

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

**Localização e Orientação “Indoor” com recurso à
Tecnologia RFID**

Jorge Peixoto Barbosa Neiva

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Automação

Orientador: Prof. Nuno Teixeira de Almeida

Julho 2012

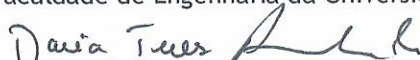
A Dissertação intitulada

“Localização e Orientação “Indoor” com Recurso à Tecnologia RFID”

foi aprovada em provas realizadas em 7/17/2012

o júri

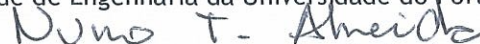
Presidente Professora Doutora Maria Teresa Magalhães da Silva Pinto de Andrade
Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor José Manuel Tavares Vieira Cabral
Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica Industrial da Universidade do
Minho



Professor Doutor José Nuno Teixeira de Almeida
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



Autor - Jorge Peixoto Barbosa Neiva

Resumo

A deficiência visual afeta atualmente cerca de 285 milhões de pessoas em todo o mundo. Só em Portugal, existem cerca de 130 a 140 mil cegos, sendo que apenas 10 mil estão reabilitados, ou seja, reaprenderam a ler e escrever em braille. No entanto, o desenvolvimento de tecnologias para ajudar pessoas com alguma deficiência ou incapacidade motora ou sensorial parece estar um pouco estagnado.

Esta dissertação descreve a conceção e avaliação de um possível sistema de localização e orientação “*indoor*”, recorrendo à tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID). Este sistema terá, inicialmente, como principal objetivo auxiliar as pessoas com maiores dificuldades de orientação (em especial, os cidadãos invisuais ou amblíopes) em locais, tais como, aeroportos, centros comerciais, hospitais, campus universitários, etc. No entanto, áreas como o turismo (e.g., visitas a museus) e a robótica móvel também poderão beneficiar deste sistema.

A conceção deste sistema terá como base a existência de um terminal/dispositivo móvel, com uma aplicação capaz de analisar os dados recebidos por RFID. Através dessa análise, será possível informar o utilizador (em formato áudio e/ou visual) da sua posição e direção de movimento a seguir. Além disso, parte-se também do pressuposto que o terminal/dispositivo móvel comunique com o leitor RFID e com o auricular, caso haja.

O trabalho aqui apresentado versa sobre uma abordagem aos sistemas de identificação por radiofrequência diferente das habituais. O sistema concebido é composto por um leitor (apenas), colocado no calçado, e várias etiquetas inteligentes passivas, estrategicamente colocadas no chão. Cada *tag* possui, entre outras informações, a sua posição absoluta. À medida que o utilizador se desloca, carregando consigo o sistema de localização, a informação das *tags* vai sendo lida, sendo dadas indicações de direção ao utilizador. Esta abordagem possui bastantes vantagens em relação às demais, as quais serão expostas ao longo do trabalho. Serão também apresentadas e estudadas várias estratégias de disposição e densidade de etiquetas.

Foram desenvolvidos dois mecanismos de correção de direção do utilizador: um mecanismo de correção simples e um mecanismo de correção com previsão de erro de trajetória. Em ambos os casos, a correção de trajetória é feita apenas com base na informação conhecida pelo sistema simulado (e não pelo simulador), ou seja, com base na sequência de *tags* lida.

Para demonstrar o funcionamento do sistema foi desenvolvido um programa de simulação, utilizando a ferramenta de programação MATLAB. Este permite simular o movimento de um

utilizador em vários cenários e realizar avaliações de desempenho ao sistema. Os cenários foram definidos pela conjugação de vários parâmetros, tais como, ângulo de entrada, erro de direção do movimento do utilizador, percurso, entre outros, de forma a estudar um conjunto diversificado de situações.

Assim, o simulador desenvolvido permite fazer comparações entre o movimento realizado por um utilizador invisual utilizando o sistema para se guiar e uma pessoa com capacidade visual, para o mesmo percurso definido. Desta forma, é possível estudar a eficiência espacial e temporal dos cenários simulados, validando a viabilidade do sistema.

Abstract

Nowadays, visual impairment currently affects about 285 million people worldwide. Only in Portugal, there are about 130 to 140 thousand blind people, but only 10 000 are rehabilitated, having relearned to read and write in braille. However, the development of technologies to help people with a disability or sensory or motor impairment seems to be a bit stagnant.

This dissertation describes the conception and evaluation of a possible indoor location and orientation system, using the radio frequency identification technology (RFID). This system will have, initially, the main objective of helping people who have guidance difficulty (in particular, people who are blind or partially sighted) in places, such as, airports, shopping centers, hospitals, university campuses, etc.. However, areas such as tourism (eg, visits to museums) and mobile robotics may also benefit from this system.

The conception of this system will be based on the existence of a mobile device / terminal, with an application capable of to analyze the data received by RFID. Through this analysis, it will be possible to inform the user (in audio and / or visual format) of its position and direction of movement that he/she should follow. In addition, it's assumed that the mobile device / terminal communicates with the RFID reader and with the headset.

The work presented here is about a different approach to radio frequency identification systems from the conventional ones. The designed system utilizes just one reader, placed in the shoes, and multiple passive tags, strategically placed on the floor. Each tag has, among other information, their absolute position. As the user moves, carrying the system, the information in tags will be read, and indications of the direction will be given to the user. This approach has many advantages over the others, which will be exhibited throughout the work. Will also be presented and studied various strategies of arrangement and density of tags.

It was developed two mechanisms to correct the direction of the user: a simple correction mechanism and a mechanism based on trajectory forecast. In both cases, the trajectory correction is made based only on known information by the simulated system (and not by the simulator), i.e., based on the sequence of tags read.

To demonstrate the execution of the system, it was developed a simulation program using the programming tool MATLAB. This allows to simulate the movement of a user in multiple scenarios and to do assessments of system performance. The scenarios were defined

by the combination of several parameters, such as, angle of entry, error in the user's direction of motion, among others, in order to study a diverse set of situations.

Thus, the developed simulator allows to compare the movement performed by a blind user using the guidance system and a person capable of to see de path, to the same route. So, it is possible to study the spatial and temporal efficiency of the simulated scenarios, validating the feasibility of the system.

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação não seria possível sem o contributo, direto ou indireto de algumas pessoas que, por isso, merecem uma palavra de gratidão e apreço.

Assim, começo por agradecer ao Professor Nuno Teixeira de Almeida por todo o apoio, dedicação e disponibilidade. Representando o papel de orientador, foi o principal parceiro deste trabalho, cuja motivação foi fundamental para o seu desenvolvimento.

A toda a minha família, que me apoiou durante todos estes anos de estudo e me proporcionou as melhores condições de trabalho.

À minha namorada, Rita, por toda a paciência, apoio e dedicação demonstrado em todos os momentos.

Aos meus amigos, que ocasionaram momentos de relaxamento e convívio.

A todos, um muito obrigado!

Jorge Peixoto Barbosa Neiva

“The reward for work well done is the opportunity to do more.”

Salk, Dr. Jonas

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xvii
Abreviaturas e Variáveis.....	xix
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Motivação	1
1.2 - Objetivos e enquadramento do trabalho	2
1.3 - Organização da dissertação	2
Capítulo 2	3
Estado da arte	3
2.1 - Identificação por radiofrequência	3
2.2 - RFID versus outras tecnologias	4
2.3 - Aplicações	6
2.4 - Transferência de informação por <i>Near Field</i> e <i>Far Field</i> em sistemas passivos	6
2.5 - Características de funcionamento dos leitores RFID	8
2.6 - Classificação das <i>tags</i>	9
2.7 - Características de funcionamento das <i>tags</i> RFID.....	10
2.8 - Sistemas de localização e orientação de pessoas com deficiência visual.....	11
2.9 - Ambientes de simulação para sistemas de localização e orientação indoor	14
2.9.1 - Redpin	14
2.9.2 - Rifidi	15
2.9.3 - CISC RFID Application and System Design	16
2.9.4 - Arena	16
2.9.5 - Cascadia.....	17
2.9.6 - MATLAB.....	17

Capítulo 3	19
Caraterização do sistema de localização e orientação usando tecnologia RFID.....	19
3.1 - Caracterização do problema a tratar	19
3.2 - Especificação global do sistema a desenvolver	20
3.2.1 - Leitor.....	20
3.2.2 - <i>Tags</i>	21
3.2.3 - Pressupostos do sistema	21
3.3 - Requisitos e funcionalidades do sistema	23
3.4 - Princípios básicos de funcionamento.....	23
3.5 - Definição de estratégias para disposição das <i>tags</i>	24
3.5.1 - Mapa de densidade mínima: fileiras simples nos pontos intermédios	25
3.5.2 - Mapa de densidade baixa: fileiras simples transversais	26
3.5.3 - Mapa de densidade média: fileiras simples transversais e longitudinais	26
3.5.4 - Mapa de densidade alta: fileiras duplas nos pontos intermédios	27
3.5.5 - Mapa de densidade máxima: fileiras duplas transversais e longitudinais	28
3.6 - Critérios de avaliação de desempenho	28
 Capítulo 4	 31
Desenvolvimento da simulação em MATLAB	31
4.1 - Ambiente de simulação MATLAB	31
4.2 - Simulação do percurso ideal.....	35
4.3 - Simulação do movimento do utilizador	35
4.3.1 - Erro de direção	38
4.3.2 - Velocidades de movimento / Área de deteção de <i>tags</i>	38
4.3.3 - Entrada e saída do cenário	41
4.3.4 - Restrição de movimento dentro do cenário	42
4.4 - Função de correção da trajetória.....	43
4.5 - Função de correção extra por previsão de erro de trajetória	45
4.6 - Importação de cenários de simulação e escalonamento.....	46
4.7 - Cálculo da distância percorrida	48
 Capítulo 5	 49
Resultados e análise das simulações	49
5.1 - Considerações iniciais.....	49
5.2 - Parâmetros de simulação.....	50
5.3 - Definição de cenários	52
5.4 - Resultados	53
 Capítulo 6	 71
Conclusões e futuros desenvolvimentos	71
6.1 - Conclusões	71
6.2 - Resultados	72
6.3 - Futuros desenvolvimentos.....	74
6.3.1 - Simulação do funcionamento do sistema	74
6.3.2 - Avaliação de desempenho do sistema	75
6.3.3 - Desenvolvimento/integração de <i>hardware</i>	76
 Referências	 77

Lista de figuras

Figura 2.1 - Leitor e <i>tag</i> de RFID	3
Figura 2.2 - Constituição de uma <i>tag</i>	4
Figura 2.3 - RFID: catalogação, validação de andante e identificação animal, respetivamente	6
Figura 2.4 - Transferência de energia e informação por <i>near field</i> e por <i>far field</i> , respetivamente [6]	7
Figura 2.5 - Exemplo de leitores RFID	8
Figura 2.6 - <i>Tag</i> injetável com encapsulamento especial	11
Figura 2.7 - Cana, cão-guia e relevos	13
Figura 2.8 - iCane	13
Figura 2.9 - Smart-Robot	13
Figura 2.10 - GPS.....	13
Figura 2.11 - Sistema com <i>tags</i> colocadas no corpo e leitores colocados no edifício	13
Figura 2.12 - Redpin num Nokia N95	14
Figura 2.13 - Programa Prototyper do simulador Rifidi	15
Figura 2.14 - RFID CISC: análise do sinal de radiofrequência	16
Figura 2.15 - Exemplo da GUI de uma simulação em MATLAB	17
Figura 3.1 - Conceito geral do sistema.....	20
Figura 3.2 - Dois exemplos de pontos intermédios de um edifício: primeira alternativa com pontos (vermelhos) e segunda alternativa com triângulos (azuis)	22
Figura 3.3 - Mapa de densidade mínima de <i>tags</i> (cerca de 230 <i>tags</i>)	25
Figura 3.4 - Mapa de densidade baixa de <i>tags</i> (cerca de 540 <i>tags</i>)	26
Figura 3.5 - Mapa de densidade média de <i>tags</i> (cerca de 935 <i>tags</i>)	27

Figura 3.6 - Mapa de densidade alta de tags (cerca de 1090 tags)	27
Figura 3.7 - Mapa de densidade máxima de tags (cerca de 1680 tags)	28
Figura 4.1 - Definição de valores dos parâmetros de entrada	32
Figura 4.2 - Exemplo de teste à robustez do sistema	33
Figura 4.3 - Interface gráfica da simulação	34
Figura 4.4 - Funções de representação da posição atual e do vetor de movimento, respetivamente, instruções 1 e 2	37
Figura 4.5 - Interface para introdução do valor do parâmetro velocidade de movimento	39
Figura 4.6 - Exemplificação da área de deteção para um passo do utilizador	39
Figura 4.7 - Mecanismo utilizado para percorrer a matriz da zona de deteção para um movimento com velocidade 5 km/h	40
Figura 4.8 - Simulação de cenário sem tags para analisar situação de embate contra limite do edifício	42
Figura 4.9 - Exemplo de indicações dadas ao utilizador durante um determinado percurso ..	43
Figura 4.10 - Cálculo do ângulo de correção	44
Figura 4.11 - Exemplo do funcionamento da correção por previsão. A seta a preto (cheio) indica o movimento do utilizador; a seta horizontal a tracejado indica o movimento que o utilizador deveria ter seguido (movimento indicado pelo sistema)	45
Figura 4.12 - Exemplo de um ficheiro com mapa de um edifício	47
Figura 4.13 - Exemplo de um ficheiro com mapa de edifício e disposição de tags	47
Figura 5.1 - Representação do percurso A	51
Figura 5.2 - Representação do percurso B	51
Figura 5.3 - Representação do percurso C	51
Figura 5.4 - Exemplo de uma simulação do percurso A com o mapa de densidade mínima	53
Figura 5.5 - Exemplo de uma simulação do percurso A com o mapa de densidade média	53
Figura 5.6 - Exemplo de uma simulação do percurso A com o mapa de densidade máxima ...	54
Figura 5.7 - Caso de uso do Cenário A3 (nota 1), em que o utilizador é direcionado para o destino errado	58
Figura 5.8- Parte do trajeto de uma simulação do cenário A3, para o mapa de densidade máxima de tags e com o mecanismo de previsão ativo	59
Figura 5.9 - Exemplo de uma simulação do percurso C com o mapa de densidade mínima	61
Figura 5.10 - Exemplo de uma simulação do percurso C com o mapa de densidade média	61
Figura 5.11 - Exemplo de uma simulação do percurso C com o mapa de densidade máxima ..	61

Figura 5.12 - Exemplo de simulação cujo a eficiência espacial foi superior a 100%	65
Figura 5.13 - Simulação de cenário com mecanismo de correção simples	67
Figura 5.14 - Simulação de cenário com mecanismo de correção extra (por previsão)	67

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Comparação de características entre código de barras e RFID [4]	5
Tabela 2.2 - Comparação de várias características das <i>tags</i> para várias frequências [6].....	10
Tabela 2.3- Tecnologia de localização e orientação para pessoas com deficiência visuais	13
Tabela 4.1- Descrição dos parâmetros de entrada e gama de valores aceites	33
Tabela 4.2 - Tabela de atualização do vetor de movimento (vector)	36
Tabela 4.3 - Conjunto de variáveis associadas à velocidade do movimento do utilizador e respetiva descrição	41
Tabela 4.4 - Fatores de alargamento F_{Ax} e F_{Ay} para diferentes valores de velocidade	41
Tabela 5.1 - Definição de valores para os parâmetros de entrada.....	50
Tabela 5.2 - Nomenclatura dos cenários simulados	52
Tabela 5.3 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário A.3 (percurso A, velocidade 3 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de <i>tags</i>	55
Tabela 5.4 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário A.5 (percurso A, velocidade 5 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de <i>tags</i>	56
Tabela 5.5 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário A.7 (percurso A, velocidade 7 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de <i>tags</i>	57
Tabela 5.6 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário C.3 (percurso C, velocidade 3 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de <i>tags</i>	62
Tabela 5.7 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário C.5 (percurso C, velocidade 5 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de	

direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de <i>tags</i>	63
Tabela 5.8 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário C.7 (percurso C, velocidade 7 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de <i>tags</i>	64
Tabela 5.9 - Comparação entre a eficiência espacial média obtida com e sem o mecanismo de previsão, para todos os cenários simulados	66
Tabela 5.10 - Resultados de Eficiência Temporal para o percurso A. Comparação entre valores obtidos para vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão e para vários mapas de densidade de <i>tags</i> e para velocidades de movimento 5 km/h e 7 km/h	68
Tabela 5.11 - Resultados de Eficiência Temporal para o percurso C. Comparação entre valores obtidos para vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão e para vários mapas de densidade de <i>tags</i> e para velocidades de movimento 5 km/h e 7 km/h	69
Tabela 5.12 - Comparação entre a eficiência temporal média obtida com e sem o mecanismo de previsão, para todos os cenários simulados	70

Abreviaturas e Variáveis

EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
GSM	Global System for Mobile Communications
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
GUID	Global Unique IDentification
HF	High Frequency
LF	Low Frequency
PDA	Personal Digital Assistant
PET	Politereftalato de Etileno
PVC	Policloreto de Vinilo
RFID	Radio Frequency Identification System
UHF	Ultra-High Frequency

Lista de variáveis

FA_x	Fator de alargamento horizontal da área de deteção
FA_{xy}	Fator geral de alargamento da área de deteção
FA_y	Fator de alargamento vertical da área de deteção
K_{fa}	Constante de afinação do fator de alargamento
$K_{\theta_c.extra}$	Fator de intensidade do mecanismo de correção extra
V_{max}	Velocidade máxima admitida para o movimento (km/h)
V_{mov}	Velocidade do movimento do utilizador (km/h)
α	Ângulo de entrada na posição inicial
Δx	Componente horizontal do deslocamento
Δy	Componente vertical do deslocamento
θ_{mov}	Ângulo do movimento do utilizador
$\theta_c.extra$	Ângulo de correção do movimento utilizando o mecanismo de previsão de trajetória
$\theta_correção$	Ângulo de correção do movimento
θ_erro	Erro de direção do movimento do utilizador (graus)
$\theta_estimado$	Ângulo de movimento estimado pelo sistema

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo são apresentadas as principais razões que tornam este trabalho importante e que motivaram a sua realização. Em primeiro, é exposta a importância dos sistemas de localização e orientação para pessoas com deficiências visuais. São também apresentados os principais objetivos deste trabalho, terminando o capítulo com a descrição da organização da dissertação.

1.1 - Motivação

“A Deficiência Visual é um dano do Sistema Visual na sua globalidade ou parcialmente, podendo variar quanto às suas causas (traumatismo, doença, malformação, deficiente nutrição) e/ou natureza (congénita, adquirida, hereditária) e traduz-se numa redução ou numa perda de capacidade para realizar tarefas visuais (ler, reconhecer rostos)” [1].

Existem cerca de 285 milhões de pessoas com deficiência visual em todo o mundo, das quais, 246 milhões têm baixa visão e 39 milhões são cegas, segundo o *World Health Organization* (2011) [2]. Só em Portugal, existem cerca de 130 a 140 mil cegos, sendo que apenas 10 mil estão reabilitados, ou seja, reaprenderam a ler e escrever em *braille*.

Globalmente, as principais causas das deficiências visuais são erros de refração não corrigidos, tais como, miopia, hiperopia ou astigmatismo (43%), cataratas (33%) e glaucoma (2%). Quanto à sua incidência, curiosamente, cerca de 90% das pessoas afetadas com estas patologias vivem em países desenvolvidos.

Apesar da evolução tecnológica global, verificada nas modernas sociedades, o desenvolvimento de tecnologias para ajudar as pessoas que possuem alguma incapacidade motora ou sensorial e, assim, auxiliá-las na realização das atividades mais básicas do quotidiano, parece estar um pouco estagnada.

Por outro lado, o desenvolvimento de tecnologias com vista às atividades de entretenimento, passatempos e outras atividades lúdicas, é bastante usual e parece tomar, por vezes, demasiada importância e captar o investimento de muitas entidades.

Muitas vezes investem-se grandes capitais de forma um pouco irracional, por exemplo, para aumentar o desempenho de um motor em uma centésima percentual quando ainda existe pouco investimento no desenvolvimento de tecnologias que permitam melhorar a

qualidade de vida das pessoas com deficiência. Este investimento, ao intensificar-se, iria diminuir, mais rapidamente, as limitações destas pessoas e aumentaria a sua autonomia e capacidade de realização de tarefas.

A consciência destes factos foi um dos principais motivos que, relativamente à minha dissertação, me levou a interessar por este assunto, ao que se juntou o gosto e a admiração pela tecnologia RFID, o seu modo de funcionamento e a enorme quantidade de aplicações que permite.

1.2 - Objetivos e enquadramento do trabalho

O principal objetivo desta dissertação é a conceção de um sistema de auxílio à localização e orientação de pessoas invisuais ou com défice de orientação, recorrendo à tecnologia RFID. Trata-se de um conceito e uma abordagem inovadores para este tipo de sistemas, os quais serão descritos mais à frente, juntamente com as vantagens desta tecnologia face a outras similares que justificaram a sua escolha.

Será feita a conceção genérica do sistema, a exposição da arquitetura funcional e a exemplificação do seu funcionamento. No entanto, dada a disponibilidade/restrrição temporal do projeto, foi dada prioridade ao desenvolvimento de um programa de simulação e análise de desempenho do sistema concebido, em detrimento da realização de tarefas relacionadas com o desenvolvimento/integração de *hardware*.

Portanto, o programa desenvolvido abrange duas vertentes: a vertente de simulação do funcionamento do sistema e a vertente de avaliação de desempenho do mesmo, em função de diversos parâmetros/configurações, considerados mais apropriados para a inferência de conclusões.

1.3 - Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em 6 capítulos, sendo o primeiro (presente capítulo) a introdução.

No segundo capítulo, é feito o levantamento do estado da arte dos sistemas de localização por radiofrequência e sobre os sistemas de localização e orientação com recurso aos primeiros.

O terceiro capítulo faz a caracterização do problema, bem como a especificação global do sistema, em especial, os requisitos e mecanismos básicos de funcionamento. São também apresentados os parâmetros de análise de desempenho do sistema.

O quarto capítulo expõe o desenvolvimento do ambiente de simulação, descrevendo as funcionalidades das funções implementadas.

No quinto capítulo são apresentados os cenários simulados, os resultados dessas simulações, bem como as respetivas avaliações e comparações de desempenho.

Por fim, o sexto capítulo expõe as conclusões de todo o trabalho, assim como as sugestões de melhorias futuras do trabalho desenvolvido.

Capítulo 2

Estado da arte

Neste capítulo é feito o levantamento do estado da arte dos sistemas de localização e orientação para pessoas com deficiências visuais, entre os quais, aqueles que utilizam tecnologia RFID. É ainda realizada a caracterização detalhada dos vários tipos de sistemas RFID existentes, nomeadamente, através da comparação entre vários parâmetros. Destes últimos constam, por exemplo, as distâncias de leitura e frequências de funcionamento, custos associados, possíveis aplicações, entre outros. Por fim, são apresentados os principais ambientes de simulação de sistemas de localização por RFID.

2.1 - Identificação por radiofrequência

Identificação por radiofrequência ou RFID (do inglês *Radio Frequency IDentification*) é um sistema de identificação que permite a leitura e escrita de dados através de sinais de rádio. Este sistema é composto por leitores e etiquetas RFID (Figura 2.1) - ou *tags* como são mais vulgarmente conhecidas -, as quais estão normalmente ligadas fisicamente a um objeto, de forma a permitir a sua identificação e rastreamento. Os leitores transmitem sinais de rádio codificados de modo a interrogá-las, aos quais estas respondem com informação sobre a sua identificação, bem como outras informações que possam conter.



Figura 2.1 - Leitor e tag de RFID

Portanto, uma *tag* é um *transponder* (abreviatura de *transmitter-responder*) que, segundo a definição, é um “dispositivo de comunicação eletrónico complementar de automação e cujo objetivo é receber, amplificar e retransmitir um sinal em uma frequência diferente ou transmitir de uma fonte uma mensagem pré-determinada em resposta à outra pré-definida de outra fonte” [3]. Estas fazem o armazenamento da informação de forma remota para, posteriormente poder ser lida pelos leitores eletrónicos. Podem ser colocados em pessoas, equipamentos, embalagens ou até mesmo em animais pois, apesar de poderem assumir várias formas, geralmente são de tamanho reduzido. As etiquetas são compostas por três componentes: um circuito, uma antena e um encapsulamento (Figura 2.2).

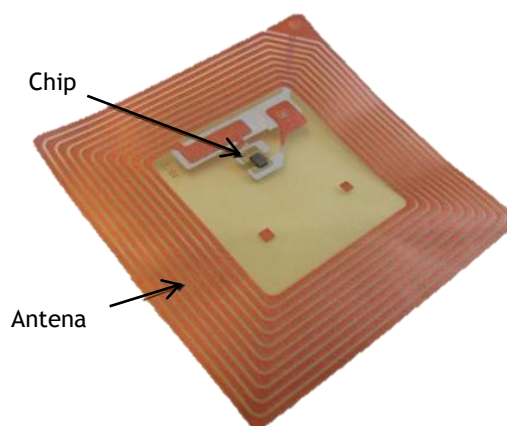


Figura 2.2 - Constituição de uma *tag*

O circuito é um chip de silício, ou seja, um circuito eletrónico integrado, que faz o armazenamento e processamento (em certos casos) da informação. Por sua vez, este encontra-se ligado a uma antena que, por vezes, pode ser composta por eléctrodos de tinta de carbono que são impressos na parte de trás da etiqueta de papel. O seu revestimento é feito por encapsulamento, normalmente constituído por materiais como o Policloreto de Vinilo (PVC), Epóxi, Politereftalato de Etileno (PET), entre outros, devido às suas propriedades, as quais permitem manter a integridade do dispositivo.

2.2 - RFID versus outras tecnologias

A RFID apresenta várias vantagens relativamente a outros tipos de sistemas similares. Utiliza comunicação sem fios, não necessitando assim de contacto físico nem de campo visual direto. Além disso, permite a leitura e escrita de dados a grandes velocidades e um grande armazenamento de informação, sendo superior a tecnologias similares nestes pontos. Outro ponto positivo é o facto de as *tags*, além de serem baratas (ficando ainda mais quando compradas em grandes quantidades), poderem ser reutilizadas e exigirem uma manutenção mínima. Além disso, o sistema pode ser utilizado em ambientes severos, com condições adversas, tais como, locais húmidos, molhados, sujos, poeirentos, corrosivos, sujeitos a altas ou baixas temperaturas, sujeitos a vibrações ou choques, entre outros.

Para além disso, esta tecnologia pode ser utilizada para diminuir as consequências decorrentes de situações de emergência, permitindo uma evacuação de edifícios mais rápida

e eficaz. Tal é possível pois estes sistemas não dependem de qualquer fonte de alimentação (*tags* passivas). Assim, numa situação de emergência, nomeadamente, a ocorrência de um incêndio, em que a energia elétrica seja cortada, todas as redes de comunicações e luzes principais deixarão de funcionar. No entanto, um sistema de localização baseado em *tags* RFID passivas mantém-se em funcionamento permitindo indicar o caminho mais rápido para as saídas de emergência, a localização de mangueiras de incêndio, entre outros.

Um dos sistemas cujas possíveis aplicações são bastante semelhantes às da RFID é o código de barras. De facto, ambos possibilitam o armazenamento de informações sobre produtos ao mesmo tempo que permitem manter um registo da localização destes e de vários recursos. Isto faz com que sejam de grande utilização em várias indústrias, permitindo uma melhor gestão de armazém e recurso, poupando tempo e dinheiro. No entanto, o sistema RFID evidencia uma grande superioridade tecnológica em relação ao código de barras, motivo que justifica a sua expansão e aumento de preferência face a este último.

A tabela seguinte (Tabela 2.1) mostra uma comparação das principais características destes dois sistemas.

Tabela 2.1 - Comparação de características entre código de barras e RFID [4]

Caraterísticas	Código de barras	RFID
Tecnologia	Ótica (laser)	Radiofrequência
Capacidade de leitura e escrita	Apenas de leitura	Leitura e escrita
Taxa de leitura	Baixa (1 leitura de cada vez)	Elevada (múltiplas leituras de uma só vez)
Leituras simultâneas	Não	Sim
Distância de leitura	Alguns centímetros a alguns metros	Até mais de uma centena de metros
Capacidade de memória	Baixa (dezenas de caracteres)	Elevada (até milhares de caracteres)
Linha de vista	Necessária	Não necessária
Resistência mecânica	Baixa	Alta
Formatos	Etiquetas	Variados
Segurança	Não	Sim
Custo das etiquetas (rótulo/ <i>tag</i>)	Muito baixo	Aproximadamente 10 vezes mais caro que o código de barras
Custo de manutenção	Alto	Baixo
Vida Útil	Baixa	Alta
Reutilização	Não reutilizável	Reutilizável

2.3 - Aplicações

O sistema de RFID é largamente utilizado nos dias de hoje, nas mais variadas indústrias e setores [3][5]. De seguida, apresentam-se alguns exemplos:

- Hospitais: identificação de pessoas, remédios e equipamentos;
- Veículos: pagamento de portagens, identificação de veículos, estacionamento;
- Implantes humanos: identificação de clientes VIPs em certos bares e discotecas, funcionários de empresas;
- Indústria em geral: identificação de carros de aluguer, bagagens nos aeroportos, ferramentas e recipientes em ambientes industriais;
- Comércio: pagamentos, efetuar *check-in* e abrir portas em hotéis, validação de andante (Figura 2.3);
- Bibliotecas: identificação de livros (Figura 2.3), auto atendimento, controle de acesso de funcionários e usuários, devoluções, empréstimos, estatísticas de consulta local, leitura de estantes para inventário do acervo, localização de exemplares indevidamente ordenados no acervo, localização de exemplares em outras bibliotecas da rede, recatologação;
- Segurança: controlo de acessos, chaves do carro;
- Identificação animal (Figura 2.3): colares, brincos, colocação debaixo da pele;
- Manutenção: identificação de extintores, objetos nas instalações aeroportuárias.



