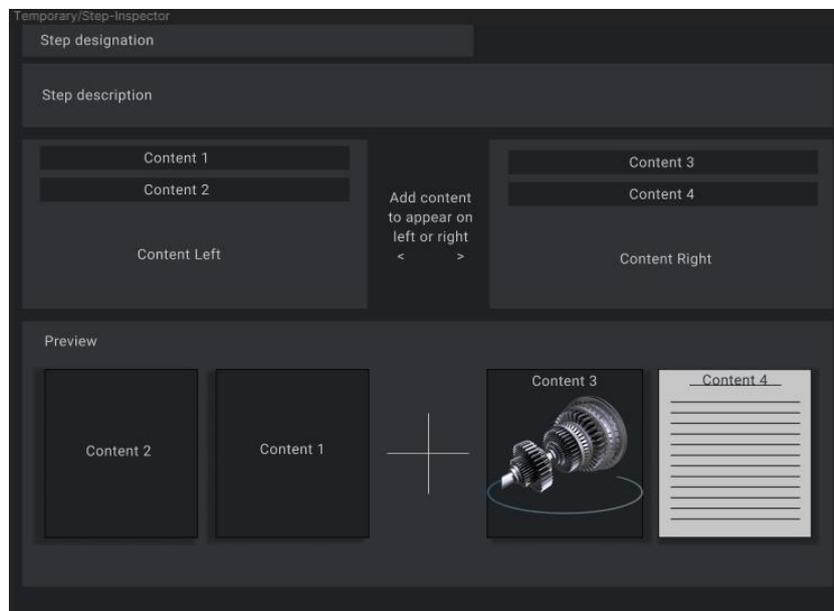


Figura 24 - Protótipo da plataforma do designer (Inspetor temporário dos passos).

Por fim, devido à semelhança e simplicidade dos restantes elementos, tarefas, manutenções e elementos da máquina, foi apenas esboçado uma vaga localização com uma descrição de como seria apresentada a informação.

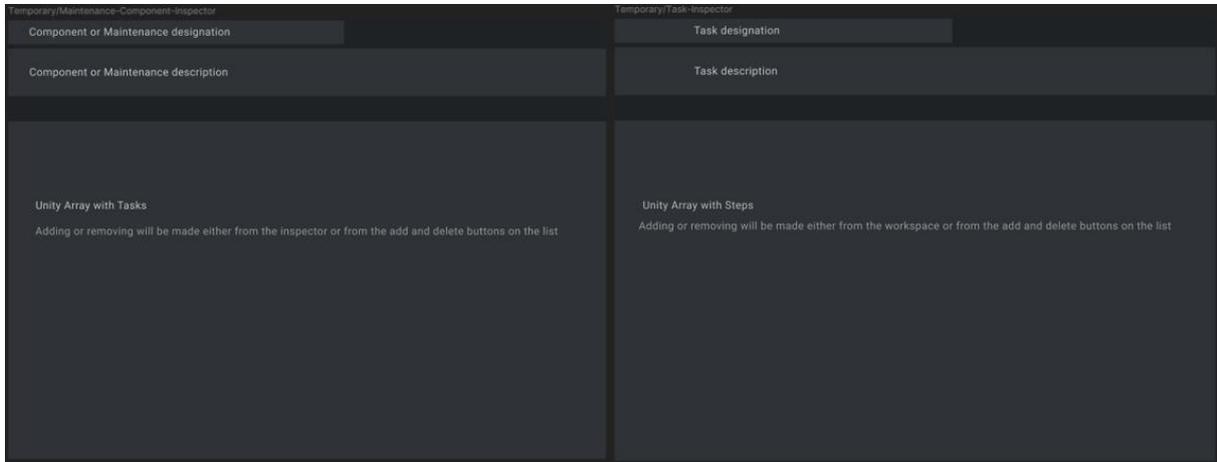


Figura 25 - Protótipo da plataforma do designer (Inspetor temporário dos elementos das máquinas, manutenções e das tarefas).

Na plataforma do técnico, inicialmente, será pedido para este seleccionar uma máquina (através do *scan* de um código QR), como exemplificado na Figura 26.

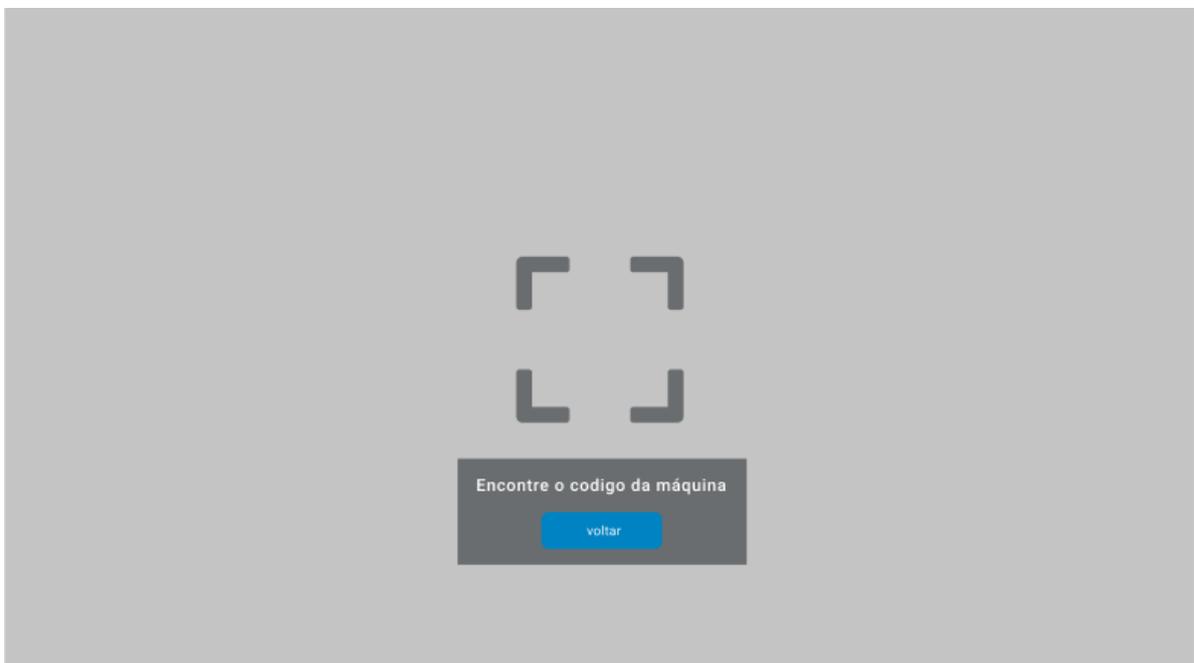


Figura 26 - Protótipo da plataforma do técnico (Leitor do código QR da máquina).

Visto que, a máquina terá manutenções planeadas, será necessário apresentá-las, como apresentado na Figura 27.

