

# **Unidade de interação e controlo para uma cadeira de rodas elétrica automática**

**Filipe Silvério Almeida Lima Santos**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Informática, Área de Especialização em  
Sistemas Gráficos e Multimédia**

**Orientador: Doutor Paulo Alexandre Gandra de Sousa**

**Júri:**

Presidente:

Doutor Luis Miguel Moreira Lino Ferreira, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais:

Doutor Luis Miguel Rosario da Silva Pinho, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Paulo Alexandre Gandra de Sousa, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Porto, Outubro de 2014



# Dedicatória

Dedico esta tese a todos que me apoiaram durante esta jornada especialmente à minha família, colegas de grupo e orientador.



# Resumo

Num mundo onde cerca de 1% da população necessita de utilizar uma cadeira de rodas para a sua deslocação, a acessibilidade a este tipo de veículo no exterior ainda encontra-se num estado bastante precário. Falta de rampas nos passeios, buracos, caminhos em declive e determinados obstáculos como carros estacionados por cima do passeio, são alguns de muitos exemplos dos desafios que uma pessoa em cadeira de rodas enfrenta quando tenta deslocar-se no exterior, o que faz com que a autonomia e a segurança na condução de uma cadeira de rodas seja bastante reduzida, sendo por muitas vezes necessário recorrer de forma constante à ajuda de terceiros, que, por consequência, reduz a sua, já limitada, liberdade de locomoção.

É com base nestes problemas que o projeto RevoChair surgiu. Este projeto consiste no desenvolvimento de um sistema para cadeira de rodas elétrica que permita ao utilizador movimentar-se no exterior automaticamente, sempre que possível, sem ter de se preocupar com os obstáculos a sua volta.

Esta tese incide-se concretamente sobre três dos problemas do desenvolvimento deste projeto, a definição das componentes necessárias para a implementação do sistema, a forma como o utilizador interage com o sistema e a forma como os componentes comunicam entre si, tendo como foco a unidade de interação e a unidade de controlo responsável por gerir a comunicação entre os diversos componentes do sistema.

**Palavras-chave:** RevoChair, cadeira de rodas, deficiência, autonomia.



# Abstract

In a world where 1% of the population have the need of using a wheelchair, the accessibility for this kind of transportation device is still very precarious. The lack of ramps in the sidewalk, holes on the path, sloping paths and certain obstacles such as parked cars over the sidewalk, are some of many examples of the challenges that a person in a wheelchair faces when trying to move outdoor, making the autonomy and safety of the user when driving a wheelchair to be greatly reduced, being often necessary to constantly resort to the help of others, which consequently reduces their already limited freedom of locomotion.

It's based on these problems that the project RevoChair was born. This project consists in the development of a system destined for electric wheelchair that allows the user to move outdoor automatically whenever possible without having to worry about the obstacles around him.

This thesis specifically focuses on three of the issues faced in the development of this project, the definition of the components required to implement this system, how the user interacts with the system and how the components communicate with each other, focusing on the interaction unit and the control unit which is responsible for managing the communication between the various components of the system.

**Keywords:** RevoChair, wheelchair, disability, autonomy.



# Agradecimentos

Queria começar por agradecer a todos os meus colegas de grupo que fazem e que fizeram parte do projeto RevoChair, especialmente ao “chefe” Bruno Alberto Cardoso Osório por convidar-me a integrar neste grupo e por levar este projeto para frente.

Ao meu orientador desta tese e mentor do projeto Paulo Alexandre Gandra de Sousa por toda a ajuda disponibilizada na realização deste documento e especialmente pelo imenso apoio que tem proporcionado a este grupo de trabalho desde o primeiro dia.

À minha família por toda a compreensão, incentivo e paciência que sempre tiveram na minha jornada durante todos estes anos.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto por todo o apoio e pelo disponibilizar de um local de trabalho para a realização deste projeto.

Ao Departamento de Engenharia Informática por toda ajuda e disponibilização de material necessário para a elaboração deste projeto.

E em último lugar, mas não menos importante, a todas as entidades parceiras, em especial, à Mobilitec e à Evoleo Technologies, que nos têm apoiado no desenvolvimento deste projeto.

A todos, muito obrigado.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enunciado do Problema	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Critérios de Sucesso	2
1.4	Plano de trabalho	3
<b>2</b>	<b>Contexto</b>	<b>5</b>
2.1	Contextualização do problema	5
2.2	Projeto RevoChair	6
2.2.1	Missão	6
2.2.2	Arquitetura	7
<b>3</b>	<b>Estado da Arte</b>	<b>11</b>
3.1	Projetos de cadeiras de rodas	11
3.1.1	NavChair	11
3.1.2	Tin Man	12
3.1.3	MAiD	13
3.1.4	FRIEND	14
3.1.5	MIT Intelligent Wheelchair Project	15
3.1.6	Intelligent Wheelchair (Universidade de Berlim)	15
3.1.7	IntellWheels	16
3.1.8	CALL Centre	17
3.2	Interfaces de Interação	18
3.3	API de Mapas	19
3.4	Protocolos de Comunicação	19
3.5	Sensores	20
3.5.1	Kinect	20
3.5.2	Bússola	21
<b>4</b>	<b>Solução proposta</b>	<b>23</b>
4.1	Análise comparativa com o estado da arte	23
4.2	Conceção	25
4.3	Desenvolvimento	27
4.3.1	Comunicação entre dispositivos	27
4.3.2	Primeiro protótipo do sistema	29
4.3.3	Segundo protótipo do sistema	37
4.4	Validação	47
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>51</b>

5.1	Avaliação de objetivos.....	51
5.2	Resposta ao problema .....	52
5.3	Limitações e trabalho futuro .....	53

# Lista de Figuras

Figura 1 – Diagrama de Gantt do planeamento do projeto de tese .....	3
Figura 2 – Arquitetura de uma cadeira rodas elétrica tradicional .....	7
Figura 3 – Arquitetura de uma cadeira de rodas do projeto RevoChair .....	8
Figura 4 - NavChair .....	12
Figura 5 – Cadeira Tin Man .....	13
Figura 6 – Cadeira MAiD.....	13
Figura 7 – Cadeira FRIEND.....	14
Figura 8 – MIT Intelligent Wheelchair.....	15
Figura 9 – Intelligent Wheelchair (Universidade de Berlim) .....	16
Figura 10 – Cadeira IntellWheels .....	17
Figura 11 – Cadeira Call Centre .....	18
Figura 12 - Kinect.....	21
Figura 13 - Bússola .....	22
Figura 14 – Componentes de foco da tese.....	24
Figura 15 – Casos de uso do sistema.....	26
Figura 16 – Unidade de controlo – Inicialização do servidor Bluetooth.....	28
Figura 17 – Diagrama de sequências do caso de uso “Inicia aplicação” .....	30
Figura 18 – Conexão da aplicação de interface com a unidade de controlo .....	31
Figura 19 – Interface de simulação de dois pontos de uma rota.....	32
Figura 20 – Início do movimento automático pelo <i>smartphone</i> .....	33
Figura 21 – Diagrama de estados da movimentação automática num cenário ideal.....	33
Figura 22 – Diagrama de estados da deteção de um obstáculo do primeiro protótipo.....	34
Figura 23 – Diagrama de sequências do caso de uso “Inicia movimento automático” .....	34
Figura 24 – Aplicação da unidade de controlo durante o movimento automático.....	35
Figura 25 – Diagrama de sequências da interrupção do movimento automático pelo <i>smartphone</i> . .....	36
Figura 26 - Diagrama de sequências da interrupção do movimento automático pelo <i>joystick</i> da cadeira.....	36
Figura 27 – Apresentação do processo de verificação do estado dos componentes.....	38
Figura 28 – Falha na conexão à unidade de controlo .....	39
Figura 29 – Verificação da conexão à cadeira de rodas.....	40
Figura 30 – Falha na conexão ao microcontrolador da cadeira .....	40
Figura 31 – Verificação da conexão ao sensor da camara .....	41
Figura 32 – Verificação efetuada com sucesso .....	42
Figura 33 – Apresentação do mapa da região e posição do utilizador .....	43
Figura 34 – Introdução de uma localização .....	44
Figura 35 – Apresentação da rota .....	45
Figura 36 – Vista do mapa durante o movimento automático.....	46
Figura 37 – Vista de paragem do movimento automático .....	46
Figura 38 – Validação 1 – Início do movimento automático.....	47

Figura 39 – Validação 2 – Detecção de um obstáculo .....	47
Figura 40 – Validação 3 - Interrupção manual da cadeira.....	48

# Acrónimos

<b>API</b>	<i>Application Programming Interface</i>
<b>CMOS</b>	<i>Complementary metal–oxide–semiconductor</i>
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i>
<b>IBM</b>	<i>International Business Machines</i>
<b>IDE</b>	<i>Integrated Development Environment</i>
<b>NAN</b>	<i>Narrow Area Navigation</i>
<b>SDK</b>	<i>Software Development Kit</i>
<b>USB</b>	<i>Universal Serial Bus</i>
<b>VFH</b>	<i>Vector Field Histogram</i>
<b>WAN</b>	<i>Wide Area Navigation</i>
<b>XAML</b>	<i>Extensible Application Markup Language</i>



# 1 Introdução

## 1.1 Enunciado do Problema

Somos todos fisicamente deficientes em algum momento das nossas vidas. Uma criança, uma pessoa com uma perna aleijada, um pai com um carrinho de bebé, uma pessoa idosa, etc., são todos deficientes de uma forma ou de outra. Aqueles que permanecem saudáveis em todas as suas vidas são poucos. É importante que o ambiente à nossa volta seja construído de forma a adaptar as necessidades de todas as pessoas igualmente. Na realidade, as necessidades de pessoas com deficiência coincidem com as necessidades da maioria. Como tal, planear para a maioria implica planear para pessoas com diferentes habilidades e deficiências.

Apesar de as leis indicarem boas perspetivas a respeito da inclusão de acessibilidade para pessoas com deficiência, nem sempre essa legislação é posta em prática. Falta de rampas nos passeios, excesso de buracos, caminhos em declive e determinados obstáculos como carros estacionados por cima do passeio, são alguns de muitos exemplos dos desafios que uma pessoa em cadeira de rodas enfrenta quando tenta deslocar-se no exterior, o que faz com que a autonomia e a segurança na condução de uma cadeira de rodas elétrica seja bastante reduzida, sendo por muitas vezes necessário recorrer de forma constante à ajuda de terceiros, que, por consequência, reduz a sua, já limitada, liberdade de locomoção.

***Com vista a ajudar o utilizador a combater estes desafios, o projeto RevoChair visiona desenvolver um sistema para cadeira de rodas elétrica que permita ao utilizador movimentar-se no exterior automaticamente sem ter de se preocupar com os obstáculos a sua volta.***

Com esta solução pretende-se amenizar alguns dos problemas que muitos utilizadores deparam-se quando pretendem andar de cadeira de rodas no exterior, como por exemplo, o receio de não conseguir chegar ao destino e perder-se pelo caminho, o receio de cair da cadeira por não conseguir detetar determinadas inconsistências do caminho ao seu redor, como buracos e desníveis, o cansaço muscular na mão pelo excesso de manuseamento do *joystick*, entre outros.

Esta tese é incidida sobre três dos problemas iniciais do desenvolvimento deste projeto, quais as componentes necessárias para a implementação do sistema, a forma como o utilizador interage com o sistema e a forma como os componentes comunicam entre si, tendo como foco a unidade de interação do sistema, isto é, a componente com que o utilizador interage para dar comandos à cadeira, e a unidade de controlo que faz a gestão da comunicação entre os vários componentes do sistema.

## 1.2 Objetivos

Como referido no subcapítulo anterior, esta tese tem como foco a unidade de interação e a unidade de controlo da comunicação entre as várias componentes do sistema do projeto RevoChair. Deste modo, esta tese pretende alcançar os seguintes objetivos:

- Desenvolvimento de uma aplicação de simples utilização integrada de um sistema de mapas e GPS para que o utilizador possa interagir com o sistema e visualizar o seu estado atual;
- Desenvolvimento de uma aplicação para desktop que faz a gestão da comunicação entre as várias componentes do sistema.

## 1.3 Critérios de Sucesso

Para que os objetivos identificados sejam alcançados, foram definidos os seguintes critérios de sucesso:

- Aplicação da unidade de interação:
  - Visualização em tempo real do estado atual dos componentes do sistema;
  - Visualização em tempo real da posição atual do utilizador e da direção da cadeira relativamente ao norte verdadeiro no mapa;
  - Possibilidade de o utilizador escolher no mapa um ponto de destino e de iniciar o movimento automático da cadeira;
  - Possibilidade de interromper o movimento automático a qualquer momento;
  - Visualização em tempo real da rota escolhida;
  - Implementação da comunicação com a unidade de controlo garantindo a integridade da informação.

- Aplicação da unidade de controlo:
  - Comunicação com a unidade de interação garantindo a integridade da informação;
  - Comunicação com o microcontrolador que faz a gestão da informação que circula entre os sensores, o motor e o *joystick* da cadeira, garantindo a integridade da informação;
  - Garantir a possibilidade de interrupção manual do movimento automático através do *joystick* da cadeira;
  - Gestão da informação que entra e sai da unidade de processamento.