Figura 2.3 - RFID: catalogação, validação de andante e identificação animal, respetivamente

2.4 - Transferência de informação por *Near Field* e *Far Field* em sistemas passivos

Num sistema RFID, para que haja comunicação entre um leitor e uma etiqueta existem dois métodos de transferência de energia e informação. O primeiro é o *near field* que implica um acoplamento indutivo da etiqueta a um campo magnético aproximadamente circular, em

redor da antena do leitor. O outro é o *far field* e utiliza uma técnica de reflexão denominada *backscatter*, tal como mostra a Figura 2.4.

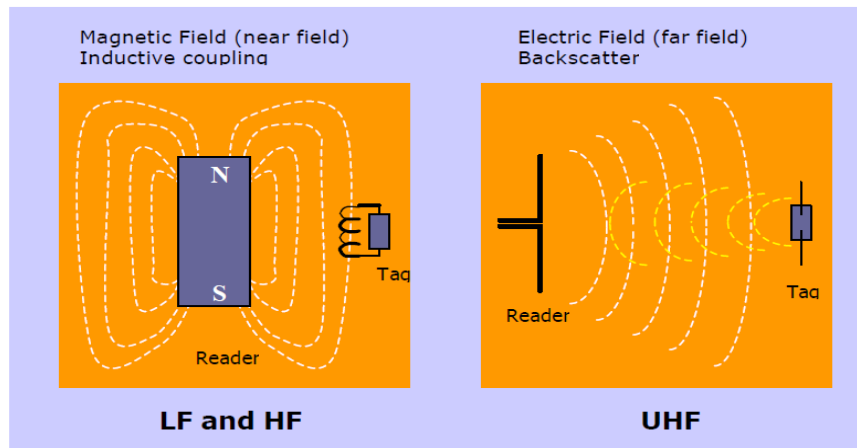


Figura 2.4 - Transferência de energia e informação por *near field* e por *far field*, respetivamente [6]

O conceito de *near field* baseia-se no princípio de indução eletromagnética de Faraday, segundo o qual, a circulação de corrente elétrica num fio condutor cria um campo magnético capaz de produzir (por indução) corrente elétrica noutra circuito colocado sob o efeito do campo magnético criado. Transpondo este conceito para o sistema RFID, temos um leitor que possui uma bobina na qual circula uma corrente alternada, criando um campo magnético (aproximadamente circular) em seu redor. Como as *tags* também possuem uma pequena bobina (a antena), quando são colocadas suficientemente próximas do campo magnético criado pelo leitor, é induzida uma corrente nestas. Como tal, este apenas funciona para pequenas distâncias. A tensão alternada aí criada pode então ser retificada e usada para carregar um condensador presente na *tag* de forma a poder ser, posteriormente, utilizada para alimentar o circuito interno da mesma. Além disso, esta nova corrente que circula na bobina da *tag* também produz o seu próprio campo magnético (apesar de pequeno), o qual se opõe ao do leitor. Assim, o leitor consegue detetá-lo através do pequeno aumento de corrente produzida no seu circuito, que é proporcional à “carga” aplicada à bobina da *tag*. Como, neste caso, a variação da resistência desta carga é controlada pela transmissão de dados, estes podem ser transmitidos da *tag* para o leitor. Este tipo de transferência de dados designa-se por *load modulation*.

Por sua vez, o funcionamento do método de *far field* é um pouco diferente. Neste caso, a *tag* recebe as ondas eletromagnéticas produzidas pelo leitor, as quais produzem uma tensão numa antena dipolo ligada à *tag*. Esta é depois retificada e armazenada num condensador para, posteriormente, alimentar o circuito interno. No entanto, neste tipo de sistemas, o leitor está fora do alcance do *near field* do leitor, pelo que as linhas do campo magnético não se fecham sobre si próprias. Assim, a energia necessária para realizar a transmissão de dados da *tag* para o leitor é proveniente deste último, sendo reutilizada através da técnica de *backscatter coupling* (também designada por *backscattering*), ou seja, através da reflexão da onda recebida. Portanto, a energia transmitida à *tag* através de ondas eletromagnéticas é utilizada para alimentar o circuito interno. Parte dessa energia é também refletida de volta para o leitor, após a introdução de certas alterações nas suas propriedades, de maneira a enviar a informação pretendida.

Para codificar a informação a transmitir, algumas *tags* alteram as suas propriedades enquanto outras utilizam uma linguagem binária. Esta última é criada ligando e desligando uma resistência de carga no circuito da sua antena de forma a modular o sinal que retorna para o leitor.

O sinal refletido é detetado pelo leitor através de recetores de rádio sensíveis, uma vez que o sinal é bastante mais atenuado do que o emitido.

Portanto, a técnica de *near field* é normalmente usada em sistemas que operam em *low frequency* (LF) e *high frequency* (HF), enquanto o *far field* é mais utilizado para operações a maiores distâncias e, portanto, em sistemas que operem em *ultra-high frequency* (UHF) e *microwave*.

2.5 - Características de funcionamento dos leitores RFID

Existem vários tipos de leitores para os sistemas de identificação por radiofrequência, sendo que a forma de os classificar é semelhante à das *tags*.

Assim, existem leitores ativos e passivos e com diferentes frequências de funcionamento. A Figura 2.5 ilustra alguns exemplos de leitores RFID que, como se pode verificar, podem ser de diversos formatos.



Figura 2.5 - Exemplo de leitores RFID

No entanto, o custo dos leitores é de uma forma geral superior ao das *tags*, variando também com as suas características. Assim, o custo médio de um leitor com uma baixa frequência de funcionamento varia entre 80€ (para um circuito embutido numa placa para ser inserido dentro de outro dispositivo) e os 600€ (para uma estação independente, totalmente funcional). Já no caso dos leitores com altas frequências de funcionamento, o seu custo pode ir desde 160€ até aos 400€.

2.6 - Classificação das tags

As tags podem ser classificadas da seguinte forma:

Quanto à energia:

- **Passivas:** não possuem alimentação interna nem transmissor incorporado. Por isso, o circuito integrado e as comunicações são feitas utilizando a energia gerada pelo sinal de radiofrequência, o qual constitui a única fonte de alimentação da tag. Por isso, possuem um alcance reduzido (de mm a poucas dezenas de cm). Para além de conterem um identificador único denominado GUID (da designação inglesa *Global Unique Identification*), podem possuir uma EEPROM para armazenar dados. Os cartões magnéticos de acesso às portas com fechadura eletrónica são um exemplo de uma tecnologia deste tipo.
São mais baratas, mecanicamente mais flexíveis, possuem um tempo de vida maior mas apenas permitem um alcance reduzido.
- **Semi-passivas:** são tags acopladas a baterias, as quais permitem alimentar o circuito integrado. No entanto, não possuem um transmissor integrado e, como tal, continuam a necessitar da energia do sinal de radiofrequência proveniente do leitor para efetuar as comunicações de volta para o leitor.
- **Ativas:** possuem alimentação própria e um transmissor integrado permitindo, por isso, maiores níveis de potência do que as passivas e semi-passivas e, conseqüentemente, um maior alcance (na ordem das dezenas de metros). Podem estar ligadas a uma infraestrutura que forneça energia ou possuir uma bateria. No caso da utilização de baterias, a vida útil destas varia conforme a quantidade de energia armazenada e o número de operações de leitura/escrita efetuados, podendo chegar aos 10 anos. É o caso dos dispositivos Via Verde.

Quanto ao modo de operação:

- **Leitura (apenas):** tags que já vêm com um identificador único (GUID) pré-gravado de fábrica na sua memória. Além disso, podem conter detalhes adicionais acerca do produto ou recurso ao qual dizem respeito que não precisam de ser lidos todas as vezes que a tag é interrogada, mas que se encontram disponíveis para quando forem precisos.
- **Leitura e escrita:** tags que permitem ler e gravar informação na sua memória com a ajuda de um leitor. A capacidade de armazenamento varia conforme o tipo de chip (circuito integrado) da tag. Esta funcionalidade é importante quando se pretende, por exemplo, manter um histórico dos locais por onde o produto já passou ou atualizar a próxima etapa do mesmo, registando as alterações na tag.

2.7 - Características de funcionamento das *tags* RFID

A tabela seguinte (Tabela 2.2) relaciona várias características das *tags* com as principais frequências de funcionamento utilizadas pelo sistema RFID. Desta forma, é possível fazer comparações entre características, tais como, capacidade de armazenamento, velocidade de transferência de dados, distância de leitura, entre outras. Para cada frequência de funcionamento, são ainda apresentados na mesma tabela vários exemplos de aplicações.

Tabela 2.2 - Comparação de várias características das *tags* para várias frequências [6]

Características	LF (< 135 KHz)	HF (13.56 MHz)	UHF (863 a 915 MHz)	Microwave (2.45 GHz)
Capacidade de dados	A partir de 64 bits para leitura até 2 kbits para leitura e escrita	Tipicamente etiquetas de leitura e escrita com 512 bits de memória (máx: 8kbits particionados)	Tipicamente etiquetas de leitura e escrita com 32 bits de memória (máx: 4 kbits particionados em 128 bits)	A partir de 128 bits até 32 kbits particionados
Transferência de dados	Baixa: menos de 1 kbits/s (~200 bits/s)	Cerca de 25 kbits/s em geral (existe em 100 kbits/s)	Cerca de 28 kbits/s	Geralmente < 100 kbits/s, mas pode ir até 1 Mbits/s
Distância de leitura	Tipicamente desde o contacto até 30 cm para etiquetas passivas (na prática, cerca de 10 cm)	Até 1,5 metros para etiquetas passivas (na prática, menos de 1 metro)	Entre 1 e 12 metros para etiquetas passivas	Algumas dezenas de centímetros para etiquetas passivas e mais de 100 metros para as ativas
Modo de leitura	Leitura única e múltiplas leituras simultâneas	Leitura única e múltiplas leituras simultâneas	Leitura única e múltiplas leituras simultâneas	Leitura única e múltiplas leituras simultâneas
Ruído	Insensíveis às perturbações eletromagnéticas industriais	Ligeiramente sensíveis às perturbações eletromagnéticas industriais	Sensíveis às perturbações eletromagnéticas. Podem ser perturbados por outros sistemas UHF próximos	Altamente sensíveis a perturbações eletromagnéticas refletidas pelo metal e absorvidas pela água
Aplicações	Processo de produção, identificação de veículos e contentores, controlo de acessos e identificação animal	Monitorização, estacionamento automóvel, bagagens, livrarias, serviços de aluguer, logística	Monitorização, estacionamento automóvel, logística	Controlo de acessos, logística militar, <i>portagens</i>

Além das características apresentadas, as *tags* podem também possuir várias formas, desde os vulgares cartões retangulares (de plástico ou papel), passando por cartões circulares, adesivos ou até mesmo com forma de injetáveis (Figura 2.6). Podem ainda possuir várias dimensões.

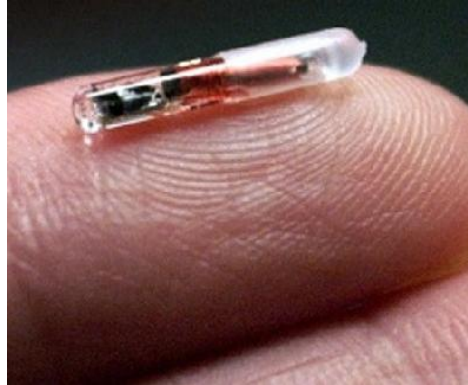


Figura 2.6 - Tag injetável com encapsulamento especial

Todos estes critérios devem ser ponderados na escolha de uma *tag*, consoante a sua finalidade. No entanto, existe ainda outro aspeto bastante importante que não pode ser descurado - o preço. Este depende de todas as características anteriormente referidas, mas também do tipo de *tag* (ativa ou passiva, apenas de leitura ou de leitura e escrita), do revestimento da mesma e principalmente da quantidade de *tags* a comprar.

Mas, de um modo geral, as *tags* ativas custam cerca de 20€ (as mais simples), podendo este valor chegar facilmente aos 80€ se estas possuírem um revestimento especial tal como o da Figura 2.6, uma bateria de longa duração ou sensores. Já o custo de uma *tag* passiva varia entre 5 e 12 cêntimos (também as mais simples).

2.8 - Sistemas de localização e orientação de pessoas com deficiência visual

Existem já várias tecnologias que permitem a orientação e localização de pessoas com deficiência visual, tanto em ambientes interiores como exteriores.

Efetivamente, até ao aparecimento dos dispositivos eletrónicos, só era possível dispor de ferramentas convencionais, desprovidas de inteligência artificial, tais como, as canas/bengalas (denominadas de “white cane”, em inglês), a utilização de cães-guia (ver Figura 2.7), a colocação de marcas com relevo no chão [7], a utilização de linguagem “braille”, entre outros. Apesar de serem de simples utilização, baixo custo e eficientes para aumentar a autonomia e mobilidade das pessoas com deficiência visual, são ainda bastante limitadas na quantidade de informação que fornecem ao utilizador.

Por isso, começaram a surgir novas tecnologias passíveis de serem usadas nesta área, tais como, a RFID, que conquistou cada vez mais espaço de mercado devido às suas características: preços bastante acessíveis (principalmente das *tags* passivas), possibilidade de reutilização,

possibilidade de armazenar informação, não necessitar de contacto físico nem estar no campo de visão, ser um sistema compacto, entre outras.




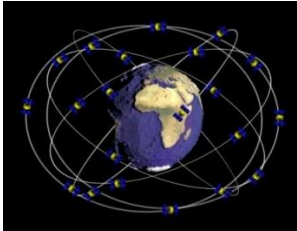
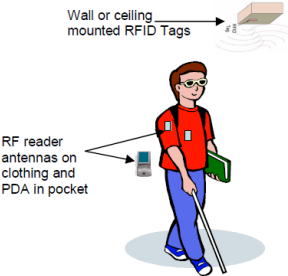
Desde cedo, este tipo de tecnologias surgiu associado aos instrumentos de auxílio já utilizados por cegos (e já mencionados), tais como, a cana/bengala (tipicamente branca) e o cão-guia. Exemplo disso é o sistema “iCane” [8] que consiste em uma cana munida de um leitor RFID, o qual comunica com um assistente pessoal através de Bluetooth (ver Figura 2.8). Por sua vez, este assistente, utiliza o mesmo tipo de comunicação para enviar informações para um auscultador. De um modo geral, os sistemas deste tipo utilizam uma cana com um leitor RFID acoplado, um dispositivo de processamento da informação, tal como um PDA ou um terminal móvel e uma interface áudio, quer por meio das colunas do dispositivo de processamento, quer pelo recurso a auscultadores [9][10]. Os comandos (ordens) para o sistema podem ser dados manualmente através de um painel com botões ou através de discurso, que será depois convertido para o formato adequado. As *tags*, normalmente passivas, são colocadas no chão e este tipo de implementação é bem visto por parte dos seus utilizadores. No entanto, possuem o inconveniente do incorreto manuseamento da cana/bengala, por exemplo, uma passagem demasiado rápida por cima das *tags*, poder causar perda de informação importante, o que pode resultar em confusão por parte do sistema ou ficar num estado do qual não consegue recuperar sem informações adicionais.

Para uma maior apuração da localização e orientação, apareceram outros sistemas que recorrem à utilização de um carrinho com encoders nas rodas [11]. Este desempenha um papel semelhante ao de um cão-guia, podendo substituir ou ser conciliado com a utilização da cana. Este carrinho robot permite obter com maior precisão a localização e orientação do utilizador pois possui sensores propriocetivos, tais como, encoders nas rodas, para determinação da sua posição relativa. Possui também sensores exterocectivos, tais como, compassos, para determinar a sua orientação, entre outros. Assim, este tipo de sistema recorre à odometria para estimar continuamente a sua posição, a qual vai sendo continuamente corrigida com o auxílio dos sensores exterocectivos (cuja informação depende do fatores externos ao robot). Portanto, estes dependem fortemente da informação do meio externo, além de necessitarem de conhecer a posição inicial do movimento para calcularem a sua posição relativa. Desta forma, têm a desvantagem do facto de uma pequena alteração no meio ambiente tal como carrinho o “conhece” poder ter resultados imprevisíveis.

Existem ainda outros sistema do género dos anteriores mas em que estes carrinhos possuem também GPS [12] sendo, por vezes, apelidados de “Smart-Robots” (como se ilustra na Figura 2.9). Estes sistemas contendo localização e orientação auxiliada por GPS (ver Figura 2.10) aumentam bastante a autonomia das pessoas com deficiências visuais estando, no entanto, limitados ao funcionamento em espaços exteriores. Apesar de permitirem uma grande liberdade de movimentações, o fraco sinal recebido no interior de edifícios (devido aos materiais usados nas suas construções) inviabiliza a sua utilização em ambientes indoor. Além disso, o atraso que o sinal de satélite por vezes apresenta torna-os pouco seguros, sendo a segurança um critério fulcral na conceção de sistemas desta índole.

O quadro seguinte (Tabela 2.3) sumariza, de um modo geral, as tecnologias apresentadas anteriormente, bem como outras que ainda serão apresentadas.

Tabela 2.3- Tecnologia de localização e orientação para pessoas com deficiência visuais

Sistema	Descrição	Ilustração
Cana/bengala, cão-guia, estrias e relevos [7]	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sistemas convencionais; ✓ Simples e eficientes; ✓ Sem inteligência artificial; ✓ Informação limitada. 	 <p>Figura 2.7 - Cana, cão-guia e relevos</p>
iCane [8]	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cana com leitor RFID; ✓ Tags passivas colocadas no chão; ✓ Unidade de processamento; ✓ Interface manual e/ou áudio; ✓ Incorreto manuseamento inviabiliza utilização do sistema. 	 <p>Figura 2.8 - iCane</p>
Smart-Robot [11]	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sensores propriocetivos (<i>encoders</i> nas rodas) para cálculo da posição relativa; ✓ Sensores exteroceivos (bússola) para cálculo da orientação; ✓ Necessidade de conhecer ambiente onde se desloca e posição inicial; ✓ Alteração do ambiente causa erros imprevisíveis. 	 <p>Figura 2.9 - Smart-Robot</p>
GPS [12]	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sistema de localização por satélite; ✓ Funcionamento apenas em ambientes exteriores; ✓ Possibilidade de atraso do sinal torna-o pouco seguro. 	 <p>Figura 2.10 - GPS</p>
Leitores e tags (apenas) [13][14]	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizador possui um leitor/<i>tags</i> e existem várias <i>tags</i>/leitores estrategicamente colocados no chão e/ou teto; ✓ Tags passivas e /ou ativas; ✓ Utilização indoor. 	 <p>Figura 2.11 - Sistema com tags colocadas no corpo e leitores colocados no edifício</p>

A par dos sistemas já apresentados, existem ainda sistemas apenas compostos por leitores RFID e *tags* (como mostra a Figura 2.11). Estes são amplamente utilizados em ambientes interiores, podendo ser utilizados de duas formas diferentes. Se uns há em que a colocação de *tags* é feita em pontos estratégicos do edifício que vão dando informação ao utilizador que transporta o leitor consigo (por exemplo, numa mochila) [13][14], outros existem em que o utilizador possui várias *tags* (por exemplo, fixadas na roupa) que vão fornecendo a sua posição à medida que este passa pelos leitores estrategicamente colocados no edifício. No primeiro caso, usam-se *tags* ativas ou passivas, conforme o alcance pretendido, ou a combinação das duas. Quando ambas são utilizadas, o mais usual é a colocação de *tags* ativas no teto do edifício e de *tags* passivas no chão [14].

2.9 - Ambientes de simulação para sistemas de localização e orientação indoor

Existem vários ambientes de simulação para sistemas de localização e orientação indoor, sendo alguns deles específicos para sistemas baseados em identificação por radiofrequência. Nesta secção são apresentados apenas aqueles que se consideraram serem mais interessantes para a realização de simulações, por permitirem a análise e comparação de vários cenários. De seguida, é feita a descrição dos seguintes ambientes de simulação: Redpin, Rifidi, CISC RFID, Arena, Cascadia e Matlab.

2.9.1 - Redpin

O Redpin (ilustrado pela Figura 2.12) é um ambiente de simulação baseado na conjugação da força de sinal Wifi, Bluetooth e GSM. Funciona numa arquitetura de cliente e servidor e foi concebido para funcionar em dispositivos android e iphone [15].

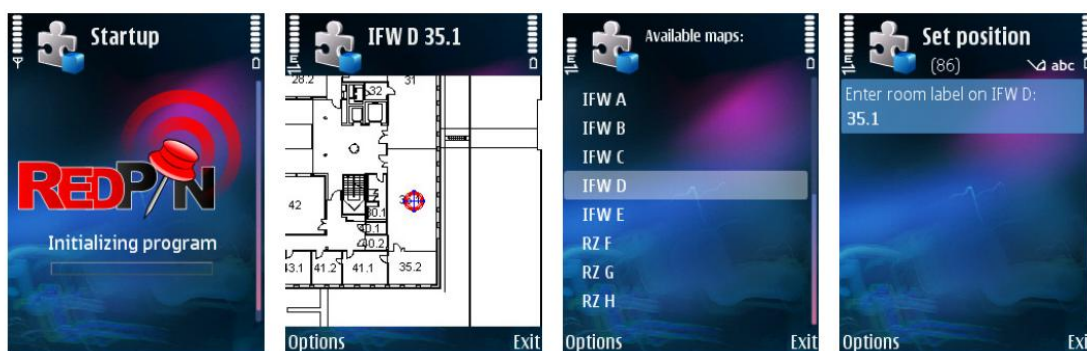


Figura 2.12 - Redpin num Nokia N95

Trata-se de um sistema de localização com uma precisão de nível das divisões do edifício, ou seja, o mais preciso que consegue ser, é dizer a divisão do edifício em que o utilizador se encontra, indicando o nome e número da mesma.

No entanto, os conteúdos disponibilizados não permitem a alteração de código, por forma a permitir adaptar a simulação às necessidades existentes.

2.9.2 - Rifidi

Trata-se de um ambiente de simulação que permite bastantes abordagens, apesar de apenas permitir uma análise de resultados superficial [16]. Divide-se em 6 programas principais:

- Emulador: Permite adicionar e remover leitores e *tags* ao sistema. Fornece informação em formato textual, não existindo qualquer GUI;
- Prototyper: é uma ferramenta demo baseada no Emulador. Possui dois cenários pré-definidos de uma fábrica e de um armazém, nos quais é possível introduzir leitores RFID em locais específicos, criando áreas de deteção do sinal das mesmas. Assim é possível arrastar diversos objetos pela planta do edifício e verificar quando estes são detetados por algum leitor (Figura 2.13);

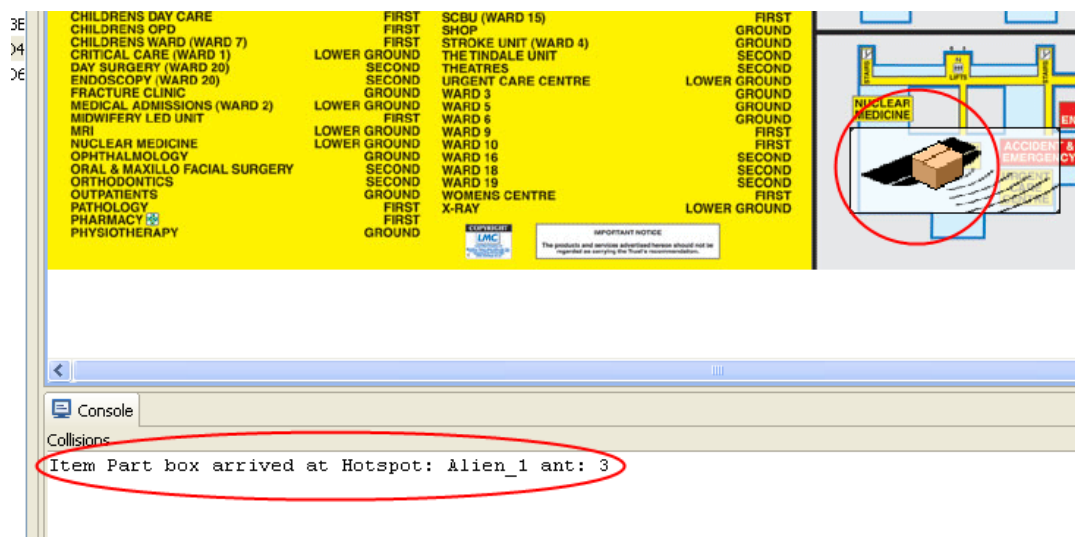


Figura 2.13 - Programa Prototyper do simulador Rifidi

- Rifidi Designer: Permite criar cenários 3D para demonstração do funcionamento dos leitores e *tags* RFID a partir das emulações anteriores;
- Tag Streamer: permite a emulação de leitores e *tags* para poderem ser usados nos restantes programas;
- Edge: servidor que é necessário iniciar antes de qualquer um dos programas anteriores;
- Workbench: Permite criar e guardar sessões de teste.

2.9.3 - CISC RFID Application and System Design

O ambiente de simulação CISC RFID é específico para RFID não sendo, no entanto, específico para sistemas de localização e orientação.

Este contempla duas versões, sendo uma delas uma versão completa sem restrição de funcionalidades, enquanto a segunda é bastante limitada. No entanto, a versão completa que permite configurar, simular e avaliar vários cenários necessita de uma licença comercial [17].

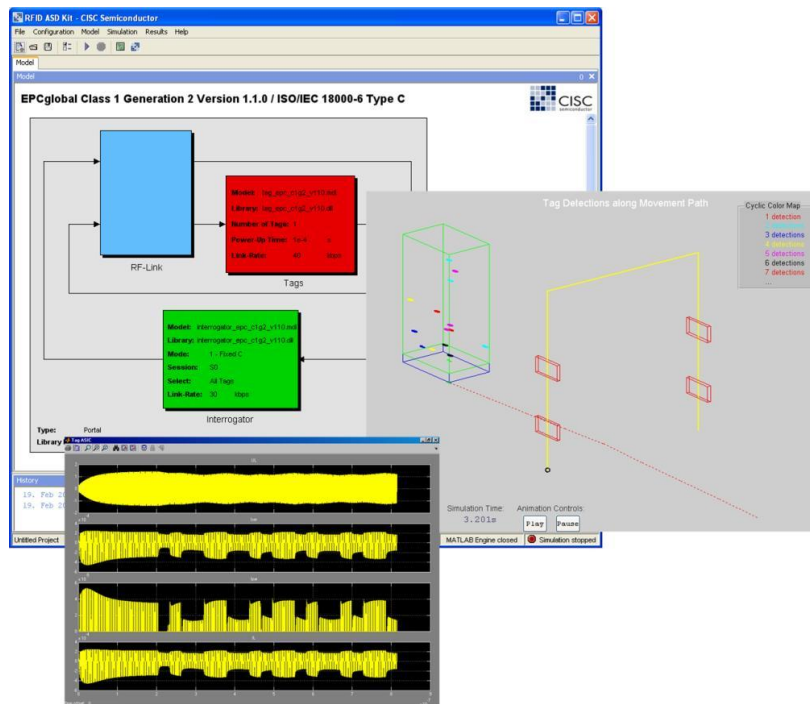


Figura 2.14 - RFID CISC: análise do sinal de radiofrequência

Além disso, é mais específico para a análise da força dos sinais de radiofrequência emitidos e estudo da melhor posição de colocação de *tags* em objetos e recursos que se queiram monitorizar (Figura 2.14).

2.9.4 - Arena

O ambiente de simulação Arena [18] baseia-se numa programação por eventos, mostrando-se pouco prático e muito superficial para a análise de resultados.

De facto, a versão para estudante apenas pode ser executável, não permitindo qualquer edição de código. Além disso, apenas permite analisar as gravações de dados resultante das simulações, sob a forma textual, as quais incluem somente o número da *tag* do equipamento ou objeto, a data da gravação e a localização do dispositivo (andar e coordenadas [X,Y]).

2.9.5 - Cascadia

O ambiente de simulação Cascadia [19] é bastante semelhante ao anterior (Arena) na medida em que também se baseia numa programação por eventos, além de também não permitir qualquer edição de código.

Além disso, é um ambiente mais específico para cenários com vários leitores e análise da força de sinais de radiofrequência emitidos.

2.9.6 - MATLAB

O MATLAB (nome derivado de *matrix laboratory*), da empresa MathWorks, é um ambiente de programação bastante dinâmico, o qual disponibiliza inúmeras funções e exemplos de códigos de simulações e algoritmos de cálculo. Além disso, permite a criação de simulações de raiz bem como a criação de GUIs para apresentação de resultados, os quais podem ser personalizados conforme se deseje pois o código permite alterações bastante dinâmicas. Além disso, disponibiliza várias toolboxes específicas para certos tipos de operações que podem ser úteis. As instruções de “Ajuda” são bastante detalhadas e úteis, contendo vários exemplos para cada caso.

Por último, possui já vários exemplos de simulações, tal como o da Figura 2.15, cujos códigos estão acessíveis e podem ser facilmente editados.