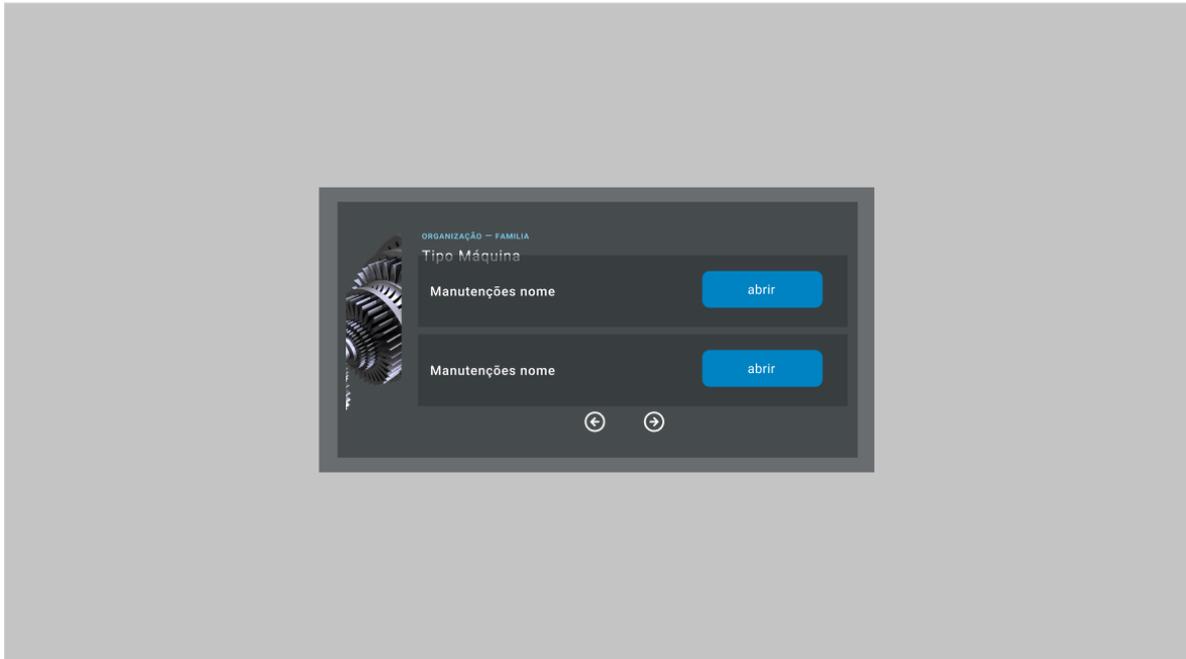


Figura 27 - Protótipo da plataforma do técnico (Seleção da manutenção).

Após a seleção de uma manutenção, são apresentadas as tarefas que a essa estão associadas, exemplificado na Figura 28.

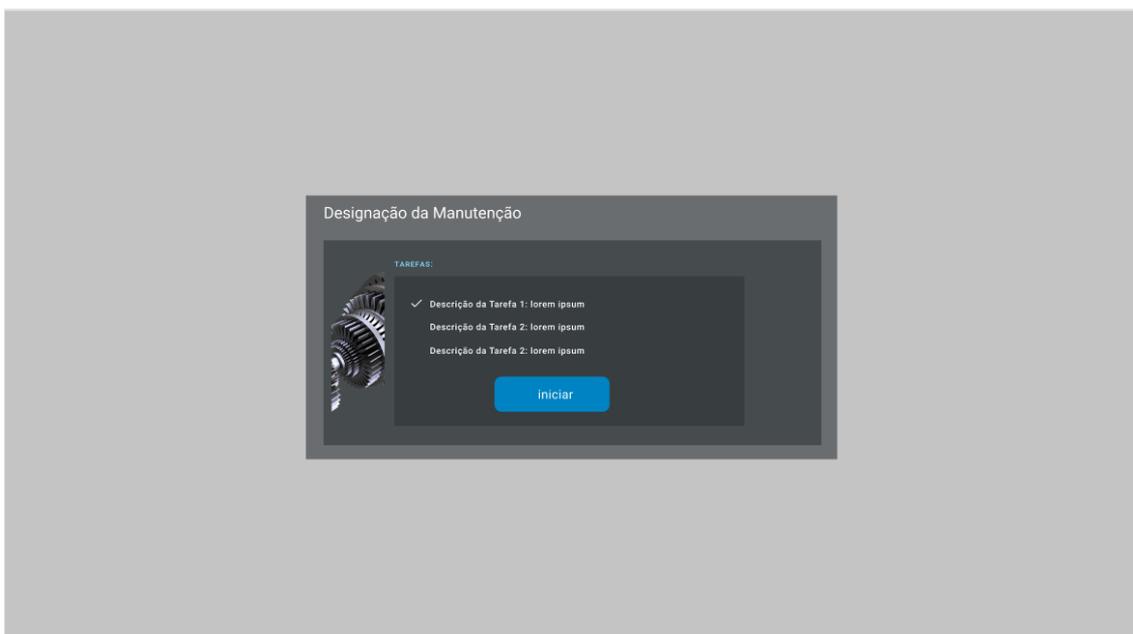


Figura 28 - Protótipo da plataforma do técnico (Lista das tarefas da manutenção).

A ideia destes painéis é conseguir fazer o utilizador navegar pela hierarquia da máquina, ou seja, a máquina, as suas manutenções e as tarefas das manutenções.

Após chegar ao fim destes painéis, é apresentado o ambiente da manutenção, onde apenas estará disponível uma barra horizontal, para efeitos de navegação e controlo da manutenção e eventuais conteúdos que possam aparecer, como indicado na Figura 29.

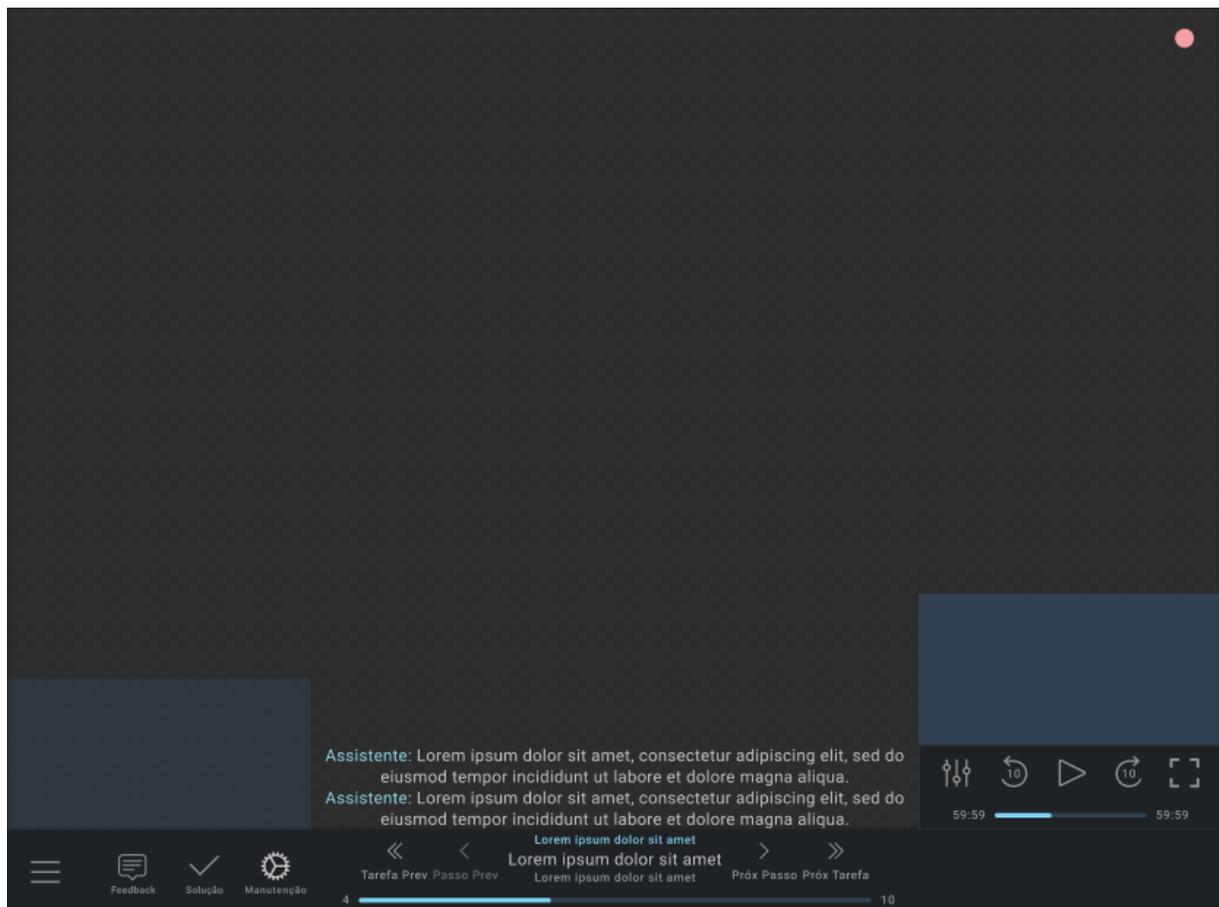


Figura 29 - Protótipo da plataforma do técnico (Operação de manutenção).