## 1.4 Plano de trabalho

Na elaboração deste projeto de tese foi utilizado o seguinte plano de trabalho:

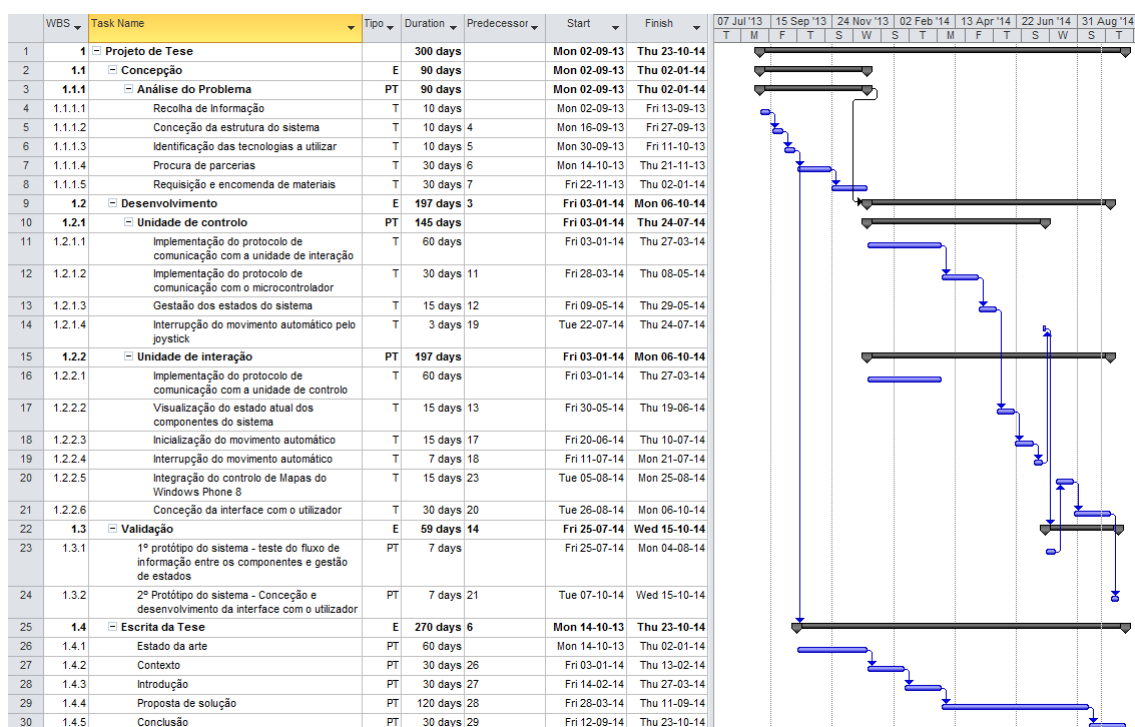


Figura 1 – Diagrama de Gantt do planeamento do projeto de tese



## 2 Contexto

### 2.1 Contextualização do problema

Cerca de 10% da população mundial, isto é, cerca de 650 milhões de pessoas, têm algum tipo de deficiência. Destes 10%, estudos indicam que cerca de 10%, por volta de 65 milhões de pessoas, precisam utilizar cadeira de rodas no seu dia-a-dia [World Health Organization, 2008]. O acesso a cadeiras de rodas apropriadas, bem modeladas e equipadas, não só ajuda na mobilidade, mas também contribui para a educação, trabalho e vida social daqueles que precisam deste tipo de apoio.

Embora as necessidades de muitas pessoas com deficiência possam ser satisfeitas com cadeiras de rodas manuais tradicionais ou elétricas, um segmento da comunidade acha difícil ou impossível usar cadeiras de rodas independentemente. Esta população inclui, mas não se limita a, indivíduos com visão reduzida, redução do campo visual, tremores, espasticidade ou incapacidade cognitiva. Estas pessoas muitas vezes dependem de terceiros para empurrá-los numa cadeira manual devido a falta de independências na sua mobilidade.

A independência na mobilidade tem um papel extremamente importante na vida de uma pessoa pois aumenta as oportunidades profissionais e educacionais, reduz a dependência de cuidadores e familiares, e promove o sentimento de autossuficiência. Psicologicamente, a redução da mobilidade pode levar a sentimentos de perda emocional, redução da autoestima, isolamento, estresse e medo de abandono [Finlayson M. and Denend T., 2003].

Para acomodar esta população, vários investigadores têm utilizado tecnologias originalmente desenvolvidas para robôs móveis para criar cadeiras de rodas inteligentes. Uma cadeira de rodas inteligente tipicamente consiste em uma cadeira de rodas elétrica tradicional ao qual um computador e um conjunto de sensores são adicionados, ou uma base de robô móvel ao qual um banco foi anexado. Cadeiras de rodas inteligentes são projetadas para proporcionar assistência de navegação para o utilizador em diferentes formas, como a garantia de uma viagem sem colisões, o auxílio na execução de tarefas específicas como a passagem por portas, e o transporte autónomo do utilizador entre diferentes localizações.

Estudos indicam que médicos têm um forte desejo aos serviços que uma cadeira de rodas inteligente pode oferecer. Estes estudos incluem os seguintes resultados [Fehr L. et al., 2000]:

- Médicos indicaram que 9% a 10% dos pacientes que receberam treinos em cadeiras de rodas elétricas acharam extremamente difícil a sua utilização em atividades diárias;
- Quando perguntados especificamente sobre manobras de condução, a percentagem de pacientes que reportaram estas tarefas como difícil ou impossível saltou para 40%;
- 85% dos médicos entrevistados reportaram ver algum paciente a cada ano que não pode utilizar uma cadeira de rodas elétrica devido a falta de capacidade motora, força ou acuidade visual. Destes 85%, 32% (27% de todos os entrevistados) relataram ter visto pelo menos o mesmo número de pessoas que não conseguem utilizar cadeiras de rodas elétricas comparativamente com o número das que conseguem;
- Por volta de metade dos pacientes que não conseguem controlar uma cadeira de rodas elétrica por métodos convencionais beneficiariam de um sistema de navegação automática de acordo com os médicos que os tratam.

## 2.2 Projeto RevoChair

### 2.2.1 Missão

É com base nos fatores referidos no subcapítulo anterior que o projeto RevoChair surgiu. Este projeto consiste em dotar uma cadeira de rodas elétrica de um sistema integrado com o objetivo de permitir ao utilizador movimentar-se no exterior de forma automática e segura, de modo a facilitar a locomoção de pessoas que utilizam cadeiras de rodas no seu dia-a-dia. O sistema permitirá ao utilizador escolher no mapa um ponto de destino, em que, após confirmar a rota gerada através do sistema de GPS, terá a possibilidade de fazer com que o sistema movimente a cadeira automaticamente, de modo a chegar ao destino com segurança, sempre pelo passeio e desviando-se de qualquer tipo de obstáculos.

Desta forma, o projeto RevoChair tem como missão alcançar os seguintes objetivos:

- Reduzir o receio do utilizador de perder-se pelo caminho;
- Eliminar o receio do utilizador de movimentar-se no exterior por não conseguir detetar certas inconsistências no seu caminho;
- Reduzir ao máximo o cansaço muscular do utilizador pelo manuseamento do *joystick*;
- Eliminar a possibilidade da cadeira embater sobre qualquer tipo de obstáculo;

- Reduzir a necessidade da ajuda de terceiros no deslocamento no exterior;
- Maximizar o sentimento de segurança do utilizador na utilização da sua cadeira.

Com o intuito de promover o projeto, um dos principais objetivos traçados pela equipa responsável pelo projeto RevoChair foi a participação na Imagine Cup de 2014, competição anual de tecnologias patrocinada pela Microsoft. Apesar de não ter vencido, o projeto recebeu feedback bastante positivo dos organizadores do evento e da imprensa.

### 2.2.2 Arquitetura

Geralmente uma cadeira de rodas elétrica tradicional possui a seguinte arquitetura:



Figura 2 – Arquitetura de uma cadeira rodas elétrica tradicional

Como é ilustrado na figura 2, o sistema geralmente possui como unidade de interação um *joystick* que envia os comandos de movimento para o motor da cadeira durante a interação do utilizador. O projeto RevoChair tem como objetivo implementar a seguinte arquitetura:

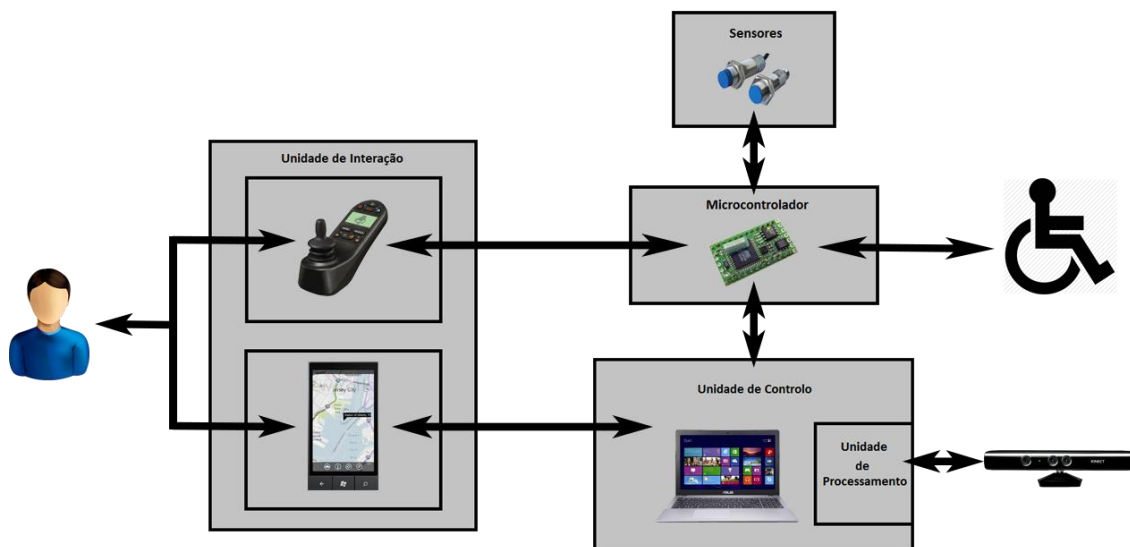


Figura 3 – Arquitetura de uma cadeira de rodas do projeto RevoChair

Como pode-se observar na figura, comparativamente com a arquitetura de uma cadeira de rodas elétrica tradicional, a arquitetura do projeto RevoChair possui as seguintes diferenças:

- Unidade de Interação – além do *joystick* que permite a movimentação manual da cadeira, pretende-se também adicionar um dispositivo móvel com que o utilizador terá a possibilidade de iniciar o movimento automático;
- Unidade de Controlo – unidade que faz a gestão da informação que circula entre o dispositivo móvel, o motor da cadeira de rodas, os sensores e da informação utilizada pela unidade de processamento;
- Unidade de Processamento – unidade que faz o processamento de toda a informação relevante disponibilizada pela unidade de controlo para o cálculo do movimento automático da cadeira;
- Kinect – Sensor que faz a análise do ambiente à volta da cadeira para a deteção de obstáculos;
- Microcontrolador – componente que faz a gestão da informação que circula entre a unidade de controlo, o *joystick*, os sensores e o motor da cadeira;
- Sensores – sensores adicionais relevantes para o cálculo do movimento automático como bússola, sensores de proximidade, entre outros.

Esta tese terá como foco o desenvolvimento da unidade de interação, mais especificamente, a aplicação de interface do dispositivo móvel com que o utilizador interage de modo a iniciar o movimento automático, e o desenvolvimento da unidade de controlo que faz a gestão do fluxo de informação do sistema.



## 3 Estado da Arte

Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais trabalhos de investigação relacionado com esta tema e contextualizar o leitor das principais tecnologias existentes que tenham relevância para o justificar das escolhas realizadas no continuar deste documento. Serão apresentados os principais projetos de cadeiras de rodas realizados nos últimos anos, os principais tipos de interfaces de interação utilizados nestes tipos de projetos, serviços de mapas, diferentes tipos de protocolos de comunicação e de sensores.

Ainda neste contexto, será feito no capítulo seguinte uma análise das características dos diferentes projetos de cadeiras de rodas apresentados neste capítulo de forma a compara-las com as características deste projeto, seguido da justificação da escolha de determinadas tecnologias também aqui apresentadas.

### 3.1 Projetos de cadeiras de rodas

#### 3.1.1 NavChair

A ideia do projeto NavChair foi inicialmente concebida por Simon Levine, diretor de reabilitação física do hospital da universidade de Michingan, após ser-lhe apresentado uma demonstração do sistema de prevenção de obstáculo para robôs móveis VFH (*Vector Field Histogram*) desenvolvido por Johann Borenstein e Yoram Koren.

Este projeto foi iniciado em 1991 e tem como objetivo reduzir os requisitos cognitivos e motores para operar uma cadeira de rodas elétrica, assistindo o utilizador em tarefas como a prevenção de obstáculos, passagem por portas, manutenção de um trajeto em linha reta e outros aspetos de condução de uma cadeira de rodas elétrica [Simpson et al., 1998].

O sistema da NavChair consiste em 3 unidades – um computador IBM 33MHz 80486, um *array* de 12 sensores ultrassom e um módulo de interface que fornece os circuitos necessários ao sistema.



Figura 4 - NavChair

### 3.1.2 Tin Man

O projeto TinMan consiste numa série de comandos suplementares de cadeira de rodas e tem como objetivo auxiliar pessoas com dificuldade de controlar uma cadeira de rodas tradicional. Estes comandos situam-se entre a interface de *input* da cadeira de rodas (ex. *joystick*) e o motor, em que, junto com a rede de sensores, permite com que a cadeira detete vários obstáculos ao seu redor. O controlador consegue então guiar a cadeira com segurança com o mínimo de *input* do utilizador possível [Miller and Slack, 1995].