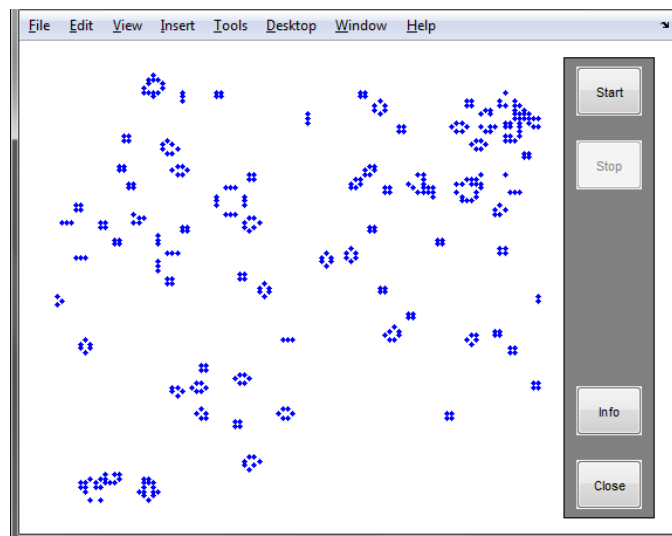


Figura 2.15 - Exemplo da GUI de uma simulação em MATLAB

Capítulo 3

Caraterização do sistema de localização e orientação usando tecnologia RFID

Este capítulo expõe, de forma detalhada, os vários constituintes do sistema de localização e orientação concebido, com recurso à tecnologia RFID, justificando a escolha de cada um. Começa por explicar a escolha de possível *hardware* e a relação entre os vários elementos da arquitetura funcional. Em seguida, apresenta a estratégia adotada para definir a disposição das *tags* a serem simuladas, terminando com a definição dos critérios de avaliação de desempenho do sistema.

3.1 - Caracterização do problema a tratar

O problema em questão consiste no desenvolvimento de um sistema que permita a localização e orientação de pessoas com dificuldades de orientação, nomeadamente, cidadãos invisuais ou amblíopes, em ambientes indoor. Este deve dotar os seus utilizadores de uma maior autonomia nas suas movimentações, permitindo-lhes saber sempre a sua localização relativa, a direção do seu movimento e a direção a seguir para chegar ao destino pretendido, principal incógnita com que estes se deparam.

A conceção deste sistema tem em vista a sua implementação em locais de interesse e grande afluência de pessoas, tais como, aeroportos, hospitais, estádios, centros comerciais, campus universitários, entre outros. No entanto, a sua aplicação poderá estender-se a outras áreas, nomeadamente, ao turismo, para visitas guiadas a monumentos, museus, entre outros locais de interesse.

Como tal, o sistema a desenvolver deve ser capaz de traçar trajetórias entre dois pontos e acompanhar o utilizador nesse percurso, alertando-o de desvios do trajeto planeado, aproximação de mudanças de direção, mudanças de direção, chegada ao destino, entre outras informações importantes. Para tal, deve possuir um registo dos locais de interesse de cada edifício e permitir interação com o utilizador para consulta, definição de percurso, entre outros.

O desenvolvimento deste sistema tem por base a existência de um terminal/dispositivo móvel que suporte uma aplicação em linguagem a definir. Esta última deverá ser capaz de

analisar os dados adquiridos pelo leitor RFID, informando depois o utilizador da sua posição e direção de movimento a seguir.

3.2 - Especificação global do sistema a desenvolver

O sistema de auxílio à localização e orientação de pessoas invisuais ou com défice de orientação a desenvolver recorre à tecnologia RFID, sendo composto por um leitor RFID, várias *tags* e um terminal/dispositivo móvel, como se ilustra na Figura 3.1. Apesar de poder ser aplicado a ambientes exteriores, o trabalho aqui desenvolvido cinge-se ao estudo da implementação do sistema num ambiente indoor - interior de um edifício. No entanto, será estudada uma forma de implementação um pouco diferente das habituais (já mencionadas no Capítulo 2 - Estado da arte), na medida em que consistirá em utilizar apenas um leitor e várias *tags* passivas (mais baratas e pouco propícias a interferências), colocadas numa área geográfica delimitada (por exemplo, um edifício), segundo uma estratégia a definir.

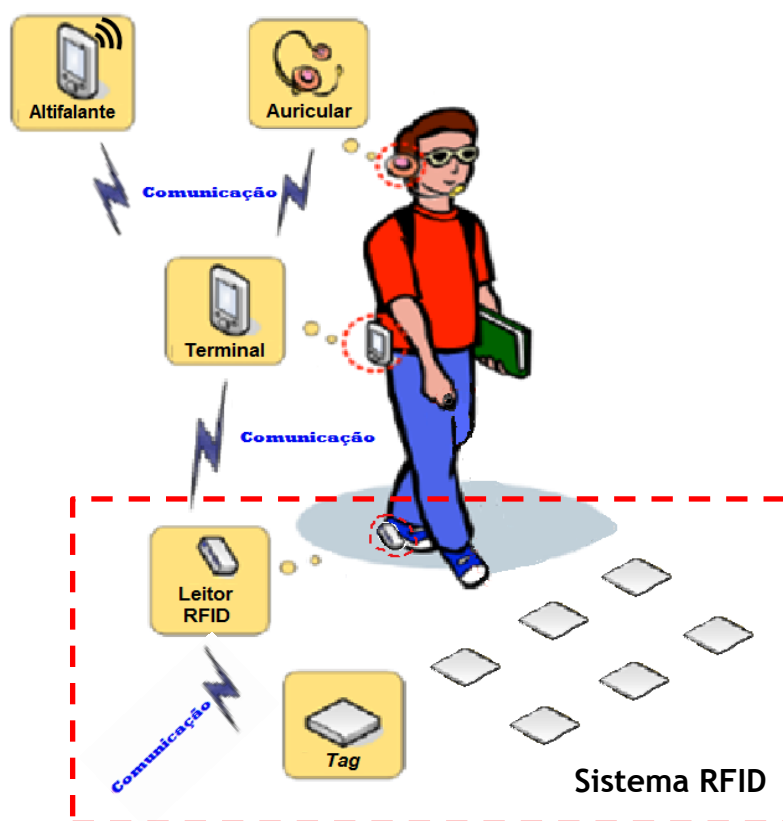


Figura 3.1 - Conceito geral do sistema

3.2.1 - Leitor

O leitor a utilizar deverá ser um leitor RFID passivo, com uma frequência de funcionamento baixa (< 135 KHz). Este deverá ser colocado no calçado do utilizador, virado para baixo, de maneira a estar o mais próximo possível do chão, local onde serão colocadas

as *tags*, tal como se ilustra na Figura 3.1. Futuramente, este poderá ser mesmo integrado no calçado, tornando-se discreto e cómodo.

3.2.2 - *Tags*

Assim como o leitor, também as *tags* deverão ser passivas e de baixa frequência, uma vez que são as mais indicadas para a abordagem feita neste trabalho. Estas poderão ter o aspeto e dimensão de um vulgar cartão de plástico ou papel (com cerca de 5,5cm x 8,5 cm) ou até um pouco maiores ou serem do género de um adesivo. Estas apresentam um baixo custo relativamente às demais, podendo custar cerca de 0,05€ /unidade quando compradas em grandes quantidades. Além disso, estas permitem uma distância de leitura de cerca de 10 cm (tal como referido na Tabela 2.2), suficiente para o correto funcionamento deste sistema uma vez que as *tags* estarão colocadas no chão sobre o qual o utilizador se deslocará.

Além disso, são as mais insensíveis às perturbações eletromagnéticas industriais, motivo que as tornam as preferenciais para o sistema em questão. Quanto à memória necessária para armazenar informação, esta também é suficiente.

Cada *tag* deverá possuir um identificador único (GUID) e a informação relativa à sua posição absoluta. Esta última será feita recorrendo a coordenadas cartesianas (X,Y e Z, sendo Z relativa ao andar do edifício). Para facilitar a execução do sistema, a origem do referencial deverá coincidir com o vértice inferior esquerdo da planta do edifício, permitindo assim que as coordenadas a utilizar sejam apenas positivas.

A colocação das *tags* tem de ser feita de maneira a permitir às pessoas com deficiências visuais terem plena autonomia de movimentação e orientação. Como tal, serão estudadas várias estratégias de colocação das *tags* de maneira a descobrir a que permite obter um melhor desempenho do sistema. Estas estratégias, a par da densidade de *tags* a usar, serão dois dos principais desafios deste trabalho, uma vez que o incorreto posicionamento das mesmas inviabilizará a aquisição de dados suficientes por parte do sistema, originando um desempenho insuficiente. Por isso, estas têm de ser colocadas de forma estratégica, de modo a permitirem estimar corretamente onde se encontra o utilizador, obter a direção do seu movimento, inferir sobre a sua velocidade, entre outros. Mais à frente, serão descritos os principais mapas de *tags* criados.

3.2.3 - Pressupostos do sistema

A conceção deste sistema bem como o tipo de abordagem indicado partem de alguns pressupostos, os quais serão referidos de seguida não sendo, no entanto, estudados neste trabalho.

Assim, a utilização do leitor e *tags* anteriormente referidos partem do pressuposto de que o utilizador transportará consigo um terminal/dispositivo móvel que suporte uma aplicação que fará o processamento da informação. Este comportar-se-á como um assistente pessoal. Para tal, deverá suportar também um tipo de comunicações compatível com as do leitor RFID, de maneira a receber os dados de leitura deste último. Essa comunicação poderá ser feita, por exemplo, por Bluetooth sendo nesse caso necessário que o leitor esteja também equipado com esta tecnologia de comunicação.

A aplicação para o terminal/dispositivo móvel poderá estar alojada numa página web e deverá ser previamente descarregada e instalada no dispositivo. Além disso, a instituição ou edifício que possuir o sistema implementado, deverá possuir uma ligação de dados (wireless, Bluetooth ou similar) que permita que, quando o utilizador entrar no edifício - o que deverá fazer com a aplicação iniciada - seja descarregado automaticamente (ou mediante autorização) para a aplicação um conjunto de informação contendo, entre outras coisas, mapas com a disposição das *tags*. Isto permitirá que a mesma faça o correto processamento da informação aquando da passagem por cada *tag* permitindo, assim, obter a posição e orientação do utilizador. Outra opção seria a possibilidade de descarregar essa informação previamente, a qual poderia estar disponível numa página web.

Juntamente com a informação relativa ao mapa de posicionamento das *tags*, deve ser também descarregado de forma automática informação acerca da localização dos pontos de interesse daquele edifício, tais como, portas de entrada e saída, escadas, elevadores, WC, saídas de emergência, cantina, bar, secretaria, biblioteca, *check-in*, *gate number*, entre outros, conforme o tipo de edifício. Além disso, quando existirem pontos intermédios, deve ser descarregada informação relativa aos mesmos, juntamente com a primeira. Pontos intermédios são pontos estratégicos de passagem em edifícios com cruzamentos de corredores. Um exemplo disso são os pontos assinalados na Figura 3.2. Esta informação possibilita a criação de caminhos ótimos entre dois pontos, tal como se verifica em [20].

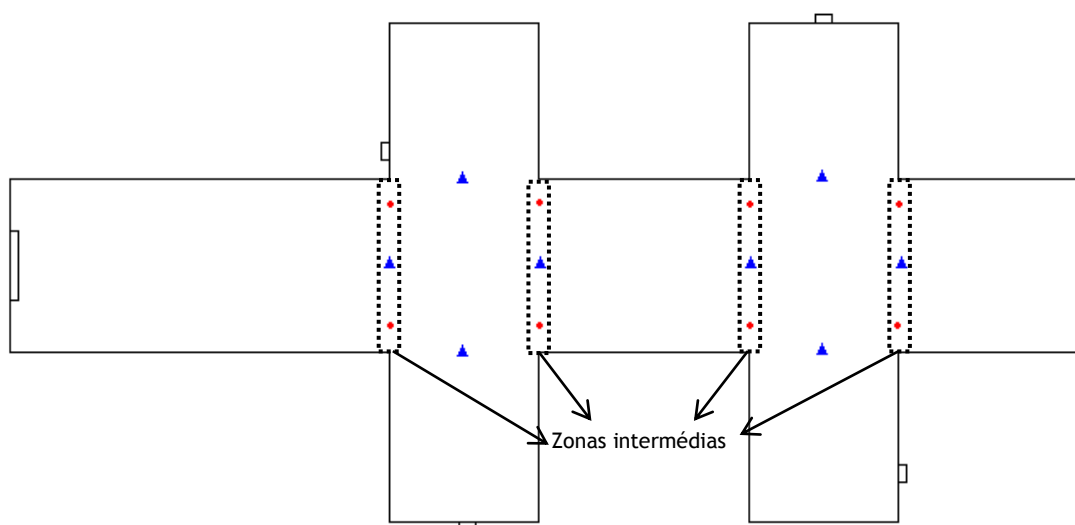


Figura 3.2 - Dois exemplos de pontos intermédios de um edifício: primeira alternativa com pontos (vermelhos) e segunda alternativa com triângulos (azuis)

Neste trabalho, os pontos foram definidos tendo em conta a segurança do utilizador. Assim, usou-se uma estratégia de colocação do género da exemplificada a vermelho na Figura 3.2. Por uma questão de segurança, os pontos foram colocados a cerca de 50 cm da parede, de maneira a evitar as esquinas formadas pelas interseção de dois corredores sempre que o percurso definido abranja mais do que um corredor. Além disso, este método é espacialmente mais eficiente do que o representado na mesma imagem a azul, uma vez que torna o percurso mais curto. Apesar do ponto ótimo de passagem ser o assinalado a vermelho, consideram-se pertencentes às zonas intermédias todos os pontos cuja abcissa seja igual à do

ponto intermédio na qual está contida, como se assinala com um quadrado a linha tracejada na mesma figura.

Para interagir com o utilizador e, assim, receber comandos e enviar alertas e outras informações para este, o dispositivo móvel deverá possuir um teclado para seleção das opções disponibilizadas, bem como uma interface áudio e/ou visual. No caso da interface áudio, esta poderá ser feita a partir do dispositivo ou através de um auricular.

3.3 - Requisitos e funcionalidades do sistema

De um modo geral, o sistema necessita de responder a um conjunto de requisitos mínimos (alguns deles já enumerados) para funcionar corretamente. Estes são os seguintes:

- Conhecimento da posição relativa do utilizador;
- Conhecimento da direção e sentido do seu movimento;
- Conhecimento dos pontos de interesse do meio físico em questão (ex.: portas, escadas, elevadores, WC, saídas de emergência, cantina, bar, secretaria, biblioteca, check-in, gate number, etc);
- Conhecimento do destino do utilizador;
- Conhecimento dos pontos intermédios (caso haja) do edifício;
- Capacidade de traçar um percurso entre dois pontos;
- Guardar a sequência de leitura das *tags*;
- Capacidade de perceção de desvio do percurso definido e de correção do mesmo;
- Aceitar comandos (descritos mais adiante);
- Possuir uma interface áudio/visual para interação com o utilizador.

Desta forma, o sistema deve ser capaz de aceitar e responder aos seguintes comandos:

- ir para...;
- consultar pontos de interesse;
- onde estou?

Do mesmo modo, também deve ser capaz de dar indicações áudio/visuais, tais como:

- Vire [X] graus à [esquerda/direita];
- Siga em frente;
- Chegou ao seu destino, [*destino*];
- Inverta o sentido do movimento.

3.4 - Princípios básicos de funcionamento

O sistema de localização e orientação a desenvolver assenta em três princípios básicos de funcionamento: o conhecimento dos pontos de interesse da infraestrutura na qual o utilizador se encontra, o conhecimento da sua posição atual e direção de movimento e o conhecimento do destino pretendido.

Na abordagem estudada, os dados relativos à posição atual e direção de movimento serão fornecidos pelo sistema de identificação por radiofrequência. Tal como já foi exposto, as *tags* possuirão, além de um identificador único, informação relativa à sua posição absoluta. Desta forma, sempre que o utilizador passar por uma *tag*, a sua informação será lida pelo leitor RFID e transmitida ao terminal móvel, de modo a permitir a atualização por parte do sistema da informação relativa à posição atual do utilizador.

No entanto, para calcular a direção de movimento do mesmo, será necessário conhecer duas posições por onde o utilizador passou, de forma a calcular o vetor entre os dois pontos. Assim, esta informação só estará disponível para utilização por parte do sistema depois de o utilizador passar por duas *tags*.

Por outro lado, o sistema também necessita de conhecer todos os pontos de interesse do edifício, bem como os pontos intermédios caso existam, tal como já foi mencionado nos pressupostos do sistema. Esta informação é necessária para este informar o utilizador acerca dos destinos disponíveis e calcular a trajetória para os mesmos.

Portanto, após o sistema ser iniciado, este entra em funcionamento e vai guardando a sequência de *tags* lidas. No entanto, este apenas estará totalmente funcional após ter detetado a segunda *tag*, altura em que possuirá toda a informação necessária à execução de todas as funcionalidades do sistema.

No caso de existirem cruzamento de corredores no edifício e, portanto, pontos intermédios, o cálculo da trajetória será feito entre a posição atual e final (destino), mas passando pelos pontos intermédios.

3.5 - Definição de estratégias para disposição das *tags*

As estratégias de disposição das *tags* no chão foram definidas a partir dos requisitos e princípios básicos de funcionamento do sistema. Assim, foram desenvolvidos vários mapas de disposição de *tags*, os quais se diferenciam principalmente pela densidade (número de *tags*) utilizada, mas apresentando sempre um padrão comum.

Uma vez que o sistema apenas fica totalmente funcional após detetar a segunda *tag*, todos os pontos de acesso do edifício (entradas, saídas, acesso a divisões, etc.) deverão possuir uma grande densidade de *tags* na sua proximidade. Além de permitir que o sistema detete duas *tags* o mais cedo possível, esta estratégia proporciona também uma melhor deteção de chegada ao destino.

Além disso, no caso de existirem pontos intermédios, é necessário detetar a passagem pelos mesmos para informar o utilizador acerca da correção da trajetória que deve fazer. Por isso, também existe a necessidade de colocar *tags* nesses locais.

Assim, de um modo geral, definiu-se a melhor estratégia de disposição de *tags* como sendo em fileiras, ou seja, *tags* colocadas uma a seguir à outra, de forma transversal ou longitudinal. O espaçamento entre elas em cada fila poderá ser do tamanho de uma *tag* ou maior, conforme a densidade de *tags* que se pretenda.

A estratégia de colocação de fileiras transversalmente aos corredores prende-se com o fato de tentar detetar a passagem do utilizador por aquele local. Daí que estejam colocadas perpendicularmente ao sentido provável de movimento em cada local. Por sua vez, a colocação de fileiras longitudinais ao longo dos mesmos corredores tem a ver com questões

de segurança. Estas estão colocadas paralelamente às paredes dos corredores, a cerca de 50 cm, de modo a impedir o utilizador de ir em direção à parede.

Portanto, de modo a diminuir o risco de não deteção de *tags*, serão sempre colocadas duas fileiras transversais de *tags* junto de cada ponto de acesso (já mencionado) do edifício, paralelamente à porta. O tamanho definido para cada *tag* é de 5 cm x 10 cm. Por sua vez, o espaçamento entre *tags* pertencentes à mesma fileira será de 5 cm para as fileiras próximas de pontos de acesso (onde é essencial ter uma grande densidade de *tags*) e 10 cm para as restantes. As duas fileiras de *tags* distanciarão uma da outra cerca de 50 cm. No caso de existirem pontos intermédios, serão também sempre colocadas fileiras de *tags* em cada ponto, de forma transversal ao corredor, tal como se exemplifica mais à frente.

Esta pode ser considerada a disposição mínima de *tags* que permite o correto funcionamento do sistema. De seguida, serão apresentados 5 mapas de disposição de *tags* definidos a partir destas estratégias.

3.5.1 - Mapa de densidade mínima: fileiras simples nos pontos intermédios

O mapa de densidade mínima é aquele que possui o menor número de *tags* e que permite o correto funcionamento do sistema. Portanto, é o mapa de disposição mais simples possível que, ainda assim, respeita os requisitos mínimos.

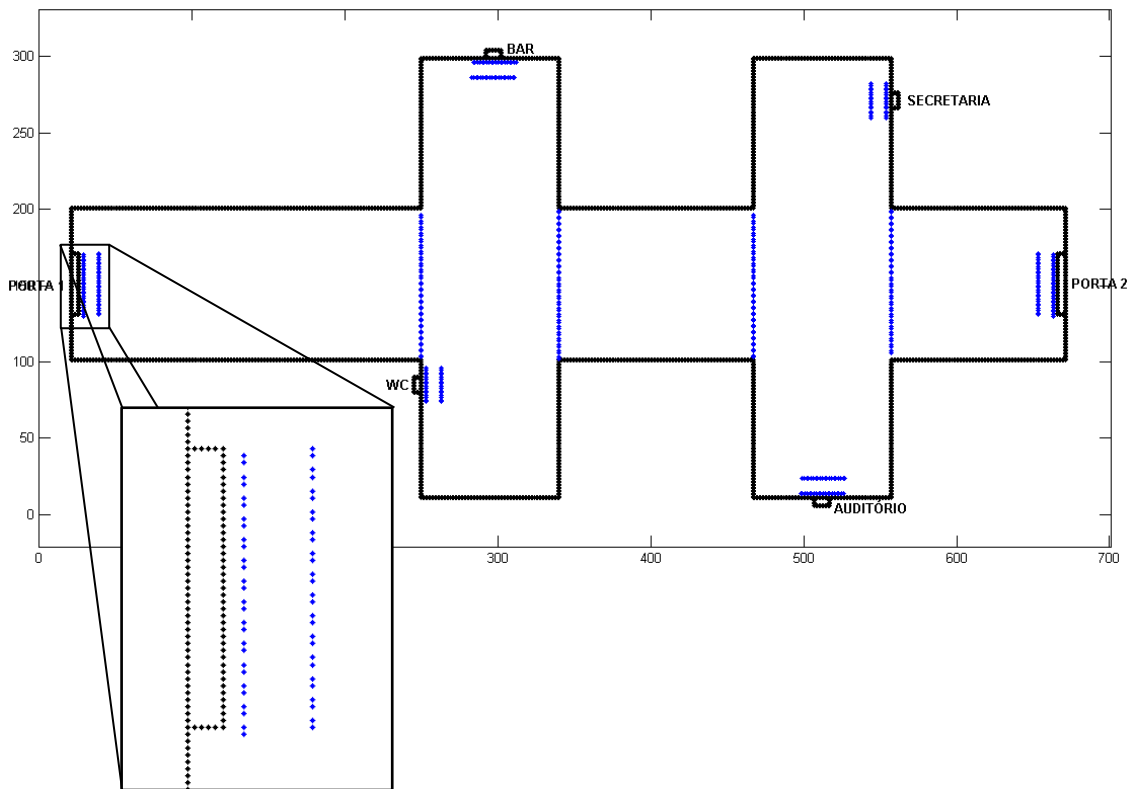


Figura 3.3 - Mapa de densidade mínima de *tags* (cerca de 230 *tags*)

Assim, este caracteriza-se por possuir fileiras transversais duplas de *tags* nos pontos de acesso e fileiras transversais simples a passar nos pontos intermédios, tal como se verifica na Figura 3.3. Tal como foi anteriormente mencionado, a distância entre fileiras é de

aproximadamente 50 cm. O espaçamento entre *tags* pertencentes à mesma fileira é de cerca de 5 cm nas fileiras próximas de pontos de acesso e 10 cm nas restantes.

Esta é considerada a disposição e densidade de *tags* mínima que possibilita a eficiência do sistema. As fileiras duplas são indispensáveis para calcular o vetor direção enquanto que as fileiras transversais simples, colocadas no local dos pontos intermédios permitem a indicação de mudança de direção sempre que necessário.

3.5.2 - Mapa de densidade baixa: fileiras simples transversais

O mapa de densidade baixa de *tags* possui, tal como o nome indica, um maior número de *tags* que o anterior. Assim, este possui as mesmas *tags* que o mapa mínimo, sendo acrescido de mais algumas fileiras simples transversais, colocadas ao longo dos corredores. Este acréscimo permite um maior número de correções ao longo do percurso do utilizador. As *tags* estão colocadas para que o utilizador as detete quando percorre os trajetos mais previsíveis. O mapa mencionado apresenta-se na Figura 3.4.

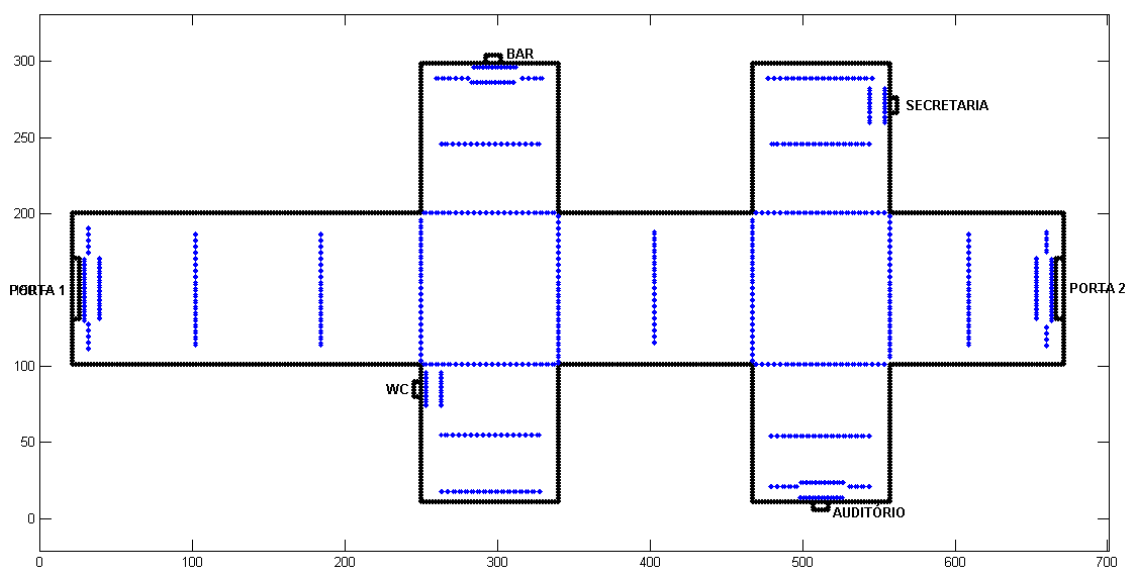


Figura 3.4 - Mapa de densidade baixa de *tags* (cerca de 540 *tags*)

3.5.3 - Mapa de densidade média: fileiras simples transversais e longitudinais

O mapa de densidade média de *tags* caracteriza-se por possuir as mesmas *tags* que o mapa de densidade baixa, acrescido de fileiras de *tags* longitudinais simples ao longo dos corredores, tal como se mostra na Figura 3.5.

O acréscimo das *tags* longitudinais foi feito por uma questão de segurança para o utilizador. Estas estão colocadas a cerca de 50 cm da parede de cada corredor, com o objetivo de advertir o utilizador para a aproximação de uma parede. Ao mesmo tempo, é dada a indicação de correção de trajetória para o mesmo corrigir a direção do seu movimento.

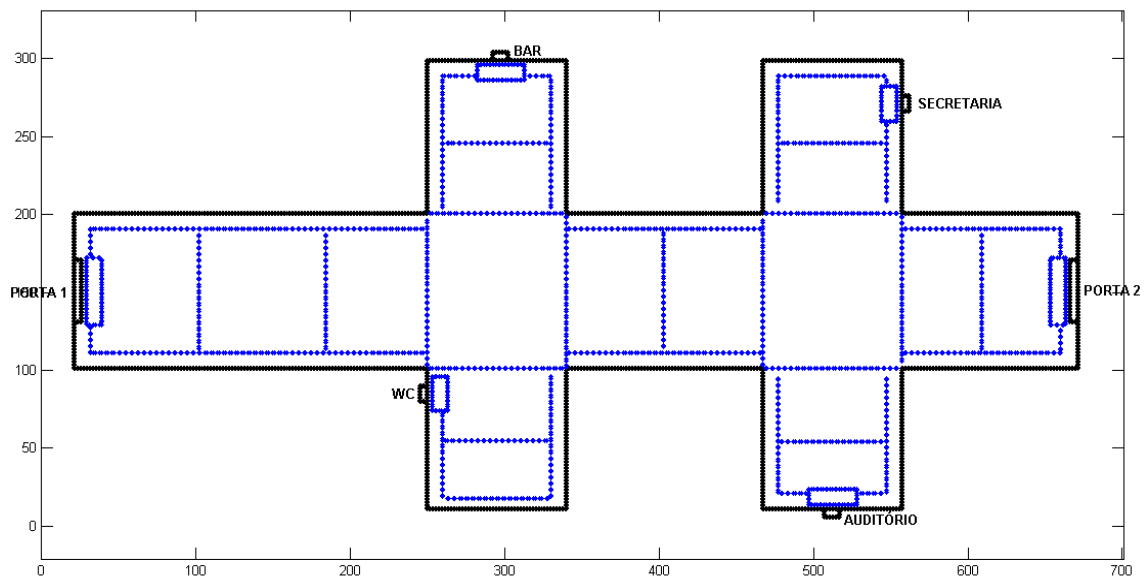


Figura 3.5 - Mapa de densidade média de tags (cerca de 935 tags)

3.5.4 - Mapa de densidade alta: fileiras duplas nos pontos intermédios

A Figura 3.6 ilustra o mapa de densidade alta de tags. A sua constituição deriva do mapa de densidade média possuindo, por isso, fileiras transversais duplas nos pontos de acesso e fileiras transversais e longitudinais simples ao longo dos corredores. No entanto, esta estratégia é mais rigorosa na deteção de passagem pelo ponto intermédio, devido à utilização de fileiras transversais duplas nos locais de pontos intermédios.

Assim, esta estratégia consiste no aumento de densidade de tags nas zonas intermédias, importantes para a indicação de mudança de direção.

