



CATÓLICA
ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

PORTO

**hIPS - APLICAÇÃO *MOBILE* PARA SUPORTE À DESLOCAÇÃO
DE UTILIZADORES EM CONTEXTO HOSPITALAR**

por

Carla Filipa Vasconcelos Sousa

Junho 2023



CATÓLICA

ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

PORTO

hIPS - APLICAÇÃO *MOBILE* PARA SUPORTE À DESLOCAÇÃO DE UTILIZADORES EM CONTEXTO HOSPITALAR

Tese apresentada à Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica
Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Biomédica

por

Carla Filipa Vasconcelos Sousa

Orientador (Craftable Software): Eng.º Renato Oliveira

Coorientador (Escola Superior de Biotecnologia – UCP) : Prof. Dr. Pedro Rodrigues

Junho 2023

Resumo

O crescimento substancial dos sistemas de posicionamento *indoor* (IPS), justifica-se pelo facto de estes permitirem melhorias na gestão dos espaços e das pessoas no interior de edifícios. Considerando os hospitais como sendo espaços físicos com arquitetura complexa e/ou de grandes dimensões, a aplicação dos IPS nestas unidades pode ser uma mais-valia. Com o recurso a tecnologias como o WiFi e o Bluetooth Low Energy, os IPS podem contribuir para a gestão das unidades hospitalares, cooperando também na segurança dos pacientes. Estas permitem a localização, em tempo real, de utilizadores e, juntamente com lógicas de mapeamento e navegação, providenciam auxílio aquando da sua movimentação no interior dos hospitais.

Os IPS já são conhecidos em alguns países, sendo aplicados em centros comerciais, aeroportos, hospitais, entre outros. Contudo em Portugal ainda não foi explorada esta solução. Assim sendo, a presente dissertação foca-se na avaliação e desenvolvimento de um sistema de posicionamento *indoor*, inserido numa aplicação *mobile*, para utilização em contexto hospitalar. Deste modo, o principal objetivo é o estudo dos benefícios e potenciais desafios da aplicação destes sistemas nas unidades hospitalares, tal como a apresentação de uma solução tecnológica para otimizar o fluxo de utilizadores.

Como componente prática, elaborou-se uma prova de conceito das duas últimas fases de um IPS, ao qual foi possível perceber a utilidade desta ferramenta em contexto real, bem como algumas dificuldades implícitas no processo de construção da mesma. Através da hIPS, é possível aceder aos trajetos a efetuar no interior de um espaço (que pretende simular uma zona do hospital), pré-selecionado o ponto de partida e o destino pretendido, com uma interface gráfica acessível e intuitiva, melhorando a experiência do utilizador na visita.

Palavras-chave: Sistemas de posicionamento *indoor*, Fluxo hospitalar, *WiFi*, *Bluetooth Low Energy*, *Machine learning*.

Abstract

The substantial growth of indoor positioning systems (IPS) is justified by the fact that they allow for improvements in the management of spaces and people inside buildings. Considering hospitals as physical spaces with complex architectures and large dimensions, the application of IPS in these units can be an asset. With the use of technologies such as WiFi and Bluetooth Low Energy, IPS can contribute to the management of hospital units, also cooperating in the safety of patients. These enable real-time tracking of user's localization and, together with mapping and navigation logics, provide assistance when moving around inside hospitals.

IPS are already known in some countries, being applied in shopping centers, airports, hospitals, among others. However, in Portugal this solution has not been explored yet. Therefore, this thesis focuses on the evaluation and development of an indoor positioning system, inserted in a mobile application, for use in a hospital context. Thus, the main objective is the study of the benefits and potential challenges of the application of these systems in hospital units, as well as the presentation of a technological solution to optimize the user's flow.

As a practical component, a proof of concept of the last two IPS phases was elaborated, which allowed us to understand the usefulness of this tool in a real context, as well as some construction difficulties implicit in the process. Through hIPS, it is possible to access the paths to be taken within a space (which intends to simulate a hospital area), pre-selecting the starting point and the desired destination, with an accessible and intuitive graphic interface, improving the user's experience during the visit.

Keywords: Indoor Positioning system, Hospital flow, WiFi, Bluetooth Low Energy, Machine learning.

Agradecimentos

Com a entrega desta tese, dou por terminada esta fase tão desafiante, mas também tão importante da minha vida, que foi o meu percurso académico. Foram anos de muito esforço e dedicação, que não seriam iguais sem o enorme contributo de algumas pessoas, aos quais gostaria de, profundamente, agradecer.

Primeiramente, quero agradecer à minha família pelo incansável suporte ao longo desta jornada, e por todo o sacrifício que fizeram para ser a pessoa que sou hoje. A ti Patrícia, Celso, Edmundo, Rita, Inês, Ana, Marco e Abigail, um eterno obrigada. Quero também dedicar esta tese ao meu namorado, João, por sempre apoiar todas as minhas decisões e estar ao meu lado em todos os momentos, contigo partilho e quero para sempre partilhar todas as minhas conquistas.

Expresso o meu agradecimento e gratidão a ti, Renato, pela tua disponibilidade, prontidão e amizade. Agradeço também ao Professor Pedro, pelo seu contributo durante todo o meu percurso da Escola Superior de Biotecnologia. O apoio e todo o conhecimento passado pelos dois foram essenciais para a concretização desta tese e, por isso, um enorme obrigada.

Não podia deixar de agradecer do fundo do coração à minha amiga, Daniela, pois estiveste comigo desde o meu primeiro dia enquanto estudante universitária e tudo o que construímos juntas é imensurável, bem como o meu carinho pela nossa amizade. A ti Leonor, pela nossa amizade de muitos anos, que irá prevalecer “até sermos velhinhas”. Agradeço-te também a ti, Patrícia, por toda a amizade, ajuda e apoio para a realização deste trabalho e a ti Catarina por teres estado ao meu lado ao longo deste percurso, pelo teu constante apoio e amizade.

“Tenho em mim todos os sonhos do mundo.”

Fernando Pessoa

Índice

Resumo	V
Abstract	VI
Agradecimentos	IX
Lista de figuras	XVII
Lista de tabelas	XVII
Lista de abreviaturas	XVIII
1. Introdução	1
1.1. Motivações e Objetivos	1
1.2. Estrutura do documento	2
2. Sistemas de posicionamento <i>indoor</i> – IPS	3
2.1. Sistemas de localização – Localização <i>indoor</i> vs Localização <i>outdoor</i>	3
2.1.1. Lateralização	6
2.1.2. Angulação	10
2.2. Tecnologias utilizadas para o posicionamento <i>indoor</i>	11
2.2.1. <i>WiFi</i>	13
2.2.2. <i>Bluetooth Low Energy</i> – BLE	16
2.3. Mapeamento e navegação em ambientes <i>indoor</i>	18
2.4. Projetos relacionados	23
2.4.1. Situm Indoor Positioning	23
2.4.2. NEXTOME	25
2.4.3. BlueIOT	27
3. Fluxo hospitalar	30
3.1. Contextualização da problemática	30
3.2. Sistemas de informação para gestão hospitalar	33
4. Protótipo	35

4.1.	Contexto	35
4.2.	Linguagens de programação, <i>frameworks</i> e ferramentas utilizadas	36
4.3.	<i>Cloud</i> - Serviços AWS	37
4.3.1.	AWS Lambda	37
4.3.2.	AWS S3	38
4.3.3.	AWS API Gateway	39
4.4.	Diagramas	39
4.4.1.	Requisitos funcionais	40
4.4.2.	Domínio do problema	42
4.4.3.	Desenho da solução	43
4.5.	Interface gráfica	49
	Conclusão	54
4.6.	Síntese	54
4.7.	Perspetivas futuras	55
	Referências bibliográficas	56

Lista de figuras

Figura 2.1 – Ilustração de algumas das tecnologias associadas aos sistemas de posicionamento indoor nos hospitais [4].

Figura 2.2 – Técnicas para estimar a posição do utilizador [3].

Figura 2.3 – Ilustração do modo de funcionamento da técnica de tempo de chegada (TOA) [7].

Figura 2.4 – Ilustração do modo de funcionamento da técnica de diferença de tempo de chegada (TDOA) [8].

Figura 2.5 – Ilustração do modo de funcionamento da técnica de impressão digital [10].

Figura 2.6 – Esquema ilustrativo das duas fases do *fingerprinting* [11].

Figura 2.7 – Ilustração do modo de funcionamento da técnica de ângulo de chegada (AOA) [10].

Figura 2.8 – Representação de um método de localização segundo um modelo 2D e respetivas equações requeridas [13].

Figura 2.9 – Representação de um método de localização segundo um modelo 3D e respetivas equações requeridas [13].

Figura 2.10 – Diagrama do algoritmo KNN [15].

Figura 2.11 – Ilustração de um sistema de mapeamento [21].

Figura 2.12 – Representação dos caminhos mais rápidos e curtos [22].

Figura 2.13 – Fase inicial do preenchimento da tabela relativa ao custo do trajeto entre os nós [22].

Figura 2.14 – Atualização da tabela com os custos relativos ao trajeto entre um nó e as restantes possibilidades [22].

Figura 2.15 – Fase final da tabela de determinação do trajeto mais rápido/curto [22].

Figura 2.16 – Página principal do *website* da Situm Indoor Positioning [23].

Figura 2.17 – Esquema ilustrativo da tecnologia por detrás da aplicação Situm Indoor Positioning [23].

Figura 2.18 – Página principal do *website* da NEXTOME [24].

Figura 2.19 – Esquema ilustrativo da tecnologia por detrás da aplicação NESTOME [24].

Figura 2.20 – Página principal do *website* da BlueIOT [25].

Figura 2.21 – Imagem representativa da aplicação do método AOA no *software* da BluIOT [25].

Figura 2.22 – Esquema representativo das diferentes camadas da aplicação BlueIOT [25].

Figura 3.1 – Esquema representativo do quarteirão do Hospital São João [27].

Figura 3.2 – Esquema representativo das plantas do Hospital São João [27].

Figura 3.3 – Esquema ilustrativo do funcionamento da tecnologia RFID aplicado à gestão no setor da saúde [31].

Figura 4.1 – Esquema representativo do funcionamento do serviço AWS Lambda [34].

Figura 4.2 – Esquema representativo do funcionamento do serviço Amazon S3 [35].

Figura 4.3 – Esquema representativo do funcionamento do serviço Amazon API Gateway [36].

Figura 4.4 – Diagrama de sequência do *software* da hIPS.

Figura 4.5 – Diagrama ERD do *software* da hIPS.

Figura 4.6 – Diagrama da arquitetura do *software* da hIPS.

Figura 4.7 – Lista das imagens relativas aos diferentes trajetos no *bucket* criado no serviço Amazon S3.

Figura 4.8 – Lista dos Lambdas criados no serviço AWS Lambda.

Figura 4.9 – *Array* de objetos do Lambda *getLocais*.

Figura 4.10 – *Array* de objetos do Lambda *getDistritos*.

Figura 4.11 – *Array* de objetos do Lambda *getTrajeto*.

Figura 4.12 – *Array* de objetos do Lambda *getHospitais*.

Figura 4.13 – Processo de execução do método GET ao Lambda *getDistritos*.

Figura 4.14 – Processo de execução do método GET ao Lambda *getHospitais*.

Figura 4.15 – Processo de execução do método GET ao Lambda *getLocais*.

Figura 4.16 – Processo de execução do método GET ao Lambda *getTrajetos*.

Figura 4.17 – Diferentes ecrãs da aplicação hIPS.

Figura 4.18 – Diferentes ecrãs da aplicação hIPS.

Figura 4.19 – Diferentes ecrãs da aplicação hIPS.

Figura 4.20 – Diferentes ecrãs da aplicação hIPS.

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Métricas a considerar aquando da avaliação das tecnologias utilizadas nos IPS [3].

Tabela 2.2 – Comparação entre a utilização da técnica de AOA e RSS na aplicação de Bluetooth [20].

Lista de abreviaturas

AOA	Ângulo de Chegada (<i>Angle of arrival</i>)
AP	Ponto de Acesso (<i>Access Point</i>)
API	Interface de Programação de Aplicações (<i>Application Programming Interface</i>)
BLE	Bluetooth Low Energy
ERD	Diagrama de Entidade-Relacionamento (<i>Entity Relationship Diagram</i>)
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite (<i>Global Navigation Satellite System</i>)
GPS	Sistema de Posicionamento Global (<i>Global Positioning System</i>)
IPS	Sistema de Posicionamento <i>Indoor</i> (<i>Indoor Positioning System</i>)
KNN	<i>k-Nearest Neighbor</i>
REST	Transferência de Estado Representacional (<i>Representational State Transfer</i>).
RFID	Identificador de radiofrequência (<i>Radio Frequency IDentification</i>)
RSS	Força do Sinal Recebido (<i>Received signal Strenght</i>)
SDK	<i>Kit</i> de Desenvolvimento de <i>Software</i>
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
TDOA	Diferença de tempo de chegada (<i>Time-difference-of-arrival</i>)
TI	Tecnologia de Informação
TOA	Tempo de Chegada (<i>Time of arrival</i>)
UML	Linguagem Unificada de Modelação (<i>Unified, Modeling Language</i>)
UWB	Banda ultralarga (<i>Ultra-Wide Band</i>)
WLAN	Rede Local Sem Fios (<i>Wireless Local Area Network</i>)

1. Introdução

O intenso fluxo hospitalar, verificado atualmente, pode ser justificado por diversos motivos. Contudo, considera-se que o principal fator se relaciona com a complexidade da arquitetura destes edifícios. Esta, causa dificuldade na movimentação, o que complica o fluxo dentro das instalações hospitalares, comprometendo a sua gestão. Deste modo, considerou-se fulcral a procura de uma solução para esta problemática.

Os sistemas de posicionamento em ambientes indoor (IPS) pretendem resolver problemas de geo-referenciação dentro de edifícios, simplificando o dia a dia dos utilizadores. Os sistemas de localização indoor podem ser aplicados em diversos tipos de edifícios, tais como museus, centros comerciais, hospitais, entre outros. Através da localização, juntamente com técnicas de mapeamento e de navegação, é possível auxiliar o deslocamento de utilizadores, desde um determinado ponto de partida até um destino de interesse.

Assim, neste trabalho de tese de mestrado serão investigadas e analisadas as três fases dos sistemas de localização *indoor* - posicionamento, mapeamento e navegação - de modo a perceber a sua utilidade para colmatar o intenso fluxo hospitalar. Relativamente ao posicionamento, serão estudadas diferentes tecnologias *wireless* inseridas em ambientes interiores. Neste sentido, será realizado um estudo intra-ferramentas, de modo a saber qual será a melhor abordagem para a finalidade pretendida. Numa fase posterior, será apresentada uma prova de conceito das restantes fases, o mapeamento e a navegação, baseada na elaboração de uma aplicação mobile. Pretende-se com esta aplicação, denominada de hIPS (Hospital IPS) auxiliar a deslocação de um utilizador, sendo uma alternativa às soluções, não tecnológicas, implementadas, atualmente, em contexto hospitalar.

1.1. Motivações e objetivos

Existem, hoje em dia, algumas estratégias para auxiliar a movimentação dos utilizadores dos hospitais, tais como linhas coloridas desenhadas no chão destes edifícios. Estas linhas indicadoras têm, portanto, o intuito de indicar o trajeto a efetuar de um local para outro. Contudo, é expectável que estes designs informativos apenas indiquem os trajetos para zonas

mais gerais, como, por exemplo, para a zona de triagem, zona das consultas e de urgência. Os trajetos a efetuar desde a sala de espera até um determinado gabinete médico ou até uma sala de imagiologia médica em específico, não são indicados por essas linhas. A falta de orientação no interior de hospitais de grandes dimensões e/ou com arquiteturas complexas originam desordem, atrasos e, conseqüentemente, afetam a gestão destas instalações.

Assim sendo, com este trabalho, pretende-se estudar uma solução tecnológica inovadora para os hospitais a nível nacional, que permitiria colmatar a problemática mencionada. Esta solução corresponde a uma aplicação móvel (mobile app), que determina, primeiramente, a localização atual do utilizador; de seguida, faz o mapeamento do espaço; por fim, indica o melhor trajeto a efetuar desde o seu ponto de partida até ao destino pretendido.

Foi previamente realizada uma investigação e descrição pormenorizada das três fases dos sistemas de localização indoor, de modo a identificar as melhores tecnologias e que correspondem às expectativas, para colmatar o problema. Para além disso, foi elaborada uma prova de conceito da fase do mapeamento e de navegação, incorporadas numa aplicação *mobile*, com o nome de hIPS. Esta aplicação é capaz de, mediante o ponto de partida selecionado pelo utilizador, bem como o destino pretendido, reconhecer ambos e apresentar, numa planta, o trajeto a efetuar, de forma dinâmica.

1.2. Estrutura do documento

Em termos de estrutura, a presente tese encontra-se dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo remete à introdução da temática do documento, motivações e objetivos. No que concerne ao segundo e terceiro capítulo, os mesmos relacionam-se com o estado de arte, incluído por isso uma investigação aprofundada sobre os sistemas de posicionamento *indoor* e a problemática encontrada, nomeadamente, o fluxo hospitalar.

O quarto capítulo é um protótipo de uma solução possível para o problema mencionado, sendo esta relativa à componente prática do trabalho. Por fim, o quinto capítulo remete para as conclusões encontradas, assim como, possíveis perspetivas futuras.

2. Sistemas de Posicionamento Indoor - IPS

2.1. Sistemas de localização – Localização *outdoor* vs Localização *indoor*

O acesso a sistemas de posicionamento, vulgo GPS (*Global Positioning System*), é hoje uma realidade para a maioria da população europeia. O GPS ou o GNSS (*Global Navigation Satellite System*) são os mais procurados e utilizados pelas pessoas nos dias que correm, dando indicações sobre a localização e deslocação dos utilizadores. No caso, são conhecidos diversos sistemas de GNSS em funcionamento por todo o Mundo, sendo um deles o GPS [1]. O *Global Positioning System* é um sistema operado pelo governo dos Estados Unidos da América, sendo de livre acesso a qualquer utilizador que possua um recetor de GPS [2].

A disponibilidade, cobertura, acessibilidade e custo dos recetores, bem como o seu tamanho, fez com que os sistemas baseados em GNSS obtivessem um imenso sucesso. Contudo, nem sempre são adequados aos diferentes cenários, justamente pelos requisitos de precisão e degradação do sinal. Pesquisas científicas indicam que a precisão média de um recetor de GNSS, presente num *smartphone*, em condições de céu aberto, é de 4,9 metros. Este valor é perfeitamente aceitável em condições de grandes espaços exteriores, contudo, não seria admissível em espaços *indoor*, de menores dimensões [3].

Assim, quando não é apropriada a utilização de radionavegação por satélite, como por exemplo, em espaços *indoor*, recorre-se ao IPS (*Indoor Positioning System*). Este torna possível a deteção de localizações em tempo real, de forma a determinar as coordenadas de pessoas ou objetos dentro de edifícios. Esta tecnologia é, por isso, necessária em cenários como aeroportos, centros comerciais, hospitais, entre outros [4].

Estas tecnologias são interessantes, uma vez que permitem guiar os utilizadores, através de corredores, em edifícios de grandes dimensões ou com uma arquitetura mais complexa. Para além do mais, são capazes de, simplesmente, identificar a posição atual de um objeto neste tipo de ambiente [4].