4. IMPLEMENTAÇÃO

Nesta secção é descrito todo o processo de desenvolvimento da solução. Aqui são apresentadas todas as informações necessárias para suportar o desenvolvimento da solução proposta.

É apresentada uma vista geral, e uma mais detalhada, da arquitetura proposta, sendo esta baseada nos requisitos aos quais a solução deve ser capaz de responder e as possíveis limitações

impostas. É, ainda, descrito o funcionamento da base de dados criada e implementada, a tecnologia utilizada e a descrição detalhada das funcionalidades presentes.

4.1. ARQUITETURA DA SOLUÇÃO

Na arquitetura, são categorizadas as funcionalidades, descritas no capítulo anterior, em módulos, perfis de utilizadores e aplicações. Com o propósito de reduzir futuras limitações, foram tidas em consideração as seguintes restrições:

- A solução deve ter um acesso local, isto é, sem necessitar de acesso a redes exteriores a uma organização;
- A informação confidencial captada pela base de dados deve ser mantida dentro da organização, não podendo esta ser visualizada por uma outra organização;
- Os manuais, ou sequências, de manutenção devem ser o mais abrangentes possível, e não estarem moldados a um tipo de máquinas apenas.

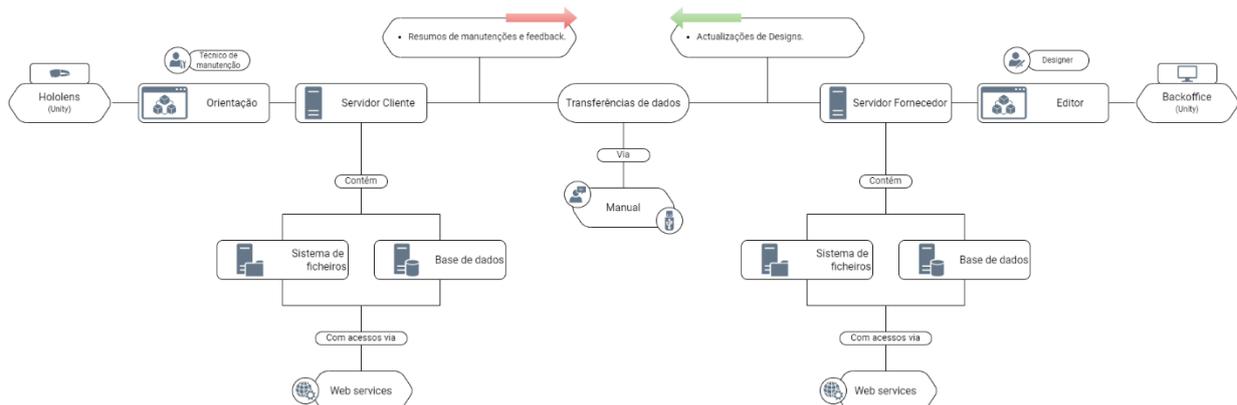


Figura 30 - Vista geral da arquitetura

De modo a facilitar a compreensão da figura, foi ampliado a parte do cliente, Figura 31, e a parte do fornecedor, Figura 32.

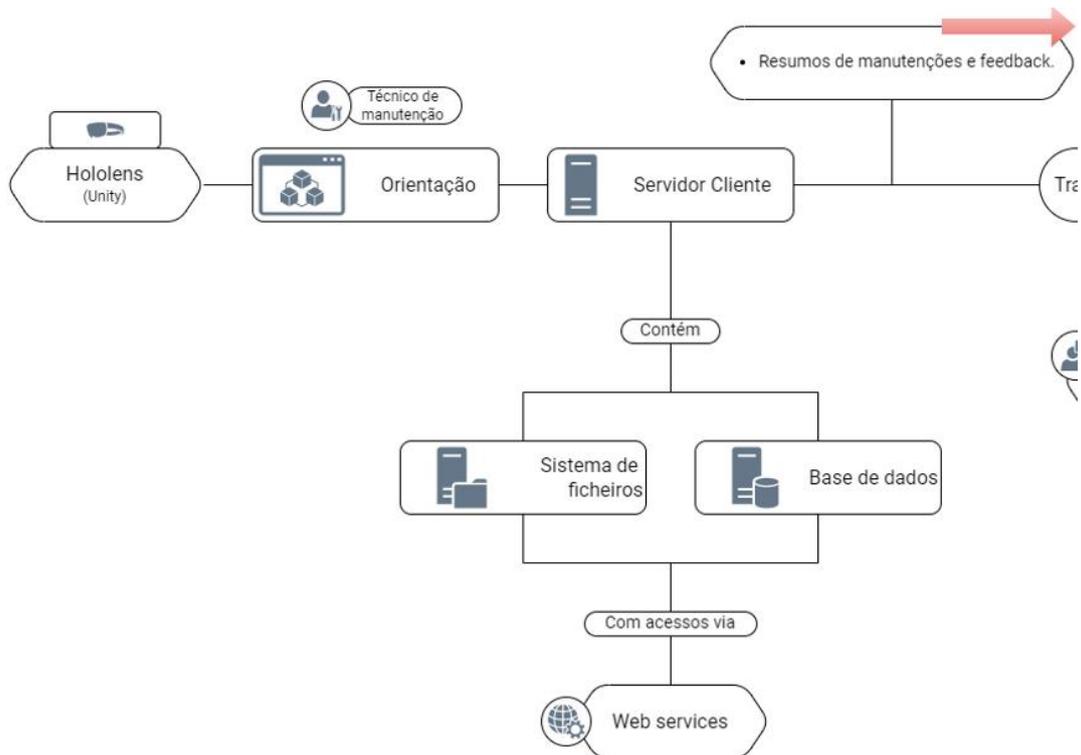


Figura 31 - Vista geral da arquitetura (lado do cliente).

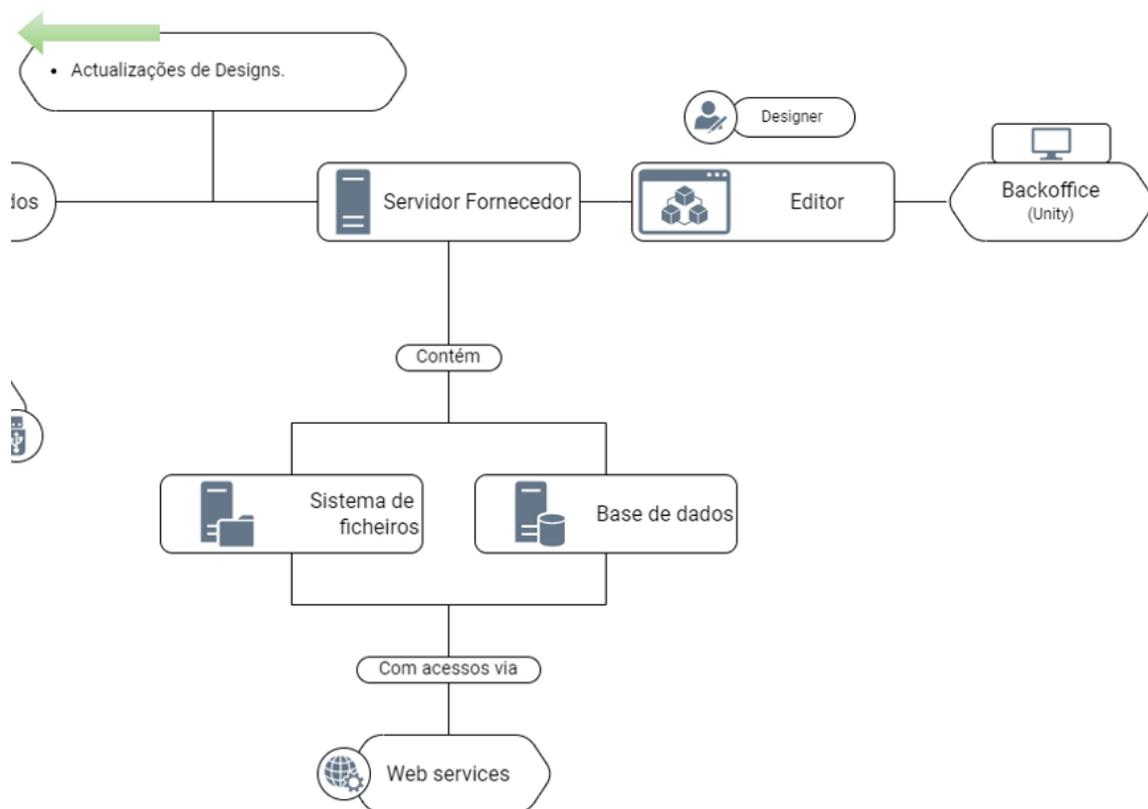


Figura 32 - Vista geral da arquitetura (lado do fornecedor).