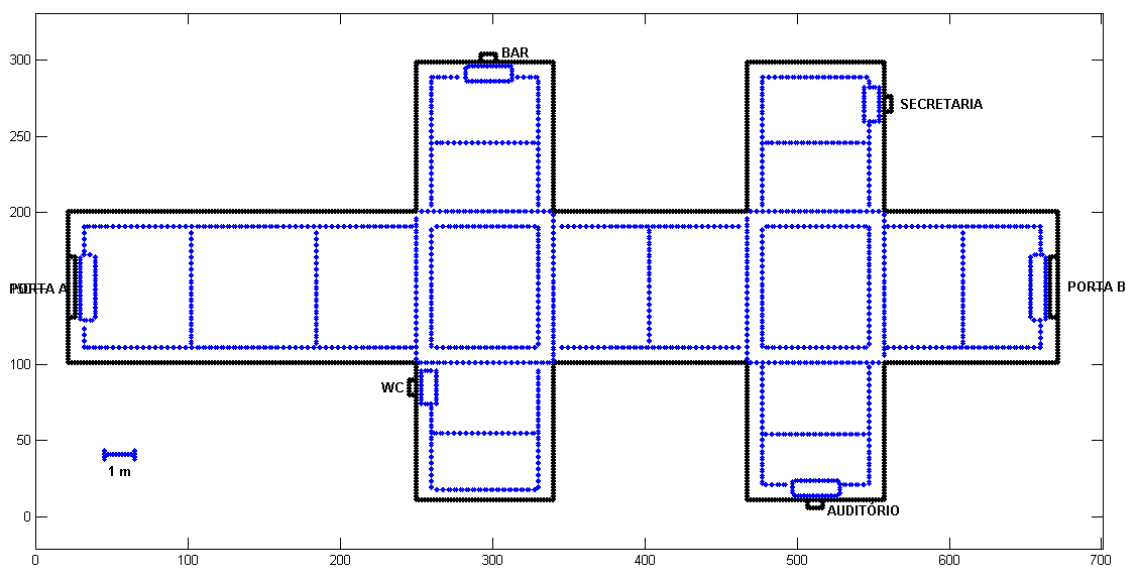


Figura 3.6 - Mapa de densidade alta de tags (cerca de 1090 tags)

3.5.5 - Mapa de densidade máxima: fileiras duplas transversais e longitudinais

O mapa de densidade máxima de *tags* caracteriza-se por seguir a estratégia de máxima correção e mínimo erro de direção, não tendo em conta o número elevado de *tags* gastas. Assim, este consiste na utilização de apenas fileiras duplas, quer longitudinal quer transversalmente, tal como se verifica na Figura 3.7.

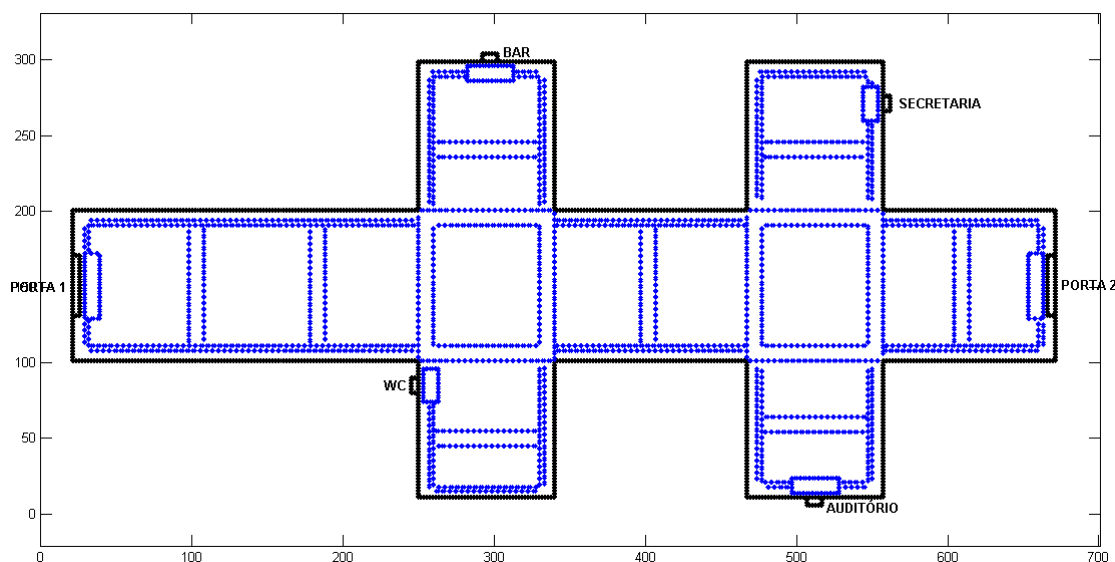


Figura 3.7 - Mapa de densidade máxima de *tags* (cerca de 1680 *tags*)

As fileiras transversais duplas favorecem o cálculo do vetor direção após o sistema ser iniciado, uma vez que permite a deteção de 2 *tags* de forma mais rápida.

3.6 - Critérios de avaliação de desempenho

De modo a avaliar a desempenho do sistema, foram definidos dois critérios principais: eficiência espacial e temporal. Estes serão calculados para vários cenários. Entenda-se por cenário a configuração de parâmetros a utilizar, ou seja, o mapa do edifício a utilizar, a estratégia de disposição, o ponto inicial e final, a velocidade de movimento, entre outros.

A eficiência espacial será calculada através da razão entre a distância ótima (distância do percurso ideal) e a distância percorrida pelo utilizador, para vários cenários. Assim, esta calcula-se da seguinte forma:

$$Ef.E (\%) = \frac{Dótima (m)}{Dreal (m)} \times 100 , \quad (3.1)$$

sendo *Ef.E* a eficiência espacial (em percentagem), *Dótima* a distância do percurso ideal (em metros) e *Dreal* a distância percorrida pelo utilizador (em metros).

Para cada cenário, o sistema traçará à partida o percurso ideal a seguir e fará a contabilização da distância do mesmo. Posteriormente, far-se-á a comparação com a

distância percorrida pelo utilizador, para as mesmas condições iniciais, mas com diferentes ângulos de entrada, ângulos de erro de direção de movimento, com e sem mecanismo de previsão de trajetória (a descrever mais à frente, na secção 4.5) e para diferentes mapas de densidade de *tags*.

Para os mesmos cenários, será também feita uma avaliação do tempo necessário para percorrer cada percurso. Esse valor será calculado através da seguinte expressão:

$$T_{real} (s) = \frac{D_{real} (m)}{V_{mov} (m/s)} , \quad (3.2)$$

sendo T_{real} o tempo que o utilizador precisou para concluir o percurso (em segundos), D_{real} a distância percorrida pelo mesmo (em metros) e V_{mov} a velocidade com que executou o percurso (em m/s). Como os valores de velocidade introduzidos no sistema estão em km/h, será necessário dividi-los por 3.6 (fator de conversão de km/h para m/s) para os podermos utilizar em m/s. A eficiência temporal será calculada através da razão entre o tempo ótimo e o tempo utilizado pelo utilizador. Para tal, considerou-se como tempo ótimo (tempo estimado) aquele que uma pessoa com capacidade visual necessitaria para realizar um determinado percurso, à velocidade média de caminhar, ou seja, 5 km/h (1,39 m/s) [21]. Assim, a fórmula utilizada para o cálculo da eficiência temporal é:

$$Ef.T (\%) = \frac{T_{ótimo} (s)}{T_{real} (s)} \times 100 , \quad (3.3)$$

sendo $Ef.T$ a eficiência temporal (em percentagem), $T_{ótimo}$ o tempo ótimo (estimado) para a realização do percurso (em segundos) e T_{real} o tempo necessário pelo utilizador para realizar o mesmo percurso (em segundos).

Capítulo 4

Desenvolvimento da simulação em MATLAB

4.1 - Ambiente de simulação MATLAB

O MATLAB mostrou-se como sendo a ferramenta mais indicada para a realização das simulações pretendidas por ser um ambiente de programação bastante dinâmico. Dispõe de inúmeras funções, exemplos de códigos de simulações e algoritmos de cálculo. Além disso, permite a criação de interfaces (GUIs) ao gosto do utilizador.

Assim, este foi o ambiente de simulação utilizado para a criação de um simulador de raiz, que permite escolher os valores dos parâmetros de entrada, tal como se pode ver na Figura 4.1. De seguida, é gerada a respetiva simulação, a qual é apresentada numa interface também desenvolvida em MATLAB (exposta mais à frente).

Assim, quando a simulação é iniciada, são pedidos valores para os seguintes parâmetros de entrada: posição inicial, velocidade do movimento, erro do movimento, selecionar se pretende ativar ou não a correção extra e em caso afirmativo, indicar um fator de correção para a mesma. Mais tarde, é também pedido o ponto de destino. Estes parâmetros serão descritos mais à frente.

Para a posição inicial, pode ser escolhido um dos pontos de acesso do edifício de maneira a simular a entrada no mesmo ou então definir um ponto através de coordenadas cartesianas. A segunda opção permite simular a inicialização da aplicação por parte do utilizador quando este já se encontra dentro do edifício. Em qualquer um dos casos, apenas depois de serem detetadas duas *tags* é que o sistema pedirá um ponto de destino ao utilizador. Isto acontece desta forma pois só nessa altura é que o sistema sabe a posição do utilizador e a direção e sentido do seu movimento. O ponto de destino poderá ser, tal como a posição inicial, um dos pontos de acesso do edifício ou um ponto a definir através do sistema cartesiano. A indicação de deteção de *tags* é feita através do lançamento de mensagens indicando que uma *tag* foi encontrada (dizendo se é a primeira ou a segunda) e em que posição (opcional), como mostra a Figura 4.1.

```

Command Window
File Edit Debug Desktop Window Help
1 Escolha a posição inicial:
PORTA1 [1]
PORTA2 [2]
BAR [3]
WC [4]
SECRETARIA [5]
AUDITÓRIO [6]
OUTRA [7]
SAIR [8]
1
2 Introduza a velocidade do movimento (até 7 Km/h):
Passo Lento: ~ 3 Km/h
Passo Normal: ~ 5 Km/h
Passo Rápido: ~ 7 Km/h
5
3 Introduza o erro do movimento (entre 1° e 45°):
10
4 Ativar mecanismo de previsão para correção extra?
[s/n]
s
5 Insira o valor do factor de correção (entre 0.1 e 1)
0.5
Beep: Passou pela primeira tag na posição (29,155)
Beep: Passou pela segunda tag na posição (29,152)
6 Escolha um dos seguintes locais de destino:
WC [1]
BAR [2]
PORTA2 [3]
SECRETARIA [4]
AUDITÓRIO [5]
OUTRA [6]
SAIR [7]
fx
OVR

```

Figura 4.1 - Definição de valores dos parâmetros de entrada

Outro dos parâmetros a ser introduzido é a velocidade do movimento do utilizador, tendo por base que a velocidade média de uma pessoa a caminhar (passo normal) é de cerca de 5 km/h. Esta velocidade será representada na simulação através da consideração e adequação de uma área de alcance para a deteção de *tags*. Este conceito será aprofundado mais à frente.

Por sua vez, o parâmetro erro do movimento permitirá simular um utilizador com um maior ou menor sentido de orientação, caracterizando-o através de um erro angular a ser introduzido no movimento. Este parâmetro também será explicado mais à frente.

Por último, é apresentada a opção de ativar ou não a correção extra, a qual consiste numa correção baseada na previsão do erro do utilizador ao seguir as indicações dadas pelo sistema. Portanto, é uma correção baseada no nível de desvio de precisão que o sistema atribui ao utilizador. Esta previsão poderá ter mais ou menos influência na correção, consoante o fator de intensidade definido. Também o funcionamento deste mecanismo será mais detalhado adiante. No entanto, cada um dos parâmetros anteriores pode ser definido com um valor dentro de uma gama própria, a qual é indicada aquando do pedido ao utilizador. Estas gamas de valores estão expostas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Descrição dos parâmetros de entrada e gama de valores aceites

Parâmetros	Descrição	Gama de valores	Variável
1	Posição inicial do utilizador	1 a 8	-
2	Velocidade do movimento do utilizador (km/h)	1 a 7	V_{mov}
3	Erro de direção do movimento do utilizador (graus)	1 a 45	θ_{erro}
4	Ativar/Desativar mecanismo de correção extra	s / n	-
5	Fator de intensidade do mecanismo de correção extra	0.1 a 1	$K_{\theta.c.extra}$
6	Posição final (Destino) do utilizador	1 a 7	-

Como um dos requisitos seguidos no desenvolvimento do simulador foi a robustez, este não aceita a entrada de valores desadequados a cada parâmetro. Assim, quando isso acontece, o utilizador é informado sobre a introdução de um valor inválido sendo, de seguida, pedido ao mesmo que introduza um novo valor. Um exemplo de teste à robustez do sistema é o ilustrado pela Figura 4.2.

```

Introduza o erro do movimento (entre 1° e 45°):
50
Introduziu um valor inválido!
Introduza o erro do movimento (entre 1° e 45°):

```

Figura 4.2 - Exemplo de teste à robustez do sistema

Depois de definidos todos os valores dos parâmetros de entrada, é mostrada a execução da simulação através da GUI ilustrada na Figura 4.3. Tal como a mesma permite verificar, é mostrado o cenário a simular, ou seja, o mapa do edifício com o mapa de disposição de *tags*. Os pontos de interesse (pontos de acesso, entre outros) estão assinalados e legendados.

Tal como a legenda da GUI indica, são mostrados dois movimentos: o movimento real, ou seja, aquele que é criado com base nos parâmetros de entrada do simulador, de forma a simular uma pessoa a caminhar (traçado contínuo a vermelho); o outro movimento assinalado corresponde ao percurso ideal entre o ponto inicial do movimento e o ponto final escolhido (a preto tracejado).

Além disso, estão ainda assinalados: o ponto inicial (a amarelo), o ponto de destino definido inicialmente (a verde maior), o ponto de destino calculado com base na última *tag* detetada e considerando o erro de movimento do utilizador (a vermelho), e o ponto final do utilizador (a verde mais pequeno), ou seja, o ponto que assinala a sua chegada ao destino. A consideração deste último ponto, a diferença e a existência de uma pequena diferença em relação ao ponto de destino definido no início deve-se ao erro de movimento do utilizador e por se considerar toda a extensão da porta de chegada como destino. Portanto, convencionou-se que o utilizador pode entrar/sair em toda a largura da porta, sendo todos esses pontos considerados como destino, como se explicará mais à frente. Do mesmo modo, também será explicado o ponto de destino a vermelho.

Por fim, estão assinaladas as *tags* detetadas (a preto), bem como a escala de representação. Cada *tag* é representada por 2 pontos.

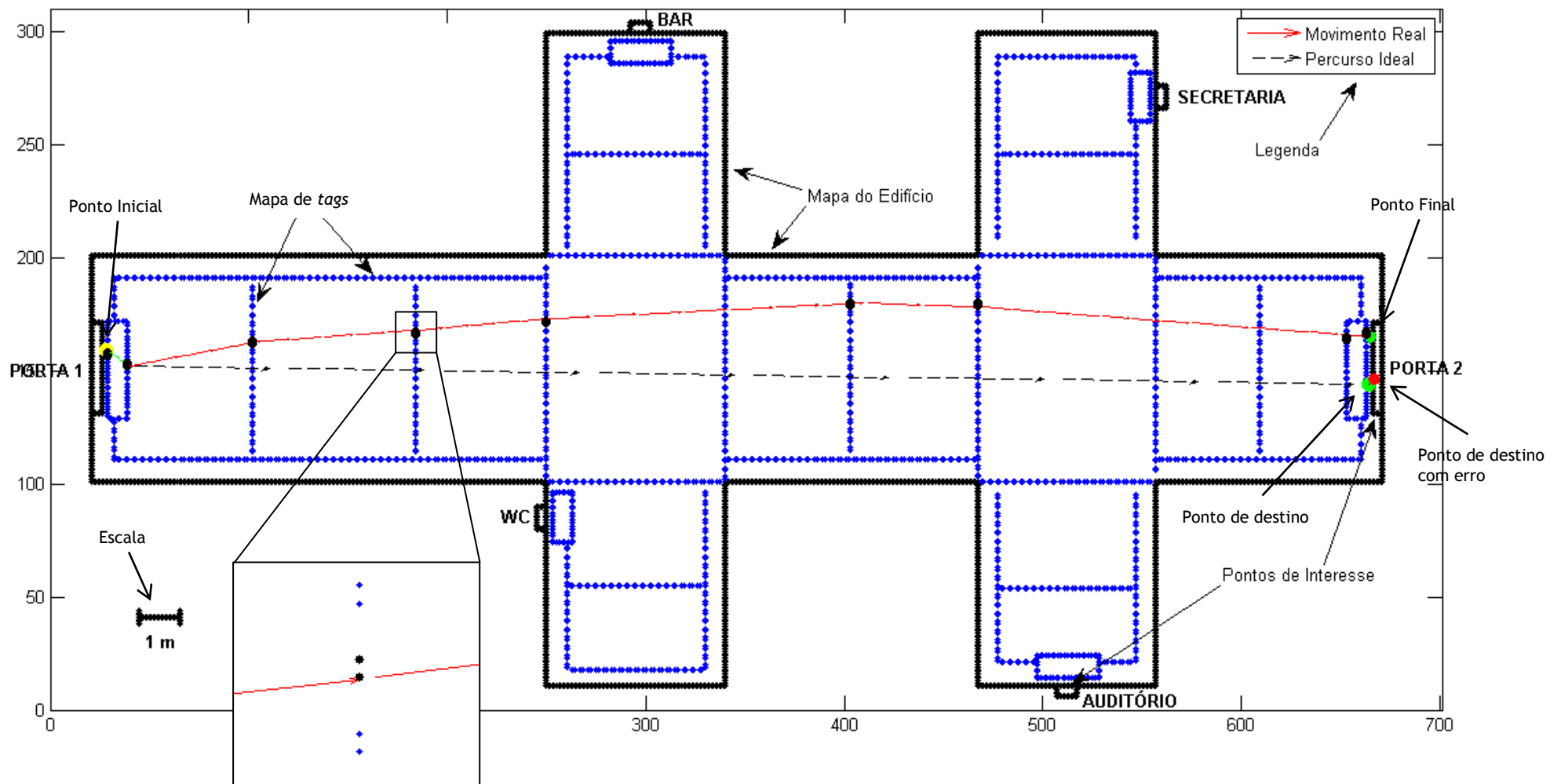


Figura 4.3 - Interface gráfica da simulação

4.2 - Simulação do percurso ideal

A simulação do percurso ideal caracteriza-se por ser a representação do percurso espacialmente mais curto entre o ponto inicial e o ponto de destino, ou seja, o percurso ótimo entre os dois pontos tendo em conta a segurança do utilizador. O fator segurança é importante quando o percurso a realizar abrange mais do que um corredor do edifício, sendo assegurado pela posição estratégica de colocação do ponto intermédio. Como já mencionado anteriormente, este foi introduzido de forma a otimizar o percurso a realizar, sem descuidar a segurança do utilizador.

Assim, o percurso ideal é o traçado em linha reta entre os pontos inicial e de destino, passando nos pontos intermédios, se existirem. Este percurso representa-se na GUI (Figura 4.3) a preto tracejado e apenas depende do valor de dois parâmetros de entrada (ponto inicial e ponto de destino), para além da informação de que o sistema já dispõe (caso dos pontos intermédios).

4.3 - Simulação do movimento do utilizador

A simulação do movimento do utilizador foi feita de forma a representar da forma mais fidedigna possível o movimento de uma pessoa a caminhar. Para tal, caracterizou-se o mesmo pela aproximação a um conjunto de segmentos de reta encadeados, podendo estes ter diferentes direções. Além disso, foi ainda tido em conta o fato de a pessoa poder ser mais ou menos imprecisa a seguir um determinado caminho predefinido, característica parametrizada na simulação através do erro de direção.

Além deste erro, a representação do movimento depende do ponto inicial e do ponto de destino, bem como dos pontos intermédios, sempre que os mesmos existem. A sua representação na GUI é feita a vermelho, como se verifica na Figura 4.3. No caso de existirem pontos intermédios (ou seja, interseção de corredores), a direção do movimento é criada a partir do vetor que tem início no ponto inicial da simulação e extremidade no ponto intermédio (ponto ótimo). Essa direção de movimento mantém-se até o utilizador alcançar o ponto intermédio (ou um qualquer outro ponto da zona intermédia, conforme apresentado na secção 3.2.3 - Pressupostos do sistema), ou se, entretanto, for encontrada uma *tag* intercalar na simulação do movimento. Em qualquer um dos casos, em seguida, é calculado um novo vetor de movimento cujo ponto inicial é a posição atual do utilizador, passando agora a extremidade a ser um novo ponto intermédio (ou, no caso de deteção prévia de uma *tag*, o mesmo ponto intermédio) ou o ponto de destino, conforme o caso. O cálculo deste novo vetor é feito numa altura em que existe linha de vista para o novo ponto de referência (final ou intermédio). No entanto, é de realçar que estes cálculos são, apenas e sempre, realizados aquando da deteção de uma *tag*.

O ponto intermédio é calculado a cada iteração do ciclo do programa, dependendo da posição atual do utilizador e do ponto de destino. No entanto, esta informação apenas é atualizada no cálculo do vetor nas situações descritas anteriormente, ou seja, deteção de *tag* e de um ponto intermédio. Assim, o vetor de movimento é atualizado segundo a tabela seguinte - Tabela 4.2. Entenda-se por mesmo ponto intermédio a não alteração do valor obtido anteriormente. Por novo ponto intermédio, entenda-se o ponto obtido durante a iteração do programa em que o vetor é atualizado, o qual é diferente do anterior.

Tabela 4.2 - Tabela de atualização do vetor de movimento (*vector*)

		Ponto final do vetor de movimento	
		Ponto de destino final noutro corredor	Ponto de destino final no mesmo corredor (em linha de vista)
Ponto inicial do vetor de movimento	Ponto de início da simulação	(Mesmo) ponto intermédio	Ponto de destino final
	Tag intercalar		
	Ponto intermédio	(Novo) ponto intermédio	

Através do vetor de movimento, é depois calculado o ângulo entre este vetor e a horizontal, sendo esta última direção representada pelo vetor [1 0]. No caso da abcissa do vetor ser negativa, faz-se a comparação como vetor horizontal [-1 0]. Estes vetores servirão de referência para a realização de comparações de direções entre vetores. Assim, o cálculo do ângulo de movimento é realizado através da seguinte fórmula, recorrendo a funções do MATLAB:

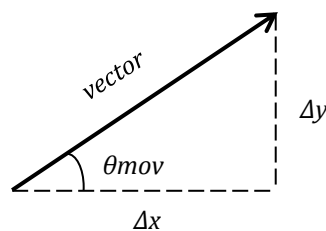
$$\theta_{mov} = \text{acosd} \left(\frac{\text{dot}(\text{vector}, \text{horizontal})}{\text{norm}(\text{vector}) * \text{norm}(\text{horizontal})} \right), \quad (4.1)$$

onde:

- θ_{mov} é o ângulo do movimento;
- acosd é o inverso do cosseno em graus;
- dot é a função de cálculo do produto escalar entre dois vetores;
- norm é a função de cálculo da norma de vetores;
- vector é o vetor de movimento;
- horizontal é um vetor horizontal.

Esta fórmula foi generalizada para poder ser utilizada sempre que se pretende calcular o ângulo entre quaisquer dois vetores. A sua gama de valores de saída varia entre 0° e 90°.

O valor de deslocamento a ser realizado é então calculado conforme o ângulo seja maior ou menor que 45°, limite angular entre um movimento predominantemente horizontal e vertical. Assim, recorrendo ao uso de trigonometria, temos:



$$\text{tand}(\theta_{mov}) = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right) \Leftrightarrow \Delta x = \left(\frac{\Delta y}{\text{tand}(\theta_{mov})} \right) \Leftrightarrow \Delta y = \Delta x \times \text{tand}(\theta_{mov}), \quad (4.2)$$

onde:

- $tand$ é a função do MATLAB para o cálculo da tangente em graus;
- Δx é o deslocamento horizontal;
- Δy é o deslocamento vertical;
- θ_{mov} é o ângulo de movimento (ângulo entre o vetor de movimento e o vetor horizontal).

Quando o $\theta_{mov} < 45^\circ$, ou seja, $\Delta x > \Delta y$, atribui-se o valor unitário a Δy e calcula-se Δx através da equação (4.2). Do mesmo modo, quando o $\theta_{mov} > 45^\circ$, atribui-se o valor unitário a Δx e calcula-se Δy .

Os valores calculados são, então, arredondados para as unidades uma vez que a simulação só permite representar valores inteiros. Por convenção, nos movimentos com direções horizontais ou verticais, o deslocamento é unitário segundo o eixo do movimento e nulo no outro.

No caso de deslocamentos oblíquos ($\theta_{mov} = 45^\circ$), o deslocamento toma valores unitários (em pixéis) em cada uma das suas componentes. Para vetores de movimento com abcissa ou ordenada negativa, ou seja, cujos movimentos em termos de representação são para a esquerda ou para baixo, respetivamente, os cálculos efetuados são semelhantes.

Após o cálculo do deslocamento, as suas componentes são somadas à variável da posição atual do utilizador, sendo esta atualizada e representada. A sua representação, bem como o vetor do deslocamento efetuado são representados através das instruções 1 e 2 da Figura 4.4, respetivamente.

```

hold on
1 set (scatterhandle, 'xdata', PosX, 'ydata', PosY);
  set (scatterhandle2, 'xdata', PosXreal, 'ydata', PosYreal);
2 Q1 = quiver (Xant (1), Xant (2), mov (1), mov (2), 'color', 'red');
  Q2 = quiver (XantReal (1), XantReal (2), movReal (1), movReal (2), '--', 'color', 'black');
  legend ([Q1, Q2], 'Movimento Real', 'Percurso Ideal');
hold off

```

Figura 4.4 - Funções de representação da posição atual e do vetor de movimento, respetivamente, instruções 1 e 2

De forma a melhorar os resultados da representação e tornar a simulação mais realista, foram eliminados os ângulos cujo valor absoluto diferisse duas ou menos unidades do valor de um ângulo reto ou nulo. Estes foram substituídos pelo majorante da condição anterior de modo a evitar ângulos muito próximos de 90° ou 0° . Assim, por exemplo, um ângulo de $0,5^\circ$ passa a ser substituído por um valor de 2° . Este ajustamento é importante para situações em que o ponto final é bastante afastado do ponto atual (na ordem das dezenas de metros) e o ângulo de movimento esteja enquadrado no perfil de ângulos indicado (ou seja, muito próximos de 0° ou 90°). Neste caso, o cálculo das componentes de deslocamento a partir da expressão (4.2) resultaria num grande deslocamento segundo uma das direções (por exemplo, segundo o eixo horizontal) enquanto o deslocamento segundo a outra direção seria de apenas uma unidade. O deslocamento maior poderia ser de vários metros, tornando a simulação pouco realista. Com este ajustamento, o impacto desta situação é minimizado.

Por fim, para a geração de movimento da pessoa foi ainda considerado o facto de esta poder ser mais ou menos precisa no seguimento das orientações fornecidas, tal como foi referido anteriormente. Esta característica pode ser definida através de um parâmetro de entrada e a sua introdução será explicada de seguida.

4.3.1 - Erro de direção

De forma a tornar o movimento de uma pessoa ainda mais realista na simulação, foi introduzido um parâmetro de imprecisão cujo valor, em graus, é definido no início da mesma. Este serve para indicar a exatidão com que a pessoa realiza o percurso traçado, através das indicações dadas. Esta característica será mais tarde estimada pelo sistema a partir dos dados obtidos pelo mesmo, permitindo adaptar as indicações a fornecer ao utilizador, caso a caso. Este conceito será explicado mais à frente.

Portanto, a introdução de imprecisão no seguimento de um trajeto é feita através de uma rotação do vetor de movimento. Esta rotação pode ser no sentido anti-horário (no caso do valor do parâmetro de entrada ser positivo), multiplicando o vetor de movimento pela matriz

$$R_1 = \begin{bmatrix} \text{cosd}(\theta_{\text{erro}}) & \text{sind}(\theta_{\text{erro}}) \\ -\text{sind}(\theta_{\text{erro}}) & \text{cosd}(\theta_{\text{erro}}) \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

ou no sentido horário (no caso do valor do parâmetro de entrada ser negativo), multiplicando o vetor de movimento pela matriz

$$R_2 = \begin{bmatrix} \text{cosd}(\theta_{\text{erro}}) & -\text{sind}(\theta_{\text{erro}}) \\ \text{sind}(\theta_{\text{erro}}) & \text{cosd}(\theta_{\text{erro}}) \end{bmatrix}, \quad (4.4)$$

respetivamente, onde *sind* e *cosd* são funções trigonométricas do MATLAB.

Esta multiplicação é feita logo depois de calculado o vetor de movimento. O resto dos procedimentos para a representação do movimento são os anteriormente mencionados.

4.3.2 - Velocidades de movimento / Área de deteção de *tags*

Além dos parâmetros de entrada já referidos anteriormente, existe ainda outro que é possível definir no início da simulação: a velocidade.

Esta será representada na simulação através da consideração e adequação de uma área de deteção de *tags*. Na prática, conforme a velocidade assumida para o movimento, serão detetadas mais ou menos *tags* para o mesmo percurso.

De facto, o sistema RFID especificado neste trabalho pressupõe a deteção de *tags* a cerca de 10 cm, o que ocorre em condições ótimas. Entre as condições mais importantes para a ocorrência de leitura, constam a distância da *tag* ao leitor e a orientação relativa entre os dois componentes do sistema. Assim, e considerando a colocação do leitor no calçado, estas condições serão fortemente influenciadas pela velocidade de movimento do utilizador, ou seja, pela sua “passada”.

Portanto, conforme a velocidade selecionada, na simulação do movimento será criada uma área de deteção (não visível graficamente) em volta de cada passo do utilizador, cuja

dimensão será inversamente proporcional a essa velocidade de deslocamento. Assim, sempre que o utilizador se movimenta, qualquer *tag* no interior da área de deteção será considerada, não precisando aquele de passar exatamente por cima dela. Considerando que a velocidade média de uma pessoa a caminhar é aproximadamente de 5 km/h, é possível introduzir um valor de velocidade não superior a 7 km/h, valor convencionado como sendo a máxima possível para caminhar.