O controlador suplementar TinMan foi concebido para ser adicionado em cadeiras de rodas já existentes. A sua instalação requer poucas horas e custa somente uma fração do custo de uma cadeira de rodas elétrica tradicional.

A primeira versão do projeto TinMan, também conhecida por TinMan I, foi desenvolvida em 1995 pelo KIPR (“KISS Institute for Practical Robotics”) e tinha três modos de operação, guiado pelo utilizador com desvio de obstáculos, movimento ao longo de uma trajetória e movimento em direção a um determinado ponto.

De seguida, em 1998, foi lançado o TinMan II, que estendeu substancialmente as funcionalidades do seu predecessor, incluindo a capacidade de *backups*, *backtracking*, seguimento de corredores, passagem por portas, entre outros.



Figura 5 – Cadeira Tin Man

### 3.1.3 MAiD

O projeto MAiD (*Mobility Aid for Elderly and Disabled People*) foi desenvolvido para ajudar no transporte de pessoas idosas e/ou com capacidade de movimentação limitada e tem como objetivo a navegação em ambientes com um grande número de objetos em constante movimento onde a probabilidade de colisão é alta [Erwin Prassler et al., 1999].

MAiD possui dois modos de operação, o modo WAN (*Wide Area Navigation*) para ambientes largos e com rápida mudança de ambiente como supermercados, estações de comboio e aeroportos, e o modo NAN (*Narrow Area Navigation*) para ambientes apertados e parcialmente desconhecidos.



Figura 6 – Cadeira MAiD

### 3.1.4 FRIEND

O projeto FRIEND (*Functional Robot arm with user-frIENDly interface for Disabled people*) consiste num robô semiautônomo desenvolvido pelo Instituto de Automação da Universidade de Bremen que tem como objetivo ajudar pessoas idosas e/ou com deficiência nas suas atividades diárias, como preparar e servir refeições, reintegração na vida profissional, entre outros [Christian Martens et al., 2007].

Este robô é composto pelos seguintes componentes:

- Braço robótico / manipulador;
- Ecrã TFT que disponibiliza informação visual ao utilizador;
- Sistema de câmara stereo utilizado para adquirir informação sobre o ambiente ao seu redor;
- Sistema de computador;
- Dispositivos de *input* como joystick de queixo, joystick manual, controlo por voz, pelo cérebro e com os olhos. Estes dispositivos são adaptados de acordo com a preferência do utilizador;
- Comunicação infravermelha utilizada para comunicar com várias aplicações no ambiente do robô.

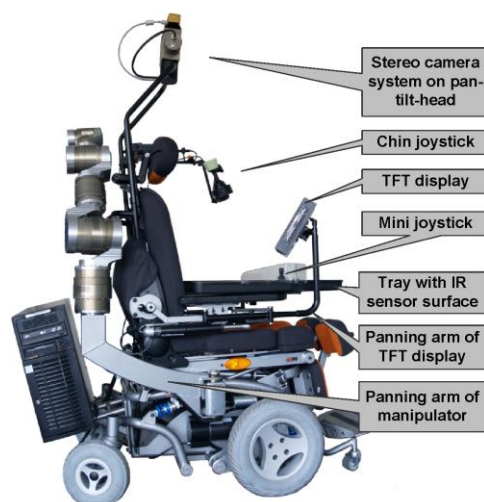


Figura 7 – Cadeira FRIEND

### 3.1.5 MIT Intelligent Wheelchair Project

Este projeto, desenvolvido pelo Instituto de Tecnologias de Massachusetts, tem como objetivo dotar uma cadeira de rodas elétrica comum utilizando sensores para reconhecer o seu redor, uma interface de voz para o *input* de comandos, um dispositivo sem fios para determinação da localização e um software de controlo motor para o cálculo do movimento da cadeira [Boston Business Journal, 2008].

A cadeira aprende o *layout* do seu ambiente a partir de um guia narrado pelo utilizador e consequentemente, consegue mover-se para qualquer localização previamente nomeada através de comandos de voz. Esta tecnologia é apropriada para pessoas com mobilidade limitada devido a lesões cerebrais ou perda de membros mas que retêm a fala. Esta tecnologia pode também aumentar a segurança de utilizadores que utilizam cadeiras de rodas elétricas com *joysticks* normais, evitando a colisão com diversos tipos de obstáculos.

Esta cadeira dispõe também de um suporte para um dispositivo sem fios (Tablet) para o reconhecimento da sua posição atual através da utilização de sinais de GPS e que disponibiliza ao utilizador uma diferente interface de *input* da informação além do input vocal.



Figura 8 – MIT Intelligent Wheelchair

### 3.1.6 Intelligent Wheelchair (Universidade de Berlim)

*Intelligent Wheelchair* é um projeto que está a ser desenvolvido pelo grupo de inteligência artificial da Universidade Livre de Berlim que tem como objetivo desenvolver uma cadeira de

rodas inteligente capaz de ajudar idosos e pessoas com deficiência nas suas atividades diárias [Freie Universität, 2011].

Esta cadeira possui 3 modos de condução, o *iDriver* (condução a partir de um *iPhone*), o *eyeDriver* que movimenta a cadeira a partir da direção dos olhos e o *brainDriver* que faz o reconhecimento de padrões do cérebro para controlar a cadeira. Esta cadeira possui também sensores para a deteção e prevenção de obstáculos.



Figura 9 – Intelligent Wheelchair (Universidade de Berlim)

### 3.1.7 IntellWheels

Este projeto de investigação coordenado pelo Professor Luís Reis da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Laboratório de Inteligência Artificial e Ciência de Computadores - LIACC - e INESC-Porto) tem como objetivo aumentar a autonomia e a qualidade de vida de cidadãos com mobilidade bastante reduzida e consiste numa plataforma que permite transformar qualquer cadeira de rodas elétrica numa cadeira de rodas inteligente. Este projeto inclui todas as funcionalidades habitualmente utilizadas neste tipo de sistemas tal como o reconhecimento facial, controlo por voz, por sensores, visualização por computador para apoio na navegação, desvio de obstáculos, planeamento de tarefas de alto nível e a capacidade de comunicação com outros dispositivos [Rodrigo A. M. Braga et al., 2011].

O projeto já foi premiado cinco vezes por várias entidades nacionais e internacionais. A última distinção deve-se ao artigo "*Manual, Automatic and Shared Methods for Controlling an Intelligent Wheelchair: Adaptation to Cerebral Palsy Users*", desenvolvido por Brígida Mónica Faria, Luís Paulo Reis e Nuno Lau.

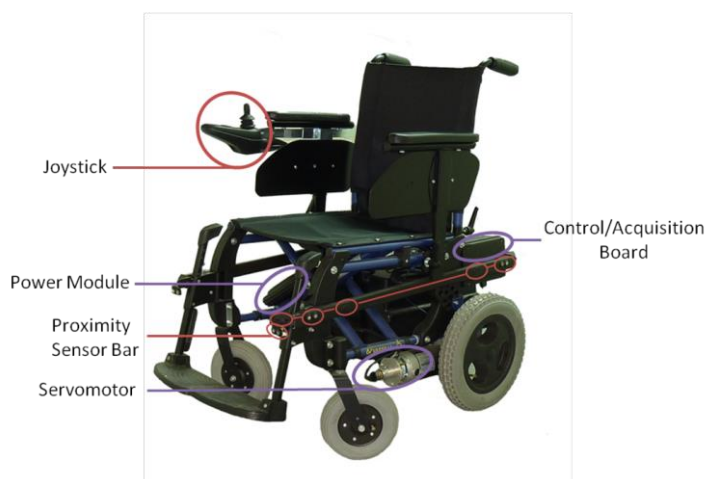


Figura 10 – Cadeira IntellWheels

### 3.1.8 CALL Centre

Este projeto foi inicialmente desenvolvido para crianças com graves e complexos tipos de deficiência, sem habilidades físicas, perceptuais ou cognitivas para controlar um sistema de mobilidade elétrica tradicional e tem como objetivo tornar-se uma ferramenta de exploração e diversão [Call Scotland, 2013].

Esta cadeira possui 3 principais funcionalidades:

- Sensores de obstáculos ultrassônicos que para a cadeira antes de colidir com qualquer obstáculo;
- Seguidor de linhas que permite a cadeira seguir linhas delineadas no chão garantindo a segurança do utilizador na sua condução;
- Feedback da informação das decisões tomadas pela cadeira através de um sintetizador de voz.



Figura 11 – Cadeira Call Centre

## 3.2 Interfaces de Interação

A escolha do tipo de interface com o utilizador é uma das decisões mais importantes a ser tomada em qualquer projeto que tenha como público-alvo pessoas com deficiências motoras, pois na maior parte dos casos, é o ponto crítico na decisão do utilizador de comprar ou não o produto. Uma interface de interação com o utilizador deve ser desenvolvida de forma a ser o mais simples, seguro e agradável possível ao público-alvo em questão.

Alguns dos tipos de interação mais comuns em projetos de cadeiras de rodas elétricas são:

- Interação manual – tipo de interação mais comum em cadeira de rodas elétricas. São exemplos de interação manual os *joysticks*, ratos, teclados, etc. [Brad Dicianno et al., 2010];
- Interação por sensores táteis – interação a partir de *smartphones*, *tablets*, entre outros [Montesano et al., 2010];
- Interação por voz – tipo de interação onde os comandos são executados a partir do áudio [Gabriel P. and Urbano N., 2002];
- Interação por ondas cerebrais [CNet, 2009a].

### 3.3 API de Mapas

Uma API de mapas é um serviço que permite desenvolvedores integrarem as funcionalidades de um serviço de pesquisa, visualização de mapas e imagens de satélite da Terra nas suas aplicações. Estes serviços incluem geralmente também um planeador de rotas para viagens a pé, de carro e de transportes públicos.

Alguns dos serviços de mapas mais conhecidos são:

- Google Maps – serviço de mapeamento web para desktop e dispositivos móveis, fornecido e desenvolvido pela Google. É atualmente a aplicação de mapas mais popular mundialmente para *smartphones*, utilizado por mais de 54% da população global de utilizadores de *smartphones* no mês de Agosto de 2013 [Business Insider, 2013].
- Bing Maps – API fornecida e desenvolvida pela Microsoft. Tem como principais funcionalidades diferentes tipos de vistas como a vista de estradas, vista aérea, vista *bird's-eye*, vista de rua, vista local, mapas 3D, informações de trânsito, compartilhamento de mapas, entre outros [Microsoft, 2014].
- Nokia Here Maps – antigamente conhecido como Ovi Maps (2007-2011) e Nokia Maps (2011-2012) [Nokia, 2011], é uma unidade empresarial da Nokia que reúne os serviços de mapeamento e localização da Nokia sob uma única marca. A tecnologia Here é baseada num modelo de computação em nuvem, em que os dados de localização e serviços são armazenados em servidores remotos para que os utilizadores tenham acesso independentemente do dispositivo em que estão a utilizar [Nokia, 2012].
- Windows Phone 8 Maps Control – API nativa das bibliotecas do Windows Phone 8 SDK gerado da parceria entre a Nokia e a Microsoft [The Verge, 2013]. Introduce melhorias na performance e novas opções como pontos de referência em 3D, mudança entre cores de dia e noite, a possibilidade de mudar o *heading* e o *pitch*, entre outros [WP Central, 2012].

### 3.4 Protocolos de Comunicação

Um protocolo de comunicação é um sistema de regras digitais para a troca de mensagens entre dois computadores. Um protocolo deve definir a sintaxe, semântica e sincronização da comunicação, e deve ser acordado entre ambas as partes envolvidas. Pode ser implementado por *hardware*, *software* ou ambos.

Alguns exemplos de protocolos de comunicação:

- Bluetooth – protocolo de comunicação padrão sem fios para a troca de dados em curta distancia. Inventado pela Ericsson em 1994, foi originalmente concebido como uma alternativa sem fios ao RS-232. Consegue conectar diversos dispositivos, ultrapassando problemas de sincronização [Bluetooth, 2014].
- Universal Serial Bus (USB) – protocolo de comunicação padrão desenvolvido em meados de 1990 que foi concebido para uniformizar a conexão de periféricos de computadores a computadores, de forma a comunicarem-se e fornecer energia elétrica [The Boston Globe, 1999]. Tornou-se depois comum em outros tipos de dispositivos como *smartphones*, PDAs e consolas de jogos [CNet, 2009b].
- Hypertext Transfer Protocol – protocolo de comunicação para sistemas de informação hipermedia, distribuídos e colaborativos base para a comunicação de dados da World Wide Web (WWW) [Berners-Lee et al., 1999].

## 3.5 Sensores

Um sensor é um conversor que mede uma quantidade física e converte-a num sinal que pode ser lido por um observador ou um instrumento. Sensores são geralmente utilizados em objetos do cotidiano como botões de elevadores sensíveis ao toque, botões dos micro-ondas, botões de monitores, entre muitos outros.

A sensibilidade de um sensor indica quanto o output do sensor se altera quando a quantidade medida é alterada. Sensores que medem mudanças muito subtis têm sensibilidade alta. Sensores precisam ser concebidos para não terem influência no que está a ser medido.

### 3.5.1 Kinect

O Kinect é um sensor de movimentos desenvolvido pela Microsoft para Xbox 360, Xbox One e computadores Windows. Baseado num estilo periférico de *webcam*, permite aos utilizadores controlarem e interagirem com o seu dispositivo sem precisarem de um controlador de jogos, a partir de uma interface natural utilizando gestos e comandos de voz [Seattlepi, 2009].

