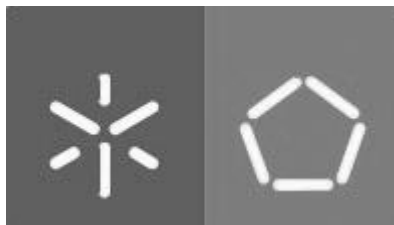




**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Tiago António Sousa Campos

**Robô Interativo**



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Tiago António Sousa Campos

**Robô Interativo**

Dissertação de Mestrado em Engenharia  
Informática

Trabalho realizado sob a orientação de  
Paulo Novais

Junho 2014

## **Agradecimentos**

Gostaria primeiramente, de demonstrar o meu profundo agradecimento ao coordenador deste projeto, Professor Paulo Novais por toda a orientação, apoio e dedicação demonstrada ao longo deste projeto.

Aos meus pais, agradeço o incentivo recebido ao longo de todos estes anos. Para eles um agradecimento muito sentido pela sólida formação que me proporcionaram e pelo apoio, quer moral, quer financeiro, prestados ao longo deste projeto.

Aos meus irmãos Dina e Francisco um profundo agradecimento por todo o apoio e atenção prestados ao longo de todo este percurso.

A minha namorada Joana quero agradecer por todo o apoio e incentivo. Obrigado por me aturares nos momentos mais difíceis da minha vida. Obrigado pelo incentivo. Obrigado por acreditares.

Por último, mas não menos importante, tenho a agradecer à minha família em geral e a todos os meus amigos, dos quais não refiro nomes para não correr o risco de deixar alguém de fora injustamente.

Este trabalho foi desenvolvido no contexto do projeto CAMCoF –Contextaware Multimodal Communication Framework financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto FCOMP-01-0124-FEDER-028980.



## **Resumo**

Uma das principais fronteiras atuais na robótica é a possibilidade de permitir ao ser humano partilhar o mesmo ambiente de trabalho que o robô, ou mesmo interagir com ele diretamente. São várias as aplicações que tal desenvolvimento pode permitir, desde a medicina até ao mundo industrial.

Desde que surgiram, as máquinas tem como objetivo facilitar e otimizar a capacidade humana de produção, fazendo trabalho nas indústrias melhor e mais rápido que o homem, assim em muitos casos acabaram por substituir a mão-de-obra humana. Porém muitas vezes o trabalho poderia ter um melhor desempenho se os humanos e os robôs trabalhassem em conjunto.

Este projeto visa estimular a interação entre um humano e um robô, mais concretamente, o robô tenta perceber se o humano presta atenção e dá feedback das ações que o mesmo desempenha.

O projeto é focado na monitorização da atenção, em que o robô procura focar a atenção no comportamento do humano e através disso perceber se este está a interagir com ele. Para o desenvolvimento do projeto foi criada uma estrutura que permite ao robô efetuar os vários movimentos de interação com o humano, ou seja, o robô tem a forma de uma aranha pelo simples facto de poder ter um maior número de movimentos. Para o robô conseguir comunicar, sentir e interagir com o ser humano, este possui alguns sensores que permitem essa interação.

## **Abstract**

One of the main current frontiers in robotics is the possibility of allowing the human being to share the same work environment that the robot, or even interact with him directly. There are several applications that can allow such development, from medicine to the industrial world.

Since emerged machines aims to facilitate and optimize the human capacity, doing work in the industries better and faster than humans, so in many cases ended up replacing hand labor human. But in some cases the work could have better performance if humans and robots work together. This project aims to stimulate interaction between a human and a robot, more specifically, the robot tries to understand if human watches and gives feedback of the actions that it performs.

The project is focused on monitoring of attention, in which the robot seeks to focus attention on human behavior and thereby realize if he is interacting with it. To develop the project was created a structure that enables the robot to perform various movements to interact with the human, more specifically the robot has the shape of a spider simply because we have a larger number of movements. To allow the robot communicate, feel and interact with humans, the robot has some sensors that allow this interaction.

# Índice

Resumo.....	iii
Abstract .....	iv
1 Introdução.....	10
1.1 Enquadramento e Motivação .....	10
1.2 O que é a atenção?.....	11
1.3 Objetivos .....	13
1.4 Métodos de trabalho/Investigação .....	14
1.5 Calendarização .....	15
1.6 Estrutura do documento.....	15
2 Estado de arte .....	16
2.1 Robótica.....	16
2.1.1 História da robótica .....	16
2.1.2 Robótica Moderna .....	17
2.1.3 Captar a atenção humana exibindo movimentos .....	19
2.1.4 Atenção conjunta entre o robô e o ser humano .....	20
2.2 Interface Homem-Máquina .....	21
2.3 Os robôs e a inteligência artificial .....	21
2.4 Robôs e Agentes.....	23
2.4.1 Agentes autónomos .....	23
2.4.2 Características .....	24
2.4.3 Ambiente .....	25
2.5 Sensores em robótica.....	26
2.5.1 Sensores internos e externos.....	28
2.5.2 Tipos de sensores.....	29
2.6 Fusão Sensorial.....	33

2.6.1 Classificação das técnicas de fusão de dados .....	36
2.6.2 Técnicas de associação de dados .....	43
2.6.3 Métodos de fusão de decisão .....	48
2.7 Atuadores.....	51
2.8 Projetos na área de Inteligência artificial .....	52
2.8.1 AVA .....	52
2.8.2 Museu interativo com robô guia.....	53
2.8.3 ASIMO ( <i>Advanced Step in Innovative Mobility</i> ) .....	54
2.8.4 AIBO .....	57
2.8.5 Soccer Robot .....	62
3 Robô – Especificação do Hardware .....	64
3.1 Arquitetura do Hardware.....	64
3.2 Placa Arduíno.....	64
3.3 Arduíno Mega 2560.....	66
3.4 Bluetooth <i>Shiled</i> .....	68
3.4.1 Bluetooth (Master/ <i>Slave</i> ).....	68
3.4.2 Bluetooth ( <i>Slave</i> ) .....	70
3.5 Sensores.....	72
3.5.1 Sensor ultrassom.....	72
3.5.2 SRF05.....	73
3.5.3 Calcular a distância .....	74
3.5.4 Sensor ótico .....	74
3.5.5 Sensor capacitivo.....	76
3.5.6 Sensor capacitivo Arduíno .....	77
3.5.7 Sensor PIR (Sensor Infravermelho Passivo) .....	79
3.5.8 Câmara.....	80
3.5.9 Câmara Wireless.....	80
3.5.10 Câmara USB.....	81

3.6	Atuadores .....	82
3.6.1	Servo motor .....	82
3.7	OpenCV .....	83
3.7.1	Algoritmo de detecção facial.....	84
3.8	Circuito <i>Step Down</i> .....	88
4	Robô – Especificação do <i>Software</i> .....	90
4.1	Arquitetura de <i>Software</i> .....	90
4.2	Implementação dos servo motores .....	90
4.3	Implementação dos sensores óticos.....	91
4.4	Implementação dos sensores capacitivos .....	92
4.5	Implementação sensor ultrassom.....	93
4.6	Implementação do sensor PIR .....	94
4.7	Implementação de uma Câmara .....	95
4.8	Implementação Bluetooth no arduino mega 2560.....	96
4.9	Implementação de movimentos no robô.....	98
4.10	Bateria Li-Po (bateria de polímero lítio) .....	98
4.11	Testes com algoritmo de detecção facial (OpenCV) e porta série .....	99
5.	Resultados .....	102
5.1	Arquitetura do robô .....	102
5.2	Implementação dos servo motores .....	103
5.3	Implementação dos sensores óticos.....	104
5.4	Implementação dos sensores de toque capacitivos.....	104
5.5	Implementação do sensor ultrassom e câmara .....	104
5.6	Implementação do sensor de detecção de movimento .....	106
6	Conclusão e Trabalho Futuro .....	107
6.1	Síntese .....	107
6.2	Conclusão .....	107
6.3	Trabalho futuro.....	108



7 Bibliografia.....	109
---------------------	-----

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Descrição dos sensores do AIBO.....	62
Tabela 2 - Especificações da placa Arduino Mega 2560.....	67
Tabela 3 - Especificações da Shield Bluetooth .....	70