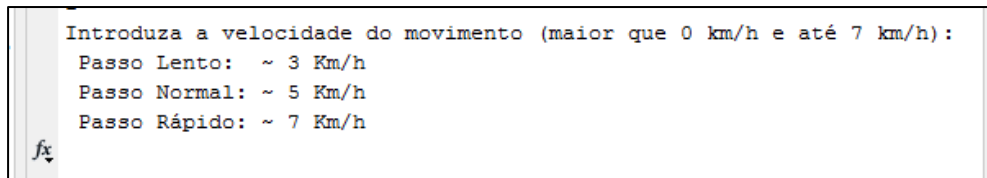


Figura 4.5 - Interface para introdução do valor do parâmetro velocidade de movimento

Tal como se pode observar na Figura 4.5, são dadas sugestões acerca de valores de velocidades correspondentes a passos mais rápidos ou mais lentos.

Consoante a velocidade do utilizador seja menor, a área de deteção vai aumentando segundo os fatores FA_x (fator de alargamento horizontal) e FA_y (fator de alargamento vertical) em relação à área mínima. Esta última corresponde à velocidade máxima (7 km/h) e é constituída pela matriz cujas posições estão entre o ponto inicial do passo do utilizador e o respetivo ponto final, como se pode ver na Figura 4.6 (quadrado tracejado). Portanto, a área mínima de deteção corresponde à área criada para $FA_x = FA_y = 0$.

Na mesma figura, é possível ver ainda o vetor do movimento - de um único passo - (a vermelho), as *tags* dispostas no chão (a azul) e a *tag* detetada (a preto). Também os pontos inicial e final do passo foram assinalados a verde.

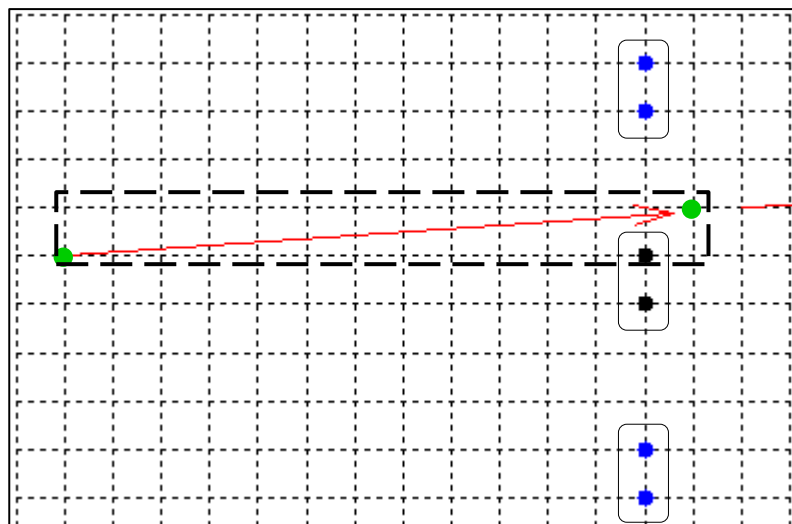


Figura 4.6 - Exemplificação da área de deteção para um passo do utilizador

Da análise da imagem, é possível verificar que, dada a área de deteção considerada, foi possível detetar uma *tag* durante o passo representado. Note-se que cada *tag* é representada por dois pontos, dada a dimensão da mesma (5 cm x 10 cm).

Já, por exemplo, para a velocidade de 5 km/h, os valores dos fatores F_{Ax} e F_{Ay} são unitários. Assim, a área de detecção será a ilustrada na Figura 4.7. Neste caso, à matriz considerada anteriormente (7 km/h), cujas posições estão entre o ponto inicial e final do passo do utilizador, é acrescida uma unidade em toda à volta, resultando pois, em termos matriciais, em mais duas linhas e duas colunas.

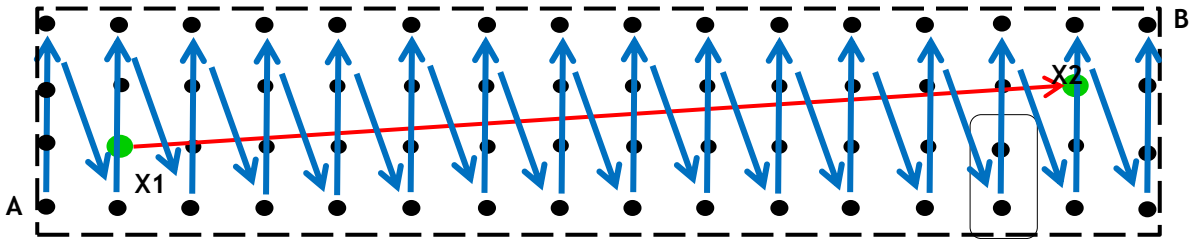


Figura 4.7 - Mecanismo utilizado para percorrer a matriz da zona de detecção para um movimento com velocidade 5 km/h

De uma forma geral, a criação da matriz contendo a área de detecção pode ser definida através de dois pontos pertencentes aos cantos, desde que não sejam colineares. Assim, esta pode ser criada a partir dos pontos inicial e final do passo. Considerando o primeiro ponto como sendo $X1$ (coordenadas $[x1 \ y1]$) e o segundo como sendo $X2$ (ambos ilustrados na mesma figura), a matriz referida pode ser criada a partir dos pontos $A = X1 + [F_{Ax} \ F_{Ay}]$ e do ponto $B = X2 + [F_{Ax} \ F_{Ay}]$, sendo A e B os extremos da matriz. Os sinais de F_{Ax} e F_{Ay} dependem de caso para caso. Por exemplo, no caso aqui ilustrado, F_{Ax} e F_{Ay} têm valores negativos para o cálculo de A e valores positivos para o cálculo de B .

No caso de serem detetadas várias *tags* durante um passo, apenas se considera a última para efeito de processamento da informação. No entanto, a escolha de uma *tag* como sendo a última depende do mecanismo de análise da matriz. Por parecer mais intuitivo, o mecanismo utilizado para percorrer as posições da matriz foi o ilustrado na Figura 4.7, a azul. De uma forma geral, este segue o sentido do movimento.

As fórmulas utilizadas para o cálculo dos fatores F_{Ax} e F_{Ay} são:

$$F_{Axy} = K_{fa} * (V_{max} - V_{mov}) \quad (4.5)$$

$$F_{Ax} = \begin{cases} F_{Axy}, & \text{se } F_{Axy} \text{ inteiro} \\ \text{ceil}(F_{Axy}), & \text{se } F_{Axy} \text{ não inteiro e } \Delta x > \Delta y \\ \text{floor}(F_{Axy}), & \text{se } F_{Axy} \text{ não inteiro e } \Delta y > \Delta x \end{cases} \quad (4.6)$$

$$F_{Ay} = \begin{cases} F_{Axy}, & \text{se } F_{Axy} \text{ inteiro} \\ \text{ceil}(F_{Axy}), & \text{se } F_{Axy} \text{ não inteiro e } \Delta y > \Delta x \\ \text{floor}(F_{Axy}), & \text{se } F_{Axy} \text{ não inteiro e } \Delta x > \Delta y \end{cases} \quad (4.7)$$

onde as variáveis utilizadas se encontram agregadas na tabela seguinte (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Conjunto de variáveis associadas à velocidade do movimento do utilizador e respetiva descrição

Variáveis	Descrição
FA_{xy}	Fator geral de alargamento da área de deteção
K_{fa}	Constante de afinação do fator de alargamento
V_{max}	Velocidade máxima admitida para o movimento
V_{mov}	Velocidade definida para o movimento
FA_x	Fator de alargamento horizontal da área de deteção
FA_y	Fator de alargamento vertical da área de deteção
Δx	Deslocamento horizontal
Δy	Deslocamento vertical

Além disso, *ceil* e *floor* são funções de arredondamento por excesso e por defeito, respetivamente. Como se pode verificar, favorece-se a deteção na direção do movimento. Como já foi mencionado, convencionou-se que a velocidade máxima admitida é $V_{max} = 7 \text{ km/h}$. Do mesmo modo, definiu-se para o presente trabalho o valor $K_{fa} = 1/2$.

Da utilização das fórmulas anteriores, resultam os valores apresentados na Tabela 4.4, a qual relaciona os valores de velocidade do movimento, com os fatores de alargamento já referidos.

Tabela 4.4 - Fatores de alargamento FA_x e FA_y para diferentes valores de velocidade

V_{mov} (km/h)	FA_{xy}	FA_x		FA_y	
		$\Delta x > \Delta y$	$\Delta x < \Delta y$	$\Delta x > \Delta y$	$\Delta x < \Delta y$
3	2	2			
4	1,5	2	1	1	2
5	1	1			
6	0,5	1	0	0	1
7	0	0			

Note-se que, para valores de velocidade inferiores a 3 km/h, atribuíram-se aos fatores FA_x e FA_y os mesmos valores dos fatores correspondentes à velocidade 3 km/h. Assim, considerou-se esta velocidade como sendo a velocidade limite à qual corresponde a máxima área de deteção. Isto significa que, se o utilizador andar ainda mais devagar, a área de deteção será a mesma (área máxima). Pelo contrário, para velocidades superiores a 3 km/h, a área de deteção irá diminuir.

4.3.3 - Entrada e saída do cenário

A simulação da entrada e saída do utilizador num dado edifício foi outro dos aspetos que foi desenvolvido de forma a se assemelhar o mais possível da realidade. Assim, foi introduzida a possibilidade de o utilizador entrar/sair por um dos pontos de acesso em toda a largura da porta. De facto, nem sempre se entra/sai por uma porta exatamente pelo ponto central da mesma. Também neste trabalho é estudado este aspeto. Desta forma, o ponto de

entrada/saída é criado de forma aleatória (dentro dos limites da porta), bem como o vetor do seu movimento, uma vez que também nem sempre se entra/sai perpendicularmente à porta. Estas situações de aleatoriedade são tratadas por uma função *rand* do MATLAB.

Este aspeto ganha ainda mais importância em edifícios com pontos de acesso bastante largos (tal como os representados na simulação pelas Portas A e B) e, principalmente, se se tratar de locais caracterizados por uma grande afluência de pessoas. Visto ser este tipo de locais o destinatário (primário) para a implementação do sistema aqui concebido, também este aspeto não foi esquecido.

4.3.4 - Restrição de movimento dentro do cenário

A simulação do movimento de uma pessoa dentro do edifício não seria possível se, na representação, a posição atual do utilizador pudesse ser definida fora do edifício. Como tal, foi necessário restringir o movimento à representação cartográfica do edifício, definindo os procedimentos a adotar nas situações limites, ou seja, quando o utilizador atinge essa posição limite. Este caso é, pois, uma simulação da situação em que uma pessoa bate contra uma parede. Na realidade, quando isto acontece, tem-se a tendência de alterar a direção do movimento e continuar o movimento. Da mesma forma, na simulação, quando um utilizador atinge uma posição pertencente ao limite do edifício, este altera a sua direção, rodando um determinado ângulo para o interior do edifício.

Para exemplificar esta ação, foi realizada uma simulação num cenário sem *tags*, sendo o resultado ilustrado na Figura 4.8. Para esta simulação, foi considerada uma rotação de 90° para o interior do edifício.

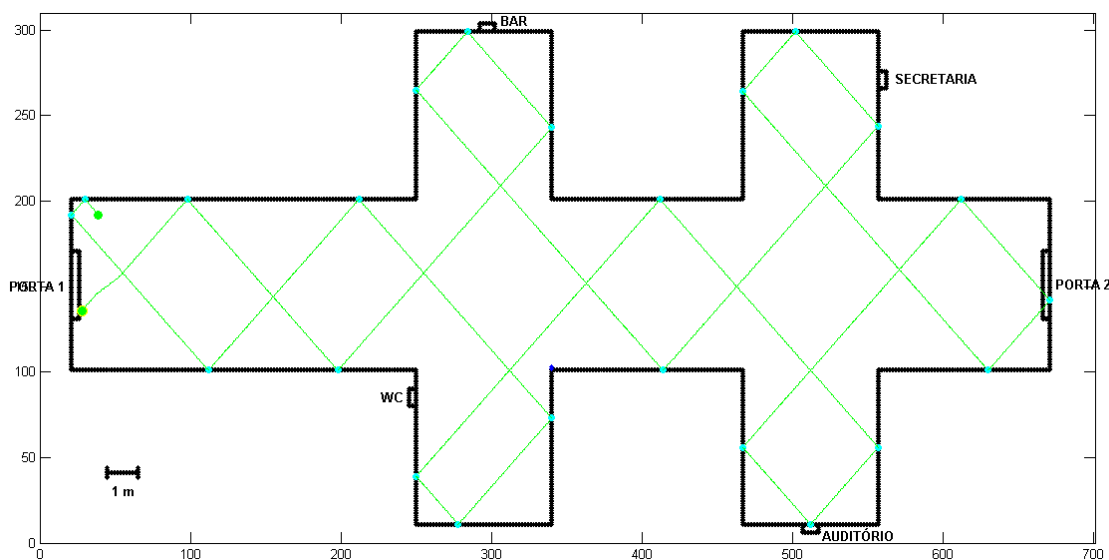


Figura 4.8 - Simulação de cenário sem *tags* para analisar situação de embate contra limite do edifício

No entanto, por se considerar ser uma resposta mais realista à situação descrita, a simulação realiza uma rotação de 60° para o interior do edifício sempre que se depara com esta situação. A escolha da rotação no sentido horário ou anti-horário é selecionada

considerando a posição do limite atingido e o vetor de movimento do utilizador. Além disso, este valor pode ser alterado consoante o tipo de simulação pretendido.

4.4 - Função de correção da trajetória

No nosso quotidiano, deparámo-nos por vezes com situações em que temos de seguir direcções para chegarmos a um determinado lugar. Esta situação nem sempre se mostra fácil, apesar de conseguirmos ver. Assim, torna-se ainda mais complicado para uma pessoa invisual se orientar através das referências normais. Também dentro de edifícios existem bastantes obstáculos. Além dos normais, existem também certas características arquitetónicas, tais como, paredes, portas ou até mesmo cruzamentos de corredores que se tornam verdadeiros obstáculos para estas pessoas.

Assim, este sistema pressupõe orientar a pessoa invisual dentro de um edifício, sendo a correção da sua trajetória feita sempre que este passe por uma *tag*. Para efetuar esta correção, o sistema necessita de conhecer pelo menos dois pontos de passagem do utilizador, os quais são dados pela passagem de duas *tags*. Por isso, após a passagem do mesmo por duas *tags*, o utilizador é questionado sobre o local para o qual pretende ir, ou seja, o seu destino. Após a seleção do destino pretendido, o sistema reúne todas as condições necessárias para fornecer ao utilizador as indicações de percurso necessárias para aquele lá chegar, da forma mais rápida e segura possível.

Iniciado o movimento do utilizador, este recebe indicações de correção da sua trajetória sempre que passar por uma *tag*. Estas podem ser precedidas de um sinal sonoro ou da vibração do terminal móvel, sendo as mesmas transmitidas em formato áudio e/ou visual. Mesmo no caso de este ir na direcção certa, ao passar numa *tag*, o sistema avisa-o para continuar em frente, dando-lhe a certeza de ir no caminho certo.

Na Figura 4.9 estão indicadas, por setas à esquerda, algumas das indicações dadas ao utilizador durante um determinado percurso.

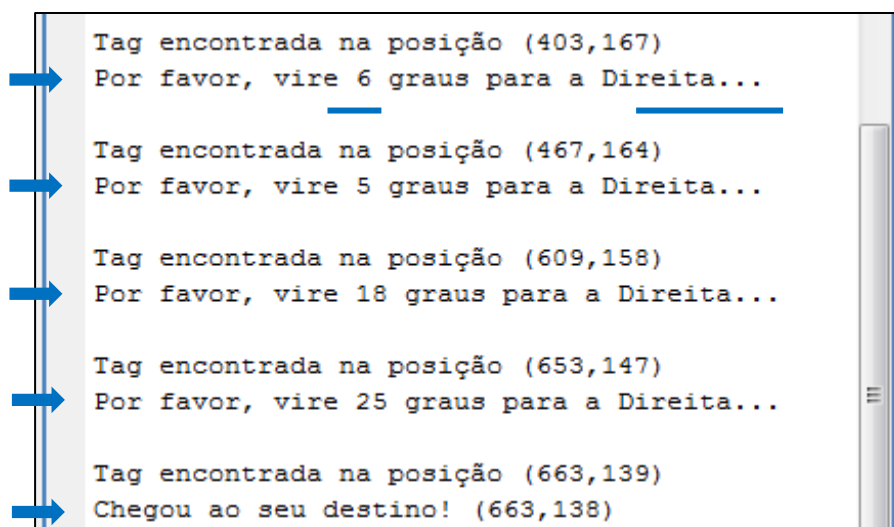


Figura 4.9 - Exemplo de indicações dadas ao utilizador durante um determinado percurso

A correção de trajetória é indicada através de um ângulo (em graus) e do sentido de rotação (esquerda, direita ou seguir em frente em caso de ângulo nulo), como está assinalado na mesma figura (sublinhado).

O cálculo dos mesmos é feito através do vetor de movimento - calculado através das posições das duas últimas *tags* encontradas - e do vetor que liga a posição atual ao ponto de destino ou ponto intermédio, conforme o percurso. A Figura 4.10 ilustra um exemplo do cálculo do ângulo de correção.

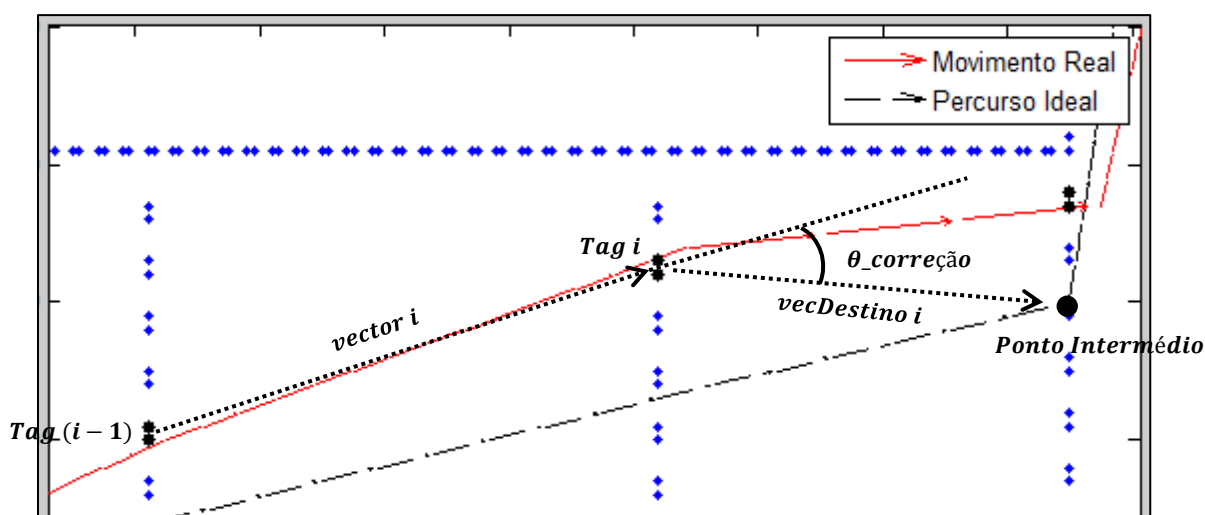


Figura 4.10 - Cálculo do ângulo de correção

Sendo $Tag(i-1)$ e $Tag i$ as últimas *tags* detetadas, o vetor de movimento é calculado pela subtração do primeiro ao último, ou seja,

$$vector i = Tag i - Tag (i - 1). \quad (4.8)$$

Por sua vez, o vetor de destino é calculado pela subtração da posição da $Tag i$ à posição do *Ponto Intermédio*, ou seja,

$$vecDestino i = Ponto Intermédio - Tag i. \quad (4.9)$$

O ângulo de correção, $\theta_{correção}$, é então calculado recorrendo à expressão (4.1), já apresentada. O sentido de rotação é calculado através do ângulo entre os vetores e do ângulo que cada um dos vetores faz com o plano horizontal. Neste caso, o utilizador deveria ter recebido o seguinte alerta: “Por favor, vire $[\theta_{correção}]$ graus à direita”.

Da análise da mesma figura é possível ver que a direção de movimento do utilizador foi corrigida após a indicação dada aquando da deteção da $Tag 2$. No entanto, o movimento representado não tem a direção da $Tag 2$ para o ponto intermédio, como esperado, uma vez que o utilizador está aqui parametrizado com um determinado erro de direção (θ_{erro}). Assim, desviou-se um pouco da direção sugerida pelo sistema de orientação.

4.5 - Função de correção extra por previsão de erro de trajetória

O mecanismo de correção extra é uma mais-valia na correção da trajetória do utilizador. Este mecanismo baseia-se no percurso anterior daquele, o qual permite inferir o quão errante o utilizador é no seguimento de uma trajetória predefinida, ou seja, se aquele se desvia muito ou pouco do percurso sugerido.

Apesar do erro de movimento (θ_{erro}) ser introduzido no programa de simulação no início da mesma (como um dos parâmetros do movimento do utilizador), a parte relativa à simulação do funcionamento do sistema desconhece este valor. Efetivamente, durante a simulação do movimento, este erro é, repetidamente, calculado usando apenas os dados do sistema concebido, ou seja, a posição atual e anterior do utilizador (fornecida pelas tags), bem como a direção que o mesmo deveria ter seguido (dada pela sua posição anterior e pelo ponto de destino/intermédio, conforme o caso).

A Figura 4.11 ilustra o funcionamento da correção extra por previsão. Considerando a trajetória predefinida entre a posição da Tag ($i - 1$) e o ponto intermédio (assinalado a verde), pode-se verificar que o utilizador se desorientou um pouco, acabando por detetar a Tag i (assinalada a vermelho).

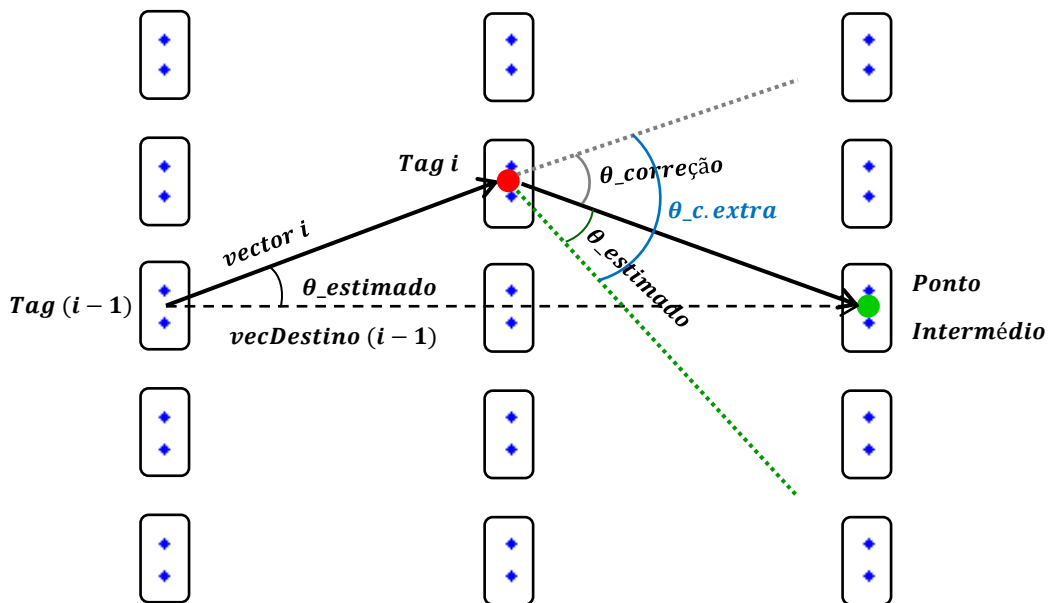


Figura 4.11 - Exemplo do funcionamento da correção por previsão. A seta a preto (cheio) indica o movimento do utilizador; a seta horizontal a tracejado indica o movimento que o utilizador deveria ter seguido (movimento indicado pelo sistema)

Nesse momento é possível estimar o erro angular com que este se deslocou. Para tal, são criados dois vetores: o vetor de movimento e o vetor de destino, tal como já descrito anteriormente. Assim, para o efeito de cálculo deste erro de direção estimado ($\theta_{estimado}$), o vetor de movimento é o mesmo que foi usado no cálculo do $\theta_{correcao}$ (expressão (4.8)).

No entanto, o vetor de destino é o previamente calculado aquando da passagem pela *tag* anterior, isto é,

$$\text{vecDestino}(i - 1) = \text{Ponto Intermédio} - \text{Tag}(i - 1). \quad (4.10)$$

Este último tem a direção que o utilizador deveria ter seguido (ou seja, a direção que lhe foi indicada na *tag* ($i - 1$)). Desta forma, calculando o ângulo entre os vetores referidos atrás, é possível estimar o ângulo de imprecisão do utilizador, ou seja, o θ_{estimado} , assinalado na mesma figura.

Assim, ao mecanismo de correção descrito na secção anterior, o qual dá indicação ao utilizador para corrigir [$\theta_{\text{correção}}$] graus a sua direção, é acrescentado este mecanismo de soma (ou subtração, conforme o caso) de [θ_{estimado}] graus. Ao utilizador é, então, dada indicação para corrigir [$\theta_{c.\text{extra}}$] graus a sua direção, como se ilustra na Figura 4.11. Assim, supondo que o utilizador mantém o erro de direção com que realizou o percurso anterior, este irá em direção ao ponto intermédio, como pretendido.

Além disso, para o cálculo do ângulo de correção com previsão ($\theta_{c.\text{extra}}$), o peso do valor do erro estimado (θ_{estimado}) pode ser configurado, dando-lhe mais ou menos importância. No simulador desenvolvido, esse peso é definido através do fator de intensidade $K_{\theta_{c.\text{extra}}}$ (já apresentado na Tabela 4.1), sendo este introduzido pelo utilizador no início da simulação.

Portanto, a partir da previsão de que o utilizador vem com um dado erro estimado, é-lhe fornecida informação personalizada para corrigir a sua direção, através do ângulo

$$\theta_{c.\text{extra}} = \theta_{\text{correção}} + (\theta_{\text{estimado}} \times K_{\theta_{c.\text{extra}}}). \quad (4.11)$$

Pode-se, assim, dizer que se trata de um mecanismo adaptativo.

4.6 - Importação de cenários de simulação e escalonamento

Para realizar as simulações dos cenários definidos, foi necessário criar mapas de edifícios e de disposição de *tags*, a partir dos quais fosse possível fazer as representações necessárias. Assim, foram criados dois tipos de ficheiros: ficheiros com mapas de edifícios (como se ilustra na Figura 4.12) e ficheiros com mapas de edifícios e de disposição de *tags* (como o da Figura 4.13). Ambos foram criados utilizando a ferramenta de desenho Paint, por ser de fácil uso e capaz de satisfazer as necessidades existentes.

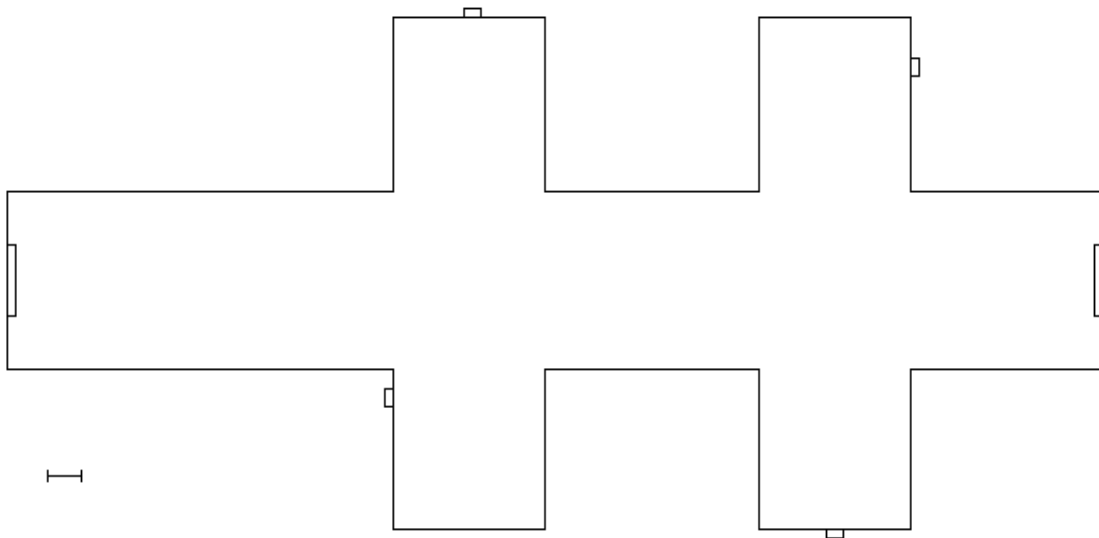


Figura 4.12 - Exemplo de um ficheiro com mapa de um edifício

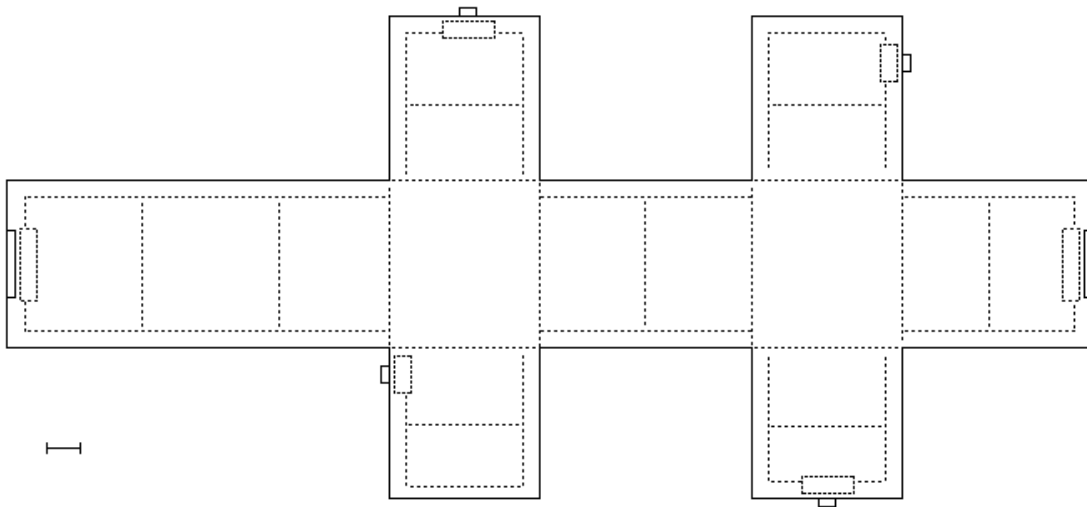


Figura 4.13 - Exemplo de um ficheiro com mapa de edifício e disposição de tags

A criação de um ficheiro contendo, simultaneamente, o mapa do edifício e a disposição das tags, tornou mais fácil a segunda tarefa. Assim, foi possível ter a noção de distâncias para a colocação das tags, além de permitir adaptar as estratégias aos mapas utilizados. Por sua vez, a criação de ficheiros contendo apenas o mapa do edifício foi necessária para realizar uma subtração entre os dois ficheiros e atribuir o resultado a uma matriz. Isto permitiu utilizar a estratégia de disposição e o mapa do edifício em separado, estando cada um destes atribuído a uma matriz diferente. Estas matrizes são binárias, ou seja, possuem o valor “1” nas posições onde estão representados os mapas e “0” nas restantes posições. Esta

informação é importante para representar os cenários pretendidos, bem como para analisar a detecção de *tags* na posição atual do utilizador, entre outros.