A Microsoft lançou o Kit de desenvolvimento de software da Kinect para Windows 7 em 16 de Junho de 2011 que permite aos desenvolvedores criarem aplicações Kinect em C++, C# e Visual Basic .Net [Engadget, 2011].



Figura 12 - Kinect

Este dispositivo possui uma câmera RGB, um sensor de profundidade e um microfone *multi-array* a correr em *software* proprietário, que fornece capturas em movimento 3D de corpo inteiro, reconhecimento facial e capacidade de reconhecimento de voz [Kotaku, 2010].

O seu sensor de profundidade consiste num projetor de lasers infravermelhos combinado com um sensor CMOS (*Complementary metal-oxide-semiconductor*) monocromático que captura dados de vídeo em 3D sob quaisquer condições de luz ambiente [Mirror Image, 2010]. O alcance de deteção é ajustável, e o *software* da Kinect é capaz de calibrar o sensor automaticamente baseado na jogabilidade e no ambiente físico do jogador, acomodado para a presença de diversos tipos de obstáculos [Gizmodo, 2009].

### 3.5.2 Bússola

Uma bússola é um instrumento de navegação que apresenta direções numa estrutura de referência que é estacionária relativa à superfície da Terra. A estrutura de referência define as quatro direções cardinais – norte, sul, este e oeste. Adicionalmente são representadas também na bússola marcações de ângulo em graus. O ângulo aumenta em direção dos ponteiros do relógio, sendo que o norte corresponde a 0 graus, este 90º, sul 180º e oeste 270º.

Um dos tipos de bússolas mais utilizado é a bússola magnética. Uma bússola magnética contém um ímã que interage com o campo magnético da Terra e alinha-se relativamente aos polos magnéticos.

Em navegação, as direções no mapa são expressas como referência ao norte geográfico, também conhecido como norte verdadeiro. O norte verdadeiro é definido como o ponto no hemisfério norte onde o eixo de rotação da Terra encontra a sua superfície. Como os polos magnéticos da Terra estão perto, mas não no mesmo local que os polos geográficos, uma bússola não aponta para o norte verdadeiro. Dependendo de onde a bússola se encontra na superfície da Terra, o ângulo entre o norte verdadeiro e o norte magnético, também conhecido como declinação magnética, pode variar bastante, aumentando quanto mais distante estiver do meridiano do campo magnético da Terra [Earth Science Australia, 1996].

A declinação magnética local é apresentada na maior parte dos mapas, para permitir que o mapa seja orientado com uma bússola paralela ao norte verdadeiro. Algumas bússolas magnéticas incluem meios para compensar manualmente a declinação magnética de forma a apresentarem as direções verdadeiras.



Figura 13 - Bússola

## 4 Solução proposta

### 4.1 Análise comparativa com o estado da arte

Ao analisar os diferentes projetos de cadeiras de rodas elétricas, pode-se verificar que, de modo geral, mesmo tendo funcionalidades e objetivos relativamente diferentes, possuem também algumas características semelhantes, como a adaptação de diferentes tipos de interfaces de controlo na cadeira para facilitar a interação de pessoas com diferentes tipos de deficiência (ex. “FRIEND”, “Intelligent Wheelchair” da Universidade de Berlin e “IntellWheels”), a movimentação em trajetos previamente determinados (ex. “MIT Intelligent Wheelchair Project” e “CALL Centre”) e a movimentação em ambientes *indoor* (ex. “MIT Intelligent Wheelchair Project”, “NavChair”, “CALL Centre” e “IntellWheels”).

O projeto RevoChair, mesmo tendo como uma das suas características a adição de uma nova interface de interação com o utilizador, tem como ponto de diferenciação dos projetos anteriores o facto de que esta interface não tem como objetivo o controlo da cadeira, mas sim a visualização do estado atual do sistema e a possibilidade de iniciar e interromper o movimento automático da cadeira. Outro fator diferenciador é o facto de não ser necessário ensinar à cadeira os trajetos a serem percorridos, a cadeira será inteligente o suficiente para percorrer qualquer trajeto mesmo nunca o tendo efetuado anteriormente. Finalmente, diferencia-se também pelo facto de ter como objetivo a movimentação em ambientes *outdoor*.

Como referido anteriormente, a escolha da interface com o utilizador é de elevada importância principalmente quando tem-se como público-alvo pessoas com deficiência motora. Tendo em conta os requisitos do projeto RevoChair, o tipo de interface mais indicada para a concretização dos objetivos é uma interface por sensores táteis, mais concretamente, um dispositivo móvel como um *smartphone*. Desta forma, é possível fazer com que, funcionalidades como a visualização do mapa da região, escolha de destinos, visualização de rotas, inicialização e interrupção de movimento automático, sejam simplesmente

implementáveis com a ajuda de uma API de mapas e do sistema de localização de um *smartphone*.

Sendo o objetivo principal do projeto RevoChair o movimento automático da cadeira, é necessário adicionar diversos sensores para que seja possível ser feito a deteção e prevenção de obstáculos. Como a mobilidade é uma das principais vantagens na utilização de um *smartphone*, não faz sentido limitá-la ao conectar todos estes sensores fisicamente ao dispositivo. Devido à quantidade excessiva de informação trocada com os sensores, *joystick* e o motor da cadeira, a conexão sem fios também não seria adequada. Tendo estes fatores em conta, e adicionalmente, o facto do processamento de toda a informação ser muito pesado para ser executado por um *smartphone*, foi decidido separar a componente de interface da componente do processamento. Desta forma, o dispositivo móvel só será responsável pela interface com o utilizador, e todo o processamento da informação será executado, inicialmente, por um computador portátil que encontrar-se-á entre o *smartphone* e o microcontrolador (como pode ser observado na figura 14).



Figura 14 – Componentes de foco da tese

Ao ser adicionado um novo dispositivo ao sistema, é necessário ser definido a forma como este irá comunicar com o resto do sistema. Como podemos observar na figura 14, o computador portátil passa a ter que trocar informação com o *smartphone* e com o microcontrolador. Desta forma, foi decidido fazer uma separação lógica desta componente em duas partes, a unidade de controlo que será responsável por gerir toda a informação a circular entre as diferentes componentes do sistema e por controlar o estado atual do sistema, e a unidade de processamento que será responsável por analisar a processar a informação para o movimento automático da cadeira.

Nos subcapítulos seguintes será feita a descrição da conceção, desenvolvimento e validação da aplicação de interface com o utilizador e da aplicação para desktop responsável pela unidade de controlo do sistema.

## 4.2 Conceção

Como referido anteriormente, sendo o público-alvo do projeto RevoChair pessoas com deficiência motora, a interface com o utilizador tem um papel bastante elevado no sucesso da introdução do produto no mercado. Uma pessoa que utiliza cadeira de rodas pode não só ter problemas nos membros inferiores, mas também nos membros superiores dificultando a sua interação com um dispositivo tátil. Tendo também este público-alvo em mente, é essencial que a aplicação de interface com o utilizador seja simples de utilizar e que requeira o mínimo de intervenção do utilizador possível.

Com estes fatores em conta, foram identificados os seguintes requisitos relativamente à aplicação de interação com o utilizador:

- Interface de simples utilização requerendo o mínimo de intervenção do utilizador possível;
- Visualização e integridade da informação relativa ao estado atual do sistema;
- Visualização em tempo real da posição atual do utilizador e da direção da cadeira no mapa;
- Escolha de um ponto de destino no mapa e visualização da rota;
- Inicialização do movimento automático;
- Possibilidade de interrupção do movimento automático a qualquer momento;
- Comunicação com a unidade de controlo garantindo a integridade da informação.

A aplicação desktop responsável pela unidade de controlo é uma aplicação que, numa fase final, só realizará o controlo da informação sem ser necessário nenhuma interação com o utilizador, mas que, numa fase inicial, será desenvolvida a apresentar o máximo de informação possível relativamente às ações efetuadas pelo sistema de forma a facilitar a sua supervisão e a deteção de erros.

Tendo estes fatores em conta, foram identificados os seguintes requisitos relativamente à aplicação desktop:

- Comunicação com a unidade de interação e com o microcontrolador garantindo a integridade da informação;
- Garantir a possibilidade de interrupção manual do movimento automático através do *joystick* da cadeira e do *smartphone*;
- Gestão da informação que entra e sai da unidade de processamento;

- Gestão do estado atual do sistema;
- Feedback das ações do sistema.

Tendo como base estes requisitos, foram identificadas as seguintes ações entre o utilizador e o sistema:

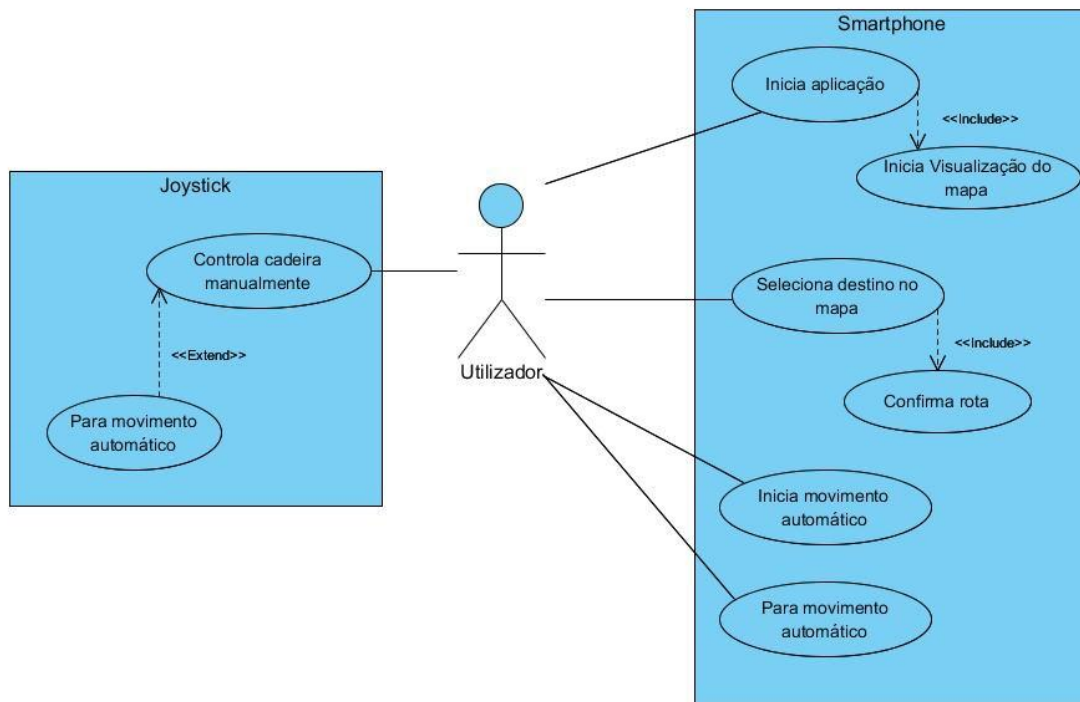


Figura 15 – Casos de uso do sistema.

Como referido anteriormente, um dos principais objetivos traçados pela equipa responsável pelo projeto RevoChair foi a participação na Imagine Cup. Pelo facto de esta competição ser patrocinada pela Microsoft, foi decidido utilizar, sempre que possível, *hardware* e *software* Microsoft para o desenvolvimento do primeiro protótipo do sistema. Ambas aplicações mencionadas nesta tese foram desenvolvidas com o IDE do Visual Studio 2013, sendo a aplicação de interface com o utilizador desenvolvida com o SDK para Windows Phone 8 e a aplicação responsável pela unidade de controlo para *.NET Framework 4.5*. A linguagem de programação utilizada foi o C#.

## 4.3 Desenvolvimento

### 4.3.1 Comunicação entre dispositivos

Como este projeto requer a comunicação entre diversos dispositivos, é essencial que este seja o ponto de partida no desenvolvimento da solução. Para que esta troca de informação seja efetuada, é necessário ser definido um protocolo de comunicação que vá de encontro com as necessidades específicas do projeto em questão.

#### 4.3.1.1 Smartphone – computador portátil

De modo a não limitar a mobilidade do dispositivo móvel, foi escolhido o Bluetooth como protocolo de comunicação entre o *smartphone* e o computador portátil. O Bluetooth, além de ter um baixo alcance e consumo de energia, é seguro e simples de configurar.

Para que dois dispositivos comuniquem por Bluetooth, é preciso definir qual deles será o cliente e qual será o servidor. Como o computador portátil terá também que trocar informação com o microprocessador, partindo dum ponto de vista lógico e estético, foi decidido centralizar a responsabilidade de servidor no computador portátil.

Para a criação do servidor Bluetooth na aplicação responsável pela unidade de controlo, foi utilizado uma biblioteca chamada “32feet.Net”. O 32feet.Net é uma biblioteca *open-source* criada para facilitar a acessibilidade de tecnologias como o Bluetooth, infravermelhos, entre outros, a partir de código *.Net*.

Após esta biblioteca ser importada, o servidor Bluetooth pode ser iniciado ao criar uma instância da classe “BluetoothListener”, sendo de seguida possível receber conexões de clientes através da classe “BluetoothClient” e iniciar a troca de informação ao criar uma “NetworkStream” com o cliente em questão.

Com este código preparado, a aplicação da unidade de controlo já passa a poder ser executada ficando a espera da conexão de um cliente (figura 16).