A primeira restrição foi um elemento crucial na conceção da arquitetura. Esta restrição, ao requerer que um sistema funcione de forma unicamente local, levou à adoção uma solução descentralizada.

Nesta solução, cada cliente ou fornecedor, terá que alojar de modo local todos os serviços necessários ao funcionamento de cada aplicação. Quaisquer trocas de dados, como instruções e feedback, deverão de ser feitas de forma manual.

As funcionalidades foram repartidas em dois módulos, dois perfis e duas aplicações. Este foi o resultado de um processo de categorização no qual foi considerado, respetivamente, o propósito da funcionalidade, os intervenientes em cada módulo e a necessidade ou vantagem, face aos intervenientes, da presença de um módulo num dispositivo/plataforma como elementos de categorização.

Na Figura 33, é possível identificar o tipo de comunicação existente entre os módulos e os serviços existentes no sistema.

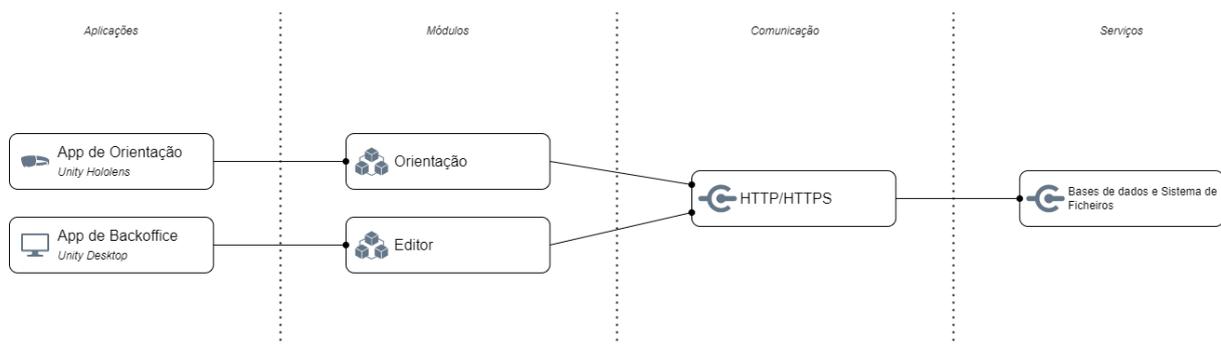


Figura 33 - Arquitetura de comunicação

De modo a fornecer um sistema ágil e seguro, a comunicação é feita através de um docker container. Isto permite que a solução tenha a componente modular na camada de comunicação, evitando assim, futuros problemas com instalações em diferentes ambientes. Devido à utilização desta tecnologia é possível acrescentar outros tipos de serviços e comunicações sem que estes ponham em causa a integridade do sistema.

4.2. SISTEMA DE FICHEIROS E MODELO DE DADOS

A forma de guardar a informação passa por dois sistemas. Os quais foram designados de sistema de ficheiros, do lado do editor, e base de dados, do lado operacional das organizações.

A primeira teve como origem a ausência da existência de uma forma clara de transportar a informação manualmente, bem como a necessidade de um método simples de controlo de versões. Através do sistema de ficheiros e com recurso à tecnologia do *git*, para criar um histórico de alterações, ambos são possíveis. De modo a simplificar ainda mais a primeira necessidade, na estrutura exemplificada na Figura 34, é possível identificar a pasta “Máquinas”, onde estarão todas as máquinas compiladas, contendo todas as informações relativas às manutenções da máquina em específico, facilitando a transferência de informação entre organizações.

No topo da Figura 34, existe um ficheiro “Índice”, este permite ao sistema identificar qual o conteúdo que pertence a uma coleção, que, por sua vez, contém todos os elementos da máquina do sistema. Estes elementos podem ser tarefas, passos, componentes, etc.

O *feedback* é guardado, também, no sistema de ficheiros devido às várias formas que o utilizador possui para o dar e devido ao tipo de conteúdo que este pode associar.

Por fim, a pasta “Conteúdo”, possibilita o armazenamento de todo o tipo de conteúdos, alguns deles exemplificados na Figura 34.

Todas as associações entre ficheiros são apoiadas por um identificador único designado de GUID, este é gerado automaticamente aquando da criação de qualquer elemento no sistema e posto no nome do ficheiro para facilitar a pesquisa.

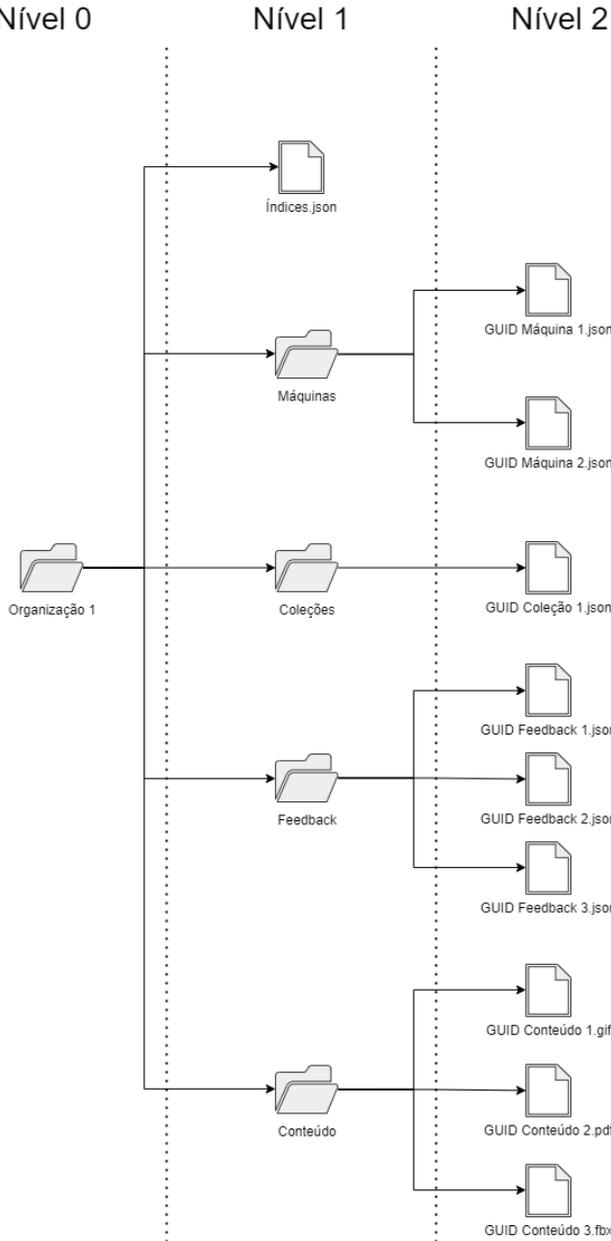


Figura 34 - Estrutura do Sistema de ficheiros.

Relativamente ao lado operacional das organizações que irão realizar operações de manutenção, é utilizada uma base de dados construída em MySQL.