Tanto a representação do mapa do edifício como a do mapa de disposição de *tags* foram escalonados a uma escala de 5:1 (5 cm para um pixel), ou seja, cada 20 pixéis da representação correspondem a 1 m na realidade, como indicado na representação.

Tal como já foi referido, cada *tag* possui de dimensões 8,5 cm x 5,5 cm. Assim, convencionou-se que esta seria representada por 2 pixéis.

De um modo geral, nas fileiras duplas de *tags*, estas distam uma da outra 10 pixéis, o que corresponde a uma distância real de 0,5 m. Da mesma maneira, também as fileiras colocadas longitudinalmente aos corredores distam 0,5 m da parede do edifício.

Assim, a escolha das dimensões do mapa do edifício representado prenderam-se, principalmente, com o fato de permitir a melhor visualização da representação geral. No entanto, a GUI do simulador possui a opção de ampliação da representação, permitindo analisá-la de forma mais detalhada.

4.7 - Cálculo da distância percorrida

Um dos critérios de avaliação de desempenho é a eficiência espacial, a qual se prende com a distância percorrida. Assim, para realizar esta avaliação, foram criadas duas rotinas de acumulação de distância que permitem calcular a distância percorrida pelo utilizador e a distância do percurso ideal.

O cálculo da distância percorrida pelo utilizador é feito a cada iteração do programa, a partir das suas componentes de deslocamento Δx e Δy . A fórmula seguinte apresenta esse cálculo:

$$D_{real} = D_{real} + \text{sqrt}(\text{round}(\Delta x)^2 + \text{round}(\Delta y)^2) , \quad (4.12)$$

onde D_{real} é a distância percorrida, Δx é a componente horizontal do deslocamento e Δy é a componente vertical. Este cálculo é feito com base em dados do simulador, o qual conhece todo o traçado de deslocamento do utilizador.

Esta informação é mostrada no final de cada simulação e será usada mais à frente, aquando da análise de simulações, para avaliar a desempenho do sistema.

Capítulo 5

Resultados e análise das simulações

Este capítulo expõe os testes realizados ao sistema concebido. São aqui apresentados os resultados das simulações realizadas, bem como as respetivas análises e avaliações de desempenho. O capítulo inicia-se com a exposição de algumas considerações importantes e com a definição dos cenários a simular.

5.1 - Considerações iniciais

De modo a avaliar a eficiência espacial e temporal do sistema concebido, foram realizadas várias simulações, cujos resultados serão apresentados mais à frente. Os parâmetros de entrada utilizados foram definidos *à priori*. Além disso, de maneira a ser possível fazer comparações de resultados e retirar conclusões, é necessário que todas as simulações sejam realizadas nas mesmas condições. Para tal, a rotina que permite a entrada/saída do utilizador em toda a largura dos pontos de acesso, seleccionando uma posição de forma aleatória, foi desativada passando a entrada/saída a fazer-se pela posição central do ponto de acesso (mas com ângulo de entrada configurável).

Além disso, sempre que as simulações foram realizadas com o mecanismo de previsão de trajetória ativado, foi utilizado um factor de intensidade $K_{\theta_c.extra} = 0,5$.

Desta forma, podemos afirmar que as simulações realizadas são determinísticas, ou seja, o seu resultado será sempre o mesmo para os mesmos valores dos parâmetros de entrada. Desta forma, cada cenário apenas foi simulado uma vez.

Para a análise de eficiência temporal, foi considerado o conceito de “tempo ótimo” como sendo o tempo necessário para realizar um determinado percurso, à velocidade média de uma pessoa a caminhar, ou seja, 5 km/h (como já referenciado). Para além disso, assume-se que é percorrida a trajetória ideal, tal como faria uma pessoa com capacidade visual. Assim, este conceito servirá de comparação para avaliar a desempenho do sistema.

5.2 - Parâmetros de simulação

Para avaliar a eficiência espacial do sistema, foram utilizados os seguintes parâmetros de entrada: posição inicial, destino, velocidade do movimento, ângulo de entrada na posição inicial (α), erro de direção do movimento do utilizador (θ_{erro}) e ativação/desativação da correção extra por previsão de trajetória. A Tabela 5.1 mostra os valores definidos para estes parâmetros a serem utilizados nas simulações. Consideraram-se os ângulos com valores positivos como sendo ângulos anti-horários. Os valores a simular foram definidos através da escolha de valores interessantes e importantes do ponto de vista da obtenção de resultados, tentando-se considerar os valores limites e médios, de modo geral. Além disso, a quantidade de valores de cada parâmetro a simular foi restringida devido ao grande aumento de cenários possíveis que a adição de cada um provocava.

Tabela 5.1 - Definição de valores para os parâmetros de entrada

Parâmetro	Valores definidos para o parâmetro
Posição Inicial	Porta A, Porta B, Bar, WC, Secretaria, Auditório
Destino	Porta A, Porta B, Bar, WC, Secretaria, Auditório
Velocidade do movimento	3 km/h, 5 km/h, 7 km/h,
Ângulo de entrada (α)	-30°, 0°, 30°
Erro de direção (θ_{erro})	≈ 0°, 5°, 10°
Mecanismo de previsão de trajetória	s, n (sim ou não)

A partir dos parâmetros “Posição Inicial” e “Destino”, foram definidos os seguintes percursos de simulação:

- Percurso A: entre a Porta A e a Porta B;
- Percurso B: entre a Porta B e o Bar;
- Percurso C: entre o Bar e o Auditório.

Estes foram definidos de maneira a simular todos os tipos de percurso existentes: percursos em que a posição inicial e o destino estão em linha de vista (mesmo corredor), percursos com um ponto intermédio (um cruzamento de corredores) e percursos com dois pontos intermédios (dois cruzamentos). É o caso dos percursos A, B e C, respetivamente. Com a introdução de pontos intermédios, aumenta também a complexidade do percurso a realizar. As imagens seguintes - Figura 5.1, Figura 5.2 e Figura 5.3 - representam cenários dos percursos mencionados.

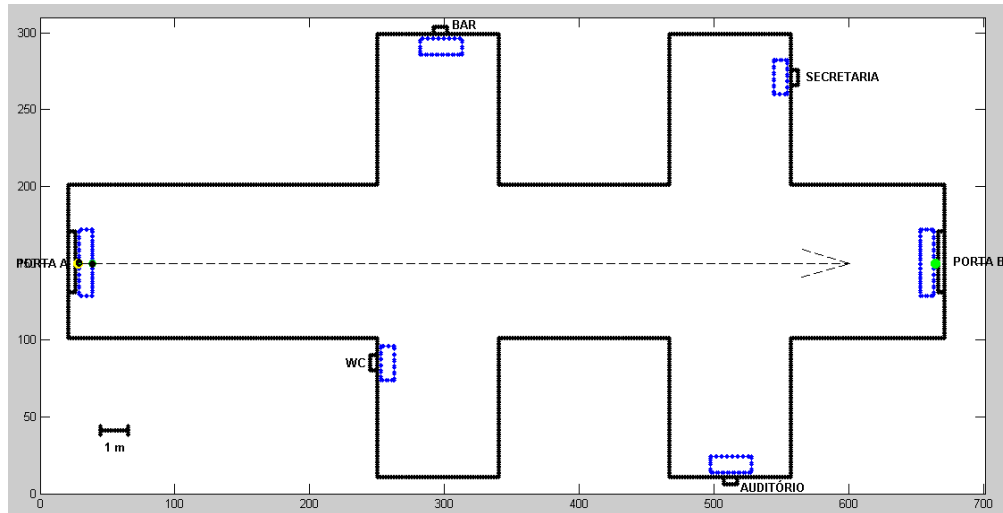


Figura 5.1 - Representação do percurso A

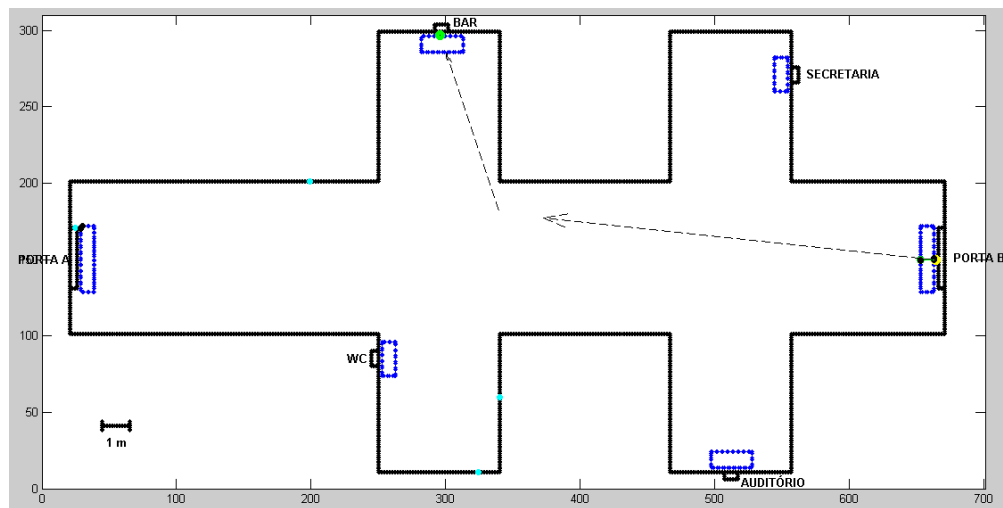


Figura 5.2 - Representação do percurso B

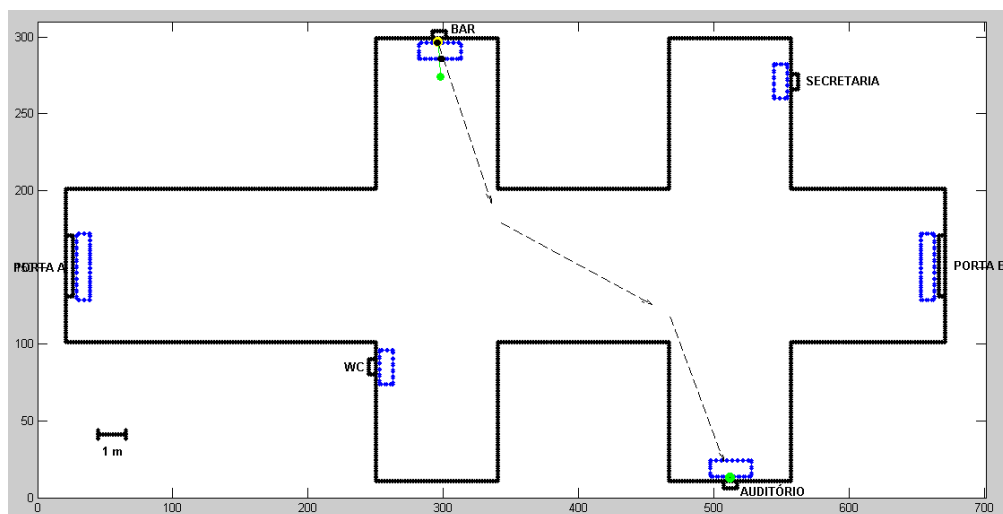


Figura 5.3 - Representação do percurso C

O mapa de edifício a utilizar será o representado pela Figura 4.12, já apresentado, e serão consideradas todas as estratégias de disposição de *tags* definidas. As distâncias real e ideal foram calculadas entre a posição inicial da simulação e a posição final da mesma. Assim, a eficiência espacial será calculada utilizando a expressão (3.1).

Por sua vez, a eficiência temporal será obtida através da relação percentual entre o tempo ótimo (conceito já explicado) e o tempo real. A sua análise apenas foi feita para os valores de 5 km/h e de 7 km/h do parâmetro *velocidade de movimento*, por se considerar serem os mais interessantes do ponto de vista das conclusões a tirar. Assim, esta análise foi feita com base em valores calculados nas primeiras simulações (para cálculo da eficiência espacial), nomeadamente, valores de Distância Ótima e Distância Real. Assim, a eficiência temporal será calculada utilizando a expressão (3.3).

5.3 - Definição de cenários

A partir dos parâmetros definidos anteriormente, foram criados vários cenários de simulação. Para cada um, será criada uma tabela com os resultados da sua simulação. Os cenários de simulação são configurações de parâmetros predefinidos a utilizar, nomeadamente, o percurso a realizar e a velocidade do movimento. Os restantes parâmetros já mencionados serão considerados em todos os cenários.

Desta forma, foram definidos 9 cenários de simulação, resultante da conjugação dos 2 parâmetros configuráveis para cada cenário (3 percursos e 3 velocidades de movimento). A nomenclatura definida para indicação de cada cenário foi *Cenário L.x*, sendo *L* a letra correspondente ao percurso a simular e *x* o algarismo correspondente à velocidade do movimento, os quais podem tomar os valores apresentados na Tabela 5.2. Devido a alguma restrição temporal, não foram realizadas simulações para o percurso B (percurso de dificuldade média).

Exemplificando, o Cenário A.3 corresponde ao cenário de simulação do percurso A com uma velocidade de movimento de 3 km/h. Serão apresentados resultados deste cenário para cada combinação de valores dos restantes parâmetros (estratégias de disposição de *tags*, ângulo de entrada, entre outros).

Tabela 5.2 - Nomenclatura dos cenários simulados

Descrição		Valores	Correspondência
L	Percurso a simular	A	Percurso A
		B	Percurso B
		C	Percurso C
Y	Velocidade do movimento	3	Velocidade de movimento 3 km/h (passo lento)
		5	Velocidade de movimento 5 km/h (passo normal)
		7	Velocidade de movimento 7 km/h (passo rápido)

5.4 - Resultados

As imagens seguintes - Figura 5.4, Figura 5.5 e Figura 5.6 - são exemplos de simulações dos cenários A para o mapa de densidade mínima, média e máxima, respetivamente. Tal como a legenda da figura indica, o percurso indicado a preto tracejado é o percurso ideal enquanto que o percurso a vermelho é o percurso realizado pelo utilizador.

Também as tabelas abaixo apresentadas - Tabela 5.3, Tabela 5.4 e Tabela 5.5 - mostram os resultados obtidos para o percurso A (entre a Porta A e a Porta B). Este percurso é de baixa complexidade pois apenas contempla a passagem por um corredor.

As velocidades de movimento (V_{mov}) utilizadas nas simulações foram 3, 5 e 7 km/h, respetivamente. Estas retratam um utilizador a caminhar com um passo lento, normal e acelerado, respetivamente, o que se traduz na deteção de mais ou menos *tags*.

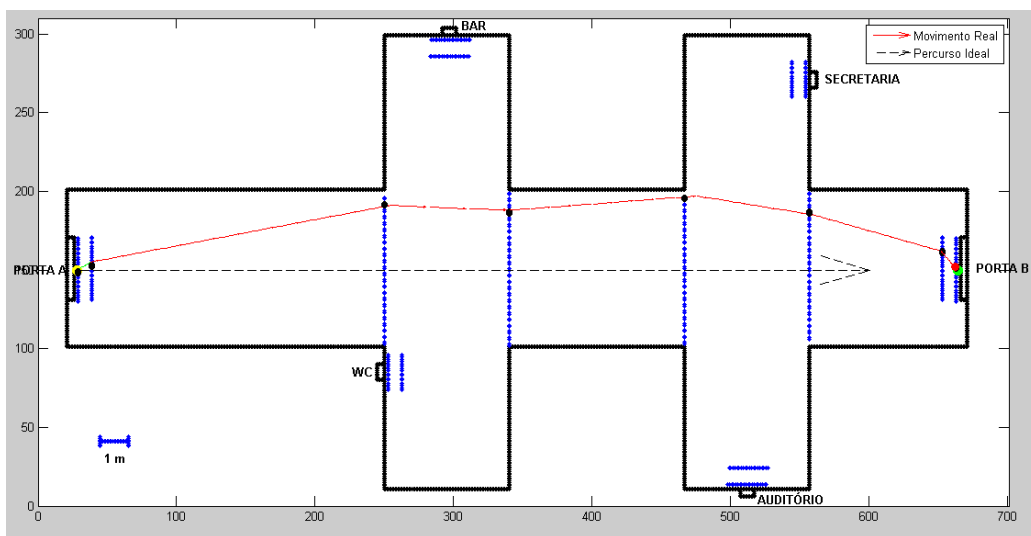


Figura 5.4 - Exemplo de uma simulação do percurso A com o mapa de densidade mínima

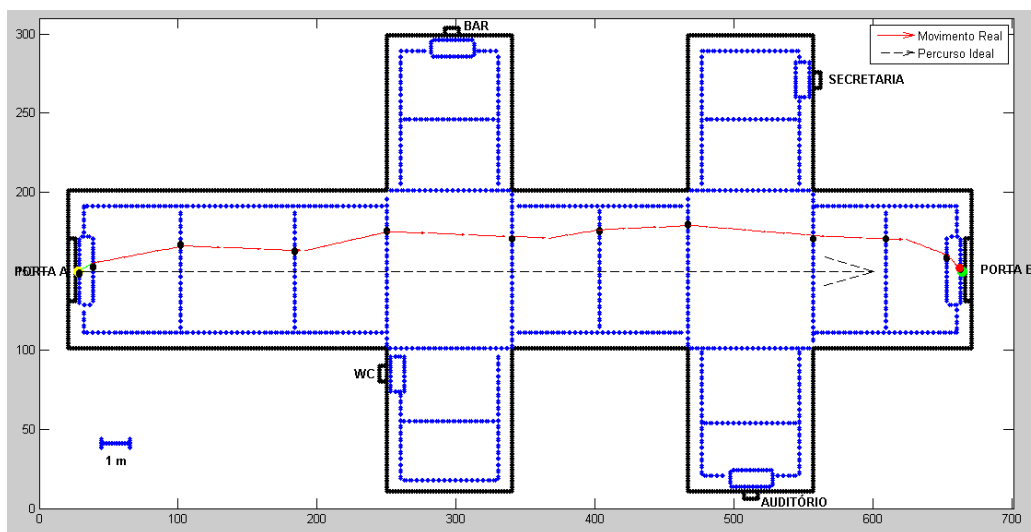


Figura 5.5 - Exemplo de uma simulação do percurso A com o mapa de densidade média

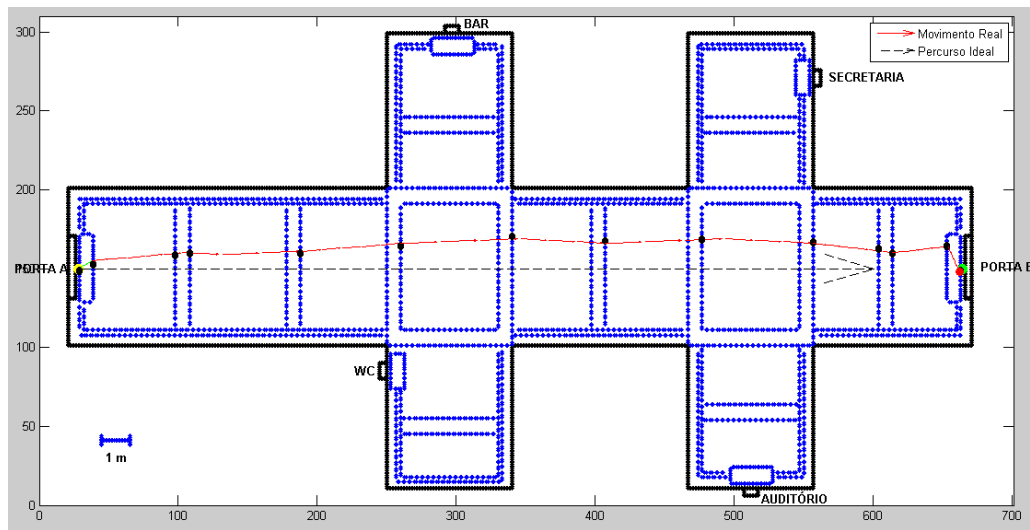


Figura 5.6 - Exemplo de uma simulação do percurso A com o mapa de densidade máxima

Tabela 5.3 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário A.3 (percurso A, velocidade 3 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de tags

Cenário A.3									
Ângulo de entrada (α)	Erro de direção do movimento (θ_{erro})	Mecanismo de previsão de trajetória	Distância Ótima (m)	Mapa de densidade mínima		Mapa de densidade média		Mapa de densidade máxima	
				Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)
30°	10	Sem previsão	31,8	.. ¹	-	33,1	96,07%	32,9	96,66%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		81,6 ²	38,97%	32,3	98,45%	33,3	95,50%
	5	Sem previsão		31,9	99,69%	31,9	99,69%	32,7	97,25%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		31,9	99,69%	32,0	99,38%	33,8	94,08%
	0	Sem previsão		31,8	100,00%	32,2	98,76%	32,4	98,15%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		31,8	100,00%	32,1	99,07%	33,4	95,21%
0°	10	Sem previsão		34,6 ²	91,91%	32,1	99,07%	32,0	99,38%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		31,9	99,69%	31,9	99,69%	34,0	93,53%
	5	Sem previsão		32,3	98,45%	31,8	100,00%	33,2	95,78%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		32,2	98,76%	32,0	99,38%	33,1	96,07%
	0	Sem previsão		31,8	100,00%	32,0	99,38%	32,4	98,15%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		32,0	99,38%	32,0	99,38%	34,1	93,26%
-30°	10	Sem previsão	32,1	99,07%	32,2	98,76%	32,2	98,76%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	32,1	99,07%	32,3	98,45%	32,2	98,76%	
	5	Sem previsão	32,5	97,85%	32,0	99,38%	32,2	98,76%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	33,4	95,21%	32,1	99,07%	33,4	95,21%	
	0	Sem previsão	32,3	98,45%	32,6	97,55%	32,2	98,76%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	31,9	99,69%	32,1	99,07%	32,4	98,15%	
Média				35,2	95,05%	32,2	98,92%	32,9	96,74%

¹ Não foi possível alcançar o destino pretendido

² Valor obtido para um movimento com um ângulo de rotação diferente de 60° quando bate numa parede

Tabela 5.4 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário A.5 (percurso A, velocidade 5 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de tags

Cenário A.5									
Ângulo de entrada (α)	Erro de direção do movimento (θ_{erro})	Mecanismo de previsão de trajetória	Distância Ótima (m)	Mapa de densidade mínima		Mapa de densidade média		Mapa de densidade máxima	
				Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)
30°	10	Sem previsão	31,8	34,9 ³	91,12%	33,2	95,78%	32,1	99,07%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		32,3	98,45%	32,2	98,76%	32,8	96,95%
	5	Sem previsão		32,1	99,07%	31,9	99,69%	31,9	99,69%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		31,9	99,69%	32,2	98,76%	32,3	98,45%
	0	Sem previsão		31,8	100,00%	31,8	100,00%	32,2	98,76%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		32,0	99,38%	32,0	99,38%	32,7	97,25%
0°	10	Sem previsão		34,6 ³	91,91%	32,3	98,45%	32,3	98,45%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		32,2	98,76%	33,0	96,36%	32,2	98,76%
	5	Sem previsão		31,8	100,00%	31,8	100,00%	31,9	99,69%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		32,5	97,85%	32,1	99,07%	32,4	98,15%
	0	Sem previsão		32,1	99,07%	32,0	99,38%	31,9	99,69%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		31,8	100,00%	32,0	99,38%	32,6	97,55%
-30°	10	Sem previsão	34,9 ³	91,12%	33,2	95,78%	33,0	96,36%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	32,3	98,45%	32,1	99,07%	32,3	98,45%	
	5	Sem previsão	32,0	99,38%	32,0	99,38%	32,0	99,38%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	32,0	99,38%	32,0	99,38%	32,1	99,07%	
	0	Sem previsão	31,8	100,00%	31,9	99,69%	32,0	99,38%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	31,9	99,69%	31,8	100,00%	32,6	97,55%	
Média				32,5	97,96%	32,2	98,79%	32,3	98,48%

³ Valor obtido para um movimento com um ângulo de rotação diferente de 60° quando bate numa parede

Tabela 5.5 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário A.7 (percurso A, velocidade 7 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de tags

Cenário A.7									
Ângulo de entrada (a)	Erro de direção do movimento (θ_{erro})	Mecanismo de previsão de trajetória	Distância Ótima (m)	Mapa de densidade mínima		Mapa de densidade média		Mapa de densidade máxima	
				Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)
30°	10	Sem previsão	31,8	34,5 ⁴	92,17%	35,5 ⁴	89,58%	32,3	98,45%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		34,1 ⁴	93,26%	32,1	99,07%	32,2	98,76%
	5	Sem previsão		32,0	99,38%	32,0	99,38%	32,0	99,38%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		32,0	99,38%	31,9	99,69%	32,0	99,38%
	0	Sem previsão		31,9	99,69%	32,1	99,07%	31,9	99,69%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		31,9	99,69%	32,2	98,76%	31,9	99,69%
0°	10	Sem previsão		32,0	99,38%	32,3	98,45%	32,2	98,76%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		32,0	99,38%	32,2	98,76%	32,0	99,38%
	5	Sem previsão		31,9	99,69%	31,9	99,69%	31,9	99,69%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		31,9	99,69%	31,9	99,69%	31,8	100,00%
	0	Sem previsão		31,9	99,69%	32,1	99,07%	31,9	99,69%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		31,9	99,69%	32,1	99,07%	31,9	99,69%
-30°	10	Sem previsão	- ⁵	-	32,5	97,85%	32,3	98,45%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	32,3	98,45%	32,5	97,85%	32,2	98,76%	
	5	Sem previsão	32,0	99,38%	32,0	99,38%	32,1	99,07%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	32,1	99,07%	32,0	99,38%	32,3	98,45%	
	0	Sem previsão	32,3	98,45%	32,0	99,38%	32,6	97,55%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	32,0	99,38%	32,2	98,76%	32,0	99,38%	
Média				32,3	98,57%	32,3	98,49%	32,1	99,12%

⁴ Valor obtido para um movimento com um ângulo de rotação diferente de 60° quando bate numa parede

⁵ Não foi possível alcançar o destino pretendido

De um modo geral, obtiveram-se valores percentuais médios bastante satisfatórios, como se verifica na última linha das tabelas. Estes situam-se acima dos 90%, o que é bastante aceitável. No entanto, como se verifica pelas notas 1 e 5, nem sempre foi possível alcançar o destino pretendido. Como tal, estes valores não foram considerados para a média final. De facto, nas situações mencionadas, dada a baixa densidade de *tags*, as indicações de correção não se revelaram eficientes. Como estas se baseiam apenas na informação que o sistema possui, ou seja, no histórico de *tags* detetadas, a correção é feita considerando que o utilizador realizou o trajeto entre *tags* em linha reta. Desta forma, caso este mude de direção por algum motivo (por exemplo, bater contra a parede), mudará de direção, o que não será detetado pelo sistema. Assim, será feita uma correção incorreta, que no caso da situação assinalada pela nota 1, levou o utilizador ao destino errado, como se verifica na Figura 5.7.

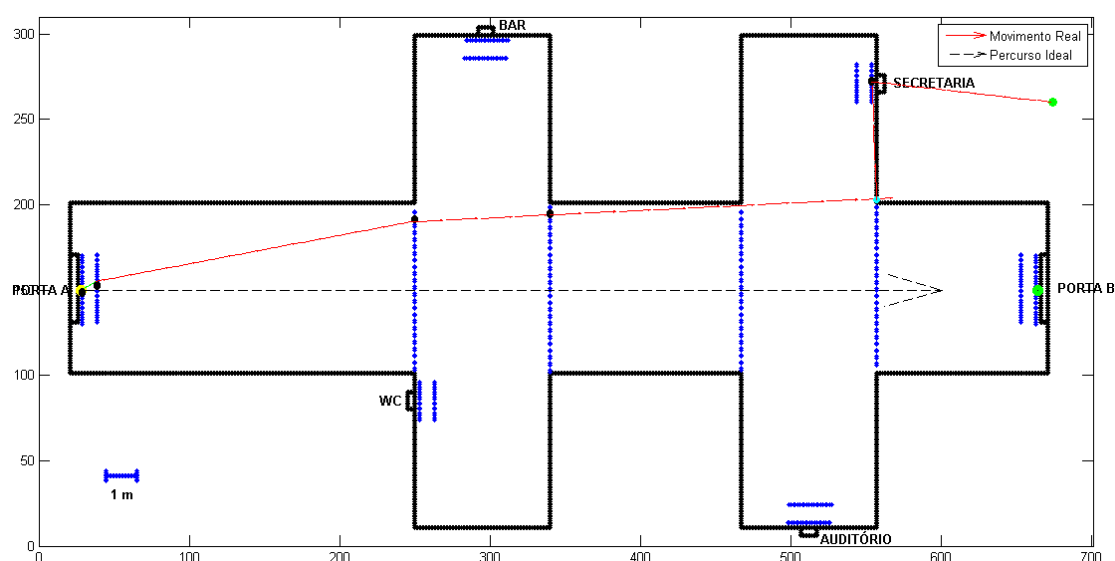


Figura 5.7 - Caso de uso do Cenário A3 (nota 1), em que o utilizador é direcionado para o destino errado

Do mesmo modo, todas as restantes notas assinaladas se referem a situações em que o utilizador se desorientou, tendo ido contra a parede. Além disso, são situações em que uma rotação de 60° não foi suficiente para manter o utilizador dentro do edifício, tendo sido necessário utilizar outro ângulo. Este último foi escolhido caso a caso, de modo a simular o movimento mais realista para cada situação. Estas situações estão, de forma geral, associadas aos piores resultados obtidos e devem-se, principalmente, à baixa densidade de *tags* e à falta das mesmas em locais específicos, tais como, cruzamentos de corredores.