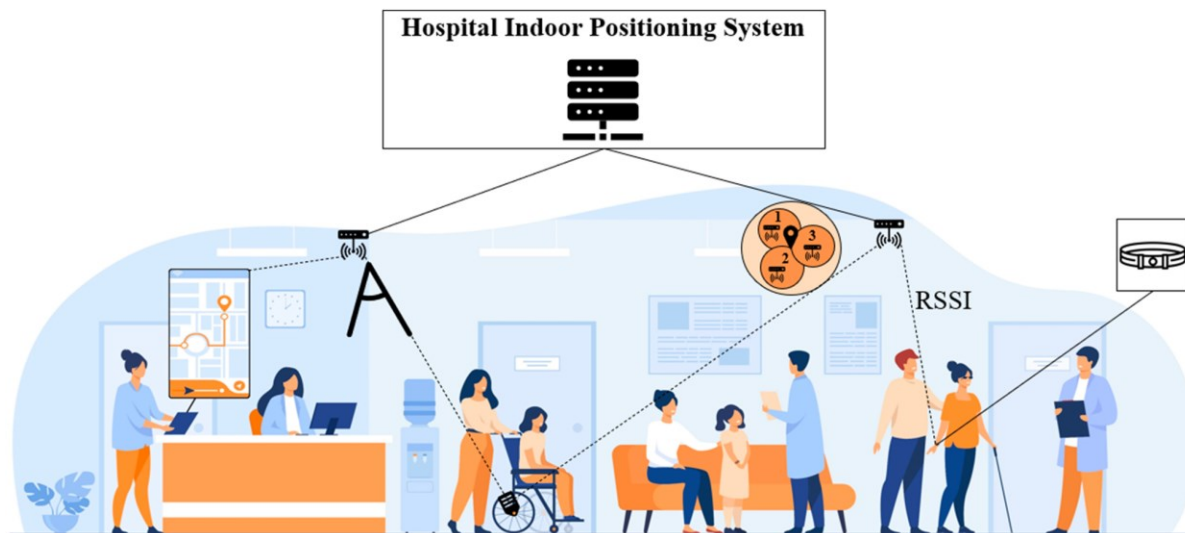


Figura 2.1 - Ilustração de algumas das tecnologias associadas aos sistemas de posicionamento *indoor* nos hospitais [4].

O posicionamento em ambientes interiores é mais desafiante do que em exteriores, dado que os primeiros apresentam espaços com menores dimensões, requerendo uma maior precisão. Para além da questão da dimensão, estes espaços apresentam paredes e obstáculos físicos, que contribuem para a complexidade da aplicação de sistemas de localização *indoor* [4].

Deste modo, para a avaliação e comparação das diferentes tecnologias utilizadas nos IPS, é necessário considerar métricas como a “cobertura, complexidade, robustez, escalabilidade, custo, privacidade e consumo energético” [3]. A descrição e contextualização dos diferentes parâmetros encontram-se expressos na subsequente tabela (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Métricas a considerar aquando da avaliação das tecnologias utilizadas nos IPS [3].

Métricas	Contextualização
<i>Cobertura</i>	Alcance do sinal (aplicabilidade do IPS em áreas de grandes dimensões, recorrendo a pouco emissores)
<i>Complexidade</i>	Grau de esforço para a construção, implantação e/ou configuração dos hardwares e <i>software</i> do IPS
<i>Robustez</i>	Invulnerabilidade do sistema a situações/condições para além do esperado
<i>Escalabilidade</i>	Fornecimento do sistema a um grande número de utilizadores em espaços de grandes dimensões
<i>Custo</i>	Qualquer tipo de custo associado aos dispositivos ou à infraestrutura necessária
<i>Privacidade</i>	Restrições impostas, no sistema, no processo de recolha de informações usadas para identificar/localizar os utilizadores
<i>Consumo energético</i>	No dispositivo do utilizador, um baixo requisito de energia traduz-se num baixo consumo da bateria. Na infraestrutura, um baixo consumo de energia traduz-se em menores esforços para a manutenção dos dispositivos alimentados a baterias

Com efeito, existem certas grandezas físicas a medir, tendo estas um papel fulcral na avaliação e escolha da tecnologia a utilizar, para um determinado IPS. São conhecidos também alguns métodos que, mediante as grandezas medidas, criam as estimativas de posição. No que diz respeito às técnicas, geralmente utilizadas para estimar a posição, nomeia-se a triangulação, que por sua vez possui duas categorias: lateralização e angulação [5].

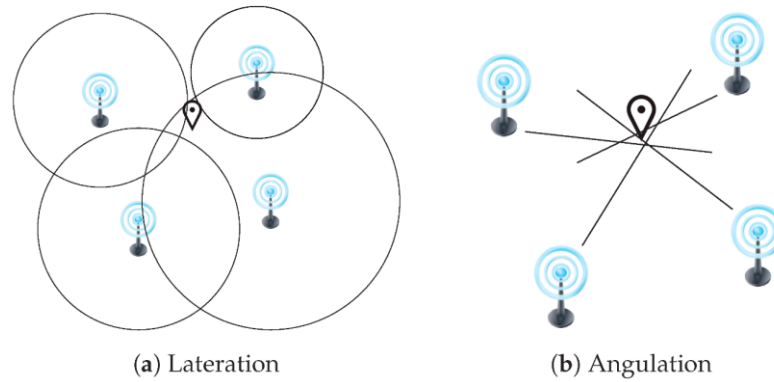


Figura 2.2 - Técnicas para estimar a posição do utilizador [3].

A triangulação permite determinar uma localização através da formação de triângulos, desde diferentes pontos conhecidos até ao ponto alvo. No caso da primeira categoria, a lateralização caracteriza-se como sendo uma técnica baseada em distâncias, utilizada em métodos como tempo de chegada (TOA) e força do sinal recebido (RSS). Enquanto a angulação é uma técnica baseada na direção, usada no método do ângulo de chegada (AOA) [3][5].

2.1.1. Lateralização

A distância entre os pontos de acesso (AP) e um smartphone está relacionada com a potência do sinal recebido e/ou tempo de viagem, sendo esta relação representada por expressões matemáticas. É de notar que, para medições 2D, com duas equações, são obtidas duas soluções possíveis, sendo que para assegurar apenas uma solução possível, será necessário considerar três equações. Neste último caso, as equações, ao se interceptarem, determinam a localização do smartphone [5].

A lateralização é utilizada para estimar a localização por medições diferenciais, com o objetivo de reduzir as consequências provenientes de alterações ambientais. Esta técnica é aplicada aquando do desconhecimento da potência do sinal ou caso a duração da transmissão dos pontos de acesso seja desconhecida [5].

Através da TOA, uma das técnicas mais usadas para sistemas de posicionamento, é possível determinar o tempo de chegada de um sinal desde o emissor ao receptor. Deste modo, é estimada a distância até cada emissor, dado ser conhecida a velocidade de propagação do sinal (som, por radiofrequências) pelo meio de transmissão (ar) [3]. Contudo, esta questão acarreta problemas como o facto de o sinal recebido atravessar multicaminhos, sofrendo diferentes perturbações que, conseqüentemente, geram atrasos [6].

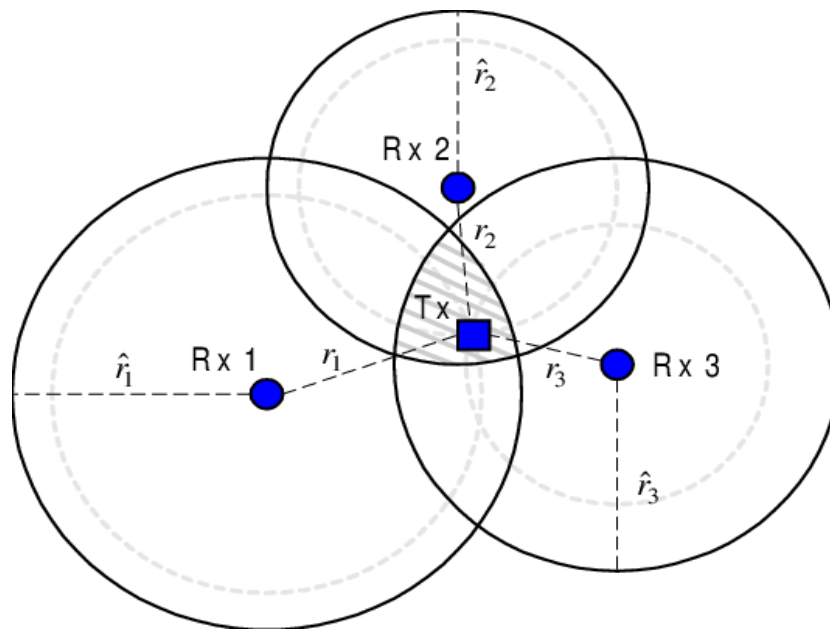


Figura 2.3 - Ilustração do modo de funcionamento da técnica de tempo de chegada (TOA) [7].

Já no que concerne à TDOA (*time-difference-of-arrival*) esta é uma versão melhorada da técnica anteriormente mencionada. Esta baseia-se na medição das diferenças entre os tempos de chegada do mesmo sinal proveniente de diversos emissores e de sinais distintos provenientes do mesmo emissor [3]. Esta técnica também apresenta como limitação a existência de custos adicionais, uma vez que, ao utilizar dois tipos distintos de sinais na localização de um alvo, serão necessários hardwares extra para a transmissão e receção dos sinais [6].

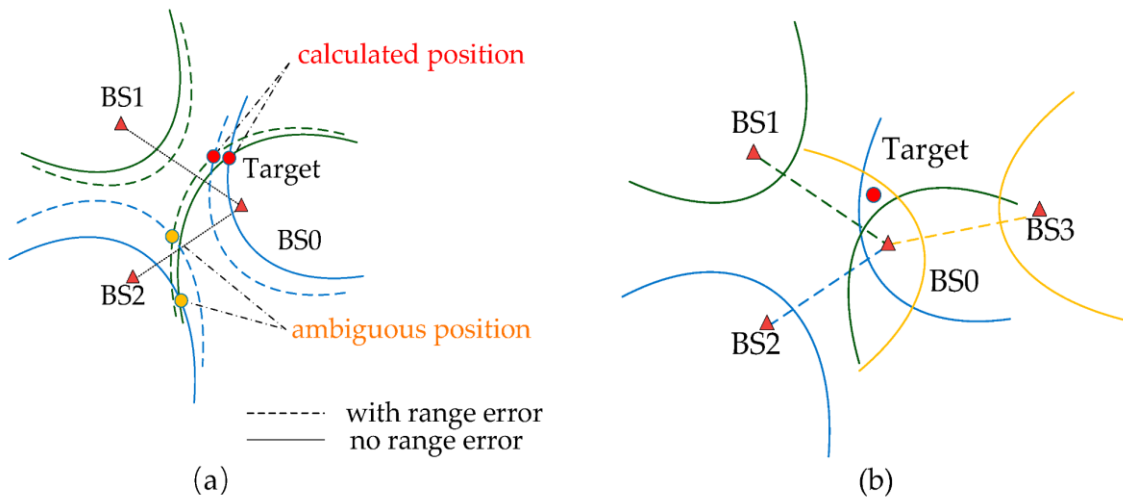


Figura 2.4 - Ilustração do modo de funcionamento da técnica de diferença de tempo de chegada (TDOA) [8].

Relativamente ao RSS, um algoritmo frequentemente utilizado para localização *indoor*, este recorre ao método de *fingerprinting*. O *fingerprinting* baseia-se na recolha de sinais provenientes de APs, implantados no espaço, em que a intensidade dos sinais recebidos será representada por RSS. Este método subdivide-se em duas fases, uma primeira conhecida por fase *offline* e uma segunda conhecida por fase *online* [9].

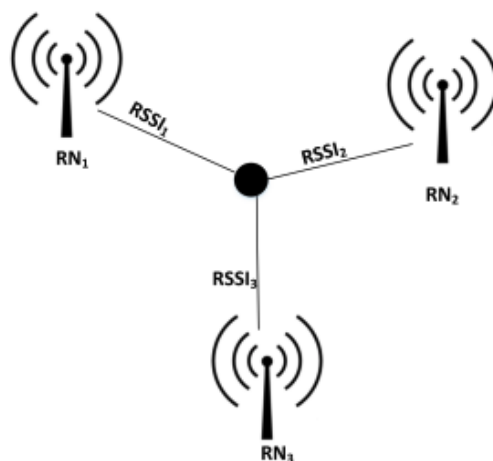


Figura 2.5 - Ilustração do modo de funcionamento da técnica de impressão digital [10].

Na fase *offline* é quantificado o sinal proveniente de cada um dos emissores, num determinado momento e numa determinada posição, em diversos locais. Cada local é representado por um vetor RSS único (tal como representado na figura 2.5), com base nos sinais emitidos pelos APs. Posteriormente, os vetores RSS e as coordenadas dos pontos de referência são guardados em base de dados, com o intuito de criar um cenário o mais abrangente possível. Na fase seguinte, a fase *online*, efetua-se uma comparação entre o vetor RSS de uma localização alvo e as medições armazenadas na base de dados, sendo, assim, feita uma estimativa da posição alvo [9].

Esta relação entre o vetor e a localização pode ser semelhante ao conceito da impressão digital humana, dado ao facto de ser uma identificador único da informação sobre a localização [9].

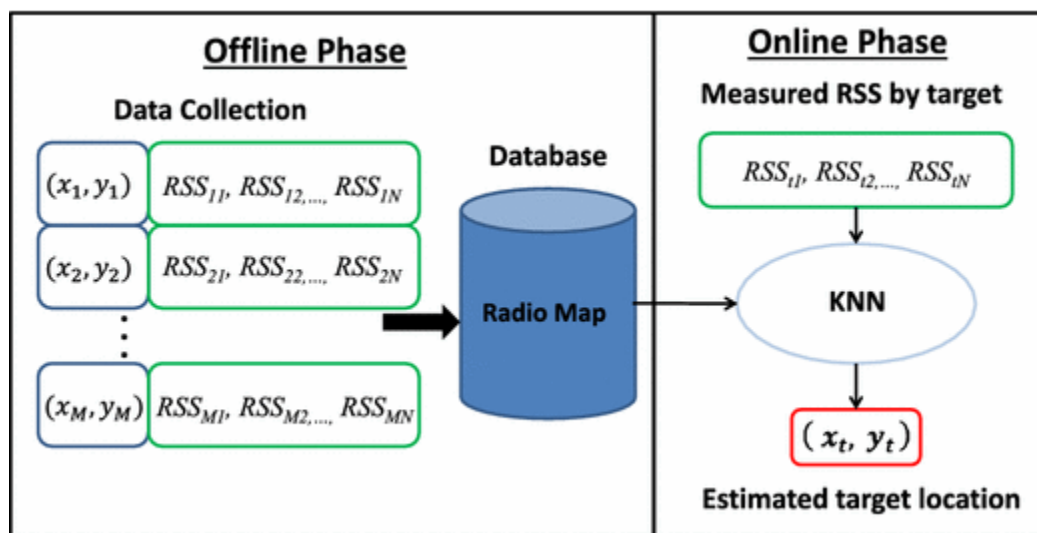


Figura 2.6 - Esquema representativo das duas fases do *fingerprinting* [11].

Note-se, ainda, que em qualquer um destes métodos, a força do sinal diminui com o aumento da distância entre o emissor e o sensor, considerando-se sempre a possibilidade de este ser influenciado por interferências e atenuações [3].

2.1.2. Angulação

Para medições 2D, necessita-se de duas medições de ângulos e uma medição de alcance único, de forma a localizar o alvo pretendido. Deste modo, o AOA refere-se ao ângulo formado pelo alcance do sinal ao sensor, sendo este posteriormente usado para a definição de uma posição fixa [3].

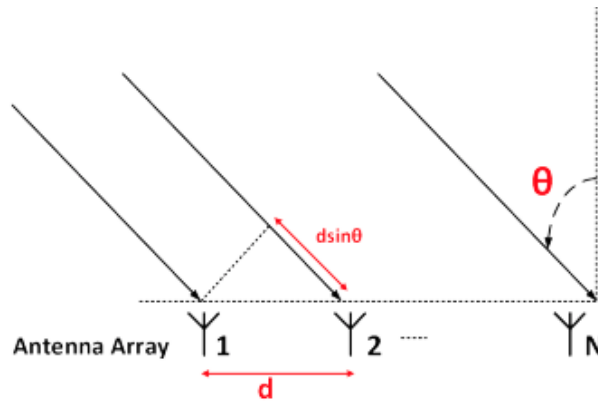


Figura 2.7 - Ilustração do modo de funcionamento da técnica de ângulo de chegada (AOA) [10].

Para concluir, é possível resumir as vantagens e as desvantagens das diferentes técnicas de localização. Relativamente à diferença de tempo de chegada, esta não requer nenhum tipo de impressão digital, tal como não necessita de sincronização horária entre o dispositivo e os nós de referência, sendo estas as principais vantagens. Por outro lado, requer a sincronização horária entre os diferentes nós de referência, que pode exigir marcas temporais, bem como uma maior largura de banda [10].

No que respeita ao RSS, esta técnica é vantajosa, dado ser de simples implementação, é rentável e pode ser usada em inúmeras tecnologias. Contudo, tem propensão a desvanecimento multipercurso e a ruídos de ambiente, apresenta menor precisão na localização e pode requerer a recolha de impressões digitais. Já o *fingerprinting* é relativamente simples de utilizar. Porém, são sempre necessárias novas impressões digitais, mesmo que a variação do espaço seja mínima. [10].

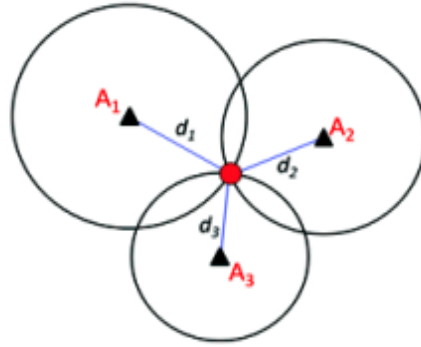
Para terminar, a angulação mostra-se vantajosa uma vez que pode providenciar uma elevada precisão na localização, não necessitando de quaisquer impressões digitais. Todavia, pode requerer antenas direcionais e *hardwares* de elevada complexidade, requerendo, ainda, da

utilização de algoritmos também complexos. Apresenta, também, como desvantagem, a atenuação da performance da técnica com o aumento da distância entre o transmissor e o recetor de sinal [10].

2.2. Tecnologias utilizadas para o posicionamento indoor

A localização dos emissores de sinal e respetivos recetores pode ser transferida e como está dependente do tipo de aplicação, recorrer a diferentes tecnologias *wireless* [12]. Estas tecnologias dividem-se, essencialmente, em modelos 2D e modelos 3D. No que concerne ao modelo 2D, o mesmo recorre ao *Bluetooth*, *ZigBee* e *WiFi*, combinando a intensidade do sinal ou propriedades de espaço-tempo com algoritmos de posicionamento. Relativamente ao modelo 3D, este baseia-se em infravermelhos, banda ultralarga (UWB) e ultra-sónicos [4].

Sucintamente, os custos associados à utilização de modelos 2D são mais reduzidos, dado que não requerem de plataformas de hardware adicionais, no entanto a precisão de posicionamento dos modelos 3D é superior [4]. Para esta dissertação optou-se por manter o foco nos modelos 2D, sendo realizada uma análise das tecnologias mais habitualmente utilizadas, aquando da projecção de soluções IPS.

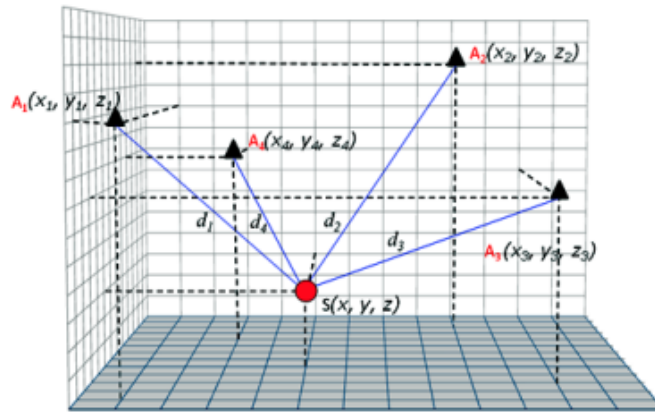


$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \quad (\text{Equation 1})$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \quad (\text{Equation 2})$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \quad (\text{Equation 3})$$

Figura 2.8 – Representação de um método de localização segundo um modelo 2D e respectivas equações requeridas [13].