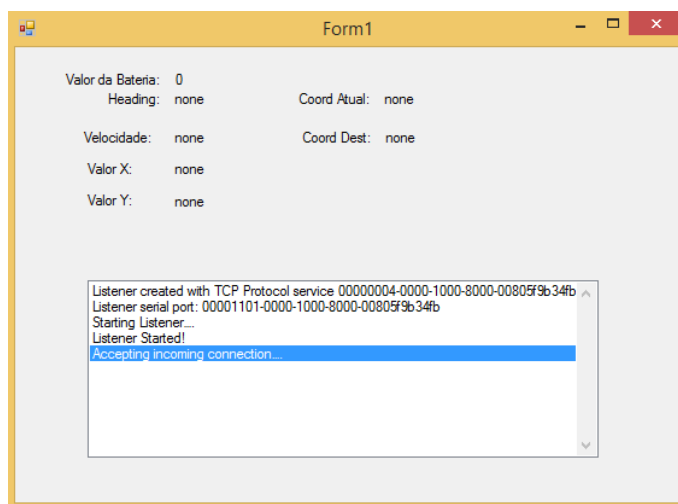


Figura 16 – Unidade de controlo – Inicialização do servidor Bluetooth.

Do lado do cliente, a comunicação por Bluetooth pode ser efetuada através da classe “Peerfinder” suportada pelo SDK do Windows Phone 8. Com esta classe, após a inicialização do serviço de Bluetooth, é feita uma pesquisa a todos os servidores existentes a sua volta pelo servidor em questão. Após ser encontrado, o cliente tenta conectar-se assincronamente através da classe “StreamSocket”.

Para que seja possível proceder à conexão, é preciso que ambos os dispositivos (cliente e servidor) estejam emparelhados. Para que este emparelhamento seja efetuado, é necessário que o cliente insira o código de emparelhamento disponibilizado pelo servidor e de seguida é preciso que haja a confirmação desta ação pelo servidor. Desta forma previne-se a conexão de outros dispositivos além do smartphone que pretendemos. Este código de emparelhamento só é necessário ser introduzido uma vez.

Após a conexão ao servidor, é possível iniciar o envio de informação à unidade de controlo.

#### 4.3.1.2 Computador portátil – microcontrolador

O protocolo escolhido para a comunicação entre o computador portátil e o microcontrolador foi o USB. Como nenhum destes dispositivos requerem a interação com o utilizador, a mobilidade não é um fator de relevância. Devido à frequência de troca de informação entre estes dispositivos, o protocolo USB é ideal pela sua superioridade na velocidade da comunicação comparativamente com os protocolos *wireless*.

A ligação USB pode ser iniciada e configurada através da classe “SerialPort”. Após essa configuração, a unidade de controlo passa a ser capaz de ler e enviar informação ao microcontrolador através dos métodos “Write()” e “ReadByte()” da classe “SerialPort”.

### 4.3.2 Primeiro protótipo do sistema

Após configurado os protocolos de comunicação entre os dispositivos, foi iniciado o desenvolvimento do primeiro protótipo do sistema. Este protótipo teve como finalidade testar a estabilidade do fluxo de informação entre os dispositivos e a gestão dos diferentes estados do sistema.

Neste protótipo foram implementadas as seguintes funcionalidades:

- Verificação do estado dos componentes do sistema;
- Início do movimento automático pelo *smartphone*;
- Interrupção do movimento automático pelo *smartphone* e pelo joystick;

#### 4.3.2.1 Verificação do estado dos componentes sistema

A verificação do estado dos componentes do sistema é a primeira ação efetuada pela aplicação de interação com o utilizador. Em primeiro lugar, a aplicação começa por tentar conectar à unidade de controlo por Bluetooth. Caso não consiga fazer a conexão, a aplicação repete este processo a cada segundo até suceder. Após conseguir fazer a conexão é enviado um pedido à unidade de controlo a pedir o estado atual dos outros componentes do sistema. A unidade de controlo então verifica se o microcontrolador e os sensores estão conectados e envia a resposta ao *smartphone*.

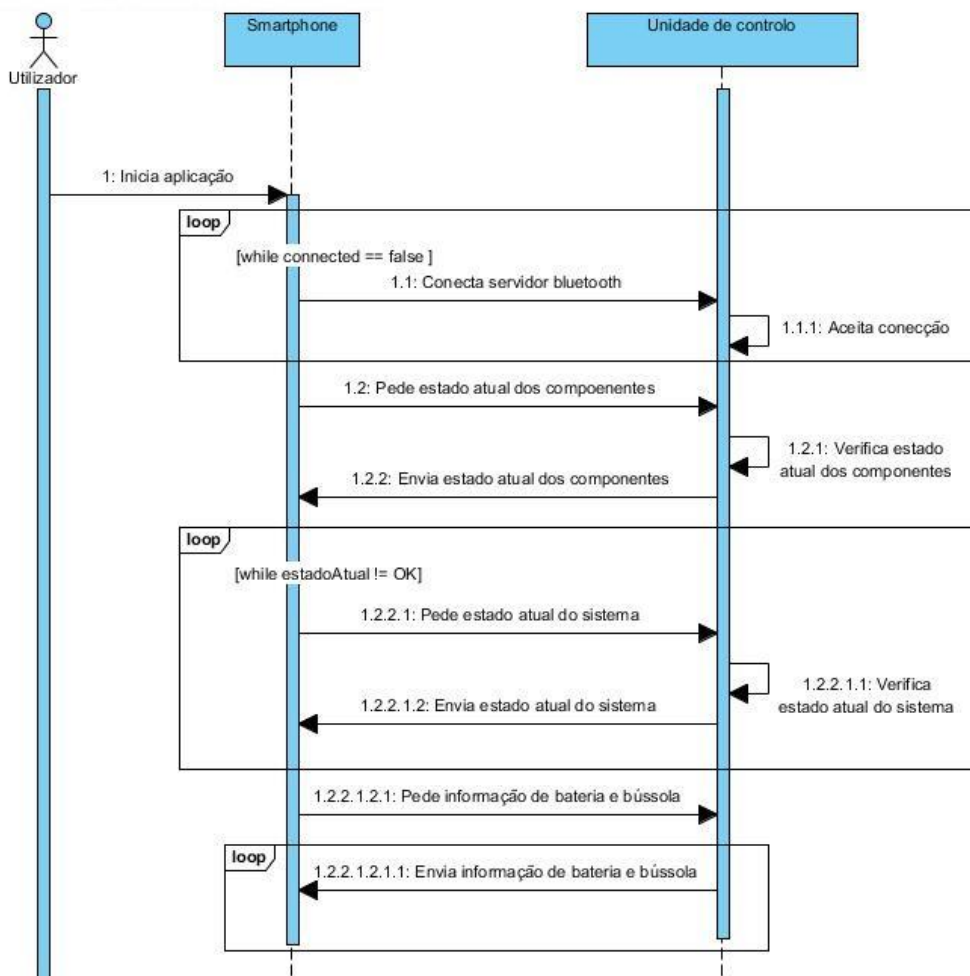


Figura 17 – Diagrama de sequências do caso de uso “Inicia aplicação”.

Como pode-se verificar na figura 17, a aplicação do *smartphone* continua a fazer o pedido do estado dos componentes à unidade de controlo até o microcontrolador e os sensores estarem conectados. Após todos os dispositivos estarem prontos é então enviada uma mensagem à unidade de controlo a pedir o estado atual da bateria da cadeira e o valor da bússola.

O valor da bússola representa a direção com que a cadeira de rodas se encontra relativamente ao norte geográfico (também conhecido como “*heading*”). Este sensor está ligado ao microcontrolador que constantemente atualiza este valor na unidade de controlo. Neste primeiro protótipo o valor da bússola e da bateria são fictícios.

Após receber o pedido, a unidade de controlo cria uma *thread* que fica responsável por transmitir ao *smartphone* o *heading* a cada 200 milissegundos e o valor da bateria a cada minuto.

Na figura 18 pode-se observar este comportamento na aplicação do *smartphone*:

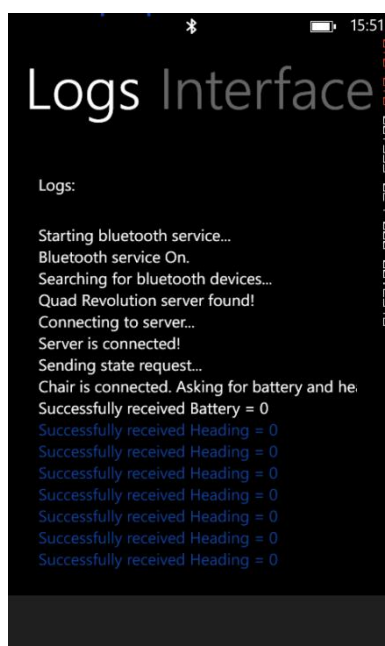


Figura 18 – Conexão da aplicação de interface com a unidade de controlo

Este angulo de *heading* será mais a frente utilizado para representar no mapa a direção atual da cadeira. Após verificar o estado dos componentes do sistema e fazer o pedido de *heading* e bateria, é possível então iniciar o movimento automático.

#### 4.3.2.2 Início do movimento automático

Neste primeiro protótipo é apresentado no ecrã a coordenada atual do utilizador e uma área para a inserção de uma coordenada correspondente ao ponto de destino que a cadeira deverá movimentar. Estas coordenadas têm como objetivo simular as coordenadas de início e do próximo ponto de uma determinada rota escolhida pelo utilizador.

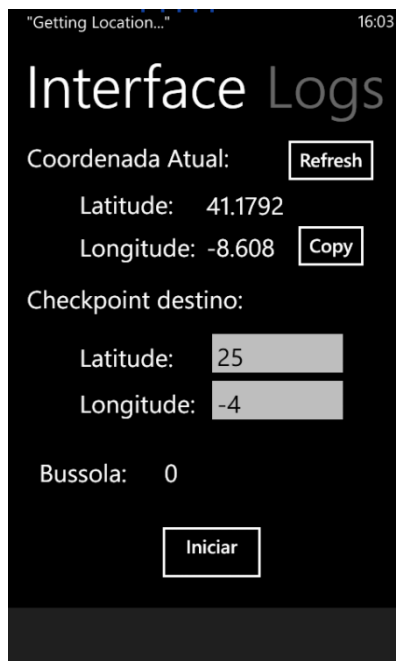


Figura 19 – Interface de simulação de dois pontos de uma rota

A coordenada atual é obtida através da classe “Geolocator” do SDK do Windows Phone 8. A ação de atualização da coordenada sempre que é detetado uma alteração na posição atual do utilizador pode ser implementada através do evento “PositionChanged” desta classe.

Após a inserção da coordenada do próximo checkpoint, é possível então iniciar o processo de movimento automático. Quando o utilizador pressiona o botão de iniciar, a aplicação do *smartphone* cria uma *thread* que fica responsável por enviar à unidade de controlo a coordenada atual do utilizador e as duas próximas coordenadas da rota a cada 100 milissegundos. Neste primeiro protótipo, como ainda não temos disponível a informação da rota, é somente enviado a coordenada atual e a coordenada do próximo checkpoint inserida pelo utilizador.

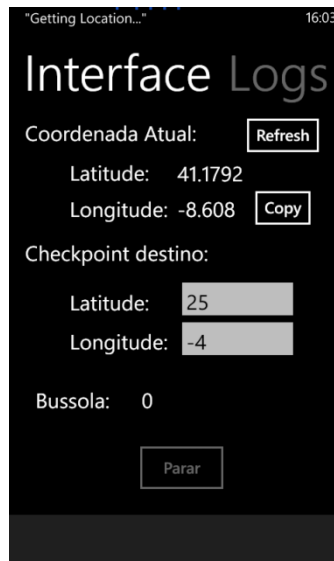


Figura 20 – Início do movimento automático pelo *smartphone*

A unidade de controlo, ao receber as coordenadas, começa então por preparar o início do movimento automático. Neste processo de preparação é enviado uma mensagem ao microcontrolador a perguntar se está pronto para começar a receber ordens de movimentação automática. Após a unidade de controlo receber a resposta de confirmação, pode então iniciar o processo de movimento automático.

Em primeiro lugar, a unidade de controlo altera o estado atual do sistema do estado “Manual” para o estado “Inicial”. Num ambiente ideal, isto é, sem nenhum tipo de obstáculo por contornar, o sistema tem em consideração os seguintes estados:

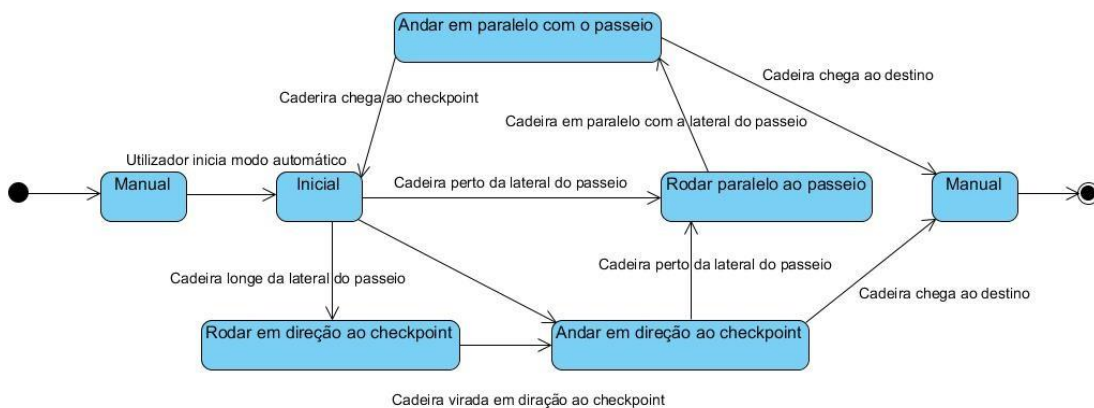


Figura 21 – Diagrama de estados da movimentação automática num cenário ideal

Como nem todos os cenários são ideais, é preciso ter também em conta a possível existência de obstáculos. Neste protótipo, em vez de ser feito o contorno do obstáculo, a cadeira simplesmente para e espera até que o obstáculo saia do caminho (objeto a simular o

comportamento de uma pessoa). Com isso, durante quaisquer dos estados acima, o estado do sistema passa ao estado “Em pausa” quando é detetado a presença de um obstáculo.