Com o intuito de simplificar a explicação do modelo de dados, este foi dividido em quatro cores, exemplificado na Figura 35. Estas representam as permissões que os utilizadores têm sobre a mesma. A castanho, as tabelas serão apenas preenchidas pela organização que criou o sistema e poderá ser acedida por todas as outras organizações que funcionem como clientes. A roxo, estão as tabelas que são preenchidas de forma independente, ou seja, cada organização irá popular as suas tabelas e estas não

poderão ser acedidas por mais nenhuma organização, pois contêm informações sensíveis. A azul, estão as tabelas que podem ser preenchidas por qualquer organização que funcione como distribuidora do produto, isto é, que tenha clientes que utilizem este produto. Por último, a verde, estão as tabelas onde existirá uma transmissão de informação entre a organização que fornece o produto e o cliente, ou seja, são informações que são capturadas nas operações de manutenção efetuadas pelos clientes e que não são de carácter sensível, permitindo assim ao fornecedor do produto alguns dados de feedback necessários para realizar eventuais melhorias.

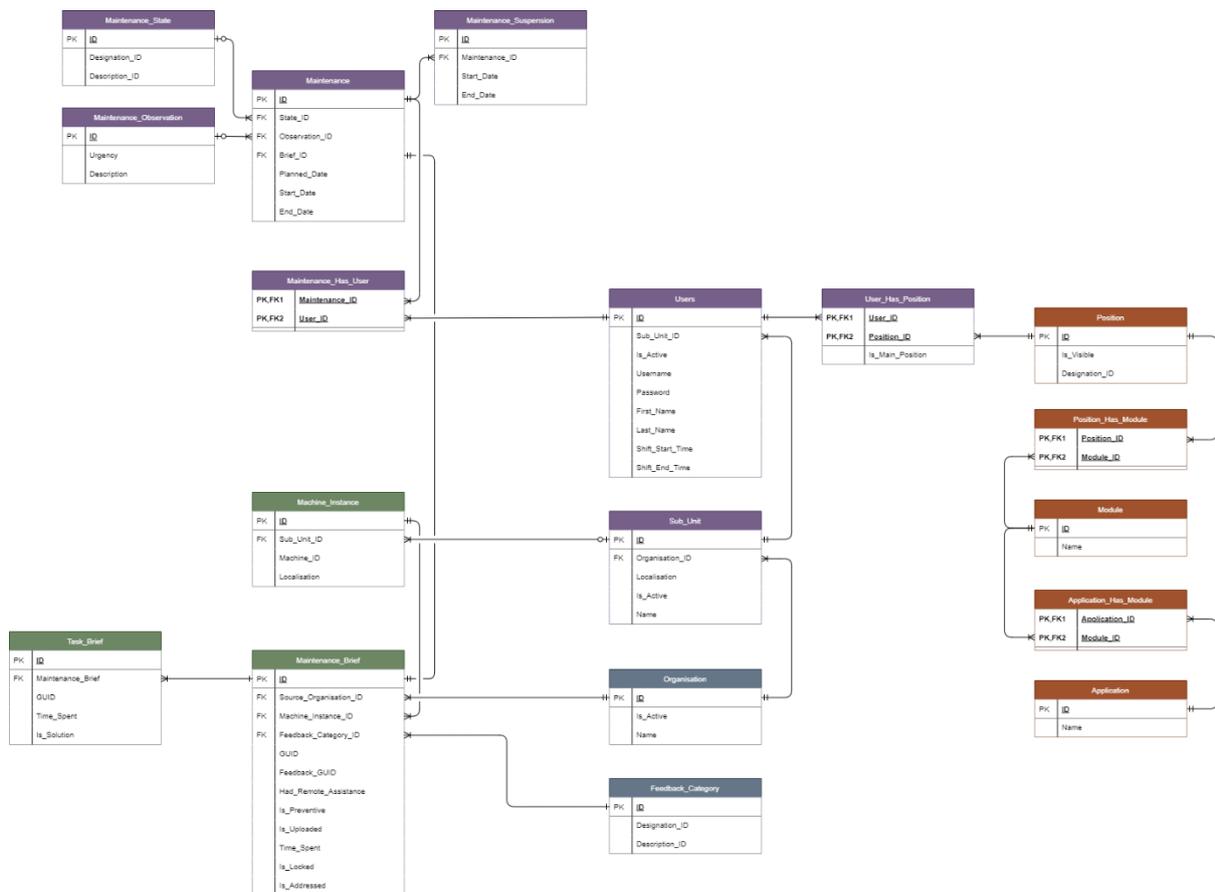


Figura 35 - Modelo de dados da base de dados operacional.

Esta permite, aos utilizadores, efetuar o login, e ao sistema, capturar a informação relativa à manutenção, tais como a sua duração, o seu tipo, possíveis observações, o seu estado, etc. Para isso existem as tabelas das aplicações, módulos e posições, que determinam o perfil do utilizador e que acessos este pode ter. Existem as tabelas dos utilizadores, subunidades e organizações, que indicam a estrutura das organizações inseridas no sistema e quais os seus utilizadores. Por fim, as tabelas das

manutenções, os seus estados, observações e suspensões, bem como, as instâncias das máquinas, que permitem, ao sistema, guardar a informação relativa às operações de manutenção e outros dados do mesmo carácter que depois podem ser avaliados pelo fornecedor através dos sumários.

4.3. PROTÓTIPO INICIAL

Como mencionado na arquitetura, sistema foi dividido em duas aplicações.

A aplicação de manutenção ou orientação, cujo propósito é orientar o técnico quando uma operação de manutenção é iniciada. Através desta, é possibilitado ao técnico a forma mais eficiente e eficaz para resolver o problema com que se depara, quer seja este simples ou complexo, com a ajuda de imagens e instruções de como o fazer, com o apoio de realidade aumentada.

Para que seja possível, foi desenvolvida a aplicação de backoffice, cujo propósito é proporcionar aos utilizadores experientes nas operações de manutenção, a possibilidade de criar a estrutura da operação de manutenção, através de coleções onde existirão as máquinas, os seus componentes e as sequências de manutenção, juntamente com as tarefas, os passos e os conteúdos associados.

4.3.1. APLICAÇÃO DE BACKOFFICE

Numa fase inicial foi desenvolvido o módulo de editor, da aplicação de backoffice. Como dito anteriormente, o objetivo desta aplicação é criar as coleções para as organizações. Estas coleções são todos os elementos existentes dentro de uma organização. Uma organização poderá ter mais do que uma coleção, caso queira organizar de uma certa forma os elementos que a constituem, mas uma coleção só pertence a uma organização.

Para isso, a UI foi dividida em três vertentes, como representado na Figura 36. Do lado esquerdo, a aba da biblioteca, onde são representados as coleções e os seus elementos, do lado direito o inspetor, onde é possível editar e consultar as informações do elemento selecionado do lado esquerdo, e em baixo, a zona dos conteúdos, onde podem ser adicionados novos conteúdos para serem usados nas operações de manutenção.

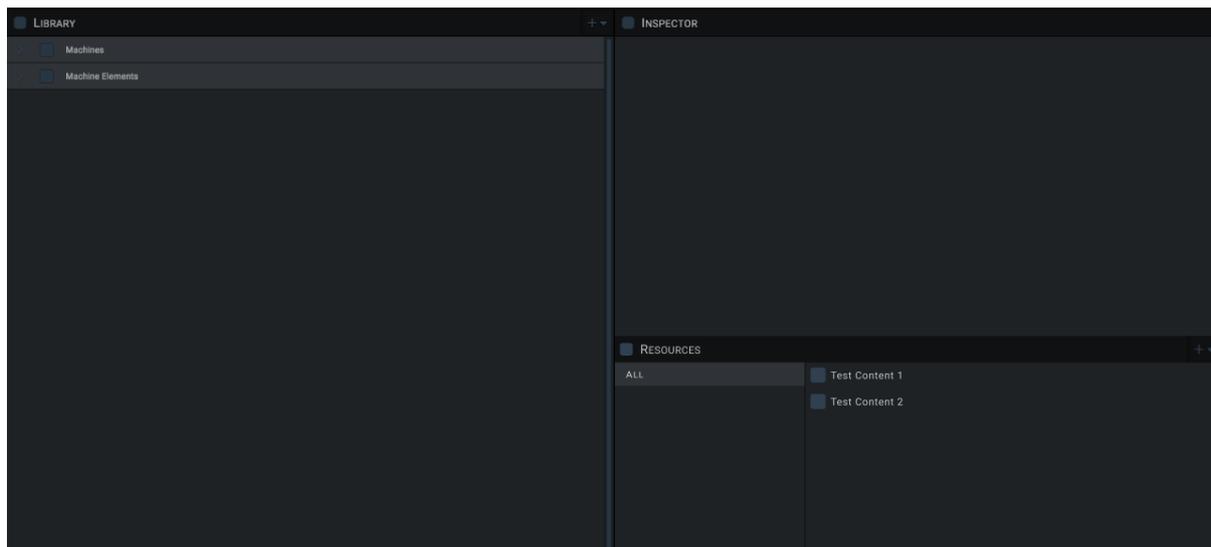


Figura 36 - Interface do da aplicação de backoffice.