$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = d_1^2 \quad (\text{Equation 8})$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = d_2^2 \quad (\text{Equation 9})$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = d_3^2 \quad (\text{Equation 10})$$

$$(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 = d_4^2 \quad (\text{Equation 11})$$

Figura 2.9 - Representação de um método de localização segundo um modelo 3D e respectivas equações requeridas [13].

2.2.1. WiFi

O posicionamento baseado na tecnologia *WiFi* é também conhecido por posicionamento WLAN (*Wireless Local Area Network*), sendo este resultado do facto de o *WiFi* ser a tecnologia padrão para a criação de uma rede local sem fios. O *WiFi* opera em 2,4 GHz e 5,0 GHz, com larguras de rede de 20 MHz, 40 MHz e 80 MHz. No que respeita aos sinais de bandas de 2,4 GHz, estes propagam-se até maiores distâncias, contrariamente aos de banda de 5,0 GHz, que possuem maior largura de banda, sendo mais resistentes ao rápido desvanecimento. O método mais utilizado é o *fingerprinting* executado através da análise da Força do Sinal Recebido, uma vez que se aplica à maioria dos *smartphones* modernos [3].

Refere-se, em certos estudos, que a performance do *fingerprinting* foi comparada através do uso de diferentes métodos de *machine learning*. O *machine learning* permite melhorias a nível da precisão dos sistemas, bem como a redução de erros. Através dos seus algoritmos é possível analisar grandes quantidades de dados, provenientes de diversos emissores de sinal, definindo padrões para uma determinação mais precisa da localização do utilizador. Dada à sua capacidade de constante evolução e aperfeiçoamento, é possível adaptar os algoritmos de *machine learning* a diferentes ambientes, sendo apenas necessário a aquisição de novos dados [14].

Após alguma pesquisa sobre os mais comuns algoritmos de *machine learning*, constatou-se que o melhor método a usar no *fingerprinting* seria o *k-nearest neighbors*, também conhecido por KNN ou k-NN. Segundo o KNN, o vetor RSS da localização alvo será comparado, de forma individual, com todas as impressões digitais de um mapa. No que respeita à correspondência entre o vetor e a impressão digital, esta será caracterizada pela distância entre os pontos, como representado na figura 2.10. Para a determinação da posição da localização alvo, será efetuada a média das coordenadas dos pontos de referência com a distância mais curta [14] [15] [16] [17].

Contudo, é de notar que o recurso a *machine learning* irá requerer a criação e manutenção de dados, para o bom funcionamento dos algoritmos, que pode ser bastante exigente em ambientes interiores complexos [14].

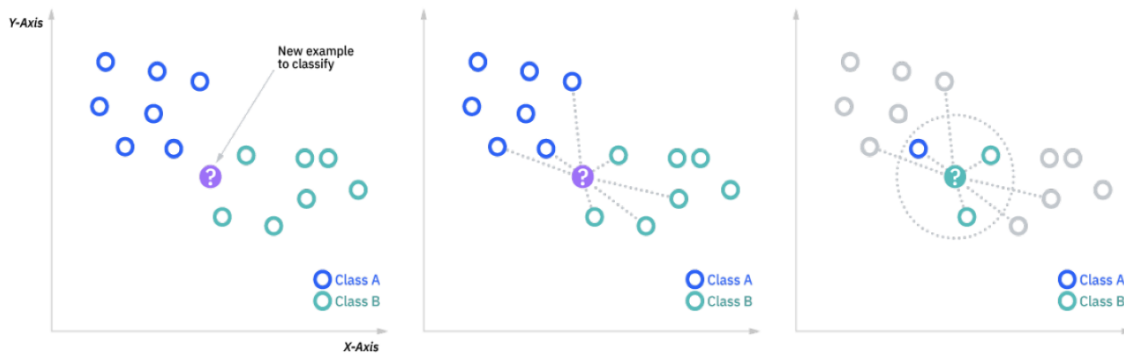


Figura 2.10 - Diagrama do algoritmo KNN [15].

Note-se que, apesar de o posicionamento baseado em *WiFi* ser muito considerado, apresenta adversidades, provocadas pelas alterações dos sinais de radiofrequência ocorridas nos ambientes *indoor*. É, ainda, de referir que estas propostas recorrem às redes implantadas para fins de comunicação e não para fins de posicionamento [3].

No caso de se optar por soluções que empreguem RSS, pode ser aplicada a lateralização do sinal, pelo modelo de propagação, uma vez conhecidas as posições dos pontos de acesso. Contudo, a opção mais comum passa pela recolha das “impressões digitais”, em virtude de resultados sistematicamente mais precisos, por comparação com o método anteriormente referido [3].

São conhecidas soluções sem obrigatoriedade de aplicação direta nos dispositivos. Não obstante, os sistemas de posicionamento são direcionados aos *smartphones* e, portanto, os IPS baseados em *WiFi* serão soluções baseadas nos dispositivos. No que diz respeito às soluções primeiramente referidas, a deteção de anomalias ou movimentos é a primeira validação a efetuar, seguindo-se da determinação da posição das entidades, através do recurso a técnicas como RSS [3].

A notoriedade desta tecnologia baseia-se, então, no seu baixo custo e facilidade de implementação, quando comparadas com outras inseridas no mesmo contexto. Todavia, a precisão não é um tópico a considerar, no que respeita às vantagens dos IPS baseados em *WiFi*, dado ao facto de não apresentar melhorias significativas ao longo dos anos [3].

Existe um conjunto de fatores que afetam o posicionamento baseado no *WiFi*, cujo é necessário ter em consideração. Primeiramente, sabe-se que 70% do corpo humano é composto por água, podendo, por isso, absorver parte do sinal de radiofrequência de 2,4GHz. Para além disso, constata-se que o corpo humano, em si, pode impactar o sinal e causar o seu decréscimo e um certo grau de incerteza. Para além disso, a movimentação dos corpos nos espaços *indoor* causa, também, a diminuição da força média do sinal e um aumento significativo do desvio padrão [4].

O sinal pode, ainda, ser influenciado pelos obstáculos físicos existentes nos espaços interiores, sendo assim propagado por caminhos distintos, levando a que a chegada do mesmo ao recetor ocorra em momentos diferentes. Uma vez tendo tempos de recessão distintos, haverá fases distintas, que podem sofrer sobreposição e, conseqüentemente, distorção do sinal. Ao fenómeno descrito dá-se a denominação de efeito multicaminho, sendo importante considerar que este fenómeno pode ter diferentes comportamentos mediante o ambiente, construção dos edifícios, materiais, entre outros fatores [4].

É importante ter também em consideração o número de pontos de acesso e de pontos de referência, pois, ao obter poucos resultados, o *fingerprinting* será impreciso, alcançando-se, assim, um resultado insatisfatório. Por outro lado, um número excessivo é sinónimo de custos adicionais, bem como de uma prorrogação de tempo no decorrer da fase offline [4].

Deste modo, é possível constatar que os métodos de posicionamento *indoor*, baseados em *WiFi*, podem tornar-se dispendiosos, dado que necessitam de uma densa cobertura de pontos de acesso e sensores de alto desempenho, de forma a garantir exatidão no processo [18].

Certos estudos indicam, ainda, que a força do sinal recebido, medido no mesmo local, por diferentes dispositivos, pode ser diferente. Igualmente, constataram que a orientação do dispositivo também pode ser um fator preponderante, uma vez que, caso o mesmo fosse posicionado atrás do ponto de acesso, o valor da força do sinal seria menor do que quando posicionado à frente [4].

De facto, dentro das diversas tecnologias dos sistemas de localização (como a navegação baseada em satélites, sistemas de navegação inercial, navegação baseada no magnetismo, entre outro) existe a navegação baseada na radiofrequência, sendo esta a mais adotada neste contexto [5].

Esta tecnologia permite a cobertura de grandes áreas, com a instalação de hardwares de baixo custo, apresentando excelentes resultados. No entanto, estes sistemas devem ser evitados em contexto hospitalar, assim como em aviões, dado que podem interferir com sistemas de radiofrequência já existentes [5].

2.2.2. *Bluetooth Low Energy* (BLE)

O *Bluetooth* é uma tecnologia de comunicação *wireless*, tendo como principal objetivo facilitar a comunicação entre dispositivos móveis e fixos, ou entre dois dispositivos móveis. Com esta tecnologia torna-se possível eliminar a necessidade de utilização de cabos e conetores entre os dispositivos [12].

O *Bluetooth* de baixa energia (BLE) é, também, bastante utilizado em sistemas de posicionamento, em ambientes interiores, devido ao seu baixo custo, baixo consumo de energia e facilidade de aplicação. O IPS baseado em *Bluetooth* passou a ser de uso generalizado após a introdução da Norma *Bluetooth* 4.0 BLE em 2009, sendo que, desde então, as características da Norma possibilitaram a utilização avançada desta tecnologia para o posicionamento *indoor*, introduzindo os *Bluetooth Beacons* [12].

Estes emissores de BLE são dispositivos de pequenas dimensões, disponíveis em diversas configurações, com a opção de transmitir em intervalos pré-definidos, melhorando, assim, a sua eficiência energética, bem como a resistência a interferências. Estes instrumentos são imensamente atrativos pelo seu baixo custo, elevado nível de privacidade e baixa influência no gasto da bateria do *smartphone* e no tráfego de rede [3] [12].

Os *Beacons* emitem em três canais de 2 MHz de largura, na banda de 2,4 GHz, em que a reduzida largura traduz-se num maior efeito de desvanecimento rápido, comparativamente ao observado no caso do *WiFi*. Devido à redução do efeito de desvanecimento, constata-se que o BLE possa ser considerado uma tecnologia de posicionamento mais apropriada para a navegação e posicionamento *indoor* [3].

O BLE tem sido recorrentemente aplicado, no posicionamento, através do recurso a diversas técnicas, sendo a RSS a mais regularmente utilizada [12]. Sabe-se, ainda, que o seu

intervalo de detecção é relativamente baixo (por norma, inferior a 20 metros), tornando a sua aplicabilidade limitada apenas a soluções de IPS baseados em dispositivos [3].

A precisão obtida neste tipo de tecnologia é, habitualmente, mais elevada do que a encontrada pela utilização de *WiFi*, devido à maior densidade de emissores implantados. No entanto, apesar de se considerar os *Beacons* um material de baixo custo, a escalabilidade para espaços de grandes dimensões pode ser considerada um problema, caso sejam necessárias instalações complexas [3].

Contrariamente ao método de implementação de *WiFi*, com o *Bluetooth* de Baixa Energia, é possível instalar os emissores apenas conforme a finalidade de posicionamento. Todavia, é necessário descobrir a combinação ideal dos *Beacons*, bem como os parâmetros de emissão correspondentes para o ambiente em questão. Com alguma frequência, o ambiente envolvente apresenta limitações nas posições de instalação dos aparelhos, acabando-se por assumir uma implementação uniforme. Alguns autores constataam que uma exploração intensa do espaço, a nível dos seus parâmetros, seria inexecutável, sendo uma melhor opção a instalação adequada ao ambiente. Deste modo, seria possível a diminuição do erro de posicionamento [3].

Existem alguns estudos direcionados à otimização desta tecnologia, em que certos propõem que se insira um número concreto, pré-definido, de *Beacons* sobre a área, com o objetivo de otimizar a cobertura da mesma. De seguida, a área alvo seria dividida em células, de forma a avaliá-las individualmente, mediante a disposição do edifício. Assim, o propósito é a detecção de dispositivos suficientes com intensidade de sinal adequada [19].

Outros estudos foram realizados sobre os parâmetros de configuração dos *Beacons*, mais concretamente sobre a potência de transmissão do sinal, densidade e topologia dos mesmos. Para estes, também é recomendada a divisão da área de atuação em setores, preservando lacunas a separar as demais, para a obtenção da melhor classificação possível. Sugeriu-se ainda a colocação dos emissores nos cantos e outro no centro da área, com uma distância de 6 metros entre eles [3].

As duas técnicas mais utilizadas na aplicação do *Bluetooth* para sistemas de posicionamento *indoor* são o AoA e o RSS. Assim, segue um quadro com uma análise comparativa entre ambas.

Tabela 2.2 - Comparação entre a utilização da técnica de AOA e RSS na aplicação de Bluetooth [20].

Tecnologia	<i>Bluetooth AoA</i>	<i>Bluetooth RSS</i>
<i>Protocolo</i>	Âncora: <i>Bluetooth 5.1</i> Tag: <i>Bluetooth 4.0+</i>	Âncora: <i>Bluetooth 4.0+</i> Tag: <i>Bluetooth 4.0+</i>
<i>Precisão típica</i>	0.1 - 0.5 m	5 - 10 m
<i>Taxa de atualização</i>	Alta	Baixa
<i>Compatibilidade</i>	Várias tags de BLE AoA como telemóveis, relógios, <i>Beacons</i> , etc.	Tag especial adicional para retornar os canais
<i>Consumo de energia da tag</i>	Baixo	Alto
<i>Custo da âncora</i>	Alto	Baixo
<i>Custo da tag</i>	Baixo	Alto

Através da tabela supramencionada é possível tirar algumas conclusões, para posterior escolha da tecnologia mais apropriada para cada caso em específico. No caso da utilização *Bluetooth* por ângulo de chegada, está à disposição uma tecnologia mais avançada, o *Bluetooth 5.1*, sendo assim possível assegurar uma maior precisão. Contudo, requer hardwares mais sofisticados e, conseqüentemente, custos de implementação mais elevados. Contrariamente, o *Bluetooth* por Força de Sinal Recebido apresenta uma tecnologia não tão atualizada, ainda que bastante utilizada, oferecendo menor precisão, mas, também, preços mais baixos.

Deste modo, comprova-se que, de facto, existem diversas alternativas para a implementação de sistemas de posicionamento *indoor*, em que a escolha da tecnologia depende da exatidão necessária, tamanho da área a ser coberta e disponibilidade de orçamento.

2.3. Mapeamento e navegação em ambientes *indoor*

Juntamente com o posicionamento *indoor*, surgem os conceitos de mapeamento e navegação, sendo importante ter em consideração as funções de cada tipo de solução. Quando o objetivo é a localização de pessoas e o auxílio na sua deslocação em ambientes interiores, é

necessário determinar o posicionamento dos utilizadores, de seguida fazer o mapeamento do espaço e, por fim, apresentar a fase de navegação [21].

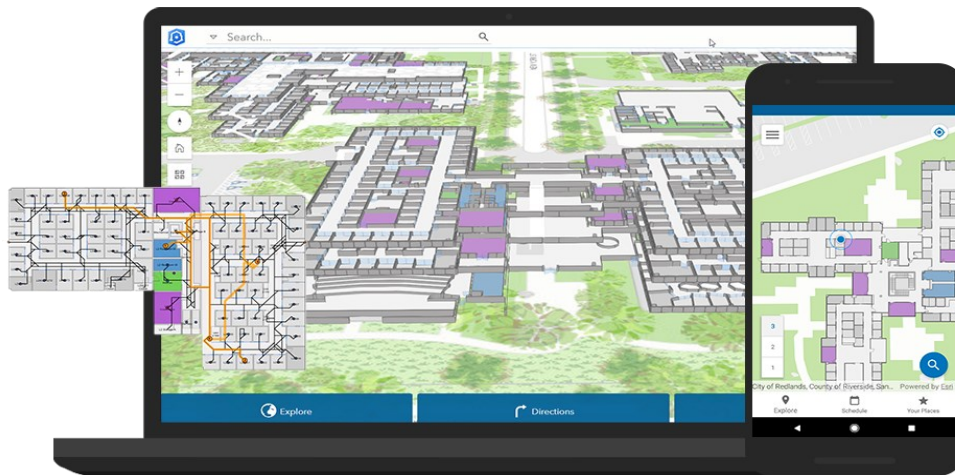


Figura 1.11 - Ilustração de um sistema de mapeamento [21].

A determinação do posicionamento dos indivíduos é a chave preliminar da implementação de uma navegação apropriada e confiável. Não obstante, para uma navegação com sucesso, é importante possuir um mapa que contenha toda a informação fundamental para a realização desta tarefa. O mapeamento pode, ainda, ser dividido em dois campos distintos, nomeadamente o mapeamento geométrico e o mapeamento semântico [21].

No que diz respeito ao mapeamento geométrico, neste podem constar mapas 2D, mapas 2.5D (melhorados pela incorporação de informação adicional) e, ainda, técnicas de mapeamento 3D, considerando assim os possíveis obstáculos do ambiente (sem distinção das categorias de objetos). Já no que concerne ao mapeamento semântico, será tida em consideração informação adicional sobre os objetos e pessoas existentes no meio envolvente. Note-se que o ideal é a implementação de um mapa geométrico com a informação sobre os objetos e pessoas existentes no meio envolvente, para uma navegação socialmente plausível [21].

Relativamente à previsão das trajetórias anteriormente referidas, atualmente, está ao dispor uma enorme panóplia de algoritmos para a definição das mesmas. Estes algoritmos podem ser mais simples e estender linearmente a trajetória das pessoas, considerando as últimas

posições detetadas ou, então, basearem-se na deteção e aquisição de padrões, recorrendo a redes neurais [21].

Métodos de previsão, baseados na física, utilizam certas equações dinâmicas para prever o movimento humano, recorrendo, por norma, a variáveis como a posição atual do utilizador, a sua última posição sensorial, velocidades e acelerações lineares e angulares. Note-se que estes métodos não incluem informações sobre o meio envolvente, nomeadamente sobre as paredes e outros obstáculos, assumindo-se o risco de as previsões não serem absolutamente confiáveis e exatas. Por outro lado, apresentam-se como sendo métodos com menos exigências informáticas, em comparação com outros [21].

Nas soluções baseadas em padrões, são introduzidas funções dinâmicas para a deteção dos mesmos, de forma a prever os trajetos a definir. Neste método, funções únicas, sem efeito temporal, são aplicadas, ao contrário do que acontece com métodos sequenciais, em que são utilizadas múltiplas funções [21].

Por fim, métodos baseados no planeamento elaboram trajetórias hipotéticas, mediante as funções de custo dos diferentes caminhos a efetuar, para alcançar um determinado destino. Os algoritmos A* e Dijkstra são os mais frequentemente utilizados nos métodos de planeamento [21].

Tanto o A* como o Dijkstra são aplicados para a descoberta do caminho mais curto entre dois pontos, mas a sua abordagem é, todavia, diferente. No que respeita ao segundo, este explora os nós vizinhos do nó inicial e vai selecionando, de forma iterativa, os nós pela menor distância, até que todos os nós tenham sido visitados. Já o primeiro, é uma modificação do Dijkstra, que recorre a heurísticas para estimar a distância entre o nó atual e o nó representativo do destino, sendo considerado mais eficiente [22].

Para melhor entendimento do algoritmo A*, segue uma breve explicação da sua lógica de funcionamento.

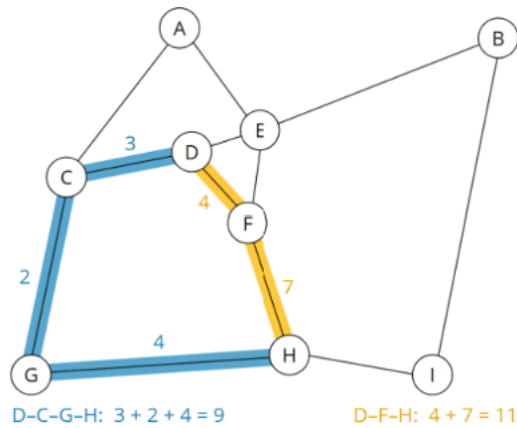


Figura 2.12 - Representação dos caminhos mais rápidos e curtos [22].

As letras representadas na figura acima correspondem a pontos definidos no espaço, que, por sua vez, podem corresponder a zonas de mudanças de direção, sendo denominados de “nós”. Já os números representam “custos” no caminho, que caracterizam, por exemplo, o tempo (min) necessário para percorrer o caminho de um nó para outro. Note-se que nem sempre o trajeto mais curto é o mais eficiente e é por esta razão que todo o algoritmo se baseia em estimativas e heurísticas [22].