Para pequenos valores do erro de direção, o mapa de densidade mínima mostrou ser suficiente mesmo para movimento com o passo acelerado. No entanto, para valores de erro de direção um pouco maiores, este mapa nem sempre é suficiente. Mesmo para cenários em que o utilizador caminhe mais devagar, por vezes, este revela resultados pouco satisfatórios (por exemplo, 38,97%).

As simulações realizadas com o mecanismo de previsão de trajetória ativada deram, de forma geral, valores de eficiência espacial superiores aos obtidos para os mesmos cenários mas sem a previsão de trajetória. Isto significa que este mecanismo permitiu que o utilizador se desviasse menos do percurso ideal. No entanto, tal nem sempre se verificou para os mapas

de densidade máxima de *tags*, principalmente para cenários com baixas velocidades de movimento. Estas velocidades são propícias à detecção de uma maior quantidade de *tags*. Contudo, estes resultados devem-se, maioritariamente, à arquitetura do mapa em questão, nomeadamente, à existência de fileiras duplas, como se mostra na Figura 5.8.

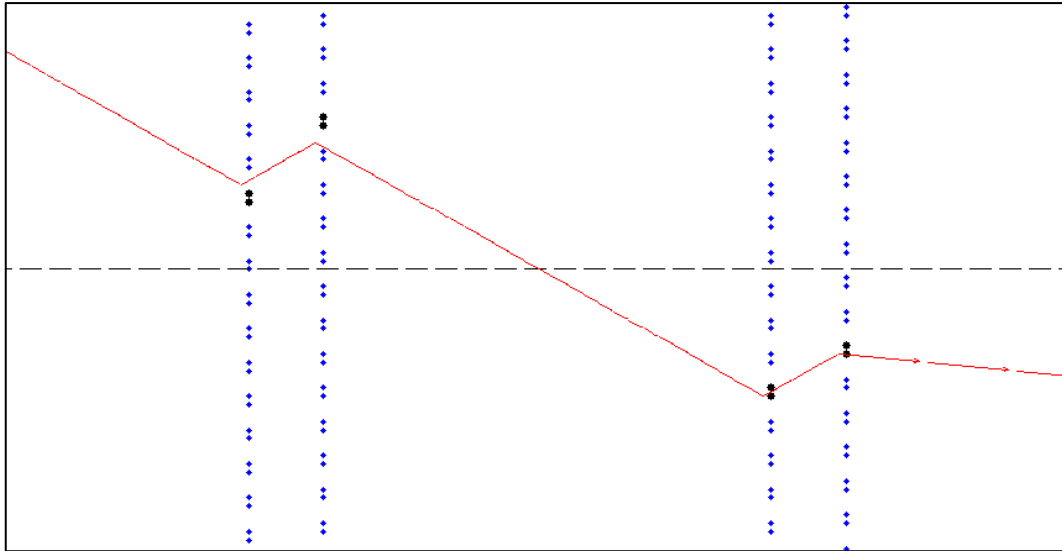


Figura 5.8- Parte do trajeto de uma simulação do cenário A3, para o mapa de densidade máxima de *tags* e com o mecanismo de previsão ativo

Desta forma, a estimação do erro de direção do utilizador é feita com base em *tags* muito próximas. Assim, geram-se valores angulares grandes, desadequados à correção. Consequentemente, a indicação de correção leva o utilizador a corrigir demasiado a sua direção, produzindo-se uma nova estimativa de erro também grande. Gera-se, então, um movimento pouco linear, com sucessivas correções para um lado e para o outro. Estes resultados permitem concluir parcialmente que, nas fileiras duplas, a distância intra-fileiras definida (0,5 m) não será a mais apropriada para a estimação de erro.

Também se verificaram alguns casos em que se obtiveram piores resultados de eficiência com o mecanismo de previsão ativa do que sem o mesmo. Tratam-se de situações pontuais derivadas, sobretudo, a situações em que o utilizador embate contra a parede durante o percurso. Como o sistema realiza a previsão apenas com base na sequência de *tags* detetada, este tipo de situações gera correções de direção erradas.

De um modo geral, a eficiência espacial do sistema aumentou do mapa de densidade mínima para os outros. Apenas o primeiro provou ser insuficiente em certas situações, originando um desempenho do sistema insatisfatório. Verificaram-se, inclusive, duas situações em que o mesmo não permitiu atingir o destino pretendido. Esta baixa desempenho deve-se, principalmente, a dois motivos: ao movimento demasiado rápido que não permitiu detetar as *tags* necessárias e/ou a inexistência (ou densidade insuficiente) de *tags* em locais importantes. Portanto, pode-se concluir que este mapa possui uma estratégia insuficiente de disposição de *tags*. Por sua vez, os valores obtidos para os mapas de densidade média e máxima são similares. Há, inclusive, situações em que o mapa de densidade máxima originou piores resultados do que o primeiro devido, sobretudo, à arquitetura do mesmo (fileiras duplas demasiado próximas), como já foi explicado. Como tal, e tendo em conta os custos

acrescidos pelo aumento do número de *tags* de um mapa para o outro, conclui-se que o mapa de densidade média é a melhor alternativa.

Tal com já foi referido, as notas 2, 3 e 4 dizem respeito a situações em que o utilizador embateu contra a parede, tendo alterado a direção do seu movimento. Por parecer ser mais adequado (realista), definiu-se como solução para essas situações a realização de uma rotação de 60° para o interior do edifício. No entanto, em certas situações, esse valor de rotação não é suficiente. Isto acontece quando o utilizador alcança a parede com uma direção quase perpendicular com a mesma. Assim, para certos cenários, foi necessário alterar o valor de rotação para valores próximos de 90° ou superiores (conforme as situações) para que o utilizador continuasse dentro do edifício. Verificou-se ainda uma situação mais crítica que foi aquela em que o utilizador bateu na parede próximo de um canto do edifício. Esta situação apenas é resolvida com uma rotação igual ou superior a 90°, sendo necessário realizar outra logo de seguida. Situações deste género geram direções de movimento imprevistas.

Em algumas simulações sem erro de direção de movimento (erro angular nulo) obtiveram-se valores de eficiência espacial ligeiramente inferiores aos ideais, quando deveriam ser iguais. Esta situação justifica-se pela existência de arredondamentos nas rotinas de criação de deslocamento (segundo Δx e Δy), para que as posições sejam sempre inteiras.

Relativamente ao percurso B - percurso entre a PORTA B e o BAR (percurso de dificuldade moderada) e, devido à limitação temporal imposta para este trabalho, já não foi possível realizar estas simulações, em tempo útil.

Quanto ao percurso C, as tabelas seguintes - Tabela 5.6, Tabela 5.7 e Tabela 5.8 - são exemplos de simulações dos cenários C3, C5 e C7, respetivamente. Portanto, ilustram o percurso entre o BAR e o AUDITÓRIO, para velocidades de movimento (V_{mov}) de 3, 5 e 7 km/h, respetivamente. Este percurso é representativo do trajeto de maior complexidade que é possível definir para o mapa do edifício em questão. Este percurso contempla a passagem por 3 corredores e, conseqüentemente, a passagem por dois cruzamentos. As imagens seguintes - Figura 5.9, Figura 5.10 e Figura 5.11 - são exemplos do percurso mencionado, utilizando os mapas de densidade mínima, média e máxima de *tags*, respetivamente.

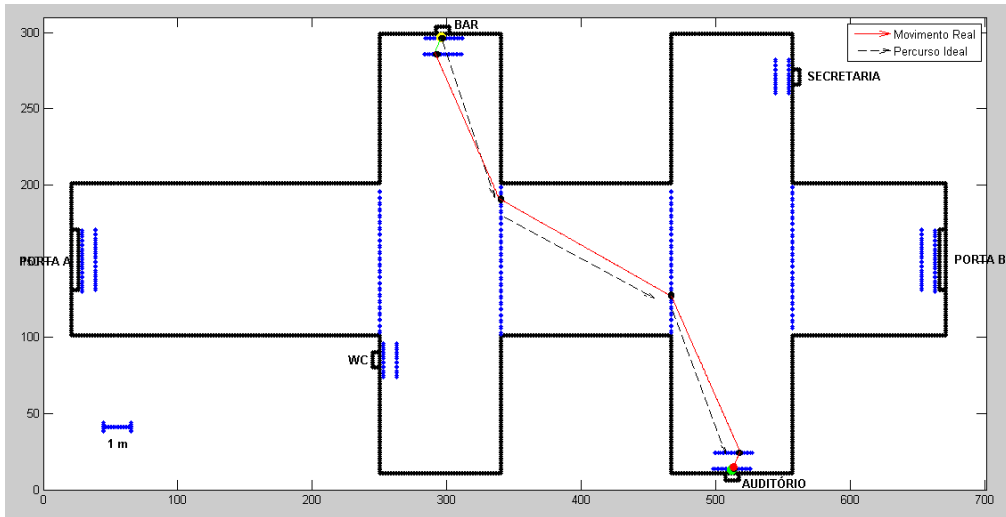


Figura 5.9 - Exemplo de uma simulação do percurso C com o mapa de densidade mínima

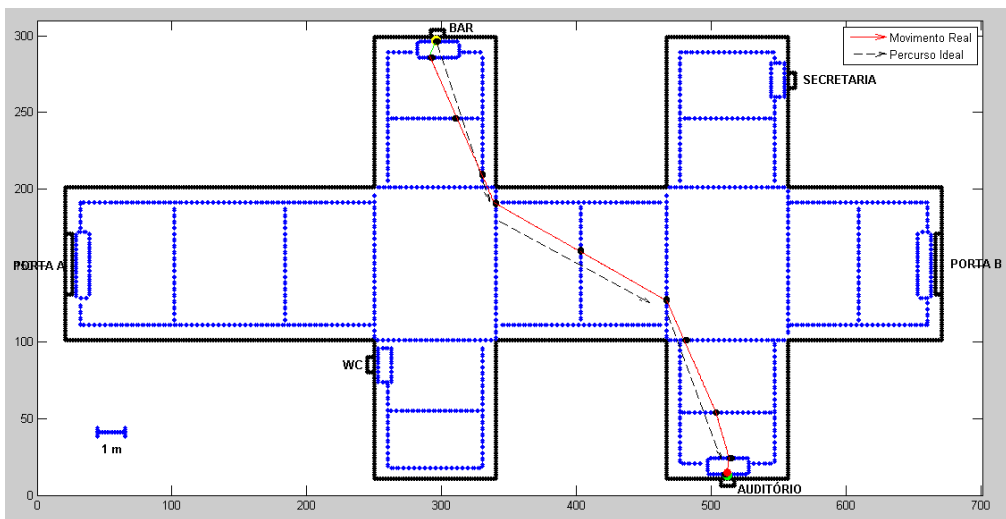


Figura 5.10 - Exemplo de uma simulação do percurso C com o mapa de densidade média

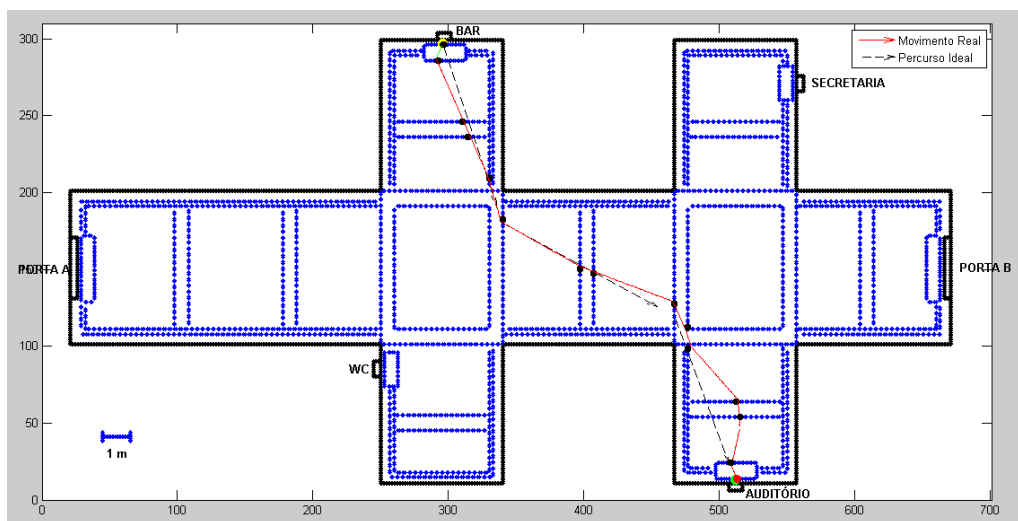


Figura 5.11 - Exemplo de uma simulação do percurso C com o mapa de densidade máxima

Tabela 5.6 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário C.3 (percurso C, velocidade 3 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de tags

Cenário C.3									
Ângulo de entrada (α)	Erro de direção do movimento (θ_{erro})	Mecanismo de previsão de trajetória	Distância Ótima (m)	Mapa de densidade mínima		Mapa de densidade média		Mapa de densidade máxima	
				Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)
30°	10	Sem previsão	19,1	58,3 ⁶	32,76%	20,6	92,72%	20,1	95,02%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		27,4	69,71%	20,8	91,83%	20,8	91,83%
	5	Sem previsão		27,1 ⁶	70,48%	20,1	95,02%	20,0	95,50%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		26,9	71,00%	20,8	91,83%	19,9	95,98%
	0	Sem previsão		26,1 ⁶	73,18%	27,4	69,71%	21,1	90,52%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		27,9	68,46%	25,4	75,20%	21,7 ⁶	88,02%
0°	10	Sem previsão		24,1	79,25%	29,0	65,86%	21,3	89,67%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		22,3	85,65%	20,3	94,09%	19,9	95,98%
	5	Sem previsão		47,2 ⁶	40,47%	19,0	100,53%	19,4	98,45%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		21,3 ⁶	89,67%	24,7	77,33%	29,1	65,64%
	0	Sem previsão		29,9 ⁶	63,88%	19,3	98,96%	19,5	97,95%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		- ⁷	-	20,7	92,27%	20,2	94,55%
-30°	10	Sem previsão	31,7	60,25%	20,5	93,17%	20,3	94,09%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	28,6 ⁶	66,78%	23,3 ⁶	81,97%	21,2	90,09%	
	5	Sem previsão	27,8 ⁶	68,71%	26,6	71,80%	20,2	94,55%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	28,4 ⁶	67,25%	20,3	94,09%	23,8	80,25%	
	0	Sem previsão	27,3	69,96%	26,8	71,27%	25,8	74,03%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	27,1	70,48%	32,0	59,69%	23,3	81,97%	
Média				30,0	67,53%	23,2	84,30%	21,5	89,67%

⁶ Valor obtido para um movimento com um ângulo de rotação diferente de 60° quando bate numa parede

⁷ Não foi possível alcançar o destino pretendido

Tabela 5.7 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário C.5 (percurso C, velocidade 5 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de tags

Cenário C.5									
Ângulo de entrada (α)	Erro de direção do movimento (θ_{erro})	Mecanismo de previsão de trajetória	Distância Ótima (m)	Mapa de densidade mínima		Mapa de densidade média		Mapa de densidade máxima	
				Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)
30°	10	Sem previsão	19,1	28,6	66,78%	24,9 ⁸	76,71%	21,8	87,61%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		27,9	68,46%	19,5 ⁸	97,95%	20,3	94,09%
	5	Sem previsão		28,1	67,97%	19,1	100,00%	19,2	99,48%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		28,8	66,32%	20,0	95,50%	19,1	100,00%
	0	Sem previsão		19,0	100,53%	19,5	97,95%	19,5	97,95%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		19,0	100,53%	19,2	99,48%	20,0	95,50%
0°	10	Sem previsão		24,2	78,93%	21,4	89,25%	19,8	96,46%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		21,0	90,95%	20,7	92,27%	21,0	90,95%
	5	Sem previsão		20,3	94,09%	24,4	78,28%	19,1	100,00%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		19,7	96,95%	19,4	98,45%	22,5	84,89%
	0	Sem previsão		19,1 ⁸	100,00%	19,6	97,45%	21,4	89,25%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		19,6 ⁸	97,45%	19,4	98,45%	20,5	93,17%
-30°	10	Sem previsão	30,6	62,42%	26,6	71,80%	21,8	87,61%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	30,4	62,83%	22,0 ⁸	86,82%	27,5	69,45%	
	5	Sem previsão	19,3	98,96%	19,2	99,48%	20,0	95,50%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	19,3	98,96%	19,8	96,46%	19,5	97,95%	
	0	Sem previsão	19,2	99,48%	19,5	97,95%	19,9	95,98%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	19,2	99,48%	20,1	95,02%	22,9	83,41%	
Média				23,0	86,17%	20,8	92,74%	20,9	92,18%

⁸ Valor obtido para um movimento com um ângulo de rotação diferente de 60° quando bate numa parede

Tabela 5.8 - Resultados de Eficiência Espacial para o Cenário C.7 (percurso C, velocidade 7 km/h). Comparação entre vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão para vários mapas de densidade de tags

Cenário C.7									
Ângulo de entrada (a)	Erro de direção do movimento (θ_{erro})	Mecanismo de previsão de trajetória	Distância Ótima (m)	Mapa de densidade mínima		Mapa de densidade média		Mapa de densidade máxima	
				Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)	Distância Real (m)	Eficiência Espacial (%)
30°	10	Sem previsão	19,1	29,9 ⁹	63,88%	21,7	88,02%	19,9	95,98%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		27,1 ⁹	70,48%	20,6	92,72%	20,1	95,02%
	5	Sem previsão		27,7 ⁹	68,95%	25,9	73,75%	21,7	88,02%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		27,9 ⁹	68,46%	23,7	80,59%	19,6	97,45%
	0	Sem previsão		19,6 ⁹	97,45%	19,6	97,45%	19,8	96,46%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		19,5	97,95%	19,5	97,95%	19,7	96,95%
0°	10	Sem previsão		36,5 ⁹	52,33%	21,7	88,02%	21,4	89,25%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		28,7 ⁹	66,55%	19,4	98,45%	20,7	92,27%
	5	Sem previsão		27,6	69,20%	19,3	98,96%	20,4	93,63%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		28,2	67,73%	19,7	96,95%	20,4	93,63%
	0	Sem previsão		19,0	100,53%	19,5	97,95%	19,0	100,53%
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$		19,0	100,53%	20,2	94,55%	19,1	100,00%
-30°	10	Sem previsão	33,0 ⁹	57,88%	32,1	59,50%	20,9	91,39%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	30,8	62,01%	24,2	78,93%	20,9	91,39%	
	5	Sem previsão	22,0 ⁹	86,82%	20,3	94,09%	19,8	96,46%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	19,9	95,98%	19,4	98,45%	19,6	97,45%	
	0	Sem previsão	22,0 ⁹	86,82%	20,1	95,02%	19,3	98,96%	
		Com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	22,0 ⁹	86,82%	19,7	96,95%	19,3	98,96%	
Média				25,6	77,80%	21,5	90,46%	20,1	95,21%

⁹ Valor obtido para um movimento com um ângulo de rotação diferente de 60° quando bate numa parede

Os resultados obtidos para este percurso revelam que a eficiência do sistema foi um pouco menor, o que se justifica pelo aumento de complexidade do percurso. Ainda assim, obtiveram-se valores médios de eficiência superiores a 80%, exceto para a utilização do mapa de densidade mínima no cenário A.3. Portanto, continuam a ser bastante satisfatórios.

No entanto, verifica-se novamente que o mapa de densidade mínima não garante uma boa desempenho do sistema, tendo-se obtido valores abaixo dos 35%. Além disso, verificou-se novamente uma situação em que o utilizador não conseguiu chegar ao destino pretendido (situação assinalada com a nota 7). Esta situação não foi considerada para o cálculo da eficiência média. Também não interessa ter apenas em conta os valores médios mas também os mínimos. Portanto, conclui-se que a estratégia de disposição aplicada pelo referido mapa nem sempre revela efetividade.

De um modo geral, verifica-se mais uma vez que a eficiência espacial do sistema aumentou com a densidade de *tags*. Há também alguns casos em que se obtiveram melhores valores para o mapa de densidade média do que para o de densidade máxima. Apesar de não serem muitos, dado o custo do acréscimo de *tags* de um mapa para o outro, concluiu-se que o mapa de densidade média é aquele que apresenta a melhor relação custo/benefício.

Nas simulações referentes ao percurso C obtiveram-se alguns valores percentuais acima dos 100%. No entanto, estes não devem ser considerados melhores do que valores ligeiramente abaixo desse valor pois estes têm de ser contextualizados. Estes provêm de situações em que o utilizador ‘cortou’ caminho junto às esquinas formadas pelo cruzamento de corredores, como ilustra a Figura 5.12.

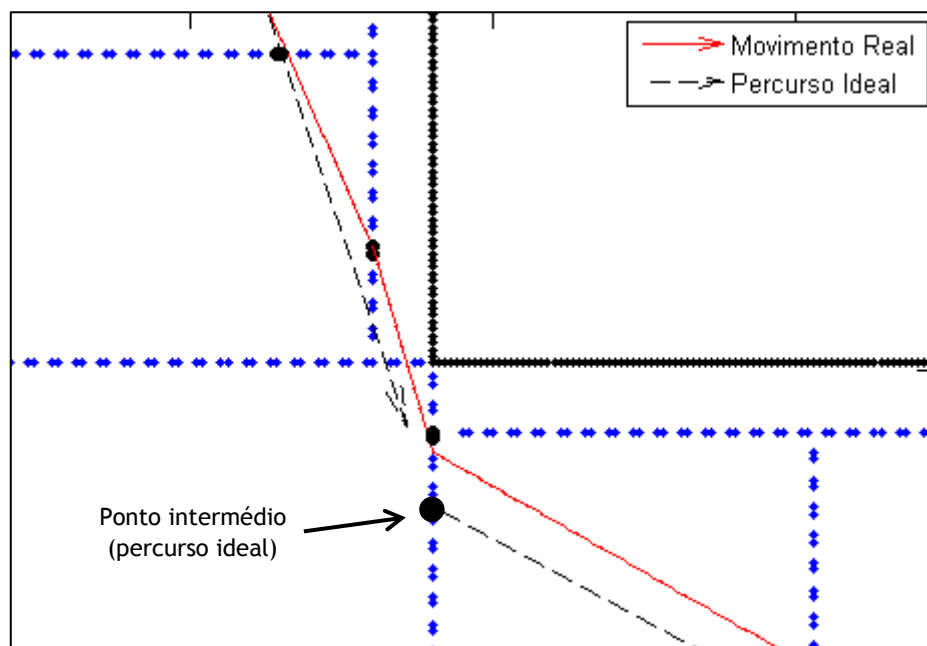


Figura 5.12 - Exemplo de simulação cujo a eficiência espacial foi superior a 100%

Este deveria ter passado no ponto intermédio assinalado, o que não aconteceu. Assim, este conseguiu chegar ao destino pretendido, mas com uma menor distância. No entanto, o percurso ideal foi definido, entre outros objetivos, com o intuito de fornecer segurança ao utilizador. Por isso, passa um pouco afastado de esquinas (cerca de meio metro). Assim, os

valores de distância percorrida ligeiramente inferiores aos da distância ótima não devem ser considerados com sendo de desempenho inferior aos ligeiramente superiores à mesma.

As simulações realizadas com o mecanismo de previsão de trajetória ativo deram, de forma geral, valores de eficiência espacial superiores aos obtidos para os mesmos cenários mas sem a previsão de trajetória. No entanto, tal nem sempre se verificou para os mapas de densidade máxima de *tags*, principalmente para cenários com baixas velocidades de movimento. Tal como verificado para o percurso A, também aqui se verificaram piores resultados causados pela proximidade das fileiras duplas. Alguns destes valores são também resultantes de situações pontuais derivadas, sobretudo, de o utilizador embater contra a parede durante o percurso.

As situações assinaladas com as notas 6, 8 e 9 correspondem a situações em que o utilizador se desorientou, tendo ido contra a parede. Também nestas foi necessário realizar uma rotação diferente de 60° para manter o utilizador dentro do edifício.

Comparando ambos os percursos simulados, verifica-se que o percurso A apresenta uma menor complexidade do ponto de vista de indicação de trajetória do que o percurso C. Como tal, também os resultados da eficiência espacial do primeiro são superiores aos do último, o que se traduz num menor desvio da trajetória traçada, por parte do utilizador.

Da análise da Tabela 5.9 verifica-se que o mecanismo de previsão permitiu, de forma geral, obter melhores resultados quando se utilizou o mapa de densidade mínima e média de *tags*. No entanto, também se verifica que este originou piores valores de eficiência quando se utilizou o mapa de maior densidade de *tags* definido. Este resultado deve-se, tal como já foi mencionado, às fileiras duplas de *tags*, características do mapa em questão. A partir da mesma tabela, é ainda possível verificar a obtenção de resultados percentuais médios acima dos 80% para os dois mapas de maior densidade de *tags*. No entanto, o mapa de densidade mínima revela um fraco desempenho ao admitir valores médios próximos dos 60%.

Tabela 5.9 - Comparação entre a eficiência espacial média obtida com e sem o mecanismo de previsão, para todos os cenários simulados

Eficiência espacial com/sem mecanismo de previsão				
		Mapa de densidade mínima	Mapa de densidade média	Mapa de densidade máxima
Cenário A.3	Média sem previsão	98,18%	98,74%	97,96%
	Média com $K\theta_c.extra = 0,5$	92,27%	99,10%	95,53%
Cenário A.5	Média sem previsão	96,85%	98,68%	98,94%
	Média com $K\theta_c.extra = 0,5$	99,07%	98,90%	98,02%
Cenário A.7	Média sem previsão	98,48%	97,98%	98,97%
	Média com $K\theta_c.extra = 0,5$	98,66%	99,00%	99,27%
Cenário C.3	Média sem previsão	62,10%	84,34%	92,20%
	Média com $K\theta_c.extra = 0,5$	73,63%	84,25%	87,15%
Cenário C.5	Média sem previsão	85,46%	89,87%	94,43%
	Média com $K\theta_c.extra = 0,5$	86,88%	95,60%	89,93%
Cenário C.7	Média sem previsão	75,98%	88,08%	94,52%
	Média com $K\theta_c.extra = 0,5$	79,61%	92,84%	95,90%

As figuras seguintes - Figura 5.13 e Figura 5.14 - ilustram simulações de dois cenários iguais, utilizando o mapa de densidade média de *tags*. Na primeira apenas foi utilizado o método de correção simples enquanto na segunda foi utilizado o método de correção por previsão de trajetória. Da análise das mesmas, verifica-se que, sem o mecanismo de previsão, o utilizador embateu contra a parede durante o percurso. Além disso, a utilização deste mecanismo permitiu que o utilizador se desviasse menos do percurso ideal traçado.

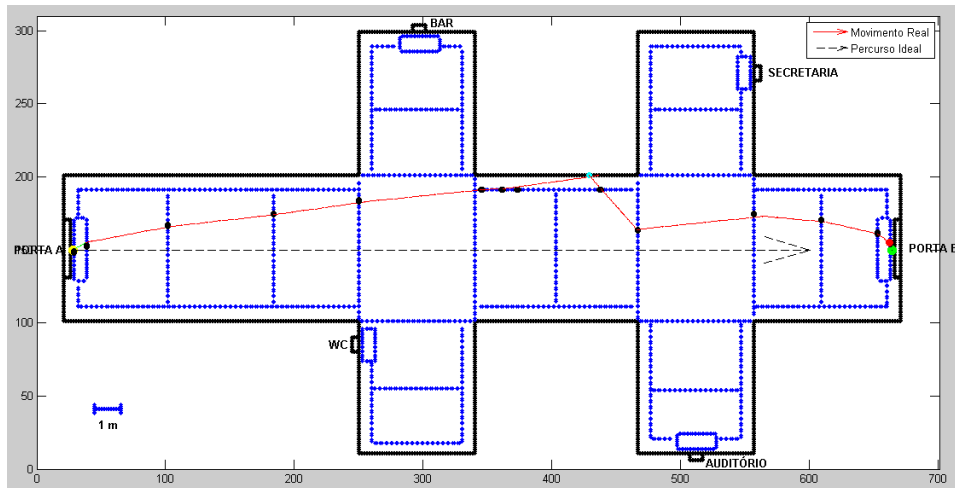


Figura 5.13 - Simulação de cenário com mecanismo de correção simples

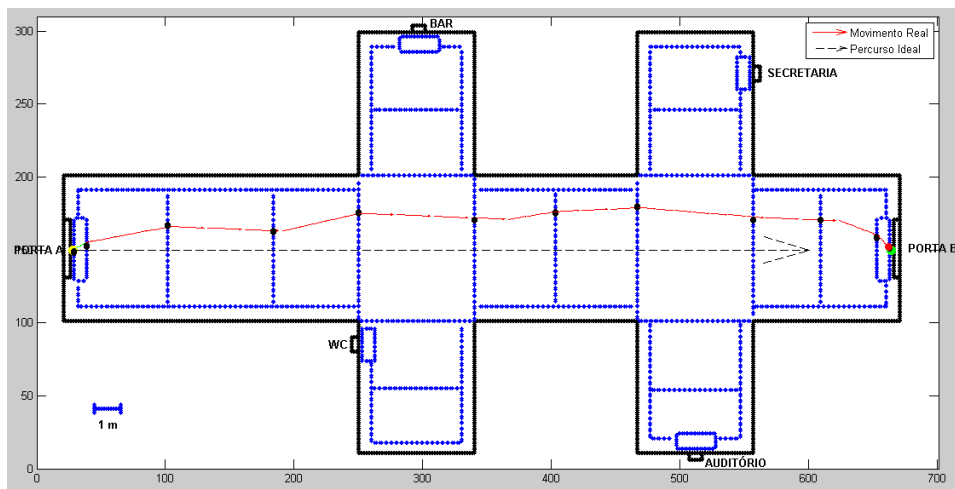


Figura 5.14 - Simulação de cenário com mecanismo de correção extra (por previsão)

Os dados de eficiência temporal obtidos permitem fazer comparações entre o tempo necessário para realizar um percurso por um utilizador invisual, utilizando este sistema para se guiar, e uma pessoa com capacidade visual.