Esta aplicação, inicialmente, aparecerá vazia, isto é, sem nenhuma coleção criada. Após selecionar a organização é possível criar uma coleção e/ou adicionar tipos de conteúdos diferentes (imagens, vídeos, modelos 3D, etc), visto que estes conteúdos são referentes a apenas uma organização, mas podem ser utilizados em mais do que uma coleção.

Depois de selecionar uma coleção, o utilizador pode prosseguir para a parte da criação dos elementos dessa coleção. Estes elementos estão distribuídos por máquinas ou elementos da máquina.

Na biblioteca, as máquinas são representadas através de um dropdown onde aparecem todas as manutenções que estão ligadas a esta. Dentro das máquinas é possível alterar a sua informação descritiva e adicionar manutenções. Nas manutenções, o utilizador, pode alterar a sua informação descritiva e associar as tarefas que fazem parte da manutenção.

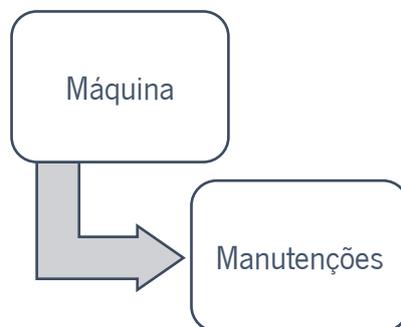


Figura 37 - Representação do dropdown das máquinas.

Ainda na mesma aplicação, existem os elementos da máquina, estes são todos os elementos existentes na coleção selecionada. Na aba da biblioteca, quando um elemento é criado é representado sobre a forma de um dropdown, onde, depois de adicionar a informação, aparecerão as tarefas e os passos criados e o conteúdo associado.

Quando um elemento é criado é possível seleccioná-lo e editar as informações relativas a este. Essas informações podem ser de carácter descritivo (designação e descrição) ou a relativas à criação de tarefas. Estas tarefas passam pelo mesmo processo dos elementos, são mostradas na biblioteca, debaixo do elemento, e podem ser seleccionadas. Após a seleção de uma tarefa, é possível criar os passos que esta irá ter e associar o possível conteúdo do passo.

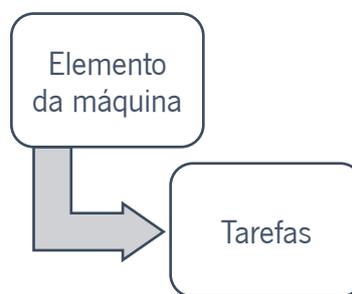


Figura 38 - Representação do dropdown dos elementos da máquina.

Após ter uma coleção devidamente populada, isto é, com ambas as máquinas e elementos da máquina e as suas informações preenchidas, é possível criar uma coleção compilada. Estas coleções funcionam como o sistema de base de dados da aplicação. A informação existente nas coleções é toda a informação existente na organização.

A informação guardada nas coleções compiladas é, previamente, ordenada pelo identificador único, de modo a facilitar as comparações entre versões.

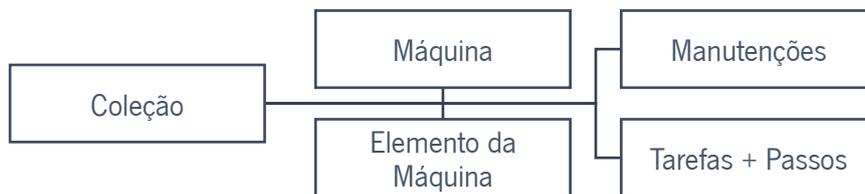


Figura 39 - Estrutura da informação da coleção compilada.

Após as máquinas e as suas manutenções estarem devidamente preenchidas, é possível gerar o ficheiro designado por máquina compilada, esta comporta-se como uma espécie de filtro da coleção, dependendo da máquina compilada.

Dentro das máquinas compiladas estão todas as manutenções a ela associadas, bem como os seus elementos, as suas tarefas, passos e conteúdos associados. Esta informação é guardada num ficheiro para, posteriormente, ser utilizada pela aplicação de orientação.



Figura 40 - Estrutura da informação da máquina compilada.

Os conteúdos podem ser criados a qualquer altura, desde que tenha uma organização selecionada. Estes conteúdos são agregados numa pasta e podem ser editados na interface dedicada aos mesmos. Para efeitos de associação, o utilizador precisa apenas de arrastar e posicionar o conteúdo no passo ao qual quer que esteja associado.

Por fim, os ficheiros de índice permitem ao sistema associar as coleções aos conteúdos. Estes são gerados e atualizados automaticamente quando o utilizador edita uma coleção.

4.3.2. APLICAÇÃO DE ORIENTAÇÃO

Na aplicação de orientação é consumida a informação criada na aplicação de backoffice. A partir dos ficheiros das máquinas compiladas, esta aplicação consegue facilmente dispor toda a informação necessária durante a operação de manutenção, com recurso aos ficheiros dos conteúdos é possível, também, mostrar no ambiente do utilizador, ajudas virtuais com o intuito de melhor explicar a informação descritiva da tarefa.

Para o desenvolvimento desta aplicação foi utilizado o plugin “Mixed Reality Toolkit” (MRTK), este permitiu utilizar *assets* e demonstrações de funcionalidades já existentes no próprio plugin, para agilizar e tornar a etapa de desenvolvimento mais célere. Para o carregamento dos modelos e devido à necessidade de carregar modelos em *runtime* foi utilizado o plugin “TriLib”. Por fim, de modo a decifrar os códigos QR, foi utilizada a biblioteca ZXing.

Após o técnico identificar a máquina, é-lhe mostrado informação relativa à mesma, com uma lista de manutenções a escolher. Após selecionar a manutenção desejada, é apresentada uma lista das tarefas a desempenhar, podendo, nesse menu, iniciar a operação de manutenção.

Durante a sessão de manutenção, o utilizador tem acesso ao menu demonstrado na Figura 41. Este menu permite ao utilizador iniciar uma tarefa da manutenção.