Após a determinação do custo, são utilizadas expressões matemáticas para determinar a velocidade média, através da divisão entre a distância a percorrer, de um nó a outro, bem como o custo necessário. Para a implementação deste algoritmo é necessária a criação de uma base de dados, que guarde uma identificação dos nós existentes no espaço, o respetivo custo total desde o ponto inicial, o custo mínimo restante para alcançar o destino e a soma de todos os custos [22].

O objetivo é a construção de uma tabela, tal como apresentado de seguida, em que, inicialmente, o nó inicial tem valor 0 e os restantes valores infinito (pois não sabemos qual é o custo total desde o início até estes nós). Consoante se avança no trajeto, a tabela será atualizada, usando a função heurística, calculando, assim, o custo mínimo restante para o destino a partir de todos os nós [22]. Por exemplo:

Node	Predecessor	Total Cost From Start	Minimum Remaining Costs to Target	Sum of All Costs
D	-	0.0	2.5	2.5
A	-	∞	3.9	∞
B	-	∞	4.3	∞
C	-	∞	3.2	∞
E	-	∞	2.5	∞
F	-	∞	1.5	∞
G	-	∞	2.8	∞
H	-	∞	0.0	∞
I	-	∞	1.6	∞

Figura 2.13 - Fase inicial do preenchimento da tabela relativa ao custo do trajeto entre os nós [22].

Node	Predecessor	Total Cost From Start	Minimum Remaining Costs to Target	Sum of All Costs
E	D	1.0	2.5	3.5
F	D	4.0	1.5	5.5
C	D	3.0	3.2	6.2
A	-	∞	3.5	∞
B	-	∞	3.8	∞
G	-	∞	2.8	∞
H	-	∞	0.0	∞
I	-	∞	1.6	∞

Figura 2.14 - Atualização da tabela com os custos relativos ao trajeto entre um nó e as restantes possibilidades [22].

Note-se que o principal propósito é não existir um nó através do qual possamos encontrar um caminho ainda mais curto até ao destino. Portanto, para exemplificar, assumindo que o custo total desde o início até o nó B é de apenas 6,0, com o custo mínimo restante de 4,3, o total é de pelo menos 10,3, tornando-se impossível alcançar um valor melhor do que o atual (9,0). Assim, sabemos que encontramos a nossa solução ótima e, por isso, o trajeto mais curto/rápido [22].

Node	Predecessor	Total Cost From Start	Minimum Remaining Costs to Target	Sum of All Costs
H	G	9.0	0.0	9,0
B	E	6.0	4,3	10,3
I	-	∞	1,6	∞

Figura 2.15 - Fase final da tabela de determinação do trajeto mais rápido/curto [22].

2.4. Projetos relacionados

Existem, atualmente, alguns softwares que oferecem sistemas de localização *indoor*, com um princípio de funcionamento semelhante ao proposto nesta dissertação. O recurso a estes sistemas permite facilitar a localização e movimentação de pessoas no interior de edifícios, melhorando a sua visita aos mesmos. Estes IPS podem ser aplicados tanto em aeroportos, como em hospitais, em centros comerciais, entre outros contextos, recorrendo a diversas tecnologias para o seu funcionamento.

Deste modo, serão apresentados alguns exemplos de softwares de auxílio à deslocação de utilizadores no interior de edifícios, seguindo-se uma análise técnica de cada um.

2.4.1. Situm indoor positioning

O Situm Indoor Positioning é um sistema de localização *indoor*, incorporado numa aplicação *mobile*, que permite melhorar a experiência da visita a determinados edifícios, bem

como melhorar a gestão dos trabalhadores. Esta aplicação apresenta técnicas de mapeamento, navegação e localização de pessoas ou objetos em tempo real, através da combinação entre sensores e algoritmos de *machine learning*. Aplicada a mais de 6 mil edifícios, em mais de 70 países, este sistema irá fornecer transversalidade de setores ao qual pode ser aplicado, desde aeroportos, hospitais e centros comerciais [23].

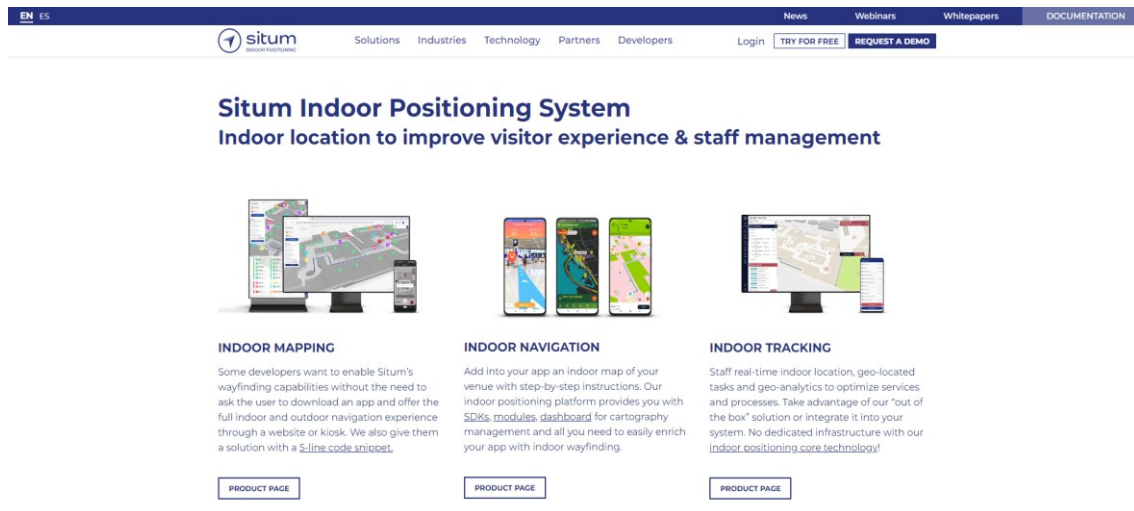


Figura 2.16 - Página principal do *website* da Situm Indoor Positioning [23].

A tecnologia utilizada por este sistema baseia-se num algoritmo, que recolhe a informação existente no ambiente (*WiFi*, *Bluetooth* e campo magnético) e combina-a com dados de sensores inerciais (bússola, giroscópio e acelerómetro), presentes nos smartphones. Assim, será possível localizar com uma precisão inferior a 1 metro, sem a necessidade de inclusão de *hardwares* adicionais. Deste modo, este sistema não necessita de qualquer investimento em infraestruturas, não necessitando igualmente de manutenção adicional do edifício [23].

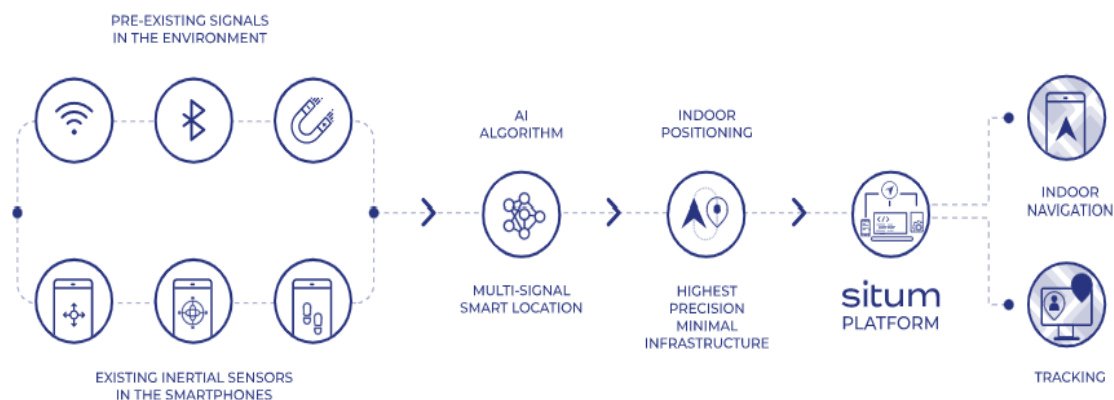


Figura 2.17 - Esquema ilustrativo da tecnologia por detrás da aplicação Situm Indoor Positioning [23].

A Situm proporciona um *kit* de desenvolvimento de *software* (SDK), possibilitando aos programadores a personalização do *software* mediante as suas necessidades e requisitos. Este *software* pode ainda ser dimensionado para suportar uma larga quantidade de utilizadores, podendo lidar com ambientes interiores complexos [23].

Por outro lado, apresenta alguns contras, tais como, o facto de submeter os utilizadores ao pagamento de uma licença, havendo a possibilidade de não ser tangível a todos. Este *software*, apesar de não necessitar de investimento em infraestruturas, requer a instalação de sensores que pode ser um processo dispendioso. Outra desvantagem apresentada refere-se ao facto de a área de cobertura do *software* se limitar ao ambiente interior, não sendo adequado aquando da necessidade de obter informações do exterior que, em contexto hospitalar, pode ser plausível [23].

2.4.2. NEXTOME

Com o recurso à NEXTOME é possível recorrer a ferramentas de mapeamento e navegação, de forma a facilitar a movimentação no interior de edifícios, bem como de posicionamento e monitorização de pessoas e objetos. Esta aplicação pode ser usada no âmbito industrial, em pequenos edifícios ou escritórios, museus, aeroportos, retalho, entre outros [24].

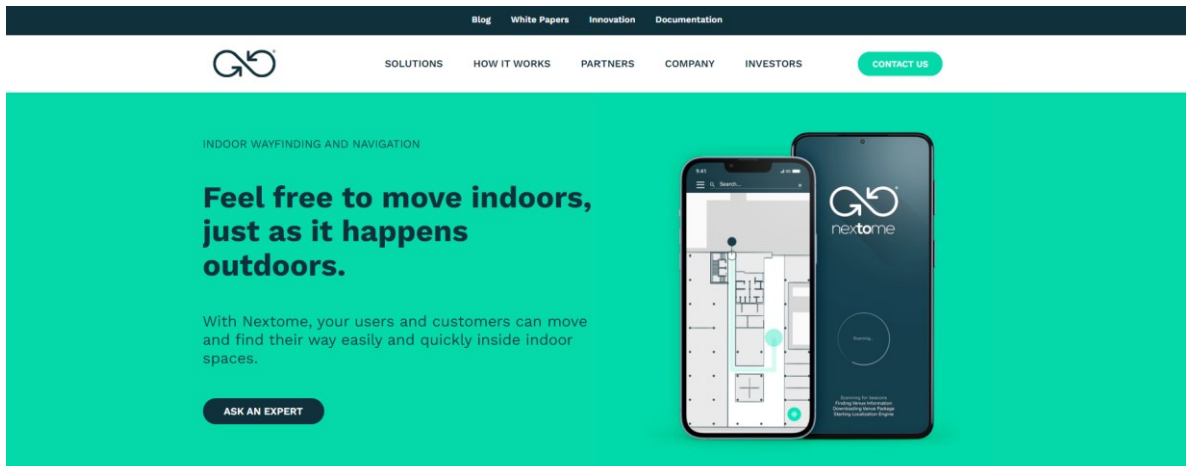


Figura 2.18 - Página principal do *website* da NEXTOME [24].

Este *software* apresenta uma precisão de 1.5 metros e recorre a uma tecnologia *off-the-shelf* (pronta a usar) que lhe permite escalabilidade. Neste caso, a tecnologia base utilizada é o *Bluetooth Low Energy*, recorrendo a *Beacons*. O objetivo desta aplicação é, tal como o exemplo anteriormente apresentado, permitir ao utilizador movimentar-se de uma forma mais eficaz e rápida, reduzindo o seu tempo de espera e evitar aglomerados de pessoas nas instalações [24].

O NEXTOME apresenta-se como sendo um *software* de fácil utilização, que por ser incorporada numa aplicação móvel, torna-se pertinente para os seus utilizadores. Esta aplicação é ainda considerada uma solução económica, dado ao facto de utilizar também a infraestrutura *WiFi* presente no ambiente indoor, necessitando minimamente de *hardwares* adicionais [24].

É ainda mencionado no site do produto que recorrem a *machine learning* para a recolha dos dados e apresentação da localização do utilizador com elevada precisão; recorrem a *Beacons*, dada à sua praticidade; assim como a sensores incorporados nos smartphones, de forma a captar o movimento, também para aprimorar a precisão [24].



Figura 2.19 - Esquema ilustrativo da tecnologia por detrás da aplicação NEXTOME [24]

No caso das técnicas de posicionamento, quando aplicadas a pessoas, irão permitir aumentar o nível segurança, otimizar os processos e aprimorar a experiência dos utilizadores. Quando aplicados a objetos, irão permitir controlo total do equipamento, devido a um inventário automático, bem como, devido à monitorização da localização e movimentação destes equipamentos. É ainda referido que fornece ferramentas de análise, possibilitando às empresas um acompanhamento personalizado com comportamento dos utilizadores [24].

Porém, é considerada uma ferramenta limitada a nível de área de cobertura e apresenta-se como sendo uma solução que requer um elevado consumo de energia dos dispositivos móveis, por utilizar *WiFi* e *Bluetooth*. Conclui-se ainda que não é a solução ideal para contexto hospitalar, dado não ser adequado para ambientes interiores com grandes dimensões e/ou complexos, por depender da infraestrutura *WiFi* e BLE do edifício [24].

2.4.3. BlueIOT

A BlueIOT oferece diversos produtos para o funcionamento de um sistema de posicionamento *indoor*, com base na tecnologia de *Bluetooth* e promete uma nova geração de

sistemas de localização em tempo real, com uma precisão de 0.1 metros. Este *software* permite o mapeamento do espaço em detalhe, a deteção da posição atual e do movimento de *tags* em tempo real e a gestão regional com um sistema com alarme [25].

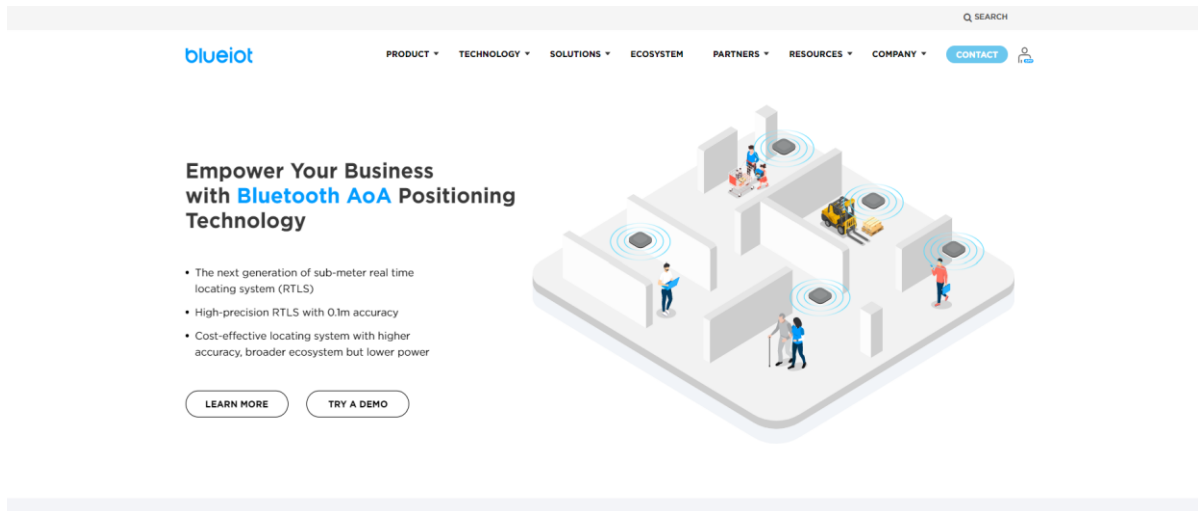


Figura 2.20 - Página principal do *website* da BlueIoT [25]

Apresenta ainda uma aplicação *mobile* com as funcionalidades de navegação e monitorização em mapas 2D e 3D, localização em tempo real, com uma pesquisa rápida e precisa do alvo e, também, planeamento e otimização de rotas. O BlueIoT pode também ser dimensionado de forma a suportar um largo número de utilizadores, podendo suportar ambientes *indoor* complexos [25].

A nível de tecnologia, a BlueIoT recorre ao método do ângulo de chegada para a determinar a direção única da onda de entrada de *Bluetooth* e a posição da *tag*, permitindo assim uma precisão de 0.1 metros, melhorando em 10 vezes a precisão do *Bluetooth* tradicional [25].

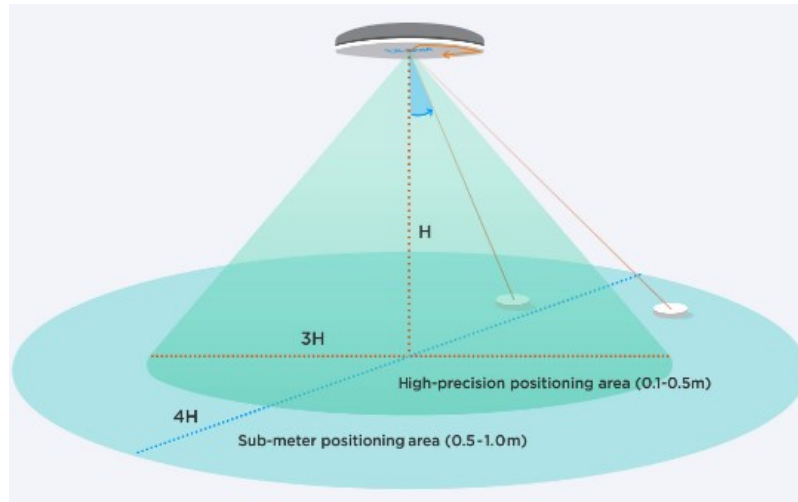


Figura 2.21 - Imagem representativa da aplicação do método AOA no *software* da BlueIoT [25].

Segue um esquema de resumo das diversas camadas da BlueIoT, com as unidades e arquitetura do sistema de posicionamento, nomeadamente a camada da aplicação, a de resolução e os equipamentos [25].

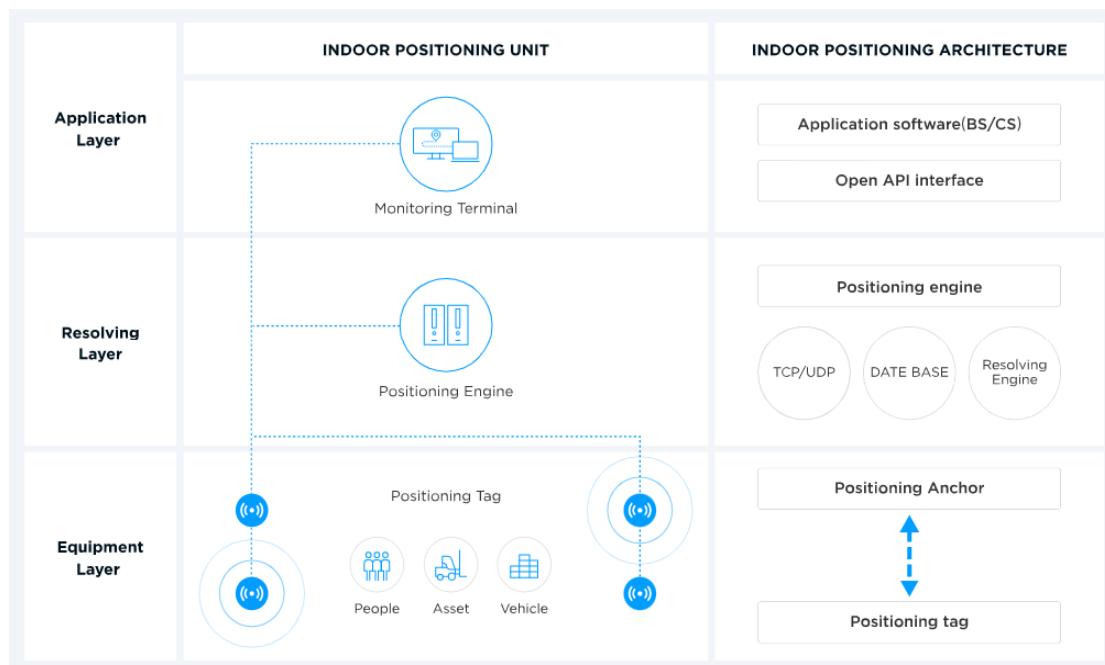


Figura 2.22 - Esquema representativo das diferentes camadas da aplicação BlueIoT [25].