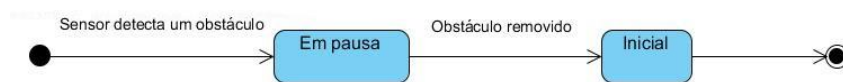


Figura 22 – Diagrama de estados da detecção de um obstáculo do primeiro protótipo

Neste primeiro protótipo, como ainda não é executado o movimento de rotação, só são considerados os estados “Manual”, “Inicial”, “Andar em direção ao checkpoint” e “Em pausa”.

Após a atualização do estado do sistema, a unidade de controlo dá a indicação à unidade de processamento para iniciar a análise do ambiente e o cálculo da direção a movimentar da cadeira. Depois de a direção ser calculada, a unidade de controlo envia este valor ao microcontrolador para que este possa reencaminhar este comando para o motor da cadeira. Este processo de cálculo da direção e envio ao microcontrolador é repetido constantemente com as novas coordenadas disponibilizadas pelo *smartphone* enquanto a cadeira encontra-se no modo automático. Como neste protótipo a cadeira ainda só anda para a frente, a direção assumida como resultado pela unidade de processamento é sempre a mesma.

Todo este processo de início do movimento automático pode ser observado no diagrama da figura 23.

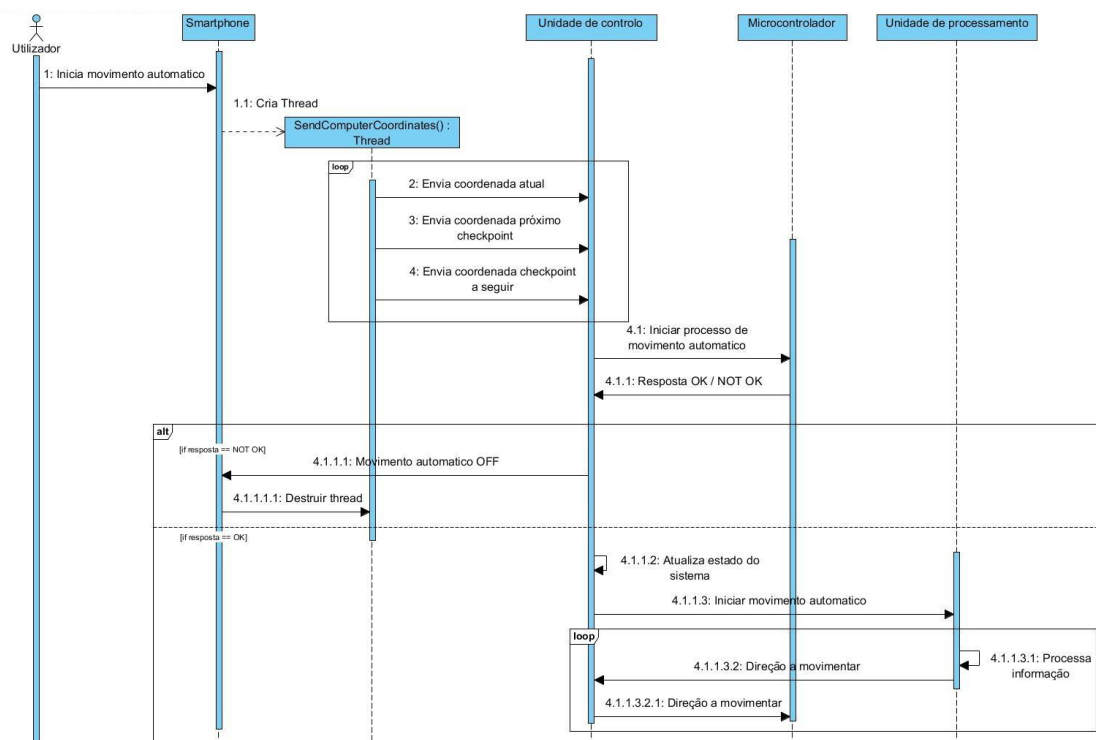


Figura 23 – Diagrama de seqüências do caso de uso “Inicia movimento automático”

Na figura 24 pode-se observar o comportamento da aplicação da unidade de controlo durante o movimento automático:

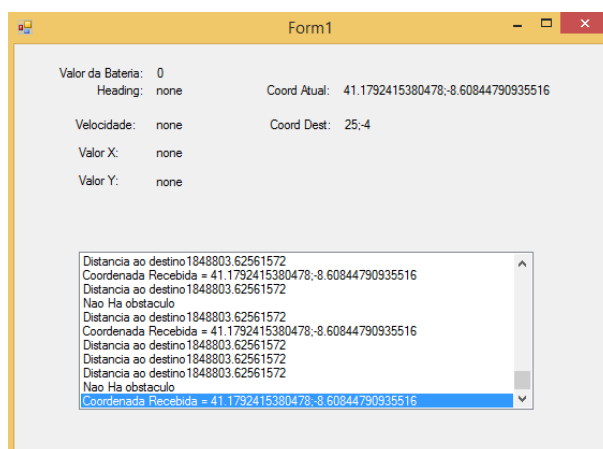


Figura 24 – Aplicação da unidade de controlo durante o movimento automático

#### 4.3.2.3 Paragem do movimento automático pelo *smartphone* e pelo *joystick*

Durante o movimento automático, é necessário que o utilizador seja capaz de interromper este procedimento a qualquer altura. Esta funcionalidade é disponibilizada através da aplicação do *smartphone* ou através de um simples toque no *joystick* da cadeira.

Quando o utilizador interrompe o movimento automático pelo *smartphone*, a aplicação, em primeiro lugar, interrompe a *thread* responsável por enviar as coordenadas para a unidade de controlo e de seguida envia uma mensagem de alerta para a interrupção do movimento automático. A unidade de controlo, ao receber este alerta, ordena a unidade de processamento a interromper o cálculo do movimento automático, envia uma mensagem ao microcontrolador do acontecimento e altera o estado atual do sistema para “Manual”.

Este procedimento de interrupção do movimento automático pelo *smartphone* pode ser observado na figura 25.

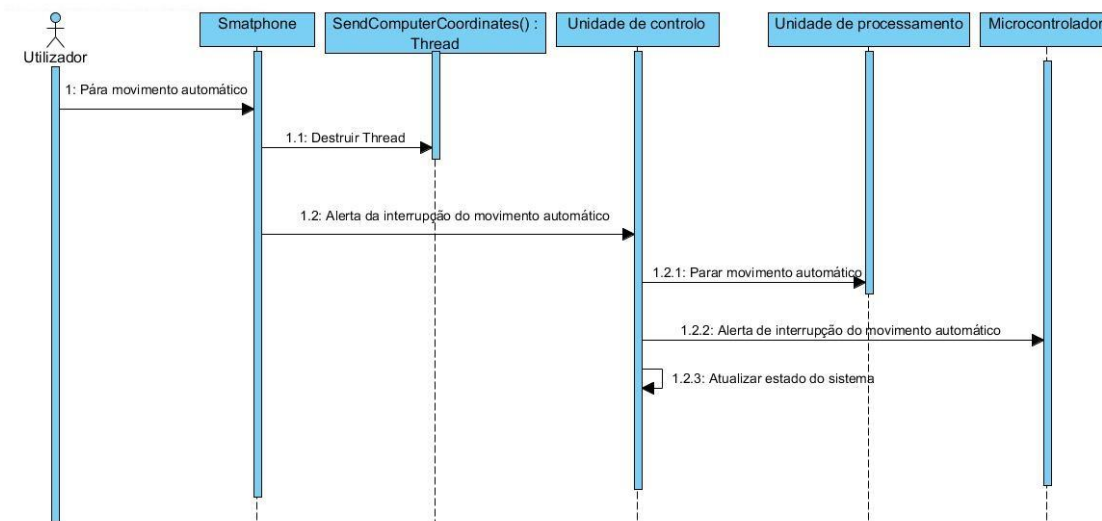


Figura 25 – Diagrama de seqüências da interrupção do movimento automático pelo *smartphone*.

No caso da interrupção do movimento automático pelo *joystick* da cadeira, o procedimento é o mesmo mas com o fluxo de informação invertido. O microcontrolador, ao detetar a interação do utilizador com o *joystick*, envia um alerta à unidade de controlo sobre o acontecimento. A unidade de controlo, ao receber este alerta, ordena a unidade de processamento a interromper o cálculo do movimento automático, altera o estado atual do sistema para “Manual” e envia o alerta para a aplicação do *smartphone* que, ao receber esta mensagem, interrompe a *thread* responsável por enviar as coordenadas à unidade de controlo.

Este procedimento de interrupção do movimento automático pelo *joystick* da cadeira pode ser observado na figura 26.

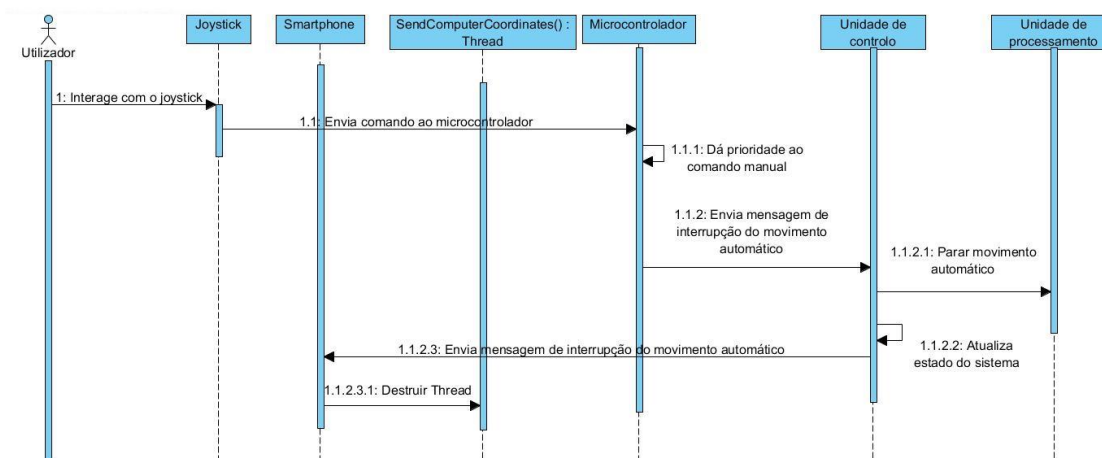


Figura 26 - Diagrama de seqüências da interrupção do movimento automático pelo *joystick* da cadeira.

### 4.3.3 Segundo protótipo do sistema

Após a finalização da implementação das funcionalidades do primeiro protótipo, foi iniciado o desenvolvimento do segundo protótipo do sistema. Este protótipo tem como foco principal a conceção da unidade de interação com o utilizador e adicionalmente alguns ajustes na unidade de controlo do sistema.

Neste protótipo foram implementadas as seguintes funcionalidades:

- Apresentação do estado atual dos componentes do sistema;
- Visualização do mapa da região e da posição do utilizador;
- Seleção de um ponto de destino e apresentação da rota;
- Integração do início e fim do movimento automático implementado no primeiro protótipo com a nova interface do sistema;
- Visualização em tempo real da direção atual da cadeira no mapa.

#### 4.3.3.1 Apresentação do estado atual dos componentes do sistema

Como já referido no subcapítulo do primeiro protótipo, a verificação do estado dos componentes do sistema é a primeira ação efetuada quando a aplicação do *smartphone* é iniciada. Neste segundo protótipo a aplicação, além de fazer a verificação, também apresenta este procedimento em forma de um ecrã de “*loading*”.



Figura 27 – Apresentação do processo de verificação do estado dos componentes

Como pode ser observado na figura 27, são apresentadas 3 imagens no ecrã correspondentes a cada componente do sistema. A primeira imagem representa o computador portátil responsável pela unidade de controlo e processamento. Este é o primeiro componente a que a aplicação do *smartphone* tenta conectar (por Bluetooth).

Caso não consiga fazer a conexão à unidade de controlo, é apresentado o respetivo alerta e a opção de tentar conectar novamente.

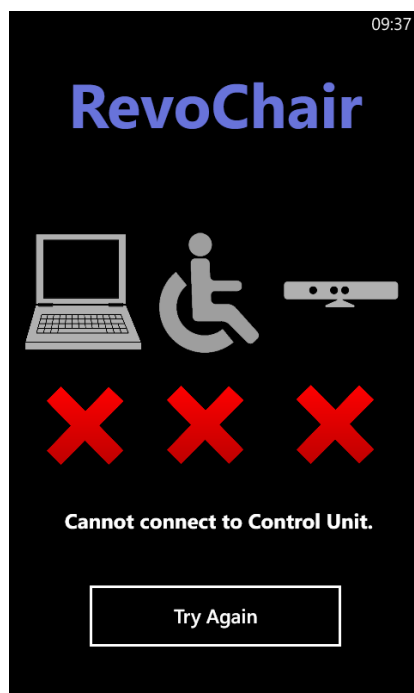


Figura 28 – Falha na conexão à unidade de controlo

A falha na conexão à unidade de controlo pode acontecer caso a aplicação da unidade de controlo não esteja a correr ou caso o serviço de Bluetooth não esteja ligado no *smartphone*.