Da análise das tabelas seguintes - Tabela 5.10 e Tabela 5.11 - verifica-se que um utilizador invisual a caminhar com um passo normal (5 km/h) demorou pouco mais tempo do que o tempo estimado para aquele percurso com base numa velocidade de uma pessoa com capacidade visual a caminhar. Assim, o sistema permite obter valores de eficiência muito próximos dos 100% para situações do género. Além disso, verifica-se ainda que o sistema permite que um utilizador invisual com um passo acelerado (7 km/h) conclua o mesmo percurso em menos tempo do que uma outra pessoa a caminhar em velocidade normal.

Tabela 5.10 - Resultados de Eficiência Temporal para o percurso A. Comparação entre valores obtidos para vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão e para vários mapas de densidade de tags e para velocidades de movimento 5 km/h e 7 km/h

Percurso A															
Ângulo de entrada (a)	Erro de direção do movimento (θ_{erro})	Mecanismo de previsão de trajetória	Tempo Ótimo @ 5 km/h (s)	Mapa de densidade mínima				Mapa de densidade média				Mapa de densidade máxima			
				Velocidade de 5 km/h		Velocidade de 7 km/h		Velocidade de 5 km/h		Velocidade de 7 km/h		Velocidade de 5 km/h		Velocidade de 7 km/h	
				Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)	Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)	Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)	Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)	Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)	Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)
30°	10	Sem previsão	22,9	25,1	91%	17,7	129%	23,9	96%	18,3	125%	23,1	99%	16,6	138%
		K θ _c.extra=0,5		23,3	98%	17,5	131%	23,2	99%	16,5	139%	23,6	97%	16,6	138%
	5	Sem previsão		23,1	99%	16,5	139%	23,0	100%	16,5	139%	23,0	100%	16,5	139%
		K θ _c.extra=0,5		23,0	100%	16,5	139%	23,2	99%	16,4	140%	23,3	98%	16,5	139%
	0	Sem previsão		22,9	100%	16,4	140%	22,9	100%	16,5	139%	23,2	99%	16,4	140%
		K θ _c.extra=0,5		23,0	99%	16,4	140%	23,0	99%	16,6	138%	23,5	97%	16,4	140%
0°	10	Sem previsão		24,9	92%	16,5	139%	23,3	98%	16,6	138%	23,3	98%	16,6	138%
		K θ _c.extra=0,5		23,2	99%	16,5	139%	23,8	96%	16,6	138%	23,2	99%	16,5	139%
	5	Sem previsão		22,9	100%	16,4	140%	22,9	100%	16,4	140%	23,0	100%	16,4	140%
		K θ _c.extra=0,5		23,4	98%	16,4	140%	23,1	99%	16,4	140%	23,3	98%	16,4	140%
	0	Sem previsão		23,1	99%	16,4	140%	23,0	99%	16,5	139%	23,0	100%	16,4	140%
		K θ _c.extra=0,5		22,9	100%	16,4	140%	23,0	99%	16,5	139%	23,5	98%	16,4	140%
-30°	10	Sem previsão	25,1	91%	- ¹⁰	-	23,9	96%	16,7	137%	23,8	96%	16,6	138%	
		K θ _c.extra=0,5	23,3	98%	16,6	138%	23,1	99%	16,7	137%	23,3	98%	16,6	138%	
	5	Sem previsão	23,0	99%	16,5	139%	23,0	99%	16,5	139%	23,0	99%	16,5	139%	
		K θ _c.extra=0,5	23,0	99%	16,5	139%	23,0	99%	16,5	139%	23,1	99%	16,6	138%	
	0	Sem previsão	22,9	100%	16,6	138%	23,0	100%	16,5	139%	23,0	99%	16,8	137%	
		K θ _c.extra=0,5	23,0	100%	16,5	139%	22,9	100%	16,6	138%	23,5	98%	16,5	139%	
Média				23,4	98%	16,6	138%	23,2	99%	16,6	138%	23,3	98%	16,5	139%

¹⁰ Não foi possível alcançar o destino pretendido

Tabela 5.11 - Resultados de Eficiência Temporal para o percurso C. Comparação entre valores obtidos para vários valores de ângulo de entrada, erro de direção de movimento, movimentos com e sem mecanismo de previsão e para vários mapas de densidade de tags e para velocidades de movimento 5 km/h e 7 km/h

Percurso C															
Ângulo de entrada (a)	Erro de direção do movimento (θ_{erro})	Mecanismo de previsão de trajetória	Tempo Ótimo @ 5 km/h (s)	Mapa de densidade mínima				Mapa de densidade média				Mapa de densidade máxima			
				Velocidade de 5 km/h		Velocidade de 7 km/h		Velocidade de 5 km/h		Velocidade de 7 km/h		Velocidade de 5 km/h		Velocidade de 7 km/h	
				Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)	Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)	Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)	Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)	Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)	Tempo Real (s)	Eficiência Temporal (%)
30°	10	Sem previsão	13,8	20,6	67%	15,4	89%	17,9	77%	11,2	123%	15,7	88%	10,2	134%
		K θ _c.extra=0,5		20,1	68%	13,9	99%	14,0	98%	10,6	130%	14,6	94%	10,3	133%
	5	Sem previsão		20,2	68%	14,2	97%	13,8	100%	13,3	103%	13,8	99%	11,2	123%
		K θ _c.extra=0,5		20,7	66%	14,3	96%	14,4	96%	12,2	113%	13,8	100%	10,1	136%
	0	Sem previsão		13,7	101%	10,1	136%	14,0	98%	10,1	136%	14,0	98%	10,2	135%
		K θ _c.extra=0,5		13,7	101%	10,0	137%	13,8	99%	10,0	137%	14,4	96%	10,1	136%
0°	10	Sem previsão		17,4	79%	18,8	73%	15,4	89%	11,2	123%	14,3	96%	11,0	125%
		K θ _c.extra=0,5		15,1	91%	14,8	93%	14,9	92%	10,0	138%	15,1	91%	10,6	129%
	5	Sem previsão		14,6	94%	14,2	97%	17,6	78%	9,9	139%	13,8	100%	10,5	131%
		K θ _c.extra=0,5		14,2	97%	14,5	95%	14,0	98%	10,1	136%	16,2	85%	10,5	131%
	0	Sem previsão		13,8	100%	9,8	141%	14,1	97%	10,0	137%	15,4	89%	9,8	141%
		K θ _c.extra=0,5		14,1	97%	9,8	141%	14,0	98%	10,4	132%	14,8	93%	9,8	140%
-30°	10	Sem previsão	22,0	62%	17,0	81%	19,2	72%	16,5	83%	15,7	88%	10,7	128%	
		K θ _c.extra=0,5	21,9	63%	15,8	87%	15,8	87%	12,4	110%	19,8	69%	10,7	128%	
	5	Sem previsão	13,9	99%	11,3	122%	13,8	99%	10,4	132%	14,4	96%	10,2	135%	
		K θ _c.extra=0,5	13,9	99%	10,2	134%	14,3	96%	10,0	138%	14,0	98%	10,1	136%	
	0	Sem previsão	13,8	99%	11,3	122%	14,0	98%	10,3	133%	14,3	96%	9,9	139%	
		K θ _c.extra=0,5	13,8	99%	11,3	122%	14,5	95%	10,1	136%	16,5	83%	9,9	139%	
Média				16,5	86%	13,2	109%	15,0	93%	11,0	127%	15,0	92%	10,3	133%

De modo geral, o tempo necessário para concluir um percurso foi inversamente proporcional à densidade de *tags* utilizada, ou seja, quanto maior a densidade utilizada, menor foi o tempo necessário pelo utilizador para chegar ao seu destino. Obtiveram-se, inclusive, valores superiores a 140%. No entanto, também se verifica que o mapa de densidade mínima leva, por vezes, a que o utilizador, mesmo a deslocar-se com um passo mais acelerado demore um pouco mais do que uma pessoa com capacidade visual a caminhar.

Além disso, a diferença de eficiência temporal entre os dois mapas com maiores densidades de *tags* é bastante pequena. Por vezes, o utilizador até consegue realizar um percurso em menos tempo utilizando o mapa de densidade média. Como tal, conclui-se novamente que o mapa de densidade média é aquele cuja estratégia de disposição apresenta a melhor relação custo/benefício.

Dada a maior complexidade do percurso C em relação ao percurso A, obtiveram-se valores de eficiência inferiores no primeiro.

Além disso, comparando as simulações realizadas com e sem mecanismo de previsão, verifica-se que as primeiras resultaram numa maior eficiência do sistema, como se verifica na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Comparação entre a eficiência temporal média obtida com e sem o mecanismo de previsão, para todos os cenários simulados

Eficiência espacial com/sem mecanismo de previsão							
		Mapa de densidade mínima		Mapa de densidade média		Mapa de densidade máxima	
		Velocidade de 5 km/h	Velocidade de 7 km/h	Velocidade de 5 km/h	Velocidade de 7 km/h	Velocidade de 5 km/h	Velocidade de 7 km/h
Cenário A	Média sem previsão	97%	138%	99%	137%	99%	139%
	Média com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	99%	138%	99%	139%	98%	139%
Cenário C	Média sem previsão	85%	106%	90%	123%	94%	132%
	Média com $K\theta_{c.extra} = 0,5$	87%	111%	96%	130%	90%	134%

Portanto, este revelou ser uma mais-valia para o sistema, permitindo que o utilizador demore menos tempo a realizar o seu percurso. Esta vantagem poderá ser ainda maior considerando erros de direção superiores aos simulados. No entanto, só novas simulações poderão estimar essa vantagem.

Capítulo 6

Conclusões e futuros desenvolvimentos

Este capítulo expõe as conclusões finais deste trabalho. Começa pela comparação entre o trabalho inicial, o que foi feito e o que ficou por fazer. São depois explicadas as conclusões retiradas a partir dos resultados obtidos. O capítulo termina com a apresentação de sugestões de melhorias e futuros desenvolvimentos.

6.1 - Conclusões

O principal objetivo desta dissertação era a conceção de um sistema de auxílio à localização e orientação de pessoas invisuais, ou com défice de orientação, recorrendo à tecnologia RFID. No entanto, pretendia-se realizar uma abordagem inovadora, não havendo certeza de até que ponto seria possível explorar o tema.

Assim, começou-se pela conceção genérica do sistema, exposição da arquitetura funcional e exemplificação do seu funcionamento. Em seguida, pretendia-se realizar simulações do sistema concebido, utilizando um simulador já existente e capaz de permitir obter os resultados pretendidos. No entanto, não foi encontrado nenhum simulador que preenchesse os requisitos necessários. Assim, partiu-se para o desenvolvimento de um simulador de raiz, capaz de emular o funcionamento do sistema e de gerar simulações de movimento a partir de parâmetros especificados. O ambiente de simulação utilizado para o efeito foi, então, o MATLAB.

Esta tarefa revelou-se mais morosa do que o previsto. Por isso, e em virtude da disponibilidade/restrrição temporal do projeto, deu-se prioridade ao desenvolvimento do programa de simulação e análise de desempenho do sistema concebido. Deixou-se para segundo plano a realização de tarefas relacionadas com o desenvolvimento/integração de *hardware*. Estas últimas não se chegaram a concretizar.

Portanto, o programa de simulação desenvolvido abrange duas vertentes: a vertente de simulação do funcionamento do sistema e a vertente de avaliação de desempenho do mesmo. Esta última é feita em função de diversos parâmetros/configurações definidos. Assim, para o mesmo percurso estabelecido, o programa de simulação permite fazer comparações entre o movimento realizado por um utilizador invisual, utilizando o sistema em causa para se guiar, e uma eventual pessoa com capacidade visual.

6.2 - Resultados

A partir da simulação de diversos cenários, foi possível recolher um conjunto de dados que permitiram inferir sobre os dois principais critérios definidos para avaliar o desempenho do sistema: a eficiência espacial e a eficiência temporal. De forma geral, conclui-se que:

- O ângulo de entrada permitiu criar uma maior diversidade de situações a simular não se revelando, no entanto, um fator influenciador dos resultados obtidos;
- O erro de direção também permitiu simular utilizadores com diferente nível de desorientação. Para valores pequenos deste erro, apenas o mapa de densidade mínima mostrou, por vezes, um desempenho insatisfatório. Isto aconteceu para o percurso C (mais complexo). Os restantes mapas permitiram sempre obter elevados resultados de eficiência. Estes resultados repetiram-se mesmo para as simulações com o maior erro testado (10°), inclusive quando o utilizador caminhou com um passo acelerado. Assim, verifica-se a necessidade de serem realizados mais testes para estes dois mapas de maiores densidades, mas com erros maiores. Estes permitirão verificar a continuidade, ou não, do bom desempenho apresentada pelo sistema nas simulações já realizadas.
- O mecanismo de previsão de erro de direção mostrou ser uma mais-valia para o sistema. Verificou-se que este é um mecanismo adaptativo na medida em que permitiu corrigir trajetórias de acordo com o nível de desorientação do utilizador (θ_{erro}). As simulações realizadas com este mecanismo revelaram, de forma geral, valores de eficiência espacial superiores aos obtidos para as mesmas simulações mas sem este mecanismo ativo. Isto significa que o mesmo permitiu que o utilizador se desviasse menos do percurso ideal. No entanto, tal nem sempre se verificou para o mapa de densidade máxima de *tags*, principalmente para cenários com baixas velocidades de movimento. Nestes casos, obtiveram-se piores resultados que se devem, maioritariamente, à arquitetura do mapa em questão. Este, ao possuir fileiras duplas de *tags*, leva a que a estimação do erro de direção seja feita com base em *tags*, provavelmente, muito próximas. Consequentemente, a indicação de correção leva o utilizador a corrigir demasiado a sua direção, produzindo-se uma nova estimativa de erro também grande. Isto gera um movimento pouco linear, com sucessivas correções para um lado e para o outro. Estes resultados permitem, pois, concluir que a simulação com a atual distância inter-fileiras não é a mais apropriada para a utilização do mecanismo de previsão, devendo ser aumentada.
- Quanto aos mapas de densidade de *tags* utilizados, verificou-se que o mapa de densidade mínima é insuficiente para certos cenários, apresentando resultados pouco satisfatórios. Estes devem-se, principalmente, a dois motivos: a um eventual movimento demasiado rápido, o qual não permite detetar as *tags* necessárias, e/ou a inexistência (ou densidade insuficiente) de *tags* em locais importantes. Assim, concluiu-se ser esta uma estratégia insuficiente de disposição de *tags*. Quanto aos restantes mapas, estes apresentaram resultados relativamente proporcionais à sua

densidade. No entanto, verificou-se que a diferença de resultados entre o mapa de densidade média e o mapa de densidade máxima é bastante pequena. Há, também, situações em que o mapa de densidade máxima originou piores resultados do que o primeiro devido, sobretudo, à arquitetura do mesmo (fileiras duplas demasiado próximas), como já foi explicado. Desta forma, e tendo em conta os custos acrescidos do aumento do número de *tags* de um mapa para o outro (cerca de 745 *tags* mais), concluiu-se que o mapa de densidade média é a melhor opção em termos de eficiência/custo.

- Em algumas simulações sem erro de direção de movimento (erro angular nulo) obtiveram-se valores de eficiência espacial ligeiramente inferiores aos ideais, quando deveriam ser iguais. Esta situação justifica-se pela existência de arredondamentos nas rotinas de criação de deslocamento (segundo Δx e Δy), para que as posições sejam sempre inteiras.
- Além disso, em algumas simulações, obtiveram-se valores percentuais acima dos 100%. No entanto, estes não devem ser considerados melhores do que valores ligeiramente abaixo desse valor. Isto porque os mesmos provêm de situações em que o utilizador ‘cortou’ caminho junto às esquinas formadas pelo cruzamento de corredores. Assim, este conseguiu chegar ao destino pretendido, mas com uma menor distância. No entanto, o percurso ideal foi definido, entre outros objetivos, com o intuito de fornecer segurança ao utilizador. Por isso, este percurso assume a passagem a cerca de meio metro das esquinas. Assim, os valores de distância percorrida inferiores aos da distância ótima não devem ser considerados como sendo de desempenho superior.
- No entanto, nem sempre foi possível alcançar o destino pretendido. Como tal, estas situações não foram considerados para o cálculo dos valores médios. De facto, nas situações mencionadas, dada a baixa densidade de *tags*, as indicações de correção não se revelaram suficientes. Assim, o utilizador foi incapaz de chegar ao destino pretendido.
- Verificaram-se também várias situações em que o utilizador embateu contra a parede, tendo alterado a direção do seu movimento. Por parecer ser mais realista, definiu-se como solução para essas situações a realização de uma rotação de 60° para o interior do edifício. No entanto, quando o utilizador alcança a parede com uma direção quase perpendicular com a mesma, é necessário utilizar um valor angular próximo de 90° ou superior. Verificou-se ainda uma situação mais crítica que foi aquela em que o utilizador bateu na parede próximo de um canto do edifício. Esta situação apenas é resolvida com uma rotação igual ou superior a 90° , sendo necessário realizar outra logo de seguida. Situações deste género geram direções de movimento imprevistas, pelo que devem ser analisadas caso a caso. De forma geral, estas estão associadas aos piores resultados obtidos. O motivo principal é a baixa densidade de *tags* e a falta delas em locais específicos, tais como, cruzamentos de corredores.

Quanto aos dados obtidos para a eficiência temporal concluiu-se que:

- Para os diferentes percursos, a simulação indicou que um utilizador invisual, a caminhar com um passo normal (5 km/h), demora pouco mais tempo do que o estimado para uma pessoa “comum”, à mesma velocidade. Assim, o sistema permite obter valores de eficiência muito próximos dos 100% para situações do género.
- Além disso, verifica-se ainda que o sistema permite que um utilizador invisual com um passo acelerado (7 km/h), conclua o mesmo percurso em menos tempo do que uma outra pessoa a caminhar em passo normal.
- De modo geral, o tempo necessário para concluir um percurso foi inversamente proporcional à densidade de *tags* utilizada, ou seja, quanto maior a densidade utilizada, menor foi o tempo necessário para o utilizador chegar ao seu destino. No entanto, também se verifica que o mapa de densidade mínima leva, por vezes, a que o utilizador demore um pouco mais do que uma pessoa com capacidade visual a caminhar, mesmo deslocando-se com um passo mais acelerado do que este último.
- Além disso, a diferença de eficiência temporal entre os dois mapas com maiores densidades de *tags* é bastante pequena. Por vezes, o utilizador até consegue realizar um percurso em menos tempo utilizando o mapa de densidade média. Como tal, conclui-se novamente que o mapa de densidade média é aquele cuja estratégia de disposição apresenta a melhor relação custo/benefício.

6.3 - Futuros desenvolvimentos

Os futuros desenvolvimentos e melhorias passam, principalmente, por três vertentes: a vertente de simulação do funcionamento do sistema, a vertente de avaliação de desempenho do mesmo e a vertente de desenvolvimento/integração de hardware.

6.3.1 - Simulação do funcionamento do sistema

Nesta vertente ainda muito pode ser feito. Uma vez que se desenvolveu um simulador de raiz, este pode ser melhorado em praticamente todos os aspetos. A simulação do movimento de uma pessoa pode evoluir para uma aparência mais natural. Assim, todas as funções podem ser melhoradas, conferindo mais realismo à simulação.

Quanto aos mapas de densidade de *tags*, nem todos os mapas desenvolvidos foram simulados devido à restrição temporal para este trabalho. Por isso, um trabalho futuro poderá passar pela realização de testes aos mesmos. Além disso, podem também ser criados novos mapas, com diferentes densidades e arquiteturas. Estes poderão ter origem naqueles que já foram avaliados e que apresentaram um melhor desempenho.

Do mesmo modo, podem ser desenvolvidos novos mapas de edifícios. Começando pelas arquiteturas mais habituais até aquelas para as quais o sistema poderá ter mais utilidade.

O mecanismo de correção extra revelou ser uma mais-valia. No entanto, a estimativa de erro feita pelo mesmo ainda é muito simples. Este poderá ser melhorado de maneira a ter em consideração a informação de todas as *tags* detetadas até ao momento, bem como a

sequência de detecção. Além disso, poderia ainda ser introduzida alguma ‘inteligência’ na tomada de decisões por parte do sistema baseada, por exemplo, no historial do utilizador.

Além disso, o sistema poderia também permitir a seleção de um valor de erro a partir do qual seriam dadas indicações de correção de movimento. Este valor poderia ser definido pelo utilizador aquando da primeira utilização (por exemplo). Desta forma, seria diminuído o número de indicações dadas ao mesmo.

Quanto à GUI, esta poderia ser visualmente mais apelativa, além de permitir a seleção de valores para os parâmetros a partir da mesma, a partir de um conjunto de valores disponibilizados. Além disso, poderia apresentar mais informações úteis, a definir.

A importação de mapas de edifício e mapas de densidade poderia ser feita a partir do mesmo ficheiro, por exemplo, uma imagem. Assim, os mesmos seriam separados pelo simulador através da realização de processamento de imagem (aplicando filtros, etc).

Também a função de rotação, utilizada quando a pessoa bate contra uma parede, deveria calcular o valor angular mais adequado a cada caso, de modo a tornar o movimento mais realista. Assim, também esta função poderia ser dotada de alguma ‘inteligência’, de maneira a simular a situação mais adequada.

Outro desenvolvimento futuro bastante importante poderá passar pela introdução de uma opção para casos de emergência. Assim, em casos de emergência, esta poderia dar indicações para saídas de emergência (por exemplo, a mais próxima), escadas, alarmes, mangueiras de incêndio, entre outras.

6.3.2 - Avaliação de desempenho do sistema

No que diz respeito à vertente de avaliação de desempenho, poder-se-ia começar pela realização de um conjunto de testes mais exaustivo de valores para vários parâmetros de entrada. Como o erro de direção máximo utilizado (10°) permitiu a obtenção de valores de eficiência bastante elevados, poderá começar-se por experimentar valores maiores para este parâmetro e analisar a resposta do sistema.

Do mesmo modo, também aqui foi admitida a velocidade de 7 km/h como sendo a máxima. No entanto, poderão ser realizados testes que permitam calcular a velocidade máxima que o sistema admite.

Poderão ser também realizados testes práticos para se verificar qual o alcance do leitor RFID, de modo a inferir a correta área de detecção de *tags*. Além disso, poderão ser criados novos parâmetros, acrescentando diversidade às simulações realizadas.

Uma vez que se verificou que a distância intra-fileiras definida não é a mais apropriada ao mecanismo de previsão de trajetória, deverão ser realizados testes para achar a distância adequada. Poderá começar-se pelas fileiras próximas dos pontos de acesso. As fileiras duplas aí colocadas possuem uma distância intra-fileiras de 0,5 m. Assumindo que a velocidade média de uma pessoa a caminhar é, aproximadamente, 1,39 m/s (5 km/h), essa distância entre fileiras poderá aumentar para cerca de 1,4m. Desta forma, o tempo de detecção entre *tags* será de, aproximadamente, 1 segundo.

Por sua vez, o método de avaliação de desempenho poderia utilizar mais informações acerca dos cenários em questão e do percurso realizado. Situações como o facto de o utilizador ter embatido na parede durante o percurso, ou não, poderiam ser ponderados para o cálculo da eficiência.

6.3.3 - Desenvolvimento/integração de *hardware*

Nesta vertente também ainda nada foi feito. Como tal, poderia começar-se pela escolha do *hardware* a utilizar, nomeadamente, o terminal móvel, leitor RFID, *tags*, auricular, entre outros. Depois, deveria ser estudado e escolhido o tipo de comunicações a utilizar na transferência de informação entre os vários constituintes do sistema e sua integração.

Depois disso, poderia ser estudada a melhor forma de colocar o leitor RFID no calçado. Do mesmo modo, também deveria ser estudada a melhor maneira de programar as *tags* e fixá-las ao chão. Este método é muito importante para o correto funcionamento do sistema, uma vez que, as *tags* têm de ser programadas com informação acerca da sua posição absoluta. Uma possível forma de implementação das mesmas poderá ser através de uma máquina (a desenvolver) que vá atualizando a sua posição absoluta, ao mesmo tempo que vai programando e fixando as *tags* ao chão. No entanto, poder-se-á também fazer o contrário, ou seja, programar as *tags* primeiro e colocá-las numa máquina por ordem e definir o percurso de colocação das mesmas.

Outra tarefa futura passará pelo desenvolvimento de *tags* com uma maior dimensão (maior antena). A serem viáveis, estas permitiriam cobrir uma maior área, facilitando a deteção.

A forma de disponibilização da informação referente a cada edifício também poderá ser explorada. Esta poderá ser, por exemplo, disponibilizada numa página web própria deste tipo de sistemas ou na página da instituição à qual o edifício pertence. No entanto, esta também poderia ser descarregada pelo dispositivo móvel apenas aquando da entrada do utilizador do edifício. Neste caso, a informação teria de ser disponibilizada através de uma via de comunicação compatível com a do dispositivo (e.g., Wi-fi, Bluetooth, etc.).

Por fim, mais tarde, todo o sistema poderia ser implementado e testado com casos reais, ou seja, deveria ser efetivamente usado por pessoas portadoras de deficiência visual.

Referências

- [1] <http://www.acapo.pt/defici-ncia-da-vis-o/como-caracterizar-a-cegueira>. Acesso em 26-06-2012
- [2] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/> . Acesso em 26-06-2012
- [3] http://pt.wikipedia.org/wiki/Identifica%C3%A7%C3%A3o_por_radiofrequ%C3%Aancia. Acesso em 26-06-2012
- [4] <http://www.atlasrfid.com/Technology/RFIDvsBarcode.aspx>. Acesso em 26-06-2012
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification. Acesso em 26-06-2012
- [6] http://www.primtronix.com/workarea/downloadasset.aspx?id=334&rdr_from=%2FFourOhFour.aspx%3Fasperrorpath%3D%2Flibrary%2Fassets%2Fpublic%2Fcase-studies%2Frfid-laran-white-paper-english.pdf. Acesso em 26-06-2012
- [7] Kobayashi, Y., T. Takashima, M. Hayashi, and H. Fujimoto. "Gait Analysis of People Walking on Tactile Ground Surface Indicators." *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on* 13, no. 1 (2005): 53-59.
- [8] T.H Chang, C.J Ho, D.C. Hsu, Y.H. Lee, M.S Tsai, M.U. Wang, J. Hsu, "iCane – A partner for the visually impaired", *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 393-402, 2005
- [9] D'Atri, E., C. M. Medaglia, A. Serbanati, and U. B. Ceipidor. "A System to Aid Blind People in the Mobility: A Usability Test and Its Results." Paper presented at the Systems, 2007. *ICONS '07. Second International Conference on*, 22-28 April 2007 2007.
- [10] Tee ZH, Ang LM, Seng KP." Smart Guide System to Assist Visually Impaired People in an Indoor Environment". *IETE Tech Rev* 2010;27:455-64.
- [11] Al-Qutayri, M., J. Jeedella, et al. (2011). "An integrated wireless indoor navigation system for visually impaired." *Systems Conference (SysCon), 2011 IEEE International*: 17-23.
- [12] Yelamarthi, K., D. Haas, D. Nielsen, and S. Mothersell. "Rfid and Gps Integrated Navigation System for the Visually Impaired." *Circuits and Systems (MWSCAS), 2010 53rd IEEE International Midwest Symposium on* (2010): 1149-52.

- [13] Szeto, A. Y. J. and S. K. Sharma (2007). "RFID Based Indoor Navigational Aid for Persons with Severe Visual Impairments." Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE: 6360-6363.
- [14] Sanpechuda, T. and L. Kovavisaruch (2008). A review of RFID localization: Applications and techniques. Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2008. ECTI-CON 2008. 5th International Conference on.
- [15] <http://redpin.org/>. Acesso em 26-06-2012
- [16] <http://rifidi.org/>. Acesso em 26-06-2012
- [17] <http://www.cisc.at/products/asd.html>. Acesso em 26-06-2012
- [18] http://www.arenasimulation.com/Arena_Home.aspx. Acesso em 26-06-2012
- [19] <http://db.cs.washington.edu/peex/papers/cascadia-mobisys.pdf>. Acesso em 26-06-2012
- [20] Wong Siew, M., E. Tan Chong, et al. (2010). "Efficient RFID *tag* placement framework for in building navigation system for the blind." Information and Telecommunication Technologies (APSITT), 2010 8th Asia-Pacific Symposium on: 1-6.
- [21] http://pt.wikipedia.org/wiki/Quil%C3%B4metro_por_hora. Acesso em 26-06-2012