Por outro lado, esta pode ser uma solução dispendiosa, devido à necessidade de instalação de sensores específicos. Apresenta ainda limitações a nível de área de cobertura, não sendo adequado em contextos em que seja necessário obter informação de ambientes exteriores. Tal como a NEXTOME, pelo facto de utilizar sensores, requer manutenção e calibração dos hardwares, o que pode ser um processo moroso [25].

Em suma, o Situm e o NEXTOME, são, possivelmente, as soluções ideais para pequenos edifícios, com ambientes mais simples, tais como, clínicas com menores dimensões e com menor margem económica. O BlueIOT, provavelmente, seria a melhor opção em contexto de edifícios com maiores dimensões e arquiteturas complexas, tais como, hospitais com maior capacidade financeira. Contudo, é de notar que é fulcral analisar cada situação em concreto, mediante os requerimentos e orçamento dos hospitais, para decidir qual a melhor solução.

3. Fluxo Hospitalar

3.1. Contextualização da problemática

Considera-se que os hospitais estão inseridos no grupo das instituições com maior grau de complexidade, dadas às diversas funções que suportam, bem como devido às contínuas transformações físicas, organizacionais e operacionais que enfrentam. Deste modo, são edifícios com projetos arquitetónicos desenvolvidos de forma a oferecerem funcionalidade, segurança, flexibilidade e qualidades aos diferentes espaços [26].

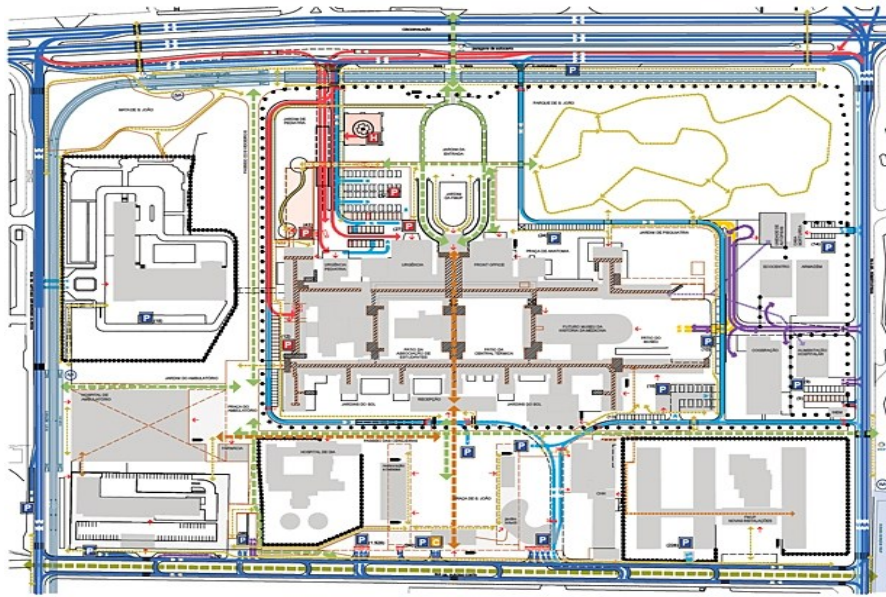


Figura 3.1 - Esquema representativo do quarteirão do Hospital São João [27]

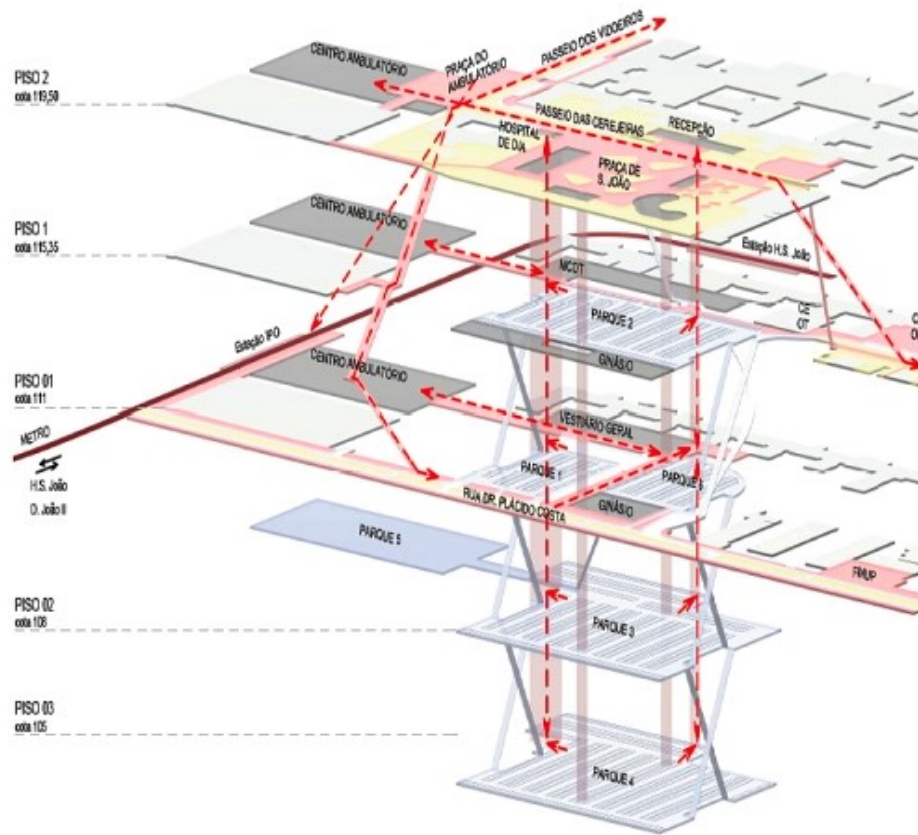


Figura 3.2 - Esquema representativo das plantas do Hospital São João [27].

Porém, é de esperar que os avanços nas tecnologias de diagnóstico e tratamento reflitam-se num aumento contínuo da complexidade dos hospitais, estando estes avanços correlacionados com novas técnicas cirúrgicas, novos materiais e equipamentos para possibilitar terapias mais complexas e novas abordagens. Assim, constata-se que estas instituições, apresentam-se como sendo cada vez mais dinâmicas e especializadas, estando em constante transformação [28].

Os serviços de saúde deparam-se com o desafio contínuo de aprimorar a qualidade dos cuidados prestados, melhorar a eficiência e proporcionar mais valor e benefícios aos pacientes. Neste sentido, está tácito o reconhecimento das falhas internas dos hospitais, tais como o intenso fluxo de doentes, que pode influenciar a segurança do doente, a sua satisfação e consequentemente a qualidade geral dos cuidados [29].

O fluxo hospitalar/clínico traduz-se no movimento dos utilizadores destas instalações em ambientes de cuidados, sendo estes médicos, recursos físicos e sistemas internos necessários para a recessão dos pacientes e visitas, desde o ponto de admissão na unidade até ao ponto de alta [29].

Dentro dos serviços médicos distingue-se os cuidados de internamento e os cuidados ambulatoriais. Os cuidados de internamento incluem, por norma, qualquer serviço médico administrado ao paciente em que a sua condição requer admissão num hospital/clínica, com supervisão médica. Por outro lado, os cuidados ambulatoriais são considerados cuidados médicos prestados sem a necessidade de internamento nas unidades [29].

Nestes últimos são dispensados diversos tipos de serviços, nomeadamente visitas de emergência e clínicas, imagiologia entre outros serviços de diagnóstico, testes laboratoriais e cirurgia ambulatoria. No que diz respeito ao fluxo de pacientes nos cuidados ambulatoriais, o mesmo influencia diretamente fatores como o tempo de espera e de estadia do paciente. Deste modo, é necessário haver boa gestão, por parte do hospital, de forma a não influenciar negativamente estes fatores, melhorar as visitas e a qualidade de trabalho dos próprios profissionais de saúde [29].

Atualmente, existem certas estratégias para auxiliar a movimentação dos utilizadores dos hospitais, tal como através de linhas coloridas, desenhadas no pavimento destes edifícios. Estas linhas indicadoras têm como intuito de apresentar o melhor trajeto a efetuar de um local para outro. Contudo, é expectável que estes designs informativos apenas indiquem os trajetos

para zonas mais gerais, tal como por exemplo, para a zona de triagem, zona das consultas e urgência.

No entanto, trajetos a efetuar desde a sala de espera até um determinado gabinete médico ou até uma sala de imagiologia médica em específico, não são assinalados por estas linhas. Assim torna-se inevitável uma certa desordem, atrasos, comprometendo, assim, a gestão destas instalações.

3.2. Sistemas de informação para gestão hospitalar

A tecnologia de informação (TI) é uma área em constante evolução, sendo que, cada vez mais, informação é sinónimo de poder e o seu uso adequado confere vantagem competitiva e um melhor atendimento ao público, aprimorando os serviços e produtos. A TI e respetivos sistemas informáticos são fulcrais no setor da saúde, dado se tratar de um serviço relacionado a uma necessidade básica [30].

Sabe-se que a saúde é um direito basilar do indivíduo, por essa razão, ao apresentar tecnologias e ferramentas para auxiliar a gestão hospitalar, contribuir-se-á para garantir esse direito. Conforme alguns estudos, é previsto que cerca de metade do orçamento operacional de um hospital esteja relacionado com a logística, porém, ao melhorar os processos logísticos pela inserção de sistemas de informação, estar-se-á a auxiliar na redução destes custos [30].

Atualmente já são utilizados sistemas de informação para a gestão das unidades hospitalares, por exemplo, na gestão de *stocks*, através de metodologias de codificação. Neste caso, recorre-se à RFID (*radio-frequency identification*), que torna possível a localização de determinados materiais, através da emissão de ondas rádio, e o rastreamento do seu transporte e deslocação ao longo da cadeia logística. Através deste sistema, é permitida a substituição preventiva de materiais com algum tipo de problemas, diminuição de desperdícios e consequente redução de custos e realização contínua de análise de valor do fluxo do material [31].

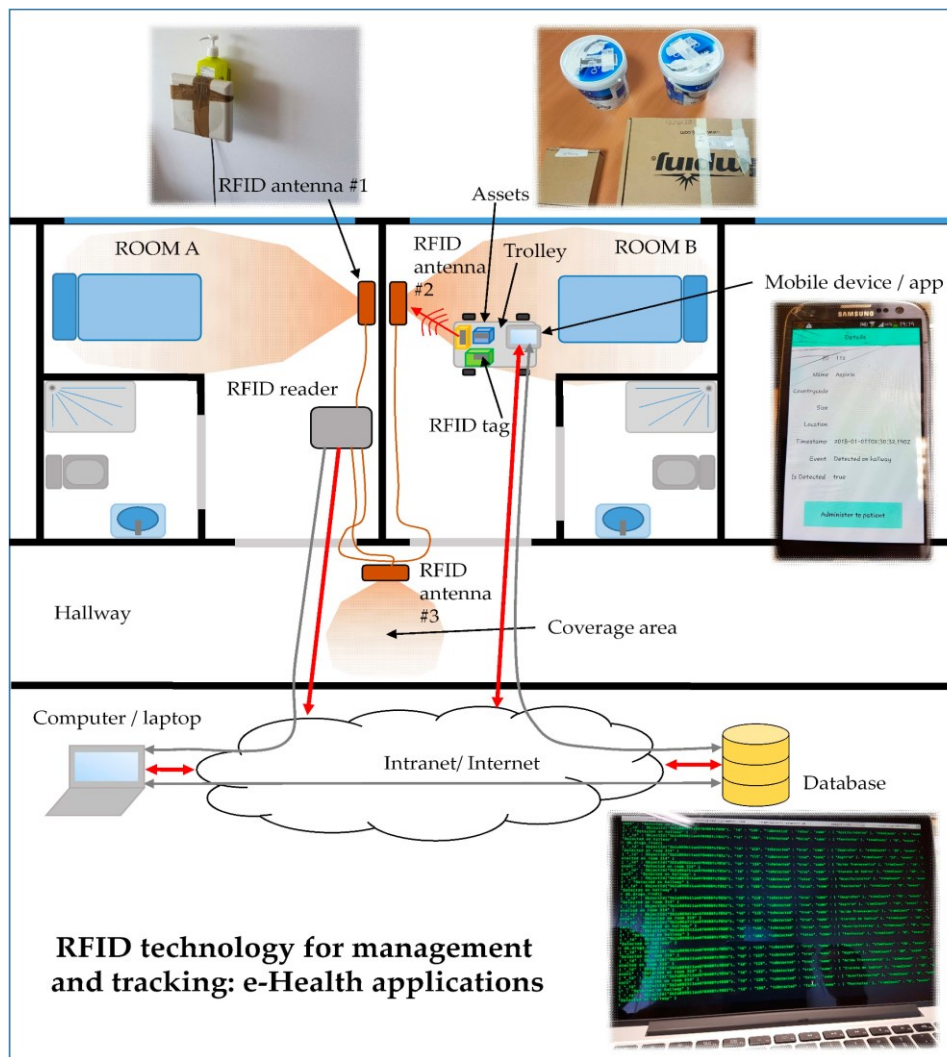


Figura 3.3 - Esquema ilustrativo do funcionamento da tecnologia RFID aplicado à gestão no setor da saúde [31].

No que concerne à gestão do fluxo dos utilizadores dentro de um hospital, ainda não foram adotadas medidas baseadas em sistemas de TI em Portugal, sendo um aspeto interessante a ter em consideração. Atualmente, estas unidades apresentam certas soluções de design informativo para a orientação das pessoas, contudo, uma evolução tecnológica destas técnicas, iria permitir uma melhor administração e prestação dos serviços.

4. Protótipo

4.1. Contexto

Como prova de conceito, foi elaborado um protótipo (ou seja uma implementação de pequena escala) do conceito de IPS, com intuito de demonstrar viabilidade e validar o seu potencial valor no mercado. Para realizar esta prova de conceito, tal como já mencionado, foi desenhado e desenvolvido um protótipo das fases de mapeamento e navegação. Para isso, optou-se por construir uma aplicação *mobile* em React Native, que possibilita ao utilizador seleccionar o seu ponto de partida e o destino pretendido, sendo retornado o trajeto a percorrer, de forma dinâmica. O nome escolhido para esta aplicação foi hIPS (Hospital IPS).

Optou-se por simular o sistema em contexto hospitalar, para apresentar uma solução para o intenso fluxo, sendo esta, atualmente, uma notória necessidade da população. Resumidamente, através de uma abordagem de *design thinking*, definiu-se o problema, estipulou-se uma potencial solução e criou-se um protótipo, com o objetivo de satisfazer as necessidades dos utilizadores.

É de notar que, para a realização da componente prática da presente tese, foi elaborado o melhor plano possível, de forma a apresentar uma prova de conceito dentro do orçamento e janela temporal pré-definido. Assim, após alguma investigação, constatou-se que para ser apresentada uma solução funcional, acessível e em tempo útil, não seria possível a construção das três fases do IPS.

Assim, nesta aplicação, primeiramente, o utilizador terá de seleccionar o distrito no qual se encontra o hospital a visitar. De seguida, é pretendido que o mesmo selecione o nome do hospital, simulando o cenário de que o *software* irá retornar a respetiva planta e irá assumir os diferentes pontos de interesse mediante essa escolha. Para terminar, propõe-se ao utilizador seleccionar o local onde se encontra, bem como o seu destino de interesse, sendo retornado o trajeto. Deste modo, é apresentado um produto simples e de eficaz utilização, proporcionando uma boa experiência aos seus utilizadores.

A hIPS recorrerá a serviços AWS, com o intuito de estar acessível de forma universal, bem como permitir a utilização de um sistema *cloud*, sendo, por isso, nativamente escalável e resiliente a picos de utilização. Mais concretamente, recorrer-se-á à AWS para o

armazenamento de dados e imagens e criação da API (*Application Programming Interface*) do estilo REST (*Representational State Transfer*), sendo necessária para estabelecer a comunicação entre a interface gráfica e os dados. Assim, segue-se uma breve introdução da *framework* utilizada para a construção da interface, das diferentes tecnologias, demonstração de diagramas, bem como dos diferentes ecrãs da aplicação.

4.2. Linguagens de programação, *frameworks* e ferramentas utilizadas

No que respeita à interface gráfica desenvolvida, para a mesma recorreu-se ao React Native, sendo este uma *framework* de JavaScript, muito utilizada para a construção de aplicações moveis, para Android e iOS. Apesar de ser baseada em React, é utilizada para finalidades distintas, sendo que o React se foca nos navegadores da internet e o React Native, como dito anteriormente, em plataformas *mobile*.

À semelhança do React, o React Native cinge-se à gestão de estados, tal como requer a instalação de bibliotecas adicionais, de forma a estender as funcionalidades e o desempenho das aplicações. No que respeita à gestão dos estados, são estes que controlam o comportamento da aplicação num determinado momento, sendo a gestão feita, por exemplo, a componentes interativos, como os botões [32].

Através da utilização de *frameworks*, como o React Native, para o desenvolvimento de aplicações, é possível obter um desempenho quase nativo sem necessitar de programadores que dominem linguagens nativas, específicas do Android ou iOS. Note-se que esta *framework* apresenta uma elevada portabilidade, no sentido em que 90% do código é reutilizável, existe bastante documentação, apresentando uma grande comunidade de utilizadores e baixo custo, dado ao facto de ser código aberto [32].

Deste modo, após algum trabalho de pesquisa e estudos comparativos entre o React Native e outras *frameworks*, concluiu-se que esta seria a opção mais viável para a implementação do protótipo deste projeto, em iOS.

No que concerne ao ambiente de desenvolvimento, o escolhido foi o Visual Studio Code, dada a sua praticidade, larga e ativa comunidade de contribuidores. Através desta ferramenta, optou-se por recorrer a extensões que permitiram ter contacto com mais funcionalidades da mesma, tal como ferramentas de *debugging*, aumentando assim a produtividade.

Foi ainda utilizado o Expo, sendo este um conjunto de ferramentas e serviços para a construção e gestão de *apps* em React Native. O expo é de fácil configuração, em que através de um simples comando torna-se possível a criação de um novo projeto de React Native; apresenta acesso a APIs nativas, sendo possível aceder a funcionalidades em iOS e Android (como câmara, notificações, entre outras); e ainda apresenta uma larga comunidade de programadores e, conseqüentemente, suporte por parte dessa comunidade.

4.3. Cloud - Serviços AWS

Para o desenvolvimento do *backend* da aplicação, recorreu-se a serviços AWS *Free Tier*, sendo assim possível a exploração de diversos produtos de forma gratuita. No caso, a AWS apresenta tecnologias *serverless* que concedem a possibilidade de executar código, gerir dados e integrar aplicações, sem necessidade de manter e atualizar servidores.

A programação *serverless* apresenta diversas vantagens, no sentido em que permite o escalamento automático, elevada disponibilidade incorporada, bem como um modelo de faturação paga por utilização, agilizando e otimizando assim os custos das aplicações [33].

Para a criação da aplicação *mobile* proposta por esta dissertação, recorreu-se aos seguintes serviços:

4.3.1. AWS Lambda

O AWS Lambda é um serviço de computação *serverless*, orientado por eventos, que possibilita a execução de código para a maioria dos tipos de aplicações ou serviços *backend* [34].