Após suceder à conexão com a unidade de controlo, como pode ser observado na figura 29, é feita a verificação da conexão com ao microcontrolador situado na cadeira de rodas.

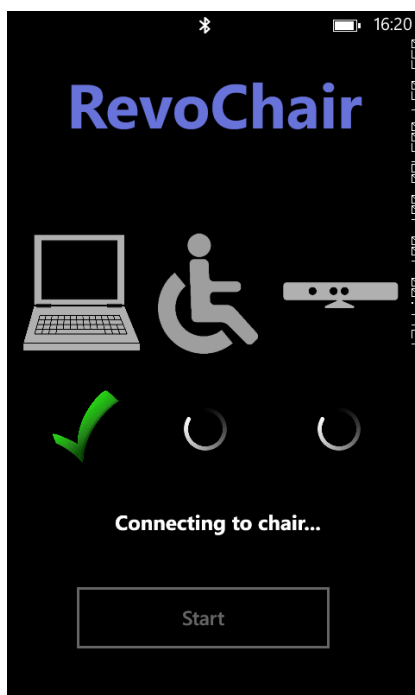


Figura 29 – Verificação da conexão à cadeira de rodas

Caso não consiga conectar-se ao microcontrolador da cadeira, é apresentado o *feedback* ilustrado na figura 30.

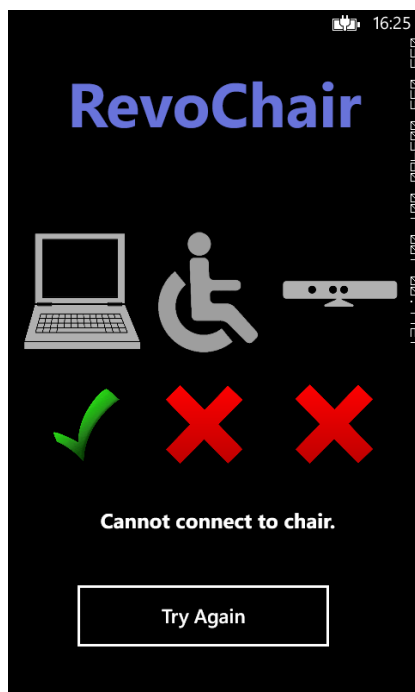


Figura 30 – Falha na conexão ao microcontrolador da cadeira

A falha da conexão ao microcontrolador acontece quando o cabo USB do microcontrolador não esteja ligado ao computador portátil.

Em último lugar, após conseguir fazer a conexão ao microcontrolador na cadeira, é feita a verificação da conexão à Kinect.

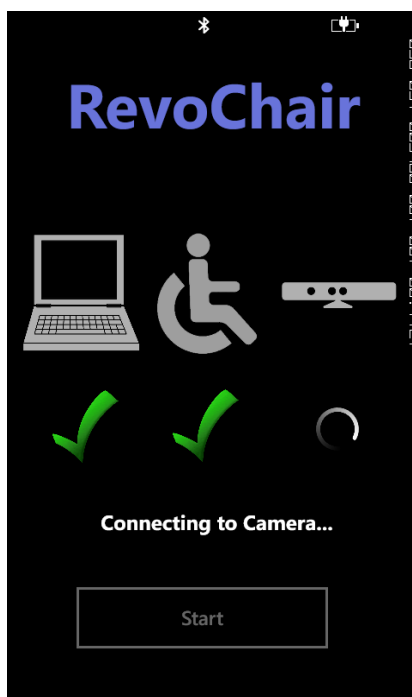


Figura 31 – Verificação da conexão ao sensor da camera

Caso todos os componentes estejam preparados, é possível então passar à próxima área da aplicação.



Figura 32 – Verificação efetuada com sucesso

#### 4.3.3.2 Visualização do mapa da região e posição do utilizador

Após ser feita a verificação do estado dos componentes e do utilizador pressionar o botão “Start”, é apresentado o mapa da região e a sua respetiva posição atual.

O mapa da região é apresentado com o controlo de mapas do SDK do Windows Phone 8. Após o mapa ser carregado, é executado o método “onMapLoaded()”. Neste método é utilizado o código que busca a coordenada atual do utilizador utilizado no primeiro protótipo do sistema.

Neste protótipo, o método de obtenção da coordenada atual faz a mesma coisa que faz no primeiro protótipo, com a diferença de que, além de ir buscar a coordenada atual do utilizador, também a desenha no mapa. O representar da posição do utilizador no mapa é implementado através da classe “UserLocationMarker” do Windows Phone Toolkit.

Após ser desenhada a posição do utilizador, o mapa é centralizado nessa posição.

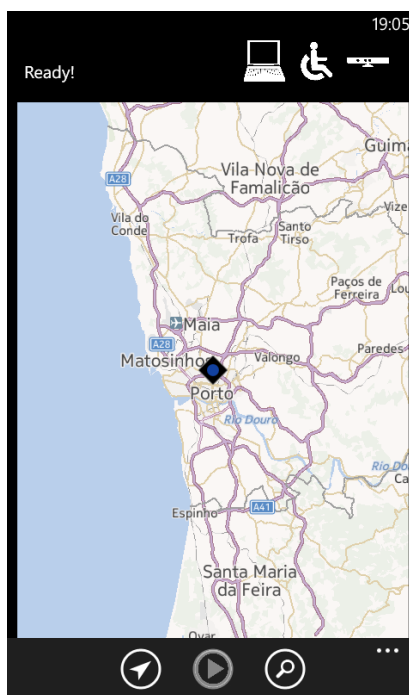


Figura 33 – Apresentação do mapa da região e posição do utilizador

#### 4.3.3.3 Seleção de um ponto de destino e apresentação da rota

Como pode ser observado na imagem anterior, existem três botões na barra inferior da aplicação. O primeiro botão tem como função focar o centro do mapa na posição do utilizador, o terceiro tem como função a procura de uma determinada localização no mapa e o segundo botão inicia o movimento automático após a rota ser iniciada. Ao pressionar o terceiro botão, é apresentado uma caixa de texto onde o utilizador pode inserir a localização desejada.

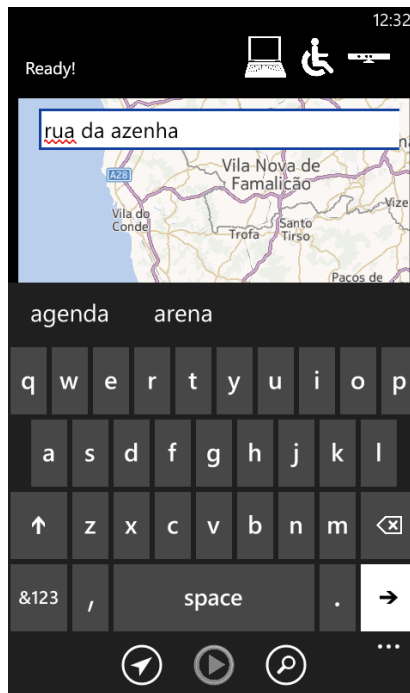


Figura 34 – Introdução de uma localização

Após o utilizador escrever o nome da localização, a aplicação faz a procura pelo termo inserido através da classe “GeocodeQuery” que retorna uma lista de objetos do tipo “MapLocation” representando cada localização encontrada. Cada “MapLocation” possui uma coordenada GPS e a sua respetiva informação.

Após estas informações serem salvas, a aplicação começa por procurar uma rota entre a posição atual do utilizador e a localização encontrada com a classe “RouteQuery” em que, caso a pesquisa seja concluída com sucesso, retorna um objeto do tipo “Route” que contém a informação da rota.

De seguida a rota é desenhada no mapa e é disponibilizado ao utilizador a possibilidade de iniciar o movimento automático da cadeira.

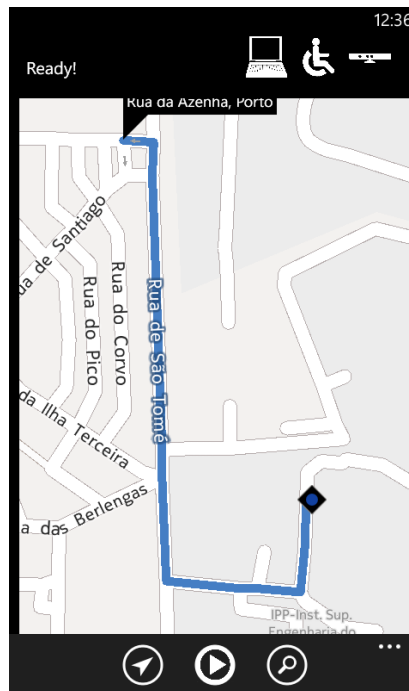


Figura 35 – Apresentação da rota

#### 4.3.3.4 Movimento automático e direção da cadeira

Ao selecionar a opção de início do movimento automático, a aplicação começa por executar as ações descritas no primeiro protótipo. Em primeiro lugar cria uma *thread* responsável por enviar coordenadas à unidade de controlo. Diferentemente do primeiro protótipo, como já temos disponível toda a informação sobre a rota, esta *thread* já tem a capacidade de enviar a coordenada atual do utilizador e as duas próximas coordenadas da rota.

Após o processo de início do movimento automático ser concluído, a aplicação do *smartphone* muda a vista do mapa ao maximizar o *zoom* do mapa na posição do utilizador e utiliza o *heading* retornado da bússola para alterar o ângulo de visualização do mapa de forma a representar a direção atual da cadeira.

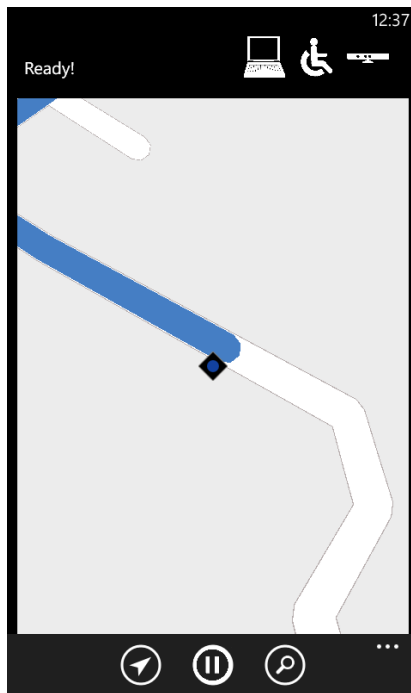


Figura 36 – Vista do mapa durante o movimento automático

O processo de interrupção do movimento automático também é o mesmo mencionado no primeiro protótipo do sistema. Após este processo ser concluído, a aplicação do *smartphone* reverte à vista anterior.

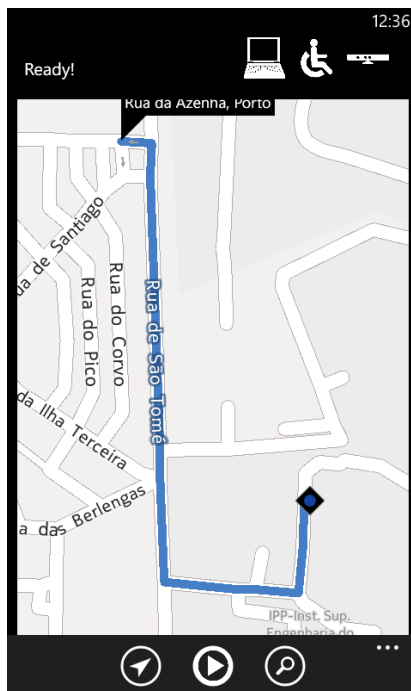


Figura 37 – Vista de paragem do movimento automático

## 4.4 Validação

Após a realização do primeiro protótipo foram efetuados alguns testes para verificar se a solução desenvolvida responde devidamente às necessidades do sistema idealizado.

Nas figuras seguintes podem ser visualizadas imagens deste processo de validação. Em primeiro lugar pode ser observado o início do movimento automático pelo utilizador.

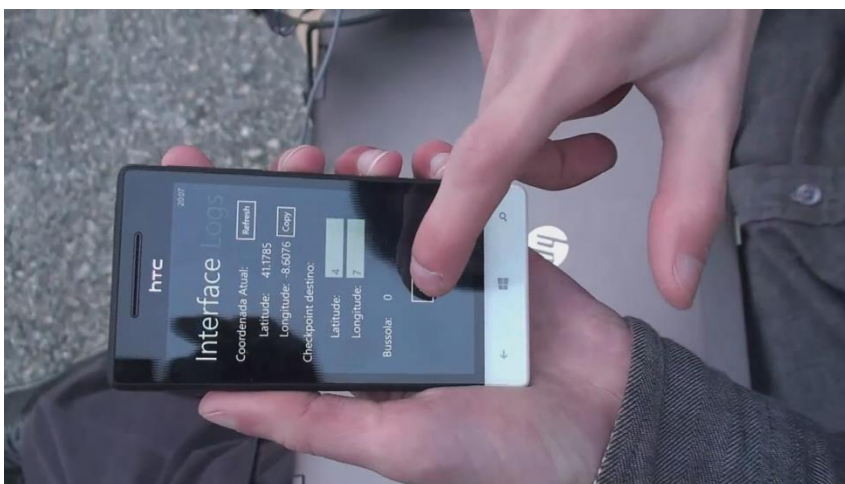


Figura 38 – Validação 1 – Início do movimento automático

A cadeira começa então a andar automaticamente em frente até encontrar um obstáculo que impeça o seu movimento. Neste caso a cadeira para e só continua o seu movimento quando o obstáculo (neste caso, uma pessoa) sai do seu caminho.