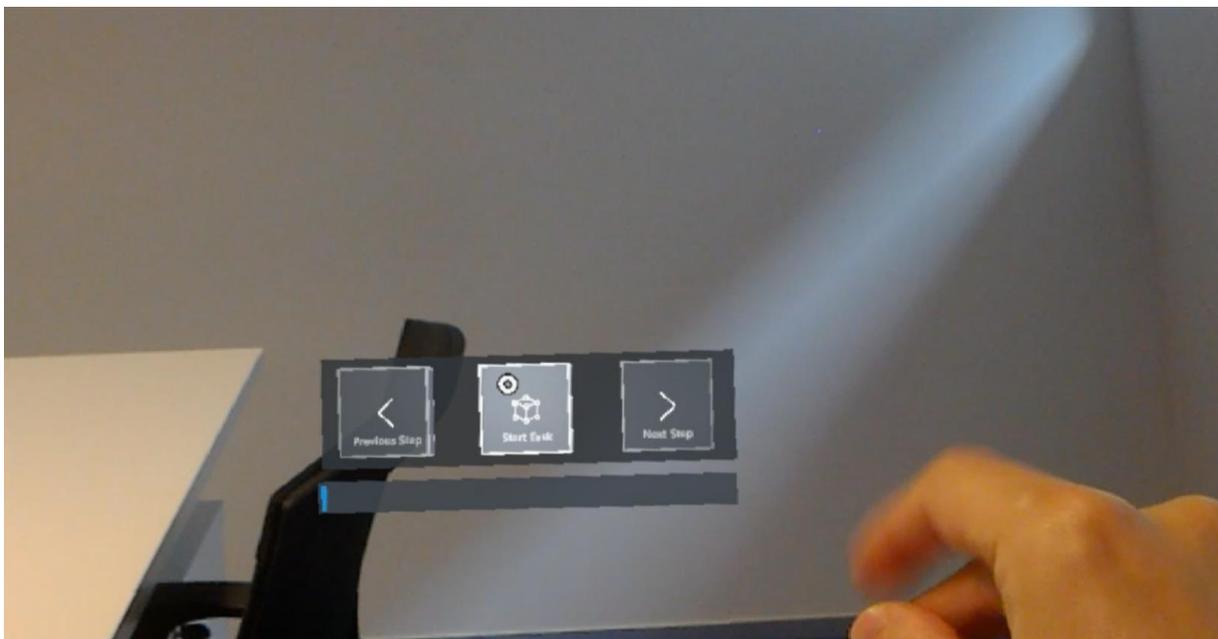


Figura 41 - Início de uma tarefa de manutenção.

Após o início da tarefa, é apresentada uma barra de progresso a demonstrar a evolução na tarefa que está a desempenhar. Aqui, o técnico pode navegar livremente na tarefa, podendo retroceder e avançar nas tarefas. O conteúdo do passo é mostrado do lado esquerdo, ou direito, dependendo da configuração feita pelo designer, como demonstrado na Figura 42 e Figura 43.

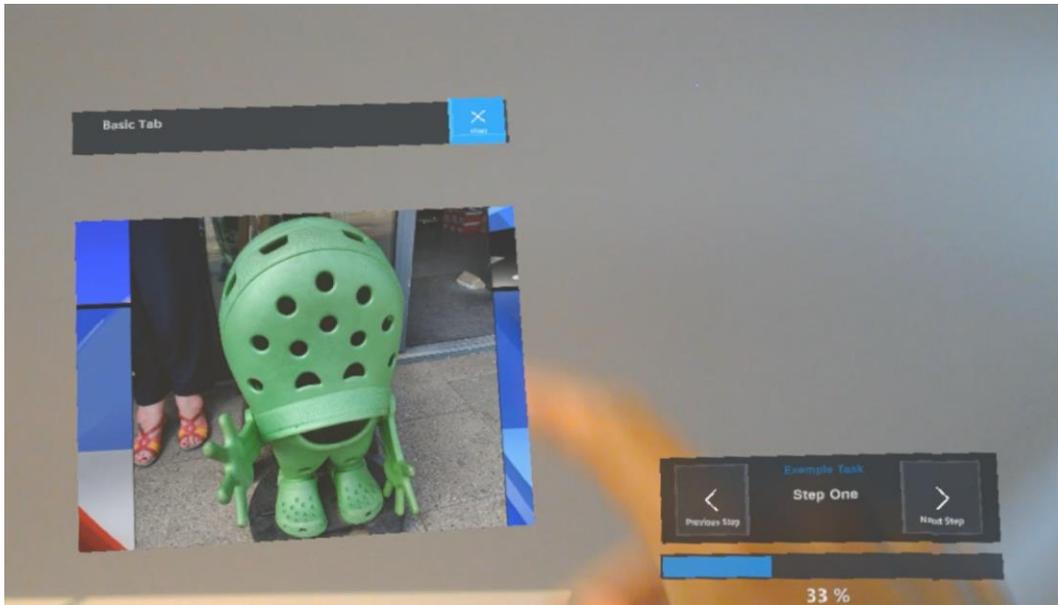


Figura 42 - Apresentação de conteúdo do lado esquerdo do técnico.

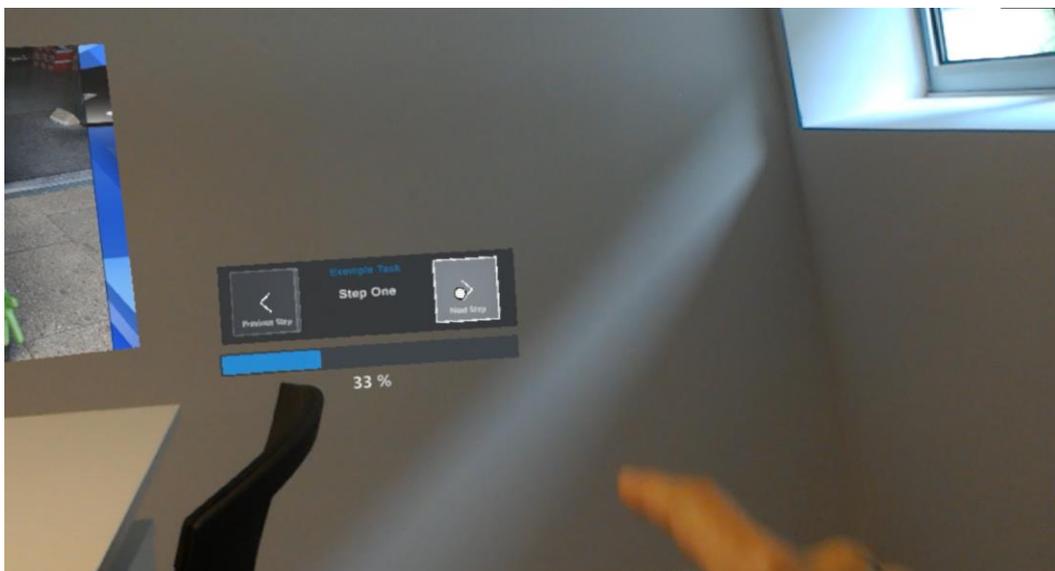


Figura 43 - Navegação na operação de manutenção.

Adicionalmente, técnico pode mover e alterar o conteúdo consoante as suas necessidades. Na Figura 44 é apenas demonstrado o utilizador a rodar um modelo 3D.

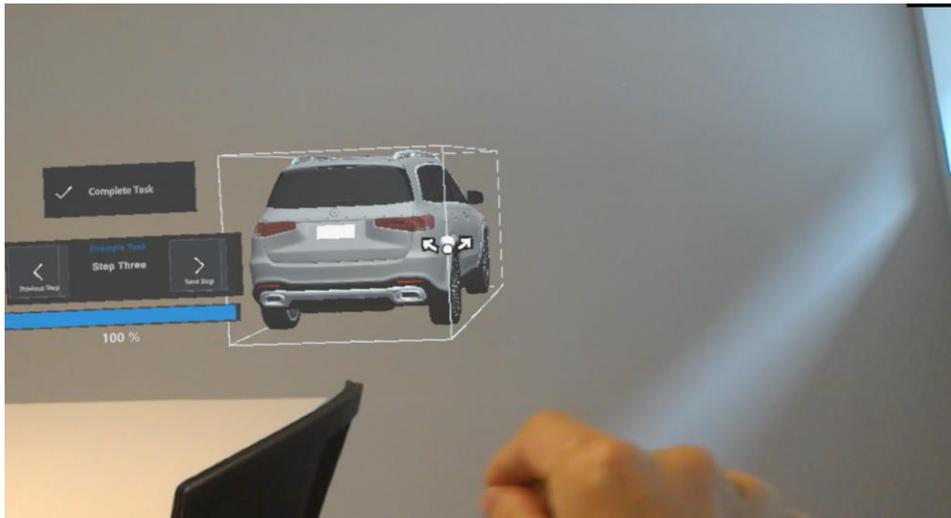


Figura 44 - Rotação de modelo 3D durante uma operação de manutenção.

Após finalizar a manutenção, é, automaticamente, guardado o tempo despendido em cada tarefa e é possibilitado, ao técnico, a inserção de feedback e conteúdo relacionado. Esta informação é, posteriormente, utilizada pelo designer para efeitos de correção de *bugs* ou na criação de futuras manutenções.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A realidade aumentada tem um potencial enorme na área da manutenção, como pode ser visto pela quantidade de artigos publicados e soluções existentes para este setor. No entanto, ainda sofre de alguns problemas, como, por exemplo, o equipamento disponível e o seu campo de visão reduzido e efeitos de fadiga causados.