## Índice de figuras

Figura 1 - Calendarização do projeto .....	15
Figura 2 - Os sensores e o ambiente .....	24
Figura 3 - Funcionamento de um sensor.....	27
Figura 4 - Dados, Informação e Conhecimento.....	35
Figura 5 - O cérebro humano e os sensores.....	36
Figura 6 - Sensores do AIBO .....	61
Figura 7 - Soccer Robot.....	63
Figura 8 - Arquitetura de Hardware .....	64
Figura 9 - Software Arduíno .....	65
Figura 10 - Microcontrolador Arduíno Mega .....	67
Figura 11 - Bluetooth Shield (Master/Slave) .....	69
Figura 12 - Datasheet Bluetooth Shield.....	70
Figura 13 - Bluetooth Shield (Slave) .....	71
Figura 14 - Funcionamento do Sensor Ultrassom .....	72
Figura 15 - Modo de ligação 1 .....	73
Figura 16 - Modo de ligação 2 .....	74
Figura 17 - Funcionamento Sensor Ótico .....	75
Figura 18 - Sensor Ótico .....	76
Figura 19 - Funcionamento Sensor Capacitivo .....	77

Figura 20 - Sensor de Toque Arduino .....	78
Figura 21 - Sensor PIR (backside) .....	79
Figura 22 - Sensor PIR.....	80
Figura 23 - Câmara Bluetooth .....	81
Figura 24 - Camara USB .....	81
Figura 25 - Servo Motor.....	82
Figura 26 - Funcionamento do método Viola e Jones .....	85
Figura 27 - Exemplo e funcionamento das Haar-like features .....	86
Figura 28 - Funcionamento do processo de cascata Viola e Jones .....	87
Figura 29 - Processo de deteção de um rosto numa imagem .....	88
Figura 30 - Circuito Step-down.....	89
Figura 31 - Arquitetura de Software.....	90
Figura 32 - Estrutura da cabeça do robô .....	91
Figura 33 - Funcionamento do sensor ótico.....	92
Figura 34 - Sensor Ultrassom.....	93
Figura 35 - Funcionamento do Sensor PIR .....	94
Figura 36 - Implementação do sensor PIR na placa Arduino .....	94
Figura 37 - Conexão entre a placa Arduino e a Bluetooth <i>Shield</i> .....	97
Figura 38 - Ligação do Bluetooth do computador.....	97
Figura 39 - Bateria LiPo.....	98
Figura 40 - Carregador de baterias LiPo .....	99
Figura 41 - Captura da face humana .....	100
Figura 42 - Posição (X,Y) da face humana no ecrã .....	100
Figura 43 - Envio de dados pela porta série .....	101
Figura 44 - Arquitetura do robô .....	102
Figura 45 – Servo Motores Implementados .....	103
Figura 46 - Sensores Óticos Implementados .....	104
Figura 47 - Câmara USB Implementada .....	105

# **1 Introdução**

## **1.1 Enquadramento e Motivação**

Os robôs são agentes artificiais com capacidades de perceção e ação no mundo físico, muitas vezes referida como espaço de trabalho. O seu uso foi generalizado em fábricas, mas hoje em dia eles tendem a ser encontrados nas sociedades tecnologicamente mais avançadas, examinados em domínios críticos como: busca e salvamento, combate militar, exploração científica, a aplicação da lei, entretenimento e cuidados hospitalares.

Estes novos domínios de aplicações implicam uma maior interação com o utilizador. O conceito de proximidade deve ser tomado no sentido de que, robôs e seres humanos partilhem o mesmo espaço de trabalho, e também partilhem objetivos em termos de realização de tarefas. Este trabalho enquadra-se no desenvolvimento de algoritmos e estratégias que permitem ao robô interagir com o utilizador, tentando captar a sua atenção e perceber se o mesmo está atento a este.

A palavra-chave para que tudo isto seja possível é autonomia. Os robôs autónomos são capazes de executar tarefas sem a necessidade constante de supervisão do homem. Devido ao facto de estes estarem equipados com diversos tipos de sensores tais como camaras, bússolas, sensores de proximidade e contato, que lhes permite sentir o ambiente á sua volta e tomar decisões autónomas. Utilizando atuadores que permite atuar sobre o ambiente e executar determinadas tarefas, com objetivos definidos.

Com o avanço da Inteligência Artificial, a pesquisa está a ser concentrada numa parte mais segura para a interação física, com o objetivo de num futuro próximo robôs e humanos poderem cooperar em conjunto para a realização de várias tarefas.

Tal como os robôs móveis se movem em ambientes de trabalho como escritórios, hospitais e lares de idosos, estes enfrentam uma nova mudança na interação homem-robô. A fim de ajudar em vez de ser um obstáculo, os robôs devem ser capazes de navegar através de áreas lotadas e envolver-se com as pessoas sem interromper o fluxo de tráfego humano. Nestas tarefas sociais, as intenções das pessoas não podem ser diretamente observadas por o robô, mas eles são facilmente inferidos pelas observações dos humanos.

Um robô precisa do seu próprio modelo de comportamento social para ser capaz de responder inteligentemente nestas situações ambíguas.

Este trabalho tem como objetivo a criação de um robô que permita monitorizar a atenção de um humano, interagindo com ele e tentando atrair a atenção do mesmo. O projeto vai ser desenvolvido no *IS Lab (Intelligent Systems Lab)* do departamento de informática da Universidade do Minho. O *IS Lab* é constituído por um grupo de pessoas direta ou indiretamente associadas á Universidade do Minho, visto como um grupo de inteligência artificial. O core principal da equipa é constituído por professores e investigadores. Os projetos desenvolvidos são principalmente focados na área de inteligência artificial, abordando outras diversas áreas. As principais áreas de investigação dentro do *IS Lab* são: IA e *Law* (inteligência artificial e leis), ambientes inteligentes, redes colaborativas, aprendizagem, sistemas inteligentes de suporte á decisão, inteligência evolucionária, robótica inteligente, etc.

Este projeto vai ser abordado dentro do tema da robótica inteligente, o que vai permitir estudar como o ser humano e o robô podem interagir mais efetivamente um como o outro para alcançar um objetivo. E vai permitir também perceber se o um robô tem a capacidade de perceber a atenção humana e tomar decisões baseadas na mesma.

## **1.2 O que é a atenção?**

Existem várias teóricas sobre o que é a atenção. Por exemplo, na teoria de BroadBent, em 1958, defende-se que a atenção seleciona os estímulos pelas suas características físicas procuradas pelo sujeito. Quando dois estímulos entram na base de processamento de informação na memória sensorial em simultâneo, um fica em standby e o outro é processado em primeiro lugar, este é o mais importante para o sujeito. O que fica em standby tem um tempo útil para ser processado e, se não for vai-se perder, e o sujeito não vai ter conhecimento dele. Existe, assim, um filtro que seleciona a informação que a atenção vai captar em primeiro lugar, dependendo de ser desejada ou não pelo sujeito [18].

A teoria de Treisman, em 1964, é baseada na teoria de Broadbent, e explica que a atenção tem um carácter mecanista e é influenciada por valores imanentes ao sujeito e com a própria vivência do sujeito. Existe uma espécie de filtro de informação, não se deita nada fora, a informação permanece toda, mas é hierarquizada. A informação que não interessa é processada de uma forma mais defeituosa e assim tende a ser perdida [45].

Na teoria de Deutsch em 1963, é uma teoria muito próxima das ideias de Broadbent, apenas difere na zona onde o filtro atua. Todos os estímulos no centro sensorial vão ser objeto de diferentes análises e só depois é que são selecionados. O sujeito só vai processar aqueles que têm significado para ele, tendo em conta as características físicas do estímulo [17].

Mais tarde em 1980, Treisman tem outra teoria sobre a atenção: diz que esta é a integração de características significativas, que se referem a um valor particular dentro de uma determinada dimensão [16].

Considera-se a atenção como um processo psicológico mediante o qual concentramos a nossa atividade psíquica sobre o estímulo que a solicita, seja este uma sensação, percepção, representação, afeto ou desejo, a fim de fixar, definir e selecionar as percepções, as representações, os conceitos e elaborar o pensamento. Resumidamente pode-se considera-la como a capacidade de se concentrar, que pode ser espontânea ou ativa, é um processo intelectual, afetivo e volitivo [I.11].

É importante ressaltar que a atenção não é uma função psíquica autónoma, visto que ela se encontra vinculada à consciência. Por exemplo, o indivíduo que está em obnubilação geralmente encontra-se com alterações ao nível da atenção, apresentando-se hipervigil [I.10].

Distinguem-se duas formas de atenção: a espontânea (vigilância) e a ativa (tenacidade). No primeiro caso ela resulta de uma tendência natural da atividade psíquica, orientando-se para as solicitações sensoriais e sensitivas, sem que nisso intervenha um propósito consciente. A atenção voluntária é aquela que exige um certo esforço, no sentido de orientar a atividade psíquica para determinado fim. Entretanto, o grau de concentração da atenção sobre determinado objeto não depende apenas do interesse, mas do estado de ânimo e das condições gerais do psiquismo [I.10].

### 1.3 Objetivos

Os objetivos deste trabalho serão dotar o robô para captar e monitorizar a atenção humana. Para isso serão utilizados quatro tipos de sensores para conseguir detetar a atenção humana em relação ao robô:

- Serão utilizados vários sensores de toque espalhados pela constituição física do robô, de maneira a poder captar o toque humano em diferentes partes da mesma. Desta forma o robô pode produzir resultados diferentes dependendo do local onde o humano tocou. O objetivo principal é cobrir grande parte do corpo do robô com diferentes sensores de toque, assim quanto mais corpo estiver coberto, mais possibilidade existe de captar o toque humano e haverá menos zonas imperturbáveis. No momento em que o robô é tocado pelo humano este deve reagir, com diferentes movimentos, dependendo da zona do corpo do robô na qual o humano tocou.
- Um sensor de deteção de movimento que será colocado no robô, de maneira a detetar qualquer movimento que exista em volta e perto do mesmo. Este sensor tem como objetivo detetar movimentos de um humano quando este não está a interagir com o robô através de nenhum dos outros sensores. Quando o robô deteta qualquer movimento humano, este deve procurar a interação direta (interação através do toque) com o humano.
- Será implementado um sensor ultrassom que permita a interação do humano através de medidas de distâncias. Com este sensor será possível comparar distâncias e saber se algo se mexeu ou se algo se aproxima. O objetivo é dar ao robô a capacidade de tentar seguir um objeto (a mão humana ou mesmo o humano). Por exemplo se algo se aproxima e por momentos desaparece do campo de visão do sensor isto significa que pode ter mudado de direção em relação ao robô, este sensor vai permitir procurar a nova direção na qual o objeto se dirige.
- Será também implementado uma câmara que permitirá ao robô detetar a cara de um humano, o que facilitará muito a interação com o mesmo.

O objetivo principal do robô é captar a atenção do humano e interagir com o mesmo, utilizando para isso todas as técnicas explicadas em cima sobre os sensores.

## **1.4 Métodos de trabalho/Investigação**

Neste trabalho foi dada especial atenção á temática de controlo da atenção humana usando um robô. Para captar a atenção humana e posterior interação, o robô usa vários movimentos e comportamentos, utilizando vários sensores como o sensor de toque, sensor ultrassom e uma câmara que permitem ao robô sentir o toque do humano e saber onde este se situa. Através disso, o robô pode interagir com este, exibindo outros comportamentos dependendo da situação em questão.

Para a realização deste trabalho foram efetuadas:

- Pesquisas sobre o estado de arte e sobre trabalhos relacionados para poder extrair algumas ideias.
- Adaptação da estrutura já existente para uma nova estrutura que permita a realização do trabalho, nomeadamente implementação de novos sensores e alteração das funcionalidades dos já existentes.
- Implementação de uma câmara e posterior programação da mesma com o objetivo de detetar faces de humanos.
- Implementação do algoritmo que permite o controlo do robô e interação com o utilizador. O robô já possuía um algoritmo de controlo, no entanto, para a elaboração deste trabalho foi necessário alterar todo o algoritmo e implementar um novo, que permita alcançar os objetivos pretendidos e a integração de novos sensores como a câmara.
- Elaboração de testes finais com o robô.

Ao adaptar a estrutura já existente para uma nova, e ao calibrar os sensores, foram descobertas algumas limitações:

- Se os motores adaptados na estrutura possuísem mais binário, seria possível dar ao robô ângulos de movimentos maiores e também executar movimentos mais rápidos.
- O sensor de ultrassom, não é 100% preciso, contudo pensa-se que a precisão fornecida por este seja suficiente.

- No que diz respeito ao algoritmo de detecção de faces humanas, se o robô estiver inserido num ambiente que possua muitos contornos e muitos tons de claridade diferentes, o algoritmo por vezes induz em erro e deteta faces humanas onde estas não existem.
- Em relação aos sensores óticos colocados por baixo das patas do robô, estes estão a funcionar corretamente. No entanto o robô possui sempre um certo risco em cair abaixo de uma mesa porque as patas deslizam um pouco na superfície, não possuindo aderência suficiente ao piso.

## 1.5 Calendarização

Fases e Tarefas									
<b>F1 - Análise do estado de arte</b>									
T1 - Pesquisa de trabalhos similares já existentes									
T2 - Elaboração das estratégias a seguir									
<b>F2 - Alteração da estrutura já existente</b>									
T3 - Estudo sobre o local onde colocar os sensores									
T4 - Implementação dos sensores a usar									
T5 - Testes com os sensores e calibração dos mesmos									
<b>F3 - Definição de algoritmos de controlo</b>									
T6 - Estudo dos comportamentos a desenvolver									
T7 - Estudo sobre a atenção humana									
T8 - Estudo da interação homem-máquina									
T9 - Implementação do algoritmo									
<b>F4 - Testes e Depuração</b>									
T10 - Testes									
Meses >	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun

Figura 1 - Calendarização do projeto

## 1.6 Estrutura do documento

Este documento encontra-se dividido em 6 partes. A primeira parte é constituída pelo enquadramento e motivação do projeto, os seus objetivos, a sua metodologia, a sua calendarização e ainda uma pequena definição da palavra atenção.



Na segunda parte do projeto foi feito um levantamento do estado de arte, onde estão descritos resultados de projetos já existentes e pesquisas realizadas á volta do projeto em questão.

Na terceira parte é feita a especificação do hardware ou dos componentes a utilizar no projeto, a arquitetura física do projeto e é feita também uma introdução á biblioteca openCV.

A quarta parte diz respeito à arquitetura do software e à implementação dos diferentes sensores e testes com o algoritmo de detecção facial.

Na quinta parte são discutidos e analisados os resultados obtidos e é explicada a arquitetura do robô.

Por último, na sexta parte deste projeto, é feita uma síntese do mesmo, são apresentadas as conclusões e finalmente é apresentada uma lista de tarefas como trabalhos futuros.

## **2 Estado de arte**

Tendo em conta os objetivos delineados para o trabalho, neste capítulo descreve-se a investigação sobre projetos existentes cujos resultados possam ser aplicados no projeto proposto. A abordagem adotada, para a análise do estado de arte, cingiu-se ao estudo de uma série de projetos que encaixam no âmbito da inteligência artificial e que se relevaram muito úteis ao longo do desenvolvimento deste projeto.

### **2.1 Robótica**

#### **2.1.1 História da robótica**

O criador do termo robô foi Karel Capek, produtor de novelas e escritor de uma peça teatral da Checoslováquia, que usou pela primeira vez, em 1920, a palavra “robota” (serviço ou atividade forçada) originando a palavra “robot” em inglês, que resulta em “robô” traduzido para a língua portuguesa. Com o aparecimento dos computadores

iniciaram-se especulações relacionadas com a capacidade de um robô pensar e agir como um ser humano. No entanto, neste período os robôs foram especialmente criados para executar tarefas difíceis, perigosas e impossíveis para o mesmo, já que não eram projetados com a capacidade de criar ou executar processos que não lhe foram ensinados ou programados previamente. Desta forma foram as indústrias as que mais beneficiaram com o desenvolvimento da robótica, aumentando a produção e eliminando tarefas perigosas executados por seres humanos [I.12, 19].

Ao longo dos séculos o homem tem procurado novas formas de melhorar os seus processos produtivos. A partir da segunda metade do século XX a tecnologia desenvolveu-se e permitiu automatizar estes processos. Surgiram conceitos como “robô” e “inteligência artificial”, mas foram precisos cerca de 40 anos para os robôs estarem presentes em força nos processos industriais. Os primeiros robôs surgiram no final dos anos 50, início dos anos 60. Estes vieram na sequência do desenvolvimento dos transístores e dos circuitos integrados. Os braços industriais (ou manipuladores robóticos) modernos aumentaram a sua capacidade e desempenho com o uso de microprocessadores e linguagens de programação mais avançadas a partir da década de 1980. Estes avanços foram obtidos em parte graças aos grandes investimentos das empresas automobilísticas.

### **2.1.2 Robótica Moderna**

Na robótica moderna, existem pesquisas e desenvolvimentos de robôs intitulados humanoides. Estes são criados á semelhança de um humano e com a capacidade de interagir com o ambiente, como o ASIMO criado pela empresa japonesa Honda Motor Co. Mas são múltiplas as aplicações da robótica no dia-a-dia. Como por exemplo:

- **Aplicações domésticas:** Muitas vezes os robôs desempenham tarefas domésticas, como é o caso dos aspiradores de pó e corta relva robóticos. Estes podem limpar vidros e piscinas, varrer ou aspirar o chão e até cuidar do jardim. Os investigadores trabalham para “criar” uma sociedade na qual

os robôs convivam com os seres humanos, e possam realizar simples tarefas domésticas como acender a luz, transportar as compras e fazer limpezas. O grande desenvolvimento tecnológico e a descoberta de novos materiais de construção possibilitarão, que dentro de algumas décadas existam robôs com a capacidade de entender, analisar e realizar tarefas de rotina, com o objetivo de tornar o dia-a-dia mais fácil.

- **Aplicações industriais:** A utilização de robôs da robótica nas indústrias é uma realidade no mundo inteiro. Eles podem ser utilizados como transporte automático de mercadorias ou outros materiais, podem também ser utilizados em linhas de montagem desempenhando funções arriscadas para o ser humano e de forma muito mais rápida. A empresa *Unimation* instalou o primeiro robô industrial em 1961. Hoje, mais de 700.000 robôs estão aplicados nas indústrias do mundo inteiro. Estes proporcionam às empresas redução de custos, aumento da produtividade, melhor aproveitamento da matéria-prima, economização de energia e, ainda, montagem de peças miniatura e incorporação de movimentos complexos e bastante rápidos.
- **Aplicações medicinais:** Na área da saúde, os robôs estão presentes em diversas frentes, entre elas o apoio a idosos e deficientes, como próteses e cadeiras de rodas automatizadas. A aplicação de robôs na medicina permite, também, a realização de intervenções cirúrgicas à distância, através da teleoperação robótica, e de cirurgias delicadas, que necessitam de precisão máxima nos movimentos. Em procedimentos como a vídeo endoscopia, os robôs representam um avanço importante. Os robôs cirurgiões já são usados em hospitais no mundo inteiro, normalmente orientados por controlo remoto ou por comandos de voz e substituem as mãos dos médicos em cirurgias delicadas. Os robôs já foram usados em diversas cirurgias no coração, nas artérias, estômago, bexiga, rins e até no cérebro.
- **Aplicações militares:** Os sistemas de monitorização militar aéreo e terrestre incluem o uso de robôs. Mais de 50 países já usavam alguns tipos de robôs para aplicações militares em 2011. De acordo com a Força Aérea Brasileira, aviões robôs conseguem transmitir ao vivo imagens aéreas interessantes. Desta forma, é possível ter uma nova dinâmica das ações de

comando, com maior ganho de dados de inteligência e tomada de decisão mais rápida.

- **Aplicações no setor automóvel:** Atualmente, as empresas procuram formas de economizar e de se tornarem mais competitivas, de forma a ganharem mais quota de mercado e garantirem um maior crescimento. A automação de processos é, neste contexto, muito importante porque garante às empresas uma maior produtividade com um custo mais reduzido conseguindo, assim, bons preços para o mercado [I.13].

### **2.1.3 Captar a atenção humana exibindo movimentos**

O controlo da atenção pode ser definida como um meio de controlo no qual se pode mudar ou controlar o olhar de alguém para uma direção que se está interessado. Embora possa haver várias situações, a equipa de pesquisa constituída por, Mohammed M. Hoque, Tomomi Onuki, Dipankar Das, Yoshinori Kobayashi e Yoshinori Kuno, considera uma situação geral quando um humano e um robô não estão cara a cara um com o outro inicialmente e o humano está a desenvolver alguma tarefa, na qual este não está totalmente concentrado. O robô produz uma ação, enquanto a visão humana percebe o robô em três situações de visualização diferentes [I.13].

Estudos realizados assumiram que a pessoa alvo enfrenta o robô e pretende falar com ele, no entanto, esta suposição pode não ser sempre verdade. Virar a cabeça para a pessoa alvo é uma ação fundamental e eficaz do robô. Movimentos bruscos são eficazes para capturar a atenção humana. Os movimentos da cabeça do robô podem ser usados como uma forte comunicação HRI.

Além disso, quando um robô está virado de costas para o ser humano, é difícil atrair a sua atenção, mesmo com qualquer movimento. Nesse caso, o toque ou a voz serão mais eficazes. O objetivo desta equipa de pesquisa descrita acima foi desenvolver um robô que conseguisse atrair e controlar a atenção de uma pessoa alvo enquanto evita atrair a atenção de outras pessoas. Embora seja evidente que o robô consiga atrair a atenção de pessoas alvo através da voz, este método vai atrair, certamente, a atenção de outras pessoas. Desta forma, a voz deve ser usada com último recurso. O robô deve começar com um movimento lento ao mover a cabeça, para evitar atrair a atenção daqueles que não são alvo.

### **2.1.4 Atenção conjunta entre o robô e o ser humano**

A atenção conjunta, é um processo para partilhar a atenção atual com outro usando sinais sociais, como o olhar. Tem sido reconhecida como um componente crucial em interações e um marco importante no desenvolvimento infantil. Um dos componentes chave para o transtorno de espectro do Autismo é a incapacidade de desenvolver a capacidade de atenção compartilhada. É hipotético que a incapacidade para desenvolver esta habilidade social fundamental leva as pessoas com o espectro de autismo, que muitas vezes têm dificuldades de comunicação e interação com outras pessoas, a isolar-se [46].

Portanto, para facilitar a interação natural homem-máquina (HRI), Chien-Ming Huang e Andrea L. Thomaz acreditam que os robôs precisam de capacidades sociais para responder, iniciar e manter a atenção conjunta com os humanos. O seu modelo de atenção conjunta reflete a complexidade destas capacidades sociais para robôs cognitivos, dividindo a capacidade em três componentes principais: responder á atenção conjunta (RJA), inicializar atenção conjunta (IJA) e manter a atenção conjunta (EJA). RJA é a capacidade para acompanhar a direção do olhar e dos gestos, de forma a atingir a experiencia comum. IJA é a capacidade para manipular a atenção do outro para um foco de interesse, a fim de partilhar experiências. EJA é a capacidade para supervisionar a atenção do outro e garantir que o estado da atenção conjunta é alcançado [19].

Chien-Ming Huang e Andrea L. Thomaz fizeram duas experiencias para testar o modelo e para investigar a atenção conjunta na HRI. A primeira experiência explora os efeitos da resposta da atenção conjunta. Os resultados mostram que um robô responde á atenção conjunta de forma mais transparente para as pessoas, como tal o desempenho da tarefa de interação é melhor e as pessoas estão mais confiantes no sucesso da tarefa do robô. Além disso, as pessoas observam um robô, respondendo á atenção conjunta mais competente e socialmente interativo. Na segunda experiência estuda-se a importância de manter a atenção conjunta no HRI. Os resultados indicaram que a garantia de atenção conjunta produz melhor desempenho da tarefa e é visto como um comportamento natural em interações [19].

## **2.2 Interface Homem-Máquina**

A interface homem máquina conhecida por IHM, é visto como o canal de comunicação entre o homem e o computador, através do qual interagem, visando atingir um objetivo em comum. É parte de um sistema computacional com a qual uma pessoa entra em contato física, perceptual e conceitualmente.

Para que ocorra comunicação entre o ser humano e a máquina é necessário que haja um meio para troca de informações entre as partes. Nessa interação a máquina vai necessitar de dispositivos de entrada para receber os dados do utilizador e dispositivos de saída para dar um feedback ao utilizador.

## **2.3 Os robôs e a inteligência artificial**

A inteligência artificial (AI) é sem dúvida o campo mais emocionante na robótica e certamente o mais controverso. O último passo da AI seria talvez a recriação do processo do pensamento humano, através de uma máquina com as capacidades intelectuais humanas. Isso poderia incluir a capacidade de aprender qualquer coisa em qualquer área, capacidade de raciocinar, a capacidade de usar a linguagem humana e a capacidade de formular ideias originais. A robótica de hoje em dia, está longe de alcançar esse nível de inteligência artificial, mas tem feito muitos progressos. As máquinas inteligentes de hoje já possuem a capacidade de responder com alguns elementos específicos intelectuais.

Os computadores já tem a capacidade de resolver problemas em domínios limitados. A ideia básica da AI para resolver problemas é muito simples, embora a sua execução seja complicada. Primeiro os robôs AI ou computadores reúnem fatos sobre a situação através de sensores ou *inputs* humanos. O computador compara essa informação com os dados armazenados e decide o que significa a informação. Este pode executar várias ações possíveis e prever qual a ação que será mais bem sucedida com base nas informações coletadas. Naturalmente, o computador apenas poder resolver problemas para os quais este foi programado, pois este não possui qualquer capacidade analítica generalizada. Os jogos de xadrez são um exemplo desse tipo de máquina [I.12].

Alguns robôs modernos também tem a capacidade de aprender mas com capacidades limitadas. Os robôs que possuem a capacidade de aprender reconhecem se determinada ação (por exemplo mover-se para um determinado ponto) obteve o resultado desejado. O robô armazena esta informação e a próxima vez que acontecer uma situação idêntica, o robô tenta adaptar se á mesma. Mais uma vez os computadores modernos podem fazer isso, mas em situações muito limitadas. Os robôs não podem absorver informação como um humano, no entanto podem aprender imitando ações humanas.

Alguns robôs podem interagir socialmente. Kismet, um robô do laboratório de inteligência artificial do MIT, que consegue reconhecer a linguagem do corpo humano, a inflexão da voz e responde apropriadamente. Os criadores deste robô estão interessados na interação entre os humanos e os bebês, tendo com base o tom da voz e os sinais visuais. Esta interação de baixo nível pode ser a base de um sistema de aprendizagem semelhante a um humano. Kismet e outros robôs humanoides do laboratório de AI do MIT operam usando uma estrutura de controlo não convencional. Nesta estrutura em vez de enviar todas as ações para uma unidade central, os robôs enviam ações de baixo nível para unidades de controlo de baixo nível [I.14].

O verdadeiro desafio da AI é compreender como funciona a inteligência natural. Desenvolver AI não é como construir um coração artificial, os cientistas não possuem um modelo simples e concreto para trabalhar. Sabe-se que o cérebro contém biliões e biliões de neurónios e o ser humano tem a capacidade de pensar e aprender através do estabelecimento das conexões elétricas entre diferentes nerónios. Mas não se sabe exatamente como todos estas conexões funcionam, já que o circuito complexo parece incompreensível. Por essa razão as investigações da AI são em grande parte teóricas. Hipóteses de cientistas sobre a forma como pensamos e aprendemos, são testadas em robôs.

O *design* físico robótico é uma ferramenta útil para a anatomia animal e humana, as pesquisas da AI são úteis para entender como funciona a inteligência natural. Para alguns especialistas em robótica, esta perceção é o objetivo final de projetar robôs. Outros imaginam um mundo onde o ser humano vive lado a lado com máquinas inteligentes e o uso de uma variedade robôs para trabalhos manuais, cuidados de saúde e comunicações. Alguns dos especialistas em robótica preveem que a evolução robótica acabará por transformar o ser humano em *cyborgs* (seres humanos integrados com máquinas). É

concebível que as pessoas no futuro possam carregar as suas mentes num robô robusto e viver por milhares de anos [I.12].

Em qualquer um dos casos os robôs irão certamente desempenhar um papel importante na vida do ser humano no futuro. Nas próximas décadas os robôs irão expandir-se para fora das indústrias e do mundo científico, entrando na vida quotidiana do ser humano, tal como os computadores em 1980.

## **2.4 Robôs e Agentes**

Um agente é uma entidade que toma decisões de forma autónoma, recorrendo a sensores para obter informação sobre o mundo onde "habita" e fazendo uso de atuadores para sobre ele agir e leva a cabo um conjunto de tarefas.

“Agentes como componentes persistentes e ativos que percebem, raciocinam, atuam e comunicam” [12];

“Agentes são entidades que habitam em ambientes complexos, sentem esse ambiente e atuam de modo autónomo, procurando executar um conjunto de tarefas para as quais receberam procuração” [13].

“Um sistema computacional que habita num dado ambiente, sente e age nesse ambiente, e ao fazê-lo realiza um conjunto de objetivos ou tarefas para o qual foi projetado” [15].

### **2.4.1 Agentes autónomos**

Os agentes são aplicados nas mais diversas áreas que variam desde a interação homem-máquina até complexos processos de controlo industrial. Devido ao elevado número de aplicações e à relativa abertura do conceito, existem diversas definições de agente e não existe um consenso alargado entre os autores da área sobre esta matéria.

Independentemente do tipo de agente e do ambiente, o essencial na definição de agente é a capacidade do mesmo se aperceber das mudanças do ambiente e nele agir de forma autónoma. Por esta razão, o agente deve possuir sensores e atuadores apropriados



ao ambiente em que está inserido e à execução das tarefas para as quais foi projetado. A figura 2 apresenta um esquema típico de um agente.

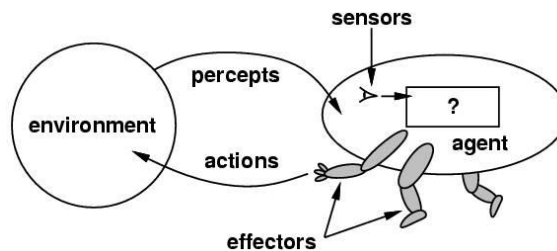


Figura 2 - Os sensores e o ambiente

Uma das definições de agente mais usadas na comunidade é apresentada por Wooldridge e Jennings [14] que define um agente como um sistema computacional baseado em *software*, que possui as seguintes propriedades:

- Autonomia: os agentes operam sem intervenção de outros agentes ou seres humanos, controlam as suas ações e o seu estado de conhecimento interno.
- Reatividade: os agentes percebem os eventos que ocorrem no seu universo de discurso e respondem adequada e atempadamente a mudanças ocorridas nesse ambiente.
- Pró-Atividade: os agentes tomam iniciativa, conduzindo as suas próprias ações mediante um comportamento dirigido por objetivos.
- Sociabilidade: os agentes relacionam-se uns com os outros, comunicando, competindo ou cooperando na resolução de problemas que lhes sejam colocados.

#### 2.4.2 Características

- Mobilidade: capacidade de se movimentar através da rede formada pelos seus pares, executando as tarefas de que foi incumbido.
- Intencionalidade: capacidade que o agente apresenta para a definição de objetivos e das estratégias para os atingir.

- **Aprendizagem:** capacidade que o agente ostenta de adquirir conhecimento. A atualização da base de conhecimento é feita através da assimilação de padrões de comportamento ou de preferências.
- **Competência:** um agente é competente quando conduz com sucesso e eficiência as tarefas de que é incumbido. A competência está normalmente relacionada com a confiança depositada no agente por terceiros.
- **Veracidade:** fala-se da veracidade de um agente quando este não fornece, de forma intencional, informação falsa.
- **Racionalidade:** um agente racional não aceita realizar tarefas que lhe pareçam impossíveis de executar, contraditórias com os seus princípios ou quando não são compensados em termos do risco, custo ou esforço.
- **Benevolência:** um agente benevolente adota como seus os objetivos de terceiros, desde que estes não entrem em conflito com os seus princípios de natureza ética e/ou deontológica, o que significa que não realizarão todas as tarefas que lhes sejam atribuídas.
- **Emotividade:** certas características próprias do ser humano têm vindo a migrar e a estabelecer-se como parte constituinte dos agentes.

### 2.4.3 Ambiente

O ambiente é o local onde o agente “habita”, e tem a possibilidade de obter informações, para poder tomar decisões e agir sobre o mesmo. Existem vários tipos de ambiente nos quais podem estar inseridos os agentes como por exemplo:

- **Acessível ou inacessível:** Um ambiente acessível é aquele onde um agente consegue obter, através dos seus sensores, informação atualizada, precisa e completa sobre o ambiente. Grande parte dos ambientes típicos não são acessíveis neste sentido.
- **Determinístico ou não determinístico:** Este estado é determinado somente em função do estado atual e da ação executada pelo agente, ou seja, cada ação realizada pelo agente tem um único efeito garantido. Desta forma não há incerteza para o agente.

- **Estático ou dinâmico:** Um ambiente estático supostamente permanece igual (sem mudanças), enquanto o agente decide a próxima ação a executar, no mundo real todos os ambientes físicos são considerados dinâmicos.
- **Discreto ou contínuo:** O agente tem um número limitado de percepções e ações distintas que estão claramente definidas.

## 2.5 Sensores em robótica

Literalmente a palavra sensor pode ser definida como “aquilo que sente”. Na eletrónica um sensor é conhecido como qualquer componente ou circuito eletrónico que permite a análise de uma determinada condição ou substância do ambiente, que pode ser algo como a temperatura, a luminosidade, ou até algo mais complexo como calcular a rotação de um motor, a distância entre um carro e um objeto ou até mesmo eventos fora do cotidiano normal, como a deteção de partículas subatómicas e radiações cósmicas.