Figura 39 – Validação 2 – Detecção de um obstáculo

Quando o obstáculo é removido, a cadeira continua a movimentar-se até encontrar-se a uma distancia de 4 metros do seu destino ou caso o utilizador interrompa a movimentação automática pelo *smartphone* ou pelo *joystick* da cadeira.



Figura 40 – Validação 3 - Interrupção manual da cadeira

Neste teste pôde ser observado que as três componentes em questão (*smartphone*, computador e microcontrolador) conseguem comunicar de forma relativamente eficaz, podendo ser identificados alguns problemas. Um deles foi o facto de por vezes a cadeira não iniciar o movimento automático após a indicação do utilizador. Era observado que o pedido chegava à unidade de controlo com sucesso, o estado do sistema era devidamente alterado, mas não era iniciado o envio dos comandos de movimento ao microcontrolador. Este erro foi corrigido mais a frente no desenvolvimento do segundo protótipo após a correção do código fonte.

Outro problema observado foi a peculiaridade da cadeira não andar exatamente em frente, mas com um pequeno desnível para a direita. Foi mais a frente identificado que o motor da roda esquerda anda com mais velocidade do que o da roda direita mesmo ao receber o mesmo valor. Este tipo de situação pode também ser futuramente observado dependendo da condição das rodas, condições do terreno, entre outros, o que implica ser necessário haver o controlo da direção de movimentação da cadeira e que o sistema seja inteligente o suficiente para compensar estes possíveis desníveis.

O último problema, não estando muito no âmbito desta tese, foi o baixo alcance do sensor da Kinect. Para que um objeto pudesse ser detetado, este precisava ter uma dimensão significativa. Objetos situados numa altura mais ou menos abaixo do nível da cintura do utilizador não eram detetados pelo sensor.

Relativamente ao segundo protótipo, como a maior parte das alterações foram relacionadas com a interface com o utilizador e a correção do código fonte, além de testes de depuração, foram executados os mesmos testes utilizados no primeiro protótipo. Nestes testes foi

verificado a correção do problema de a cadeira por vezes não iniciar o movimento automático e adicionalmente um aumento da rapidez nos processos de início e interrupção do movimento automático.



# 5 Conclusão

## 5.1 Avaliação de objetivos

Esta tese teve como missão o desenvolvimento das componentes de interação com o utilizador e controlo do fluxo de informação de um sistema destinado a ser integrado numa cadeira de rodas elétrica que seja capaz de movimentar a cadeira automaticamente no exterior a um destino previamente escolhido pelo utilizador.

Tendo em conta esta missão, foram definidos dois objetivos, o desenvolvimento de uma aplicação para dispositivos móveis de simples utilização integrada de um sistema de mapas e GPS responsável pela interação do utilizador com o sistema, e o desenvolvimento de uma aplicação para desktop responsável pela gestão da comunicação entre as várias componentes do sistema.

Relativamente à aplicação móvel, foram definidos os seguintes critérios de sucesso:

- Visualização em tempo real do estado atual dos componentes do sistema;
- Visualização em tempo real da posição atual do utilizador e da direção da cadeira relativamente ao norte verdadeiro no mapa;
- Possibilidade de o utilizador escolher no mapa um ponto de destino e de iniciar o movimento automático da cadeira;
- Possibilidade de interromper o movimento automático a qualquer momento;
- Visualização em tempo real da rota escolhida;
- Implementação da comunicação com a unidade de controlo garantindo a integridade da informação.

No caso da aplicação desktop, os seguintes critérios de sucesso foram definidos:

- Comunicação com a unidade de interação garantindo a integridade da informação;
- Comunicação com o microcontrolador que faz a gestão da informação que circula entre os sensores, o motor e o *joystick* da cadeira, garantindo a integridade da informação;
- Garantir a possibilidade de interrupção manual do movimento automático através do *joystick* da cadeira;
- Gestão da informação que entra e sai da unidade de processamento.

De forma geral pode-se dizer que os critérios foram todos cumpridos no âmbito definido aos protótipos desenvolvidos. Tendo em conta alguns dos trabalhos futuros que serão enumerados mais a frente, alguns destes critérios sofrerão alterações. No caso de uma possível alteração de dispositivos, os componentes apresentados na aplicação móvel seriam igualmente alterados. Havendo adições de funcionalidades e futuras evoluções no processar do movimento automático, haverá também potenciais mudanças no fluxo de informação percorrido entre os diferentes componentes do sistema, o que consequentemente resultaria em alterações na gestão de informação da unidade de controlo e possivelmente também da unidade de interação.

## 5.2 Resposta ao problema

Esta tese teve como âmbito de incidência três dos problemas iniciais do desenvolvimento do projeto RevoChair:

- Quais as componentes necessárias para a implementação do sistema;
- Como o utilizador interage com o sistema;
- Como os componentes comunicam entre si.

Durante o ciclo de desenvolvimento desta tese foram tomadas decisões com o intuito de responder a estes três problemas. Foram escolhidos os dispositivos responsáveis pela unidade de interação e controlo mais adequados para o sistema em questão, foram definidos protocolos de comunicação para estes dispositivos e foi desenvolvido uma interface de interação adequada de forma a ir de encontro com as funcionalidades pretendidas, tendo sempre como prioridade a segurança do utilizador.

Com o protótipo atual resultante deste processo, pode-se verificar que o conjunto das componentes escolhidas para a elaboração deste projeto conseguem comunicar entre si, trabalhar de forma funcional e proporcionar uma interface móvel e simples de utilizar.

### 5.3 Limitações e trabalho futuro

Devida a alta complexidade do sistema e ao número de tecnologias envolvidas, muitos aspetos ainda devem ser avaliados e testados para que o projeto RevoChair alcance um nível aceitável para poder ser introduzido no mercado. Um dos principais aspetos é a segurança. Para que um projeto destes possa ser distribuído em massa, é preciso ser garantido que o sistema seja 100% livre de falhas e que não possa de forma alguma por em perigo a segurança do utilizador. Para isso, é preciso que o sistema esteja preparado para enfrentar qualquer tipo de ambiente e situação possível no deslocamento da cadeira no exterior. Para que o protótipo atual atinja este ponto, estão planeados os seguintes trabalhos futuros:

- Adição de um sensor de GPS na unidade de controlo – atualmente o sistema está a utilizar o sensor de GPS do *smartphone*, o que conseqüentemente implica a necessidade de estar constantemente a ser feito o envio da coordenada atual do utilizador para a unidade de controlo. Com esta mudança, este processo passa a não ser necessário, a eficiência do sistema é aumentada, reduzindo a carga de processamento do *smartphone* e eliminando a possibilidade de perda de informação na comunicação com a unidade de controlo;
- Alteração do computador portátil (responsável pela unidade de controlo e processamento) por um dispositivo mais compacto – um computador portátil é pouco adequado para ser integrado num sistema destinado a ser comercializado, além de ocupar bastante espaço, requer estar sempre ligado com uma aplicação a correr, consumindo constantemente a bateria da cadeira, no que eventualmente resultaria na necessidade de frequente manutenção. A ideia seria adicionar um dispositivo mais compacto que não possua componentes desnecessários como o monitor, teclado, entre outros, mas que tenha capacidade de processamento suficiente para executar as tarefas necessárias do sistema;
- Alteração da camara da Kinect por sensores ultrassons e implementação devida da análise do ambiente e prevenção de obstáculos – a Kinect possui bastantes limitações face ao sistema idealizado como a sensibilidade à luz solar, o volume do dispositivo e o raio de alcance. Por estes motivos, o protótipo atual ainda só faz a deteção de obstáculos com significativa dimensão;
- Adaptação da aplicação de interface com o utilizador em diferentes plataformas além do Windows Phone 8;

- Implementação de funcionalidades adicionais na aplicação de interface como a visualização da bateria do motor da cadeira, adição de destinos favoritos, alteração da velocidade de movimento da cadeira, entre outros;
- Continuação na otimização da comunicação entre dispositivos e gestão da informação.

# Referências

- [Berners-Lee et al., 1999] Berners-Lee, Fielding, Roy T., Gettys, James, Mogul, Jeffrey C., Nielsen, Henrik Frystyk, Masinter, Larry, Leach, Paul J. Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1, 1999.
- [Bluetooth, 2014] Bluetooth, <http://www.bluetooth.com/Pages/Fast-Facts.aspx> [último acesso: Set 2014]
- [Boston Business Journal, 2008] Boston Business Journal. MIT adds robotics, voice control to wheelchair, 2008.
- [Brad Dicianno et al., 2010] Brad E. Dicianno, Rory A. Cooper, John Coltellaro. Joystick Control for Powered Mobility: Current State of Technology and Future Directions, 2010.
- [Business Insider, 2013] Business Insider. Social Media Insights. Google+ Smartphone App Popularity, 2013.
- [Call Scotland, 2013] Call Scotland. Smart Wheelchair, <http://www.callscotland.org.uk/What-we-do/Projects/Smart-Wheelchair/> [último acesso: Set 2014]
- [CNet, 2009a] CNet. Toyota thinks up mind-reading wheelchair, <http://www.cnet.com/news/toyota-thinks-up-mind-reading-wheelchair/> [último acesso: Out 2014]
- [CNet, 2009b] CNet. Sony Playstation 3 review, <http://www.cnet.com/products/sony-playstation-3/> [último acesso: Set 2014]
- [Christian Martens et al., 2007] Christian Martens, Oliver Prenzel, Axel Graser. The Rehabilitation Robots FRIEND-I & II: Daily Life Independency through Semi-Autonomous Task-Execution, 2007.
- [Miller and Slack, 1995] David P. Miller, Marc G. Slack. Design and Testing of a Low-Cost Robotic Wheelchair Prototype, 1995.
- [Earth Science Australia, 1996] Earth Science Australia. Magnetic Declination, <http://earthsci.org/education/fieldsk/declin.htm> [último acesso: Set 2014]
- [Engadget, 2011] Engadget. Kinect for Windows SDK beta launches, wants PC users to get a move on, 2011.
- [Erwin Prassler et al., 1999] Erwin Prassler, Jens Scholz, Matthias Strobel, Paolo Fiorini. MAid: A Robotic Wheelchair Operating in Public Environments, 1999.
- [Fehr L. et al., 2000] Fehr L., Langbein WE., Skaar SB. Adequacy of power wheelchair control interfaces for persons with severe disabilities: a clinical survey, 2000.
- [Finlayson M. and Denend T., 2003] Finlayson M., Van Denend T. Experiencing the loss of mobility: perspectives of older adults with MS, 2003.
- [Freie Universtät, 2011] Freie University. Computer Scientists from Freie Universtät Berlin Present Novelty at IFA, 2011.
- [Gabriel P. and Urbano N., 2002] Gabriel Pieres, Urbano Nunes. A Wheelchair Steered through Voice Commands and Assisted by a Reactive Fuzzy-Logic Controller, 2009.
- [Gizmodo, 2009] Gizmodo. Testing Project Natal: We Touched the Intangible, 2009.
- [Kotaku, 2010] Kotaku. Natal Recognizes 31 Body Parts, Uses Tenth of Xbox 360 "Computing Resources", 2010.

- [Microsoft, 2014] Microsoft, <http://www.microsoft.com/maps/choose-your-bing-maps-API.aspx> [último acceso: Set 2014]
- [Mirror Image, 2010] Mirror Image. How Kinect depth sensor works – stereo triangulation?, 2010.
- [Montesano et al., 2010] Luis Montesano, Marta Díaz, Sonu Bhaskar, Javier Minguez. Towards an Intelligent Wheelchair System for Users with Cerebral Palsy, 2010.
- [Nokia, 2011] Nokia. The transition from Ovi to Nokia, <http://conversations.nokia.com/2011/05/16/the-evolution-of-nokia-and-ovi/> [Último acceso: Set 2014]
- [Nokia, 2012] Nokia. Here: the next generation of location services, <http://360.here.com/2012/11/13/here-the-next-generation-of-location-services/> [último acceso: Set 2014]
- [Rodrigo A. M. Braga et al., 2011] Rodrigo Antonio Marques Braga, Marcelo Petry, Luis Paulo Reis, António Paulo Moreira. IntellWheels: Modular development platform for intelligent wheelchairs, 2011.
- [Seattlepi, 2009] Seattlepi. E3 2009: Microsoft at E3 Several Metric Tons of Press Release [seattlepi.com](http://seattlepi.com), 2009.
- [Simpson et al., 1998] R.C. Simpson, S.P. Levine, D.A. Bell, L.A. Jaros, Y. Koren, J. Borenstein. Navchair: An Assistive Wheelchair Navigation System with Automatic Adaptation.
- [The Boston Globe, 1999] The Boston Globe. USB deserves more support, 1999.
- [The Verge, 2013] The Verge. Microsoft buying Nokia's phone business in a \$7.2 billion bid for its mobile future, 2013.
- [World Health Organization, 2008] World Health Organization. Guidelines on the provision of manual wheelchairs in less-resourced settings, 2008.
- [WP Central, 2012] WP Central. New Map Features in Windows Phone 8, 2012.