No que toca à parte de rastreamento, este deve ser ou *marker-based*, caso se queira uma melhor precisão e fluidez da informação a apresentar, ou *markerless (feature ou model based)*, quando os marcadores não podem ser conservados ou montados. Podendo utilizar sensores para ajudar nesta tarefa.

O equipamento utilizado deverá ser um HMD, ou HHD, uma vez que estes serão os mais práticos e fáceis de adaptar no contexto da operação, sem acrescentar aos custos.

A visualização da informação deverá ser, sempre que possível, dinâmica em 2D/3D, podendo-se utilizar imagens e texto para suporte à tarefa.

A realidade aumentada tem-se revelado como uma ferramenta importante na transmissão de conhecimento. Como, por exemplo, no caso das manutenções, é possível facilitar o processo de formação e reduzir o número de erros causados durante uma operação de manutenção, com a ajuda desta tecnologia.

No entanto, e atendendo à revisão realizada do estado da arte, continuam a faltar sistemas que permitam a sua utilização em diferentes áreas de negócio, isto é, as soluções são apenas desenhadas para um único fim, seja este uma máquina, um conjunto de processos, etc. Criando, assim, a necessidade de um sistema que permita estender as funcionalidades de realidade aumentada para outros setores.

De forma a colmatar esta necessidade foram desenvolvidas duas aplicações. A aplicação de *backoffice*, para criar e editar hierarquias de elementos e as suas respetivas sequências de manutenção com os conteúdos associados. A aplicação de orientação, com o objetivo de ajudar o utilizador a realizar qualquer tipo de manutenções através de técnicas de realidade aumentada e utilizando os dados criados pela aplicação de *backoffice*.

Durante o desenvolvimento do sistema foram identificados os seus requisitos. De notar, os requisitos referentes às funcionalidades *offline* do sistema e o seu design modular. Estes requisitos impuseram limitações aquando da criação da arquitetura do sistema. Originando algumas restrições no tipo de funcionalidades a serem desenvolvidas, como, por exemplo, a obrigação da existência de um sistema modular, com recurso a *dockers*, e uma arquitetura descentralizada. Para guardar a informação de forma simples e de modo a facilitar o seu versionamento, foram desenvolvidos dois tipos de estruturas. O primeiro, em *MySQL*, onde estão guardados todos os dados relativos às operações de manutenção, bem como as informações sensíveis das mesmas. O segundo, em forma de sistema de ficheiros, onde são guardados todos os elementos que fazem parte da hierarquia do objeto sujeito a manutenção. Após isto, foram desenvolvidas as aplicações previamente mencionadas, produzindo um sistema que, mesmo não contendo todas as funcionalidades de realidade aumentada quando comparado às soluções já existentes, se distingue pela sua modularidade e versatilidade.

Como trabalho futuro deste sistema é sugerido a implementação ou a melhoria de algumas funcionalidades, nomeadamente:

- A melhoria da interface de ambas as aplicações, de modo a representar de maneira mais fidedigna os protótipos não funcionais elaborados.
- A utilização de um sistema de eventos, como, por exemplo, o kafka, para sincronização e acesso de utilizadores.
- A melhoria na colocação e apresentação dos conteúdos, como a criação de um cenário, na aplicação de *backoffice*, onde seja possível colocar com precisão, dependendo da máquina e da tarefa, o conteúdo a ser apresentado.
- A realização de testes num ambiente interorganizacional real.
- Desenvolver a aplicação de orientação para um dispositivo móvel.

6. BIBLIOGRAFIA

- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34–47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* (Vol. 6, Issue 4, pp. 355–385). <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341–377. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- Ceruti, A., Liverani, A., & Bombardi, T. (2017). Augmented vision and interactive monitoring in 3D printing process. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 11(2), 385–395. <https://doi.org/10.1007/s12008-016-0347-y>
- Espíndola, D. B., Fumagalli, L., Garetti, M., Pereira, C. E., Botelho, S. S. C., & Ventura Henriques, R. (2013). A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality. *Computers in Industry*, 64(4), 376–391. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.01.002>
- Fernández del Amo, I., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., Palmarini, R., & Onoufriou, D. (2018). A systematic review of Augmented Reality content-related techniques for knowledge transfer in maintenance applications. In *Computers in Industry*. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.08.007>
- Fiorentino, M., Uva, A. E., Gattullo, M., Debernardis, S., & Monno, G. (2014). Augmented reality on large screen for interactive maintenance instructions. *Computers in Industry*, 65(2), 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.11.004>
- Fraga-Lamas, P., Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, Ó., & Vilar-Montesinos, M. A. (2018). A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard. In *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2808326>
- Henderson, S., & Feiner, S. (2011). Exploring the benefits of augmented reality documentation for maintenance and repair. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(10), 1355–1368. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2010.245>
- Henderson, S. J., & Feiner, S. K. (2007). Augmented Reality for Maintenance and Repair (ARMAR). *Distribution*, 62.
- Kress, B., & Starner, T. (2013). *A review of head-mounted displays (HMD) technologies and applications for consumer electronics* (A. A. Kazemi, B. C. Kress, & S. Thibault, Eds.; p. 87200A). <https://doi.org/10.1117/12.2015654>
- Lee, S. G., Ma, Y. S., Thimm, G. L., & Verstraeten, J. (2008). Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. *Computers in Industry*, 59(2–3), 296–303. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.06.022>

- Makris, S., Pintzos, G., Rentzos, L., & Chryssolouris, G. (2013). Assembly support using AR technology based on automatic sequence generation. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 62(1), 9–12. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2013.03.095>
- Material Design Icons*. (n.d.). Retrieved December 29, 2021, from <https://materialdesignicons.com/>
- Nee, A. Y. C., Ong, S. K., Chryssolouris, G., & Mourtzis, D. (2012). Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61(2), 657–679. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.010>
- Ong, S. K., Yuan, M. L., & Nee, A. Y. C. (2008). Augmented reality applications in manufacturing: A survey. *International Journal of Production Research*, 46(10), 2707–2742. <https://doi.org/10.1080/00207540601064773>
- Overview | Clarity Design System*. (n.d.). Retrieved December 29, 2021, from <https://clarity.design/foundation/icons/>
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. In *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>
- Parida, A., & Kumar, U. (2004). Managing information is key to maintenance effectiveness. *Intelligent Maintenance Systems*.
- Reinhart, G., & Patron, C. (2003). Integrating augmented reality in the assembly domain - Fundamentals, benefits and applications. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 52(1), 5–8. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60517-4](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60517-4)
- Rolland, J. P., & Fuchs, H. (2000). Optical Versus Video See-Through Head-Mounted Displays in Medical Visualization. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(3), 287–309. <https://doi.org/10.1162/105474600566808>
- Siltanen, S. (2012). Theory and applications of marker-based augmented reality. In *Espoo 2012. VTT Science Series 3*.
- System UIcons*. (n.d.). Retrieved December 29, 2021, from <https://systemuicons.com/>
- Tan, W., Liu, H., Dong, Z., Zhang, G., & Bao, H. (2013). Robust monocular SLAM in dynamic environments. *2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2013*, 209–218. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2013.6671781>
- Wang, X., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2016a). A comprehensive survey of augmented reality assembly research. *Advances in Manufacturing*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s40436-015-0131-4>
- Wang, X., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2016b). Multi-modal augmented-reality assembly guidance based on bare-hand interface. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 406–421. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.05.004>
- Zhou, F., Dun, H. B. L., & Billingham, M. (2008). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. *Proceedings - 7th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008, ISMAR 2008*, 193–202. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637362>

Zhu, J., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2014). A context-aware augmented reality system to assist the maintenance operators. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 8(4), 293–304. <https://doi.org/10.1007/s12008-013-0199-7>

Zhu, J., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2015). A context-aware augmented reality assisted maintenance system. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(2), 213–225. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2013.874589>