Os sensores são dispositivos eletrónicos que possuem a capacidade de transformar uma grandeza física (como por exemplo a temperatura, a velocidade, a distância, a pressão, etc) num sinal elétrico. Existem diversos tipos de sensores e de várias tipologias, por exemplo: tipologia mecânica, som, frequência elétrica, magnética, temperatura, ótica, radioativa, humidade e química. Para estes sensores existem inúmeras aplicações, para as quais a maioria das pessoas nem está consciente. Os sensores podem ser aplicados em carros, máquinas, aeroespacia, medicina, indústria e robótica.

Os robôs que trabalham inseridos em ambientes reais, estáticos ou dinâmicos, estão dotados de sensores que lhes permitem adquirir informação sobre o modo como interagir com o mundo em que operam e sobre o seu próprio estado interno.

Apesar da grande variedade de sensores eletrónicos disponíveis, estes podem dividir-se basicamente em dois tipos: sensores analógicos e sensores digitais. Esta divisão é feita de acordo com a forma que o sensor responde à variação da grande física.

Os sensores analógicos são os dispositivos mais comuns, e baseiam-se em sinais analógicos. Sinais analógicos são aqueles que, mesmo limitados entre dois valores, podem assumir infinitos valores intermédios. Isso significa que teoricamente, quando a

substância que está a ser medida varia, existe um nível de tensão (sinal) correspondente. Já os sensores digitais apenas possuem dois estados (zero ou um), detetam ou não detetam. Por exemplo um sensor de toque, deteta ou não deteta o toque humano.

O desenvolvimento dos sensores e as suas aplicações trouxeram inúmeras vantagens para a vida moderna. Desde a possibilidade de aumentar a eficiência do funcionamento de um motor ou de uma linha de produção, realizar uma pesquisa científica com maior precisão e num tempo mais reduzido, até ao fato de poder estacionar o carro sem o perigo de bater com este ou ter a casa protegida de qualquer tentativa de furto, são algumas vantagens oferecidas pelo uso dos sensores.

A figura 3 ilustra o funcionamento de um sensor:

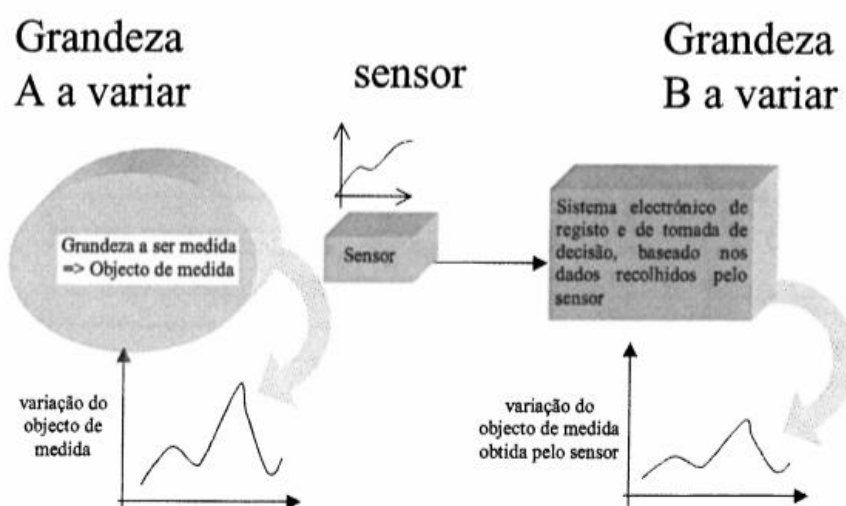


Figura 3 - Funcionamento de um sensor

A figura 3 apresenta a grandeza a ser medida e o sensor que é o responsável por medir a variação da grandeza e transformar essa variação num sinal elétrico. Esse sinal deve ser lido por um sistema eletrônico (microcontroladores ou microprocessadores) para poder ser tomada uma decisão, baseada nos dados recolhidos pelo sensor.

A escolha de um sensor deve obedecer a alguns critérios, associados ao processo, ao meio onde o sensor vai ser exposto e a parâmetros externos. A seguir estão expostas algumas dessas características:

- **Método de detecção:** É importante que se conheça bem o método de detecção de forma adequada a resposta do sensor e as suas características funcionais ao problema em questão.
- **Escala de grandezas:** Deve permitir otimizar a resposta do sistema sensorial e refletir o melhor possível o funcionamento do processo em questão.
- **Precisão e sensibilidade das medidas:** A precisão, sensibilidade e estabilidade podem ser consideradas de extrema importância, dependendo do processo em questão. Se o processo em questão exigir que os resultados sejam medidos ao pormenor, neste caso a sensibilidade e a precisão das medidas são de extrema importância.
- **Rapidez da resposta:** Está diretamente associado à unidade de tempo real.
- **Dimensões e peso do sensor:** Dependendo do meio em que estes vão ser inseridos, podem ser importantes, ou não, as suas dimensões. Este ponto tem vindo a ser melhorado devido aos circuitos integrados.
- **Adaptabilidade ao meio:** O meio em que os sensores vão funcionar limitam a sua escolha, podendo obrigar a maiores ou menores proteções.
- **Fiabilidade e segurança:** Relacionadas com o tipo de processo e com as consequências de uma paragem deste.
- **Preço:** Importante na réplica de sistemas sensoriais em particular no meio industrial.

### 2.5.1 Sensores internos e externos

Os sensores podem ser classificados como:

- **Sensores internos** que fornecem informação sobre os parâmetros internos do robô, por exemplo avaliam o nível de carga das baterias, a posição ou velocidade de uma roda, o ângulo de uma junta num manipulador ou num robô móvel com patas. Potenciômetros, codificadores (*encoders*), taquímetros, sensores inerciais (incluindo acelerómetros, giroscópios, inclinómetros e bússolas), são exemplos de sensores internos.

- **Sensores externos** lidam com a observação de aspetos do mundo exterior ao robô. Sensores de contato, sensores de proximidade, sensores de força, visão, sensores de distância, laser, sensores de ultrassom ou de infravermelhos e sensores químicos, são exemplos de sensores externos.

### 2.5.2 Tipos de sensores

#### LDR

Os LDR (*Light Dependent Resistor*) é um tipo de sensor onde uma variação da luz que incide sobre este, resulta numa variação da sua resistência. A aplicação mais conhecida do LDR é sem dúvida na iluminação, onde é utilizado de acordo com a claridade do ambiente, ligando ou desligando as lâmpadas automaticamente, sem que haja a necessidade de alguém controla-las.

#### Termístor

Outro modelo de sensor resistivo muito comum é o termístor, um componente destinado a medir variações de temperatura. O uso de termístores também é essencial em sistemas de ar condicionado ou em modelos de alta qualidade que são aplicados em diversos setores na medicina.

Existem dois tipos de termístores, NTC e PTC, influenciados pela resistência e classificados de acordo com a sua resposta em função da temperatura. Os termístores NTC (*Negative Temperature Coefficient*), são os modelos mais comuns e são feitos de materiais semicondutores simples. Quando a temperatura aumenta a resistência diminui, ou seja, estes possuem um coeficiente de temperatura negativo.

Os termístores PTC (*Positive Temperature Coefficient*) são mais difíceis de serem encontrados, pois são constituídos de elementos mais complexos e portanto mais caros. O seu funcionamento é contrário aos NTC, pois o aumento da temperatura faz com que a sua resistência também aumente. Os termístores PTC são mais usados para proteger circuitos eletrónicos de excessos de corrente, substituindo os fusíveis tradicionais.

## **Sensor de distância**

Estes sensores são muito aplicados em linhas de produção automatizadas, dentro das quais se destaca a avaliação das dimensões dos objetos, controle de posicionamento e verificação de danos e falhas dos produtos.

Alguns automóveis já possuem sensores de distância para auxiliar durante o estacionamento e até mesmo para controlar automaticamente a distância em relação ao carro da frente. Estes sensores são também amplamente utilizados na área da robótica, com o objetivo dos robôs poderem monitorizar o ambiente onde se encontram e desta forma evitar choques e quedas.

Existem vários modelos de sensores de distância disponíveis no mercado, baseados em radar, ultrassom, laser ou infravermelho. Os sensores baseados em radar e ultrassom imitem um pulso de rádio ou de som e calculam o tempo que leva para que ele seja refletido e volte ao sensor. Como a velocidade é conhecida, é possível calcular a distância ao objeto onde o pulso foi refletido.