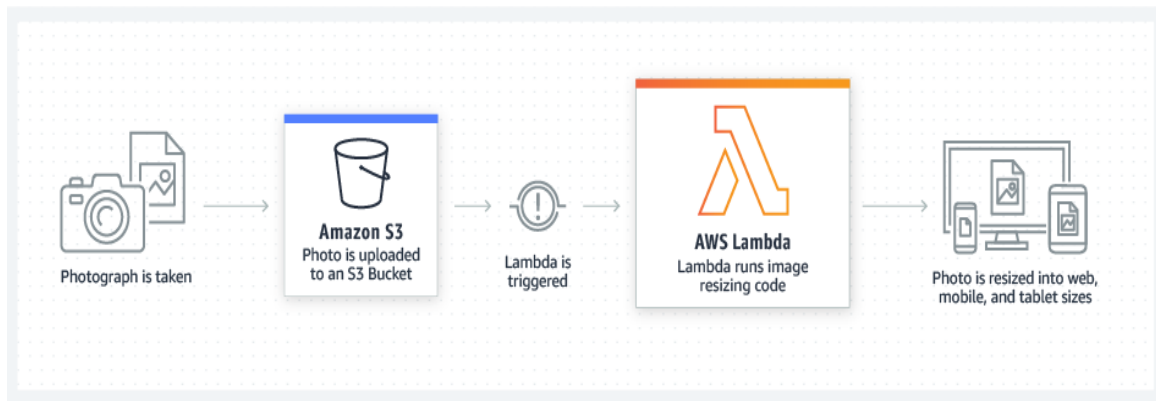


Figura 4.1 - Esquema representativo do funcionamento do serviço AWS Lambda [34].

4.3.2. Amazon S3

O Amazon Simple Storage Service (Amazon S3) apresenta-se como sendo um serviço de armazenamento de objetos, permitindo escalabilidade, disponibilidade de dados e segurança [35].



Figura 4.2 - Esquema representativo do funcionamento do serviço Amazon S3 [35].

4.3.3. Amazon API Gateway

No que diz respeito ao Amazon API Gateway, este serviço permite aos programadores a criação, publicação, manutenção, monitorização e segurança de APIs. Estas APIs funcionam como uma porta de passagem entre as aplicações e o *backend*, para o acesso a dados, lógicas empresariais ou à funcionalidade dos serviços. Através deste serviço foram criadas APIs RESTfull, para manter a comunicação bidirecional, em tempo real, da aplicação [36].

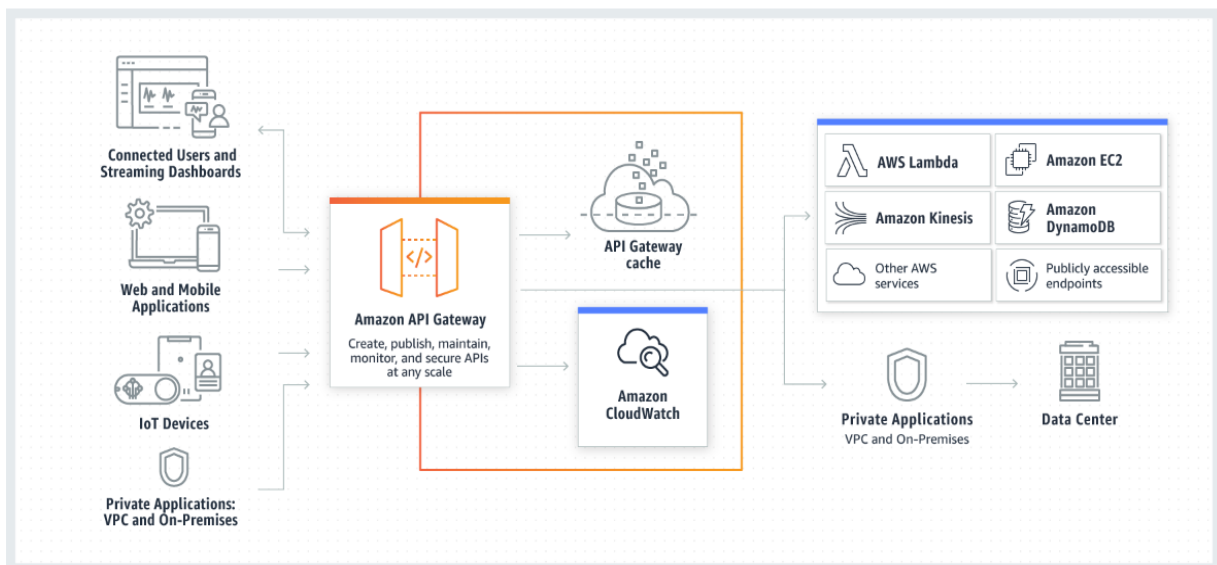


Figura 4.3 - Esquema representativo do funcionamento do serviço Amazon API Gateway [36].

4.4. Diagramas

De forma a melhor analisar o problema em questão e desenhar a solução a implementar, foi considerado essencial a elaboração de diagramas UML, ERD e de arquitetura. Na análise do problema serão descritos os requisitos do *software* proposto, bem como, a relação entre o utilizador e o sistema. No desenho da solução, será descrita e justificada a arquitetura do sistema, de forma a dar resposta aos requisitos impostos, assim como, o planeamento da interface gráfica implementada.

4.4.1. Requisitos funcionais

Nos requisitos funcionais são tidos em consideração os serviços que o *software* deverá oferecer, as suas características e funções a implementar, para ter um produto final funcional e de acordo com o esperado. Para isso, recorreu-se a um tipo de diagrama UML (*Unified Modeling Language*), nomeadamente o diagrama de sequência, onde se verifica a interação entre o utilizador e os diferentes serviços do *software* [37].

Através deste tipo de diagramas é descrito o modo e ordem de atuação de um grupo de objetos, que trabalham em conjunto. Note-se que estes diagramas são imensamente usados por diferentes envolventes da área de desenvolvimento de *software*, desde programadores a profissionais de negócio, para melhor compreender as necessidades de um sistema novo a implementar ou até para melhor documentar produtos já existentes [37].

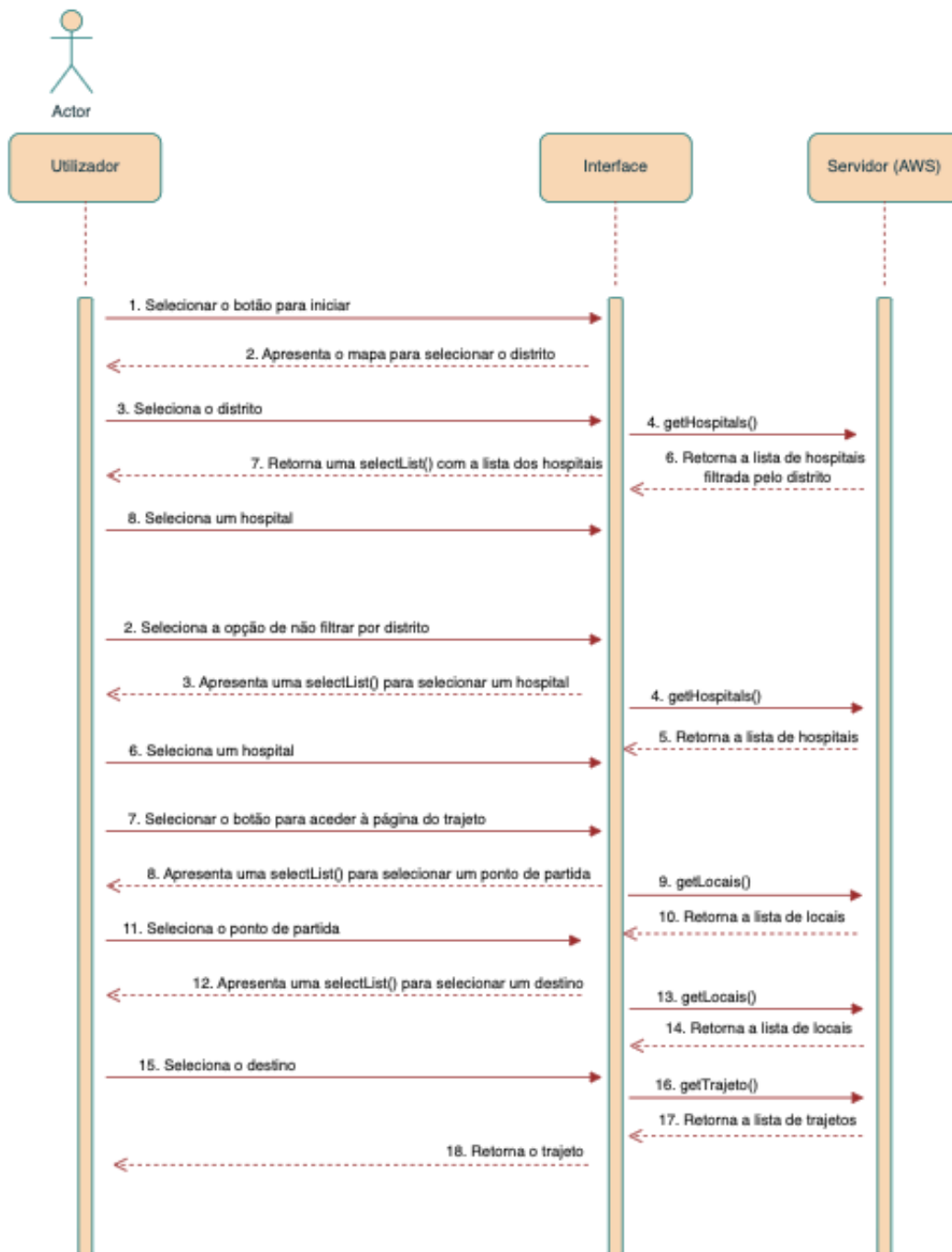


Figura 4.4 - Diagrama de sequência do *software* da hIPS.

Numa perspetiva de utilizador da aplicação implementada, pretende-se aceder à mesma e ter, inicialmente, ao dispor, o mapa de Portugal com indicação dos distritos no qual existem hospitais aderentes da aplicação de *software* em causa. Ao seleccionar um dos distritos deverá ser apresentada a opção de escolher o hospital a visitar, sendo a lista de hospitais filtrada por distrito, para facilitar a procura. Deverá ser apresentada outra opção de apresentação da lista de

hospitais, sem filtrar por distrito, onde o utilizador terá de escolher o hospital a visitar, entre todos os hospitais aderentes.

Após seleccionar o hospital, espera-se uma página que dê a possibilidade de seleccionar um ponto de partida e um destino, em que, após seleccionar as duas opções, deverá ser retornada uma imagem com o trajeto a efetuar.

4.4.2. Domínio do problema

A nível de análise do problema, é necessário considerar os seguintes conceitos: distrito, hospital, local e trajeto. Deste modo, através de um diagrama ERD (Entity Relationship Diagram), será possível identificar as entidades envolvidas, os atributos e relações no sistema [38].

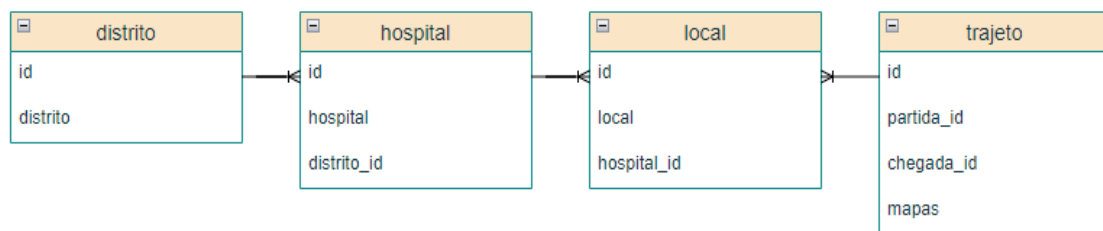


Figura 4.5 - Diagrama ERD do *software* da hIPS.

Dado que cada distrito pode ter vários hospitais, obtém-se uma relação de 1 para N entre “distrito” e “hospital”. O mesmo acontece entre “hospital” e “local”, dado que cada hospital apresenta os seus pontos de interesse, que no caso foram denominados de locais, sendo estes os pontos de partida e/ou destino. Contudo, entre “local” e “trajeto” a lógica é contrária, sendo uma relação de N para 1, em que para um trajeto é necessário ter dois locais, ou seja, duas entradas de dados.

4.4.3. Desenho da solução

De forma a, detalhadamente, desenhar uma solução capaz de dar resposta às necessidades do sistema, foi elaborado o diagrama da arquitetura do mesmo. A aplicação proposta apresenta uma componente de *frontend*, definindo a interface gráfica e uma componente de *cloud*, que corresponde ao *backend*.

Os principais objetivos dos diagramas de arquitetura são melhorar a compreensão, a comunicação e incentivar a colaboração e identificação das áreas para aprimoramento [39].

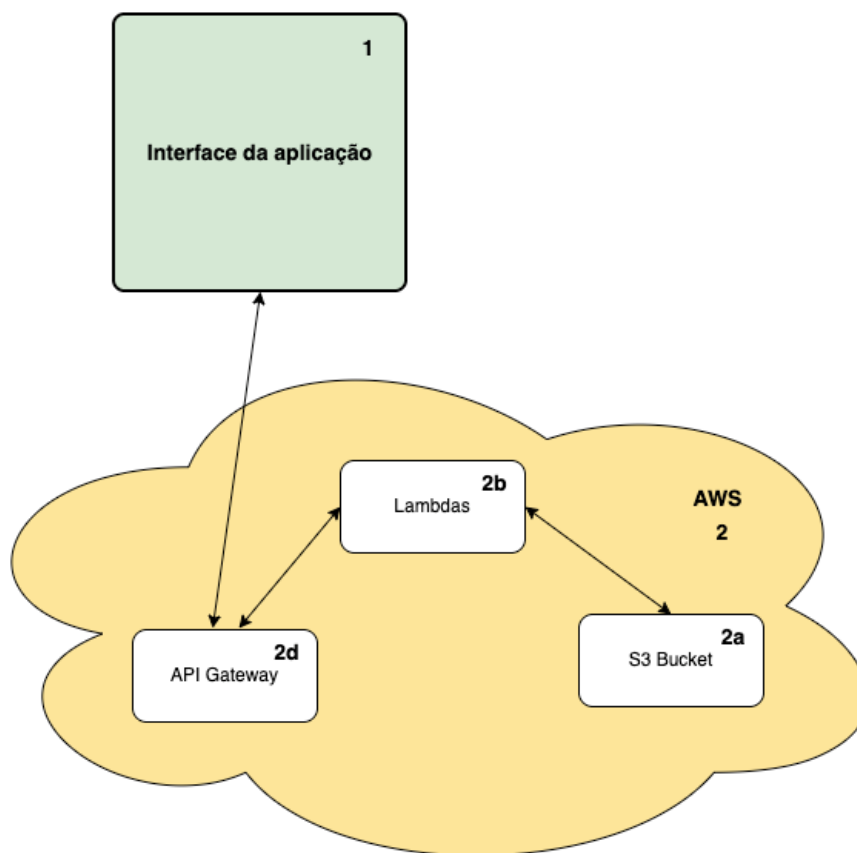


Figura 4.6 - Diagrama da arquitetura do *software* da hIPS.

No caso, a interface gráfica irá comunicar diretamente com a AWS, através de diversos micro-serviços disponíveis pela mesma, para permitir a funcionalidade da aplicação. Mais concretamente, a interface comunica com a *cloud* através do serviço API Gateway, sendo que

este último comunica com as múltiplas funções Lambda, que atuam como os referidos micro-serviços.

Numa fase inicial foram importadas as imagens com os trajetos para um S3 *Bucket*, sendo que, de seguida, será executado o código de redimensionamento de imagem.

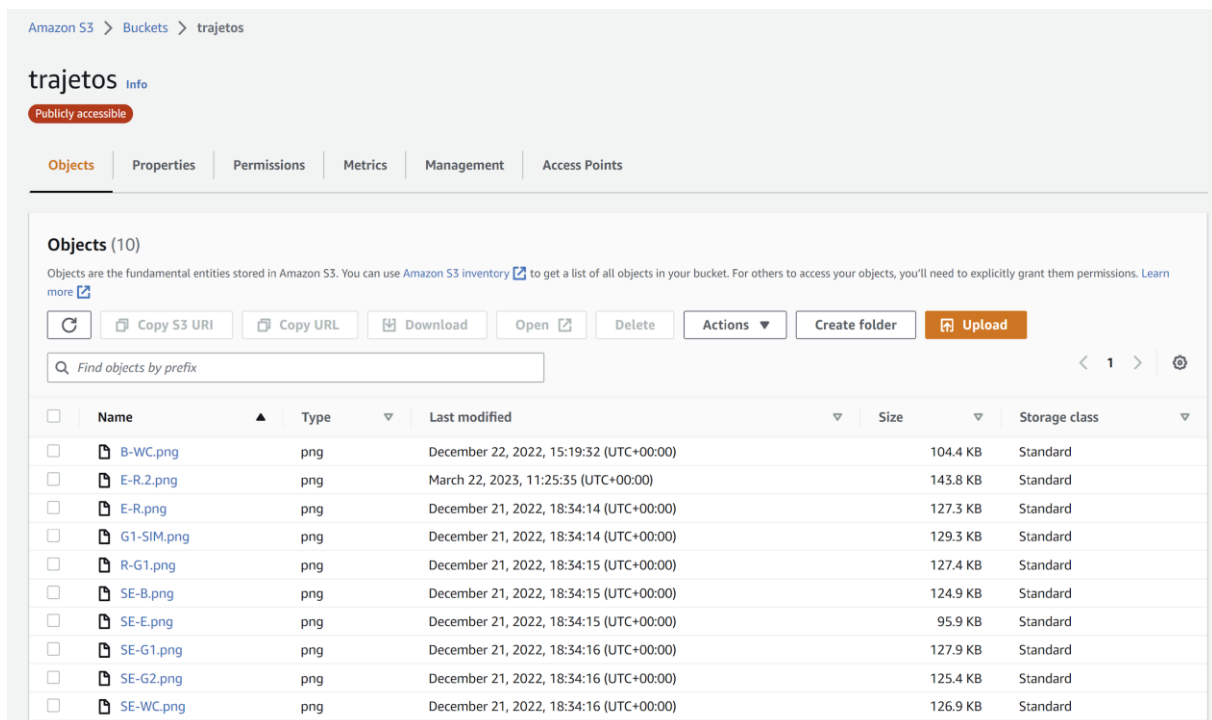


Figura 4.2 - Lista das imagens relativas aos diferentes trajetos no *bucket* criado no serviço Amazon S3.

Numa segunda fase, foram definidos os Lambdas necessários.

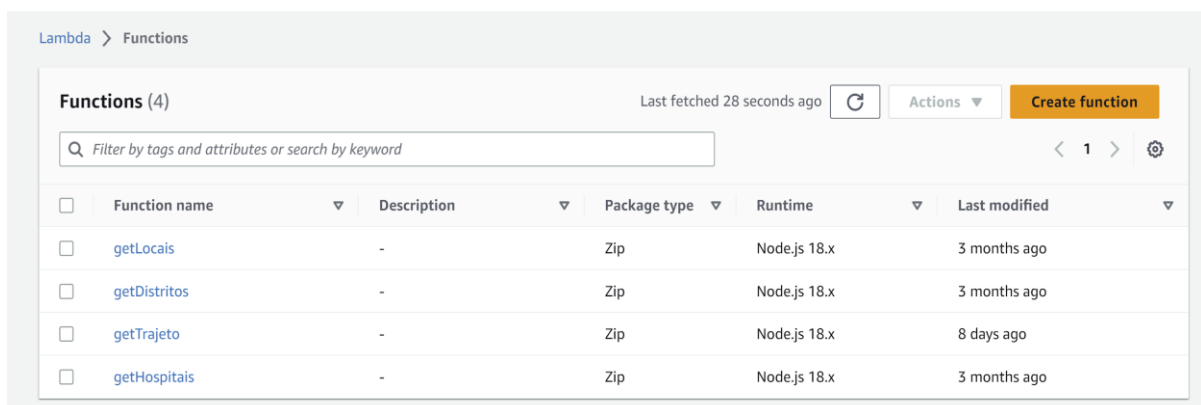
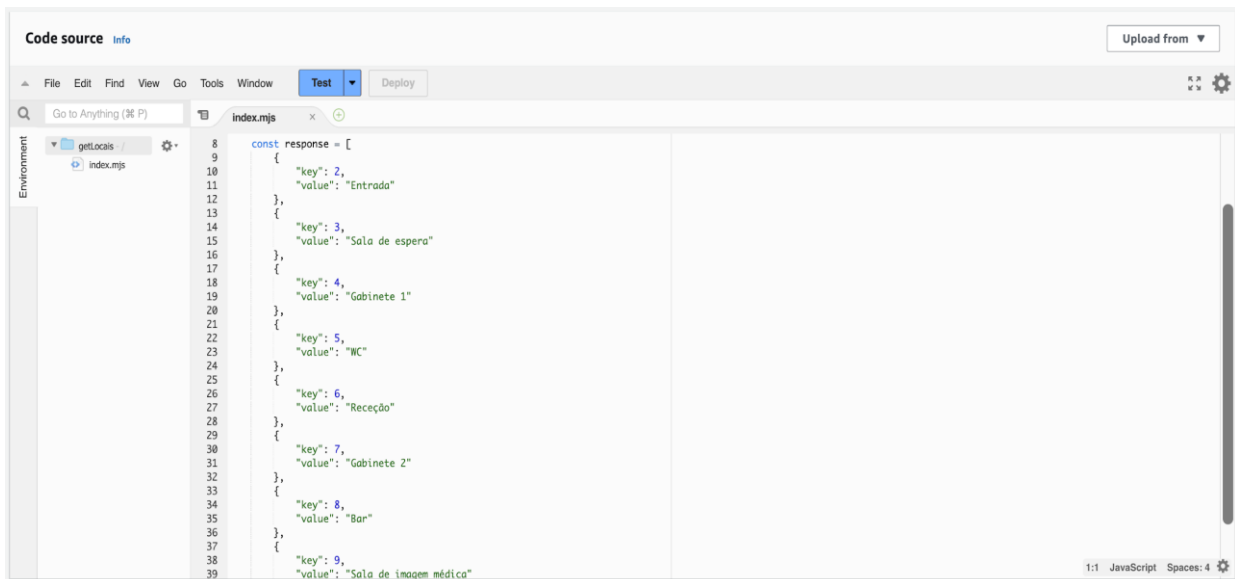


Figura 4.3 - Lista dos Lambdas criados no serviço AWS Lambdas.