Já os sensores óticos que utilizam raios laser ou infravermelho, tem um funcionamento baseado no princípio da triangulação. Um feixe de luz é emitido por um diodo laser ou um LED infravermelho. Ao ser refletido por um objeto, esse raio é detetado por um PSD (*Position Sensing Device*). De acordo com a distância do objeto que refletiu a luz, esse raio incide de modo diferente no PSD. O PSD é composto por vários componentes sensíveis à luz (foto díodos). Um módulo de processamento supervisiona a resposta do PSD, podendo deste modo identificar a posição exata na qual o raio incidiu no objeto. Como essa posição depende da distância do objeto que refletiu o feixe de luz, o módulo processa esses sinais de modo a reproduzir uma saída correspondente a essa distância.

## **Acelerómetros**

Os acelerómetros são dispositivos dedicados a medir a aceleração de um corpo. São muitas as situações em que os acelerómetros são aplicados. A mais conhecida de todas é, sem dúvida, em automóveis, mais especificamente em *airbags*. Neste caso, um acelerómetro supervisiona constantemente a aceleração do veículo. Quando ocorre uma diminuição muito grande da velocidade, que caracterize um acidente, é acionado um circuito responsável por disparar o *airbag* rapidamente e proteger os passageiros do carro. Para além desta, estes sensores possuem outras aplicações, como por exemplo sismómetros para supervisionar abalos sísmicos, estabilização automática da imagem em câmaras digitais, determinar a velocidade e a distância percorrida por atletas, etc.

Estes sensores são normalmente constituídos por materiais piezoelétricos. Estes materiais (cristais, como quartzo e fosfato de gálio) contêm alguns cristais microscópios que são comprimidos por forças de aceleração, o que gera uma certa voltagem.

## **Sensor Tátil**

Os sensores táteis são dispositivos que medem os parâmetros de contato entre o sensor e um objeto. Esta interação obtida é restringida a um pequena região. Estes sensores são compostos por uma matriz de pontos sensíveis ao toque, estes pontos podem ser capazes de medir mais que uma propriedade. As forças de contato, transportam muita informação importante nomeadamente toques por unidade de tempo, velocidade ou força de toque e “técnica de arrastamento”.

Para além destes existem também os sensores de toque, que transmitem informação binária, ou seja, deteta ou não deteta.

## **Sensor Capacitivo**

Os sensores capacitivos são sensores que detetam qualquer tipo de corpo com massa física. Este sensor cria um campo elétrico gerado por cargas elétricas, e quando se coloca algum tipo de material (líquido ou sólido) perto destas cargas elétricas, ele atuará aumentando a capacidade elétrica. Por fim, o circuito eletrónico do sensor deteta essa



variação de capacidade elétrica, e traduz a mesma num sinal digital de NA (Normalmente Aberto) ou NF (Normalmente Fechado). Os sensores capacitivos são largamente utilizados não só para deteção de objetos de natureza metálica mas também de outros tipos como: madeira, papelão, cerâmica, vidro, plástico, alumínio, laminados ou granulados. Os líquidos de maneira geral são ótimos para os sensores capacitivos, pois não importa se são condutivos, nem a viscosidade, ou a cor. Desta forma, estes sensores são excelentes para o controlo de níveis máximos e mínimos de líquidos ou sólidos, mesmo que mergulhados totalmente no produto que estes estão a medir.

### **Sensor Indutivo**

O sensor indutivo é um dispositivo eletrónico capaz de reagir á proximidade de objetos metálicos, estes dispositivos utilizam o princípio da impedância de uma bobine de indução que conduz uma corrente, que se altera quando um objeto metálico é posicionado dentro do fluxo do campo magnético. Isto ocorre porque o objeto absorve parte do campo elétrico e essa variação é detetada pelo circuito do sensor, e este produz um sinal de saída.

### **Sensor ótico**

Estes tipos de sensores possuem acoplados infravermelhos (emissor) e um fototransístor (recetor). Um raio não visível a olho nu, é enviado pelo emissor e recebido pelo recetor. Existem 3 tipos de sensores óticos:

- **Sensor ótico por barreira:** O emissor e o recetor ficam separados fisicamente e quando se coloca algum tipo de objeto entre estes, esse objeto é detetado, pois o recetor não vai conseguir captar o raio emitido pelo emissor.
- **Sensor ótico por reflexão:** O emissor e o recetor ficam juntos fisicamente, o raio enviado pelo emissor, é refletivo por um espelho para o recetor, por essa razão tem o nome de sensor ótico por reflexão. Quando se coloca algum objeto entre o espelho e o sensor, esse objeto é detetado, visto que não vai existir a reflexão.

- **Sensor ótico por reflexão no objeto:** O funcionamento deste sensor é parecido ao de cima, a diferença é que este reflete no objeto a ser detectado e não no espelho. Ou seja este sensor vai detectar quando existe um objeto ou não, através da reflexão nesse mesmo objeto.

## **Encoders**

Os *encoders* medem a posição angular ou a velocidade angular de um eixo em rotação (por exemplo associado a um motor), pelo que o seu uso em robótica móvel é generalizado. Por exemplo, medindo a velocidade de rotação de cada uma das rodas de um robô e sabendo o seu tipo e disposição é possível avaliar as velocidades de translação e de rotação do robô e estimar a sua posição ao fim de um certo período de operação.

## **2.6 Fusão Sensorial**

A capacidade de sentir o mundo e as mudanças de comportamento que ocorrem no mesmo utilizando sensores é o que torna útil a construção de um robô, quando se pretende desempenhar determinada tarefa. Sem os sensores o robô não seria mais do que automação fixa, executando o mesmo ciclo vezes sem conta independentemente das mudanças que ocorressem no ambiente, dispositivos como estes são muitas vezes úteis para as indústrias.

Mas, com sensores de qualidade, os robôs têm potencial para fazer muito mais. Por exemplo: podem operar em ambientes não estruturados, adaptar-se as mudanças, operar em locais sujos e perigosos, etc. Estes podem, também, interagir com os humanos e com outros robôs, para trabalhar como equipas e podem inspirar a imaginação do ser humano, levando este a construir dispositivos que outrora faziam apenas parte da ficção de filmes.

A utilização de sistemas baseados em multisensores tem permitido o aparecimento de novas áreas e o desenvolvimento de outras já existentes. O reconhecimento de objetos, a robótica móvel com aplicações essencialmente a nível da navegação, as técnicas de

navegação para aeronaves e as tarefas industriais automatizadas, como a montagem, a rebarbagem ou polimentos, são alguns exemplos de aplicações em que os sistemas multisensor apresentam não só vantagens como são imprescindíveis á sua implementação.

A fusão sensorial consiste na combinação de dados recolhidos por diversos sensores, de modo que o conhecimento resultante seja melhor do que o tratamento individual desses dados recolhidos. Esta combinação de sensores com diferentes características implicou um aumento da eletrónica de pós-processamento com capacidade de realçar as vantagens individuais de cada sensor e suavizar as suas limitações, minimizando desta forma os efeitos da pouca precisão dos mesmos.

A associação, a correlação e a combinação são formas de relacionar os dados no processo de fusão sensorial. A escolha da técnica de fusão sensorial depende do tipo de dados a serem combinados e do processo de conclusão pretendido.

Luo e Kay [22] complementaram a definição anterior separando a fusão multissensorial de dados em duas partes distintas: fusão sensorial e integração sensorial ou de dados. A fusão sensorial é referida como uma fase do processo de integração onde é combinada a informação proveniente de múltiplas fontes. A integração sensorial significa a combinação dos resultados de processos da fusão sensorial.

Os sistemas de fusão são aplicados no campo da medicina, na monitorização de recursos terrestres, controlo de tráfego de veículos, navegação robótica, análises financeiras e em áreas militares. As fontes de dados podem vir de sensores ou de relatórios textuais. Os dados textuais são, por vezes, vistos como informações, enquanto as observações dos sensores são dados. Por isso, o termo fusão sensorial ou informação sensorial é usado indistintamente, dependendo das fontes de dados. A figura 4 apresentada a baixo ilustra a diferença entre dados, informação e conhecimento. Conhecimento é a capacidade de usar e entender a informação e é derivado do processo de informação. O conhecimento é visto como uma situação de dependência e requer um processo de informação inteligente. A informação e o conhecimento são parte integral da cognição. A capacidade de fundir dados e informação para um uso significativo como forma de conhecimento máquina é um processo de fusão essencial.

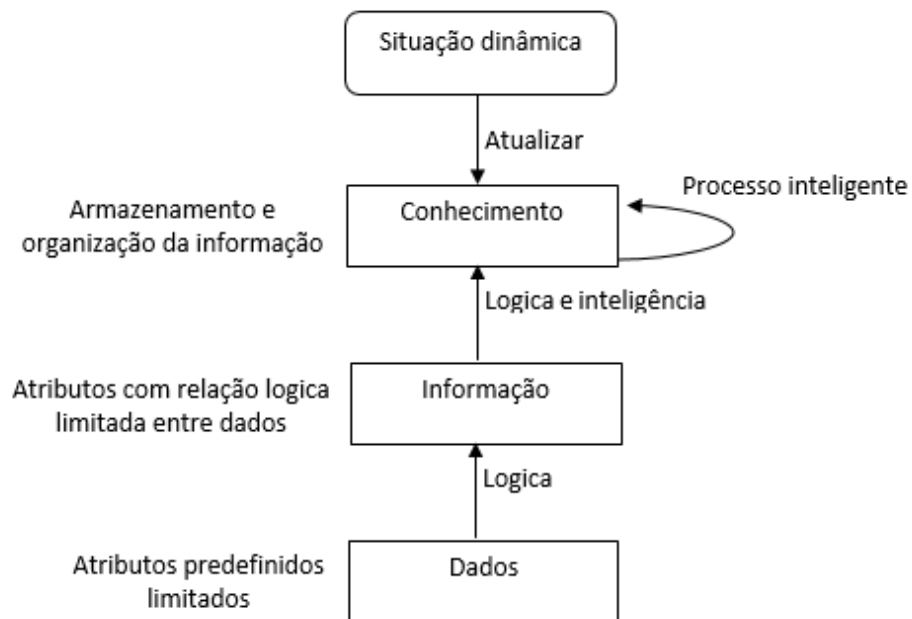


Figura 4 - Dados, Informação e Conhecimento

A fusão de dados ou informação é muito mais enriquecedora na informação que os dados de uma só fonte. Por isso a fusão de dados de vários sensores é um processo inteligente. Este processo de fusão é ilustrado na forma como o cérebro humano faz a fusão dos dados de todos os sensores do corpo, tal como os olhos, ouvidos, nariz, língua e pele. O sistema de sensores do corpo humano fornece dados do ambiente através dos nervos para o cérebro. O cérebro funde esta informação para saber todo sobre o ambiente que o rodeia no preciso momento, tenta derivar o conhecimento e produzir soluções através da informação fundida. A figura 5 mostra uma visão análoga de um sistema de fusão inteligente, com um cérebro usa vários sensores como fontes de informação.

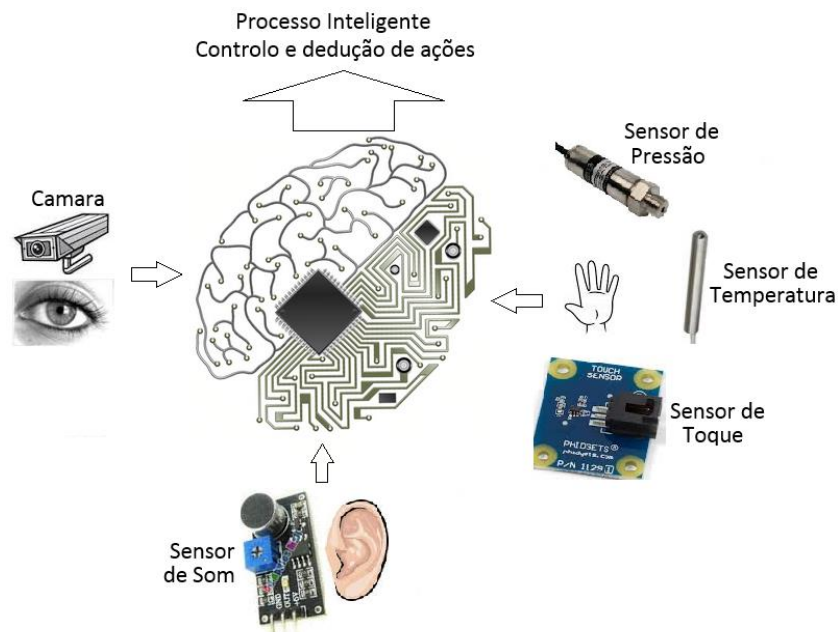


Figura 5 - O cérebro humano e os sensores

Apesar de a fusão sensorial parece bastante complexa, envolve algumas ideias essenciais como: receção de dados provenientes de várias entradas, tratamento dos dados captados, cálculo do objetivo a atingir e atuar sobre o sistema.

### 2.6.1 Classificação das técnicas de fusão de dados

A fusão de dados é uma área multidisciplinar que envolve diferentes campos, onde é difícil estabelecer uma classificação clara e rigorosa. Os métodos e técnicas podem ser divididos de acordo com os critérios seguintes:

- Considerando as relações entre as fontes de dados de *input*, como proposto por Durrant-Whyte [23]. Esta relação de dados pode ser definida como complementar, redundante ou cooperativa.
- De acordo com o tipo de dados de input/output e a sua natureza, como proposto por Dasarathy[24].
- Seguindo uma abstração ao nível dos dados utilizados: medidas, sinais e características ou decisões.
- Baseada nos diferentes níveis fusões de dados definidas por JDL (*Join Directors of Laboratories*).

- Dependendo do tipo de arquitetura: centralizada, descentralizada o distribuída.

#### 2.6.1.1 Classificação baseada nas relações entre fontes de dados

Com base nas relações das fontes, Durrant-Whyte propôs os seguintes critérios de classificação:

- **Interação competitiva** acontece quando sensores semelhantes observam o mesmo objeto e adquirindo características deste. A informação adquirida por estes é denominada redundante quando não contribuem com qualquer conhecimento adicional para o sistema. A integração de sensores competitivos resulta num incremento da confiança na validade da informação extraída quando existe uma relação entre os dados adquiridos e num decréscimo da confiança quando não existe uma relação entre os dados.
- **Interação complementar** acontece quando dois ou mais sensores obtêm informação do mesmo objeto, mas os dados adquiridos por cada um dos sensores são diferentes uns dos outros (por exemplo: um sensor ultrassom e um sensor de toque). Neste tipo de interação os dados adquiridos pelos diferentes sensores complementam a informação uns dos outros.
- **Interação cooperativa** acontece quando existe mais do que um sensor, e um dos sensores é o responsável por guiar o(s) outro(s) no processo de aquisição dos dados. Isto significa, por exemplo, se o objetivo de um robô for procurar um objeto com uma determinada cor e o mais perto possível, em primeiro lugar vamos procurar um objeto com a cor que se pretende e depois avalia-se a distância a que se encontra esse objeto verificando-se, assim, a cooperação entre os sensores na busca de um objeto com determinadas características.

### 2.6.1.2 Classificação de Dasarathy

Um dos sistemas de classificação de fusão de dados mais conhecido foi desenvolvido por Dasarathy[24], este é composto pelas 5 categorias seguintes:

1. *Data in - Data out* (DAI-DAO): Este tipo é o método mais básico ou elementar, considerado na classificação. Os resultados são tipicamente confiáveis e exatos. A fusão de dados a este nível é realizada imediatamente após os dados serem recolhidos dos sensores. Os algoritmos utilizados neste nível são baseados no sinal e algoritmos de processamento de imagem.

2. *Data in - Feature out* (DAI-FEO): Neste nível, o processo de fusão de dados utiliza os dados brutos das fontes para extrair funcionalidades ou características que descreve uma entidade no ambiente.

3. *Feature in - Feature out* (FEI-FEO): Neste nível, ambos os *inputs* e *outputs* da fusão de dados são características. Desde modo o processo da fusão de dados aborda um conjunto de características para melhorar, refinar ou obter novas características. Este processo é também conhecido como fusão de dados, fusão simbólica, fusão de informação ou fusão de nível intermédio.

4. *Feature in - Decision out* (FEI-DEO): Este nível obtém um conjunto de características como *input* e proporciona um conjunto de decisões como *output*. A maioria dos sistemas de classificações que efetuam as decisões baseadas nos *inputs* dos sensores encaixam nesta categoria de classificação.

5. *Decision in - Decision out* (DEI-DEO): Este tipo de classificação é conhecido como fusão de decisão. Funde decisões de *input* para obter melhores ou novas decisões.

A principal contribuição da classificação de Dasarathy é a especificação do nível de abstração como um *input* ou um *output*, fornecendo uma *framework* para classificar diferentes métodos ou técnicas.

### 2.6.1.3 Classificação baseada nos níveis de abstração

Luo (entre outros) [25] promoveu os seguintes quatro níveis de abstração:

1. Nível de sinal: Aborda diretamente os sinais que são adquiridos dos sensores.
2. Nível de *pixel*: Opera ao nível da imagem e pode ser usado para melhorar as tarefas do processamento de imagem.
3. Caraterística: Utiliza recursos que são extraídos das imagens ou