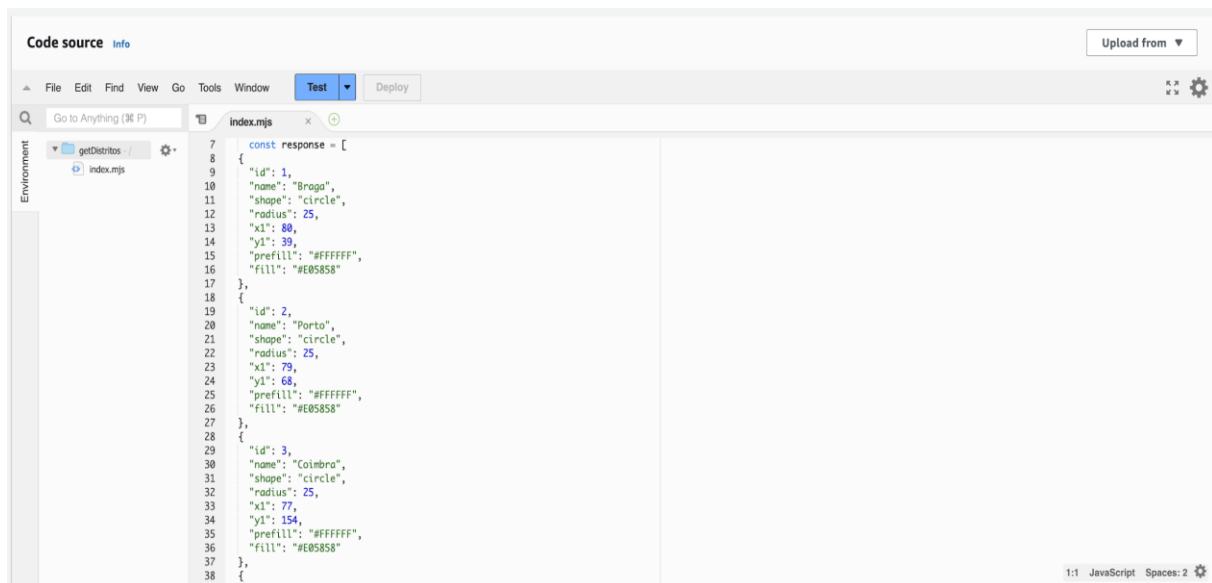
Relativamente ao *getLocais*, foi definido um *array* de objetos, em que para cada local (*value*) foi atribuído um id (*key*) que seriam, mais tarde, reconhecidos na altura de retornar um trajeto.



```
8  const response = [
9    {
10     "key": 2,
11     "value": "Entrada"
12   },
13   {
14     "key": 3,
15     "value": "Sala de espera"
16   },
17   {
18     "key": 4,
19     "value": "Gabinete 1"
20   },
21   {
22     "key": 5,
23     "value": "WC"
24   },
25   {
26     "key": 6,
27     "value": "Recepção"
28   },
29   {
30     "key": 7,
31     "value": "Gabinete 2"
32   },
33   {
34     "key": 8,
35     "value": "Bar"
36   },
37   {
38     "key": 9,
39     "value": "Sala de imagem médica"
40   }
41 ]
```

Figura 4.4 - *Array* de objetos do Lambda *getLocais*.

No caso do *getDistritos*, foi igualmente criado um *array* de objetos, em que cada distrito é associado a um id e *name*, bem como a posição de cada distrito no mapa (*x1* corresponde à posição relativamente ao eixo horizontal e *y1* corresponde à posição relativa ao eixo vertical). Os valores associados às propriedades *shape*, *radius*, *perfill* e *fill* são constantes em todos os objetos, pois referem-se à configuração do design da zona de seleção dos distritos no mapa.



```
Code source info Upload from ▾  
File Edit Find View Go Tools Window Test Deploy  
Go to Anything (⌘ P) index.mjs  
Environment  
getDistritos /  
index.mjs  
7 const response = [  
8 {  
9   "id": 1,  
10  "name": "Braga",  
11  "shape": "circle",  
12  "radius": 25,  
13  "x1": 80,  
14  "y1": 39,  
15  "prefill": "#FFFFFF",  
16  "fill": "#E05858"  
17 },  
18 {  
19   "id": 2,  
20   "name": "Porto",  
21   "shape": "circle",  
22   "radius": 25,  
23   "x1": 79,  
24   "y1": 68,  
25   "prefill": "#FFFFFF",  
26   "fill": "#E05858"  
27 },  
28 {  
29   "id": 3,  
30   "name": "Coimbra",  
31   "shape": "circle",  
32   "radius": 25,  
33   "x1": 77,  
34   "y1": 154,  
35   "prefill": "#FFFFFF",  
36   "fill": "#E05858"  
37 },  
38 {
```

1:1 JavaScript Spaces: 2

Figura 4.5 - Array de objetos do Lambda *getDistritos*.

No que diz respeito ao método *getTrajeto*, foi definido um *array* de objetos para os diferentes trajetos a retornar, aquando da seleção de um ponto de partida e um destino. Note-se que os valores definidos para cada local são os mesmos encontrados no *getLocais*, sendo associada a cada trajeto a respetiva *key* (*from* e *to*) e *value* (*start* e *finish*). O trajeto será representado através da comunicação com a API, retornando uma imagem. Ainda associada a este método, foram definidas as posições de uma *icon* dinâmico e indicador do caminho a percorrer em cada trajeto.

```
9  const response = [
10  {
11    "from": 8,
12    "to": 5,
13    "start": "Bar",
14    "finish": "WC",
15    "image": "https://trajetos.s3.eu-west-3.amazonaws.com/trajetos/B-WC.png",
16    "arrow": [
17      {"x":200, "y":245},
18      {"x":172, "y":245},
19      {"x":172, "y":190},
20      {"x":172, "y":140},
21      {"x":172, "y":80}
22    ]
23  },
24  {
25    "from": 3,
26    "to": 5,
27    "start": "Sala de espera",
28    "finish": "WC",
29    "image": "https://trajetos.s3.eu-west-3.amazonaws.com/trajetos/SE-WC.png",
30    "arrow": [
31      {"x":145, "y":245},
32      {"x":170, "y":245},
33      {"x":202, "y":253},
34    ]
35  },
36  {
37    "from": 2,
38    "to": 6,
```

Figura 4.6 - Array de objetos do Lambda *getTrajeto*.

Por fim, no *getHospitais*, foi definido um *array* de objetos, em que para cada local (*value*) foi atribuído um id (*key*) que seriam, mais tarde, reconhecidos na altura de retornar a lista de hospitais disponíveis.

```
7  const response = [
8  {
9    "key": 1,
10   "value": "Hospital da Arrábida"
11  },
12  {
13    "key": 2,
14    "value": "Hospital CUF"
15  },
16  {
17    "key": 3,
18    "value": "Hospital Geral de Santo António"
19  },
20  {
21    "key": 4,
22    "value": "Lusitadas"
23  },
24  {
25    "key": 5,
26    "value": "Hospital da Prelada"
27  },
28  {
29    "key": 6,
30    "value": "Hospital São João"
31  },
32  {
33    "key": 7,
34    "value": "Hospital Trofa Saúde"
35  },
36  ]
```

Figura 4.7 - Array de objetos do Lambda *getHospitais*.

Posteriormente, foi criada uma API Gateway, sendo cada método associado ao respetivo Lambda. Através deste ponto foi possível geral o *url* do *endpoint* para ser inserido no código, de modo a estabelecer a comunicação quando necessário.

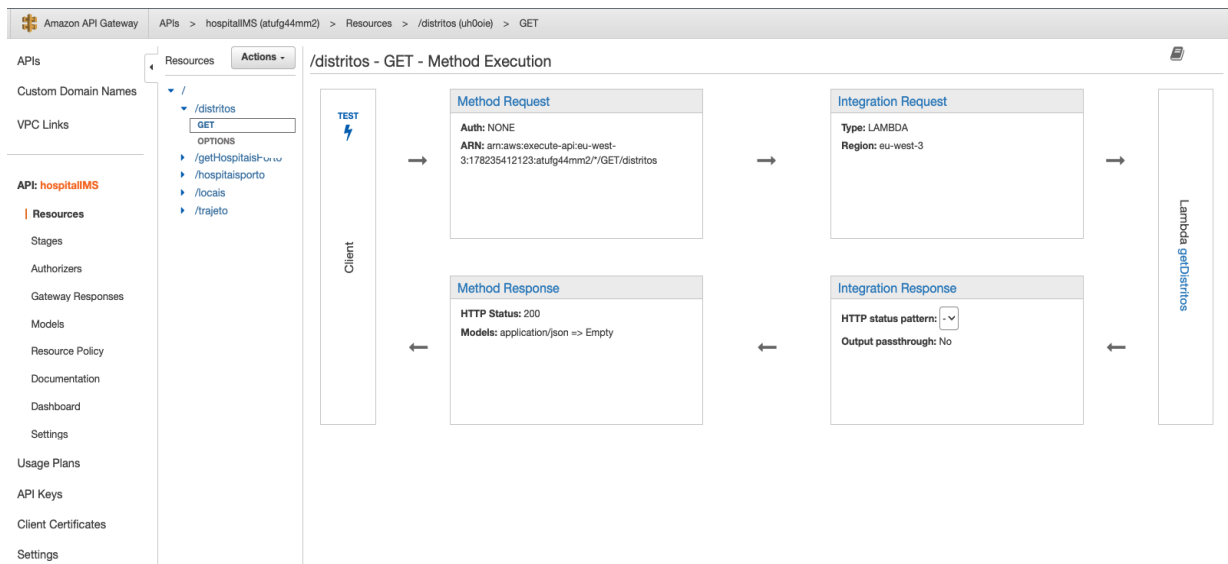


Figura 4.13 - Processo de execução do método GET ao Lambda `getDistritos`.

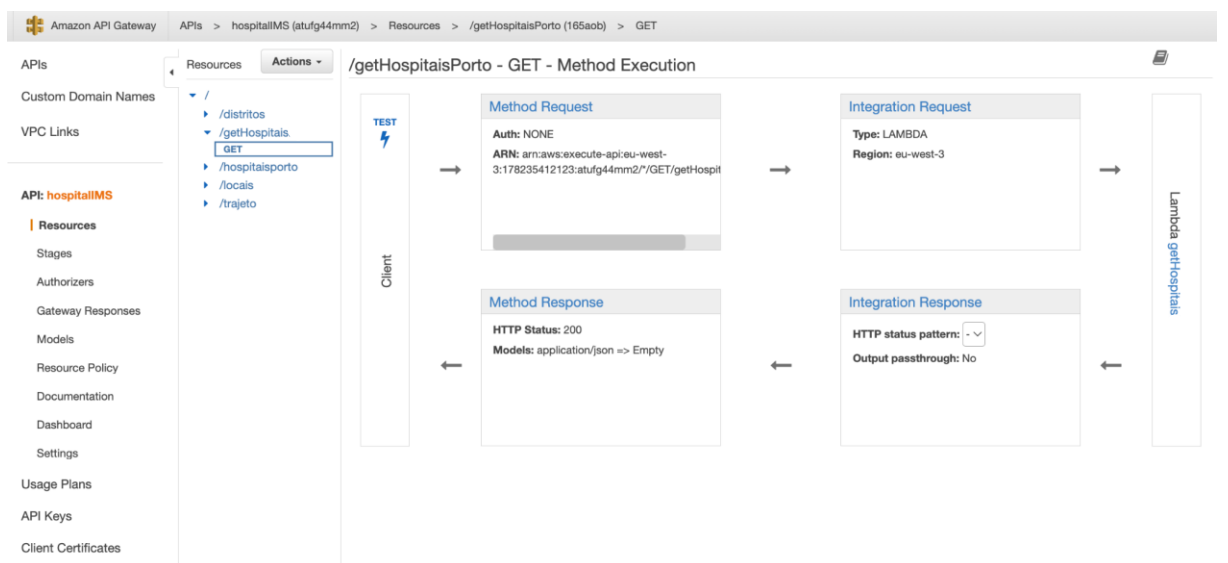


Figura 4.14 - Processo de execução do método GET ao Lambda `getHospitais`.

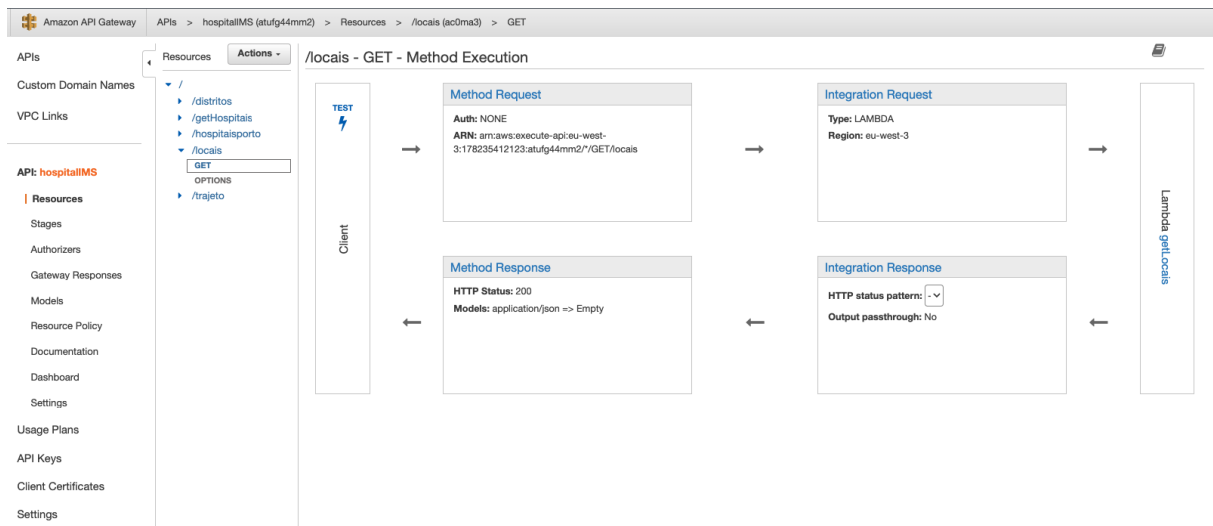


Figura 4.15 - Processo de execução do método GET ao Lambda *getLocais*.

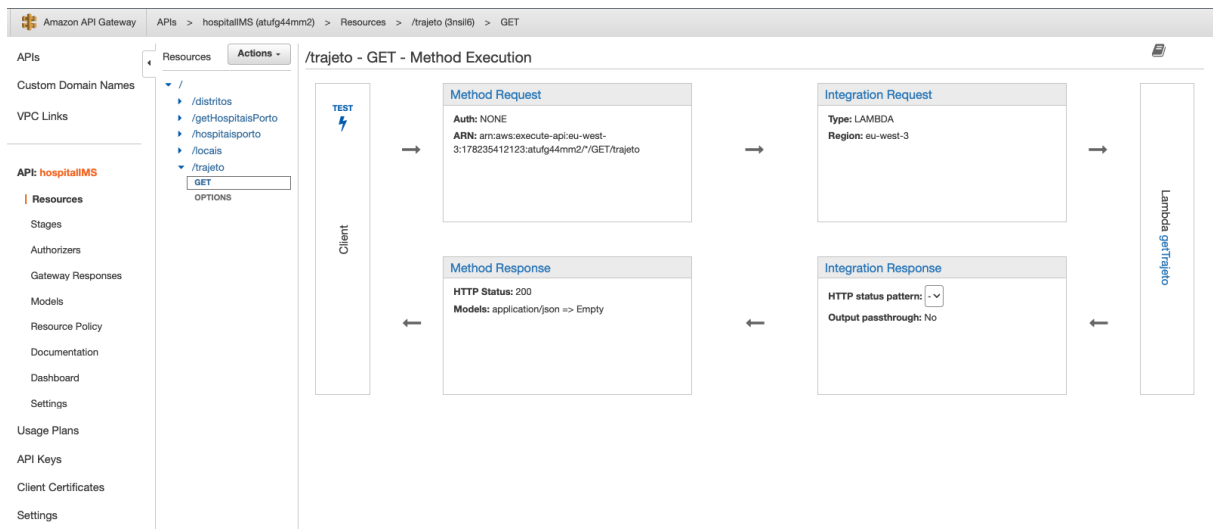


Figura 4.16 - Processo de execução do método GET ao Lambda *getTrajeto*.

4.5. Interface gráfica

Após o desenho da arquitetura do sistema, pelo planeamento das funcionalidades do mesmo a nível de *software*, segue-se o planeamento da interação do utilizador com os componentes pré-definidos. Deste modo, seguem os diferentes ecrãs do protótipo.



Figura 4.17 - Diferentes ecrãs da aplicação hIPS.

Inicialmente foi desenvolvido um ecrã de boas-vindas, tendo como propósito a introdução da aplicação ao utilizador. Após o *click* no botão de “start”, o utilizador é direcionado para a página de seleção do distrito.

O propósito do segundo ecrã é possibilitar a filtragem dos hospitais por distrito, para simplificar a pesquisa. Assim sendo, é apresentado o mapa de Portugal, em que os distritos no qual existem hospitais aderentes da aplicação proposta, estão sinalizados com um *icon* circular, que fica acionado após o *click* no mesmo.

Ao fazer *click* num distrito, automaticamente o *icon* circular muda de cor e surge uma caixa na parte inferior do ecrã, que indica o distrito selecionado, bem como uma *selectList* com a lista de hospitais do respetivo distrito. Após a seleção do hospital o utilizador poderá fazer *click* no botão que se encontra abaixo da *selectList*, sendo direcionado para o ecrã do trajeto.

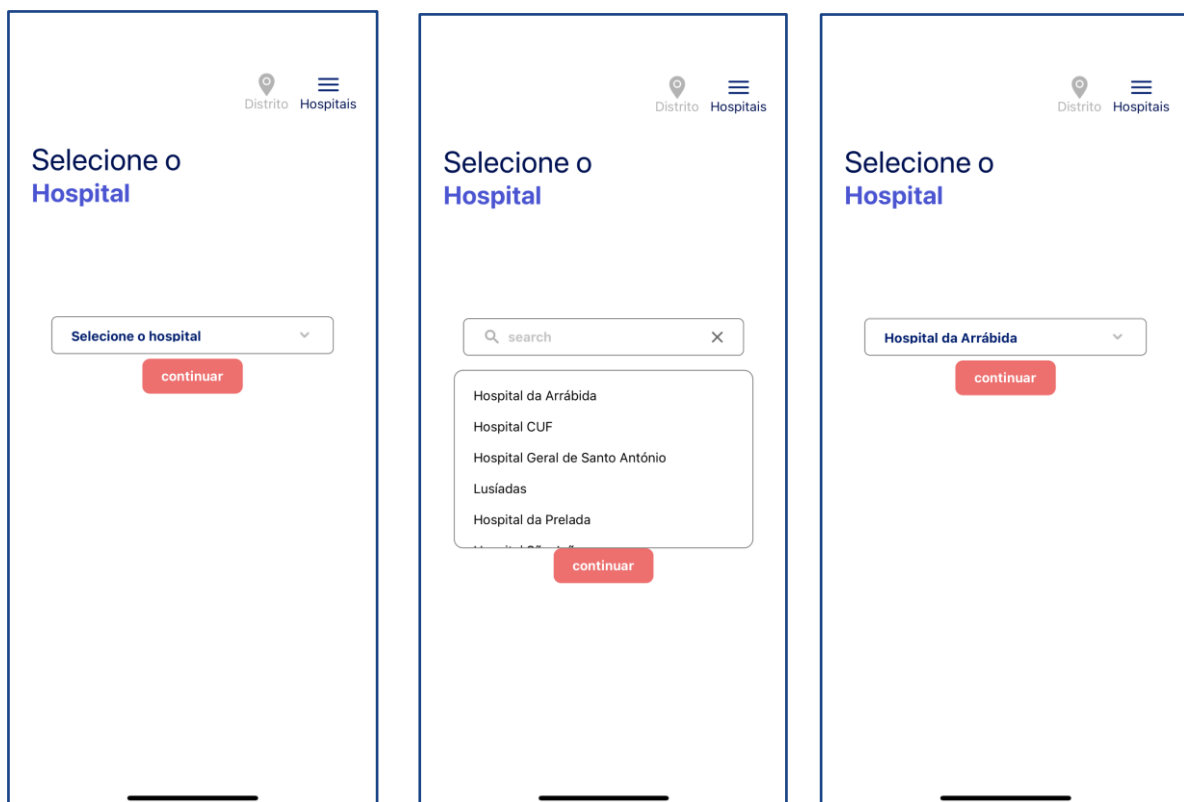


Figura 4.18 - Diferentes ecrãs da aplicação hIPS.

É de notar que, no canto superior direito do ecrã, surge um menu pelo qual o utilizador pode optar por seleccionar o hospital a visitar, filtrando pelo distrito, ou simplesmente, seleccionar o mesmo na lista de todos os hospitais aderentes. Deste modo, torna-se possível apresentar ao utilizador diferentes opções, tornando a sua experiência mais personalizada e acessível.

Assim, ao optar por seleccionar o hospital diretamente, é apresentado o terceiro ecrã da aplicação, onde consta uma *selectList* que retorna a lista de todos os hospitais, não filtrados por distrito. Acrescenta-se ainda que o utilizador pode optar por deslizar na caixa de opções da mesma e seleccionar ou escrever na barra de “*search*” o hospital pretendido.

Após escolher o hospital a visitar, é pretendido que o utilizador faça *click* no botão de “continuar”, ao que após esta ação será dirigido para o ecrã do trajeto.

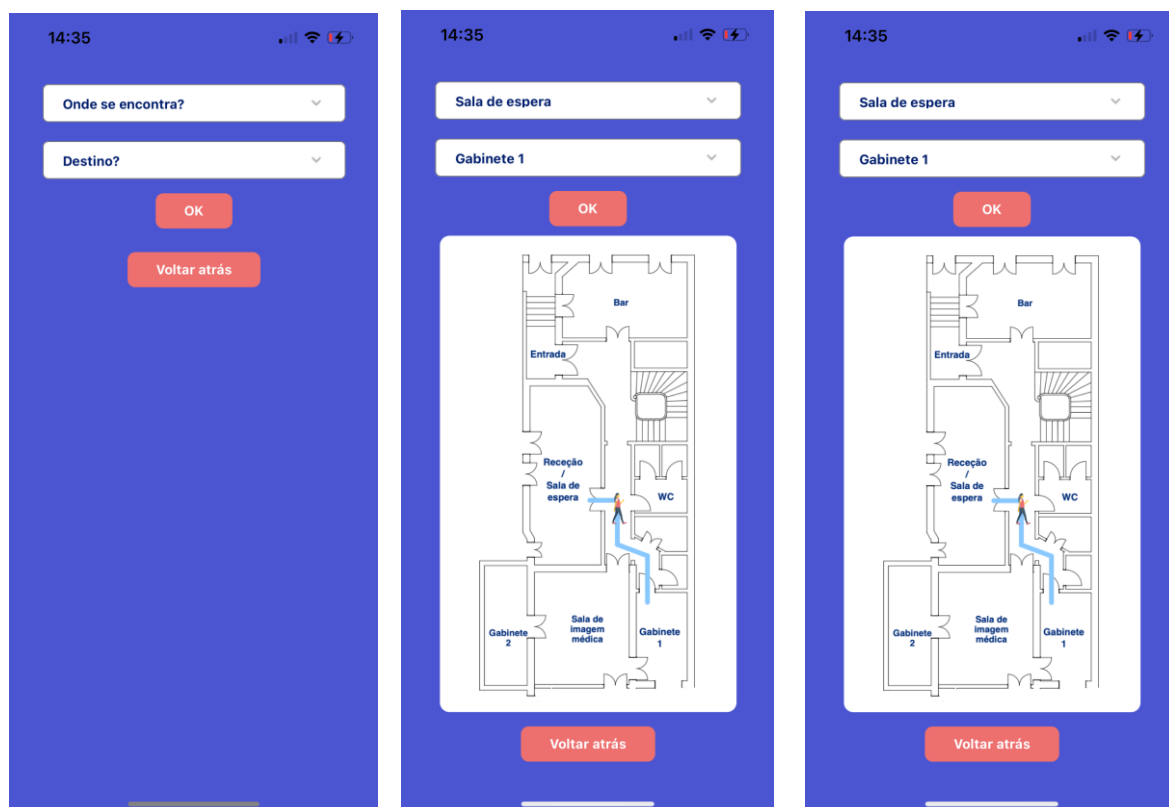


Figura 4.19 - Diferentes ecrãs da aplicação hIPS.

No ecrã do trajeto, surgem duas *selectList* na parte superior do ecrã, sendo a primeira referente à seleção do ponto de partida e a segunda ao destino desejado. Uma vez escolhidos os

dois pontos de interesse, ao fazer *click* no “OK”, surge uma imagem representativa da planta do local e com o trajeto a efetuar do ponto inicial ao ponto final.

Juntamente com a linha indicadora, surge um *icon* dinâmico, que se move num intervalo de 2 s, indicando a deslocação a efetuar. A intenção da inserção do *icon* dinâmico foi simular o caso ideal de ser detetada a localização atual do utilizador, sendo que à medida que o mesmo se desloca, o *icon* acompanha o movimento.

É de notar que a lógica implementada para o trajeto permite que o utilizador selecione, por exemplo, como ponto de partida a “Entrada” e como destino a “Receção”, sendo retornado o mesmo trajeto que retornaria se o utilizador seleccionasse “Receção” e “Entrada”.

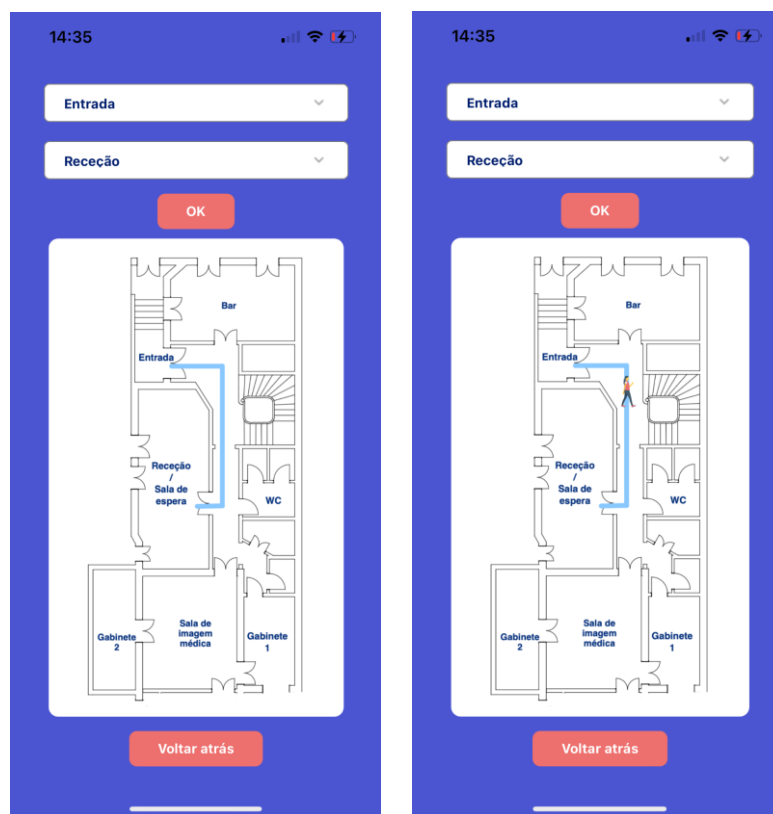


Figura 4.20 - Diferentes ecrãs da aplicação hIPS.

Acrescenta-se que, é permitido ao utilizador obter os trajetos que desejar, em que basta alterar os pontos de interesse que será sempre retornado o respetivo trajeto. Ainda neste ecrã, é apresentado um botão de “Voltar atrás”, apenas para melhorar a experiência do utilizador,

possibilitando voltar atrás na aplicação, podendo retornar à seleção de hospitais e selecionar um diferente do selecionado inicialmente.

5. Conclusão

5.1. Síntese

Para concluir, tanto o *WiFi* como o *Bluetooth* podem, de facto, ser utilizados como tecnologias base para a implementação de sistemas de localização em ambientes interiores, como hospitais. Contudo, cada tecnologia apresenta as suas vantagens e desvantagens.

No caso da tecnologia *WiFi*, o sistema de posicionamento depende dos sinais provenientes dos pontos de acesso da rede, de forma a determinar a localização do dispositivo do utilizador. Esta alternativa é altamente viável no caso de edifícios como os hospitais que já apresentam na sua infraestrutura rede *WiFi*. Por outro lado, considera-se o facto de o sinal ser facilmente afetado pela arquitetura e materiais do espaço, como a sua maior desvantagem.

Já os sistemas de posicionamento baseados no *Bluetooth*, requerem a implementação de *Beacons* ao longo do espaço, de forma a transmitir a informação sobre a localização do utilizador. Estes sistemas apresentam um nível de precisão ainda mais elevado do que os baseados no *WiFi*, acrescentando-se o facto de os sinais emitidos não sofrerem interferências. Contudo, apesar de permitirem um consumo de energia inferior, apresentam como desvantagem a obrigatoriedade de implementação de hardwares com custos mais elevados.

Devido à complexidade e custos associados a este tipo de implementações, não foi possível envolver as tecnologias mencionadas na prova de conceito. O intuito inicial seria a construção de um protótipo com as três fases do IPS incluídas, contudo, dado o orçamento e janela temporal pré-definida para a realização deste trabalho, optou-se pela elaboração de uma solução mais simples, mas funcional. Com a conclusão desta componente prática, foi possível verificar e testar como seria resolvida a problemática mencionada.

Em suma, a escolha da tecnologia dependerá das necessidades e requerimentos específicos de cada caso em concreto. Assim, é fulcral ter em consideração diversos fatores

para a decisão final, tais como a precisão, custo e a própria infraestrutura, principalmente em espaços que se destinam a cuidados de primeira necessidade, como os hospitais.

5.2. Perspetivas futuras

Ao longo dos últimos anos, os sistemas de posicionamento em ambientes interiores apresentaram avanços consideráveis, contudo, são consideradas algumas perspetivas futuras para esta tecnologia.

Primeiramente é proposta uma funcionalidade extra na aplicação, cujo para além de apresentar o trajeto a efetuar, alerta o utilizador em casos de emergência, apresentando trajetos alternativos. Isto é, caso o utilizador esteja a passar por uma área onde possa haver mais movimentação de profissionais com doentes em estado crítico, o mesmo será avisado, sendo apresentado outro trajeto. Também se sugere a adição do fornecimento de informações sobre o tempo de espera, da localização de alguns profissionais do hospital, tal como seguranças.

Para além destas duas questões, considera-se fulcral a contínua investigação e melhoria das tecnologias e métodos já utilizados, de forma a aumentar a precisão, fiabilidade e reduzir custos. Sucintamente, sugere-se manter a atenção em melhorar a relação qualidade/custo, de forma a expandir a adoção destas tecnologias no contexto do dia a dia. Em suma, o objetivo será sempre aprimorar a segurança dos pacientes nos hospitais, melhorar a eficiência operacional destas unidades e, conseqüentemente, a experiência dos utilizadores.

Referências bibliográficas

- [1] Kindervatter, T., Teixeira, F. (2022) Overview of the Global Positioning System.
- [2] Lasisi, L., Chris, C. (2021) An Overview of Global Navigation Satellite and Augmentation Systems. *Recent Developments in Engineering Research Vol. 11*, (pp 60–74).
- [3] Mendoza-Silva, G. M., Torres-Sospedra, J., Huerta, J. (2019) A meta-review of indoor positioning systems. *Sensors*, 19(20), 4507.
- [4] Xia S, Liu Y, Yuan G, Zhu M, Wang Z. (2017) Indoor fingerprint positioning based on Wi-Fi: An overview. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(5), 135.
- [5] Obeidat, H., Shuaieb, W., Obeidat, O., Abd-Alhameed, R. (2021) A review of indoor localization techniques and wireless technologies. *Wireless Personal Communications*, 119, 289-327.
- [6] Saeed, N., Nam, H., Al-Naffouri, T. Y., Alouini, M. S. (2019) A state-of-the-art survey on multidimensional scaling-based localization techniques. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4), 3565-3583.
- [7] Chebli, M. S., Mohammad, H., Amer, K. A. (2019) An overview of wireless indoor positioning systems: Techniques, security, and countermeasures. In *Internet and Distributed Computing Systems: 12th International Conference, IDCSS 2019, Naples, Italy, October 10–12, 2019, Proceedings 12* (pp. 223-233). Springer International Publishing.
- [8] Wu, P. (2019) Time difference of arrival (TDoA) localization combining weighted least squares and firefly algorithm. *Sensors*, 19(11), 2554.
- [9] ela innovation. (2021) Disponível: <https://elainnovation.com/en/indoor-location-algorithms> [data de consulta: 27/01/2023]
- [10] Kjærsgaard, M., Kjærsgaard, R. (2017) a survey of indoor positioning systems and their technologies. *journal of ambient intelligence and smart environments*, 9(4), 345-376.
- [11] Abusara, A., Hassan, M. S., Ismail, M. H. (2017) Reduced-complexity fingerprinting in WLAN-based indoor positioning. *Telecommun Syst* 65, 407–417 (2017).

- [12] Bencak, P., Hercog, D., Lerher, T. (2022) Indoor positioning system based on bluetooth low energy technology and a nature-inspired optimization algorithm. *Electronics*, 11(3), 308.
- [13] Jarvis, R., Mason, A., Thornhill, K., Zhang, B., Zhou, K. (2011) Indoor positioning system. *Master work. Louisiana: Louisiana State University*.
- [14] Jain, C., Sashank, G. V. S., Markkandan, S. (2021) Low-cost BLE based indoor localization using RSSI fingerprinting and machine learning. In 2021 sixth international conference on wireless communications, signal processing and networking (WiSPNET) (pp. 363-367). IEEE.
- [15] ibm. (n.d.) Disponível: <https://www.ibm.com/topics/knn> [data de consulta: 05/02/2023].
- [16] Towards Data Science. (2018) Disponível: <https://towardsdatascience.com/support-vector-machine-introduction-to-machine-learning-algorithms-934a444fca47> [data de consulta: 14/02/2023].
- [17] Scikit Learn. (2021) Disponível: https://scikit-learn.org/stable/modules/gaussian_process.html [data de consulta: 16/03/2023].
- [18] Rodrigues, J. (2022) *Li-Fi: Navegação Assistida por LEDs* (Doctoral dissertation, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa).
- [19] Zhang, X., Zhang, S., Huai, S. (2021) Low-Power Indoor Positioning Algorithm Based on iBeacon Network. Complexity, 2021, 1-10.2-6, 2015. *Proceedings 9* (pp. 105-117). Springer International Publishing.
- [20] BlueIOT. (n.d.). Disponível: <https://www.blueiot.com/bluetooth-aoa-vs-beacon.html> [data de consulta: 10/03/2023].
- [21] Medina Sánchez, C. (2022) From Perception to Navigation in Environments with Persons: An Indoor Evaluation of the State of the Art. *Sensors*, 22(3), 1191.
- [22] Happy Coders (2021) *A* Algorithm (with Java Example)*. Disponível: <https://www.happycoders.eu/algorithms/a-star-algorithm-java/> [data de consulta: 10/03/2023]
- [23] Situm Indoor Positioning (n.d.). Disponível: <https://situm.com/en/> [data de consulta: 20/03/2023].
- [24] NEXTOME (n.d.) Disponível: <https://nextome.com/> [data de consulta: 20/03/2023].
- [25] BlueIOT (n.d.). Disponível: <https://www.blueiot.com/> [data de consulta: 20/03/2023].

- [26] Dariva, L. (2020) *O estudo da configuração do espaço hospitalar através da forma e fluxo: uma análise de três hospitais projetados por Jarbas Karman* (Doctoral dissertation, brasil).
- [27] gng.apb (n.d.). Disponível: <http://gngapb.com/pt/projectos/146/quarteirao-hospital-sao-joao> [data de consulta: 10/04/2023].
- [28] Bitannica (2023). Disponível: <https://www.britannica.com/science/hospital/Extended-health-care> [data de consulta: 10/04/2023].
- [29] Tlapa, D., Zepeda-Lugo, C. A., Tortorella, G. L., Baez-Lopez, Y. A., Limon-Romero, J., Alvarado-Iniesta, A., Rodriguez-Borbon, M. I. (2020) Effects of lean healthcare on patient flow: a systematic review. *Value in Health*, 23(2), 260-273.
- [30] Santos, T., Moreira, A., Suzart, N., Pinto, I. (2020). Gestão hospitalar no Sistema Único de Saúde: problemáticas de estudos em política, planejamento e gestão em saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, 25, 3597-3609.
- [31] Álvarez, Y., Franssen, J., Álvarez, G., Pagnozzi, J., González-Pinto, I., Las-Heras, F. (2018) RFID technology for management and tracking: E-health applications. *Sensors*, 18(8), 2663.
- [32] React Native (n.d.) Disponível: <https://reactnative.dev/> [data de consulta: 16/02/2023].
- [33] AWS (n.d.). Disponível: <https://aws.amazon.com/pt/serverless/> [27/02/2023].
- [34] AWS (n.d.). Disponível: <https://aws.amazon.com/pt/lambda/?c=ser&sec=srv> [27/02/2023].
- [35] AWS (n.d.). Disponível: <https://aws.amazon.com/pt/s3/?c=ser&sec=srv> [27/02/2023].
- [36] AWS (n.d.). Disponível: <https://aws.amazon.com/pt/api-gateway/?c=ser&sec=srv> [27/02/2023].
- [37] Lucidchart (n.d.). Disponível: <https://www.lucidchart.com/pages/pt/o-que-e-diagrama-de-sequencia-uml> [data de consulta: 28/04/2023].
- [38] Lucidchart (n.d.). Disponível: <https://www.lucidchart.com/pages/er-diagrams> [data de consulta: 28/04/2023].
- [39] Lucidchart (n.d.). Disponível: <https://www.lucidchart.com/blog/pt/como-fazer-diagramas-de-arquitetura-de-sistema> [data de consulta: 28/04/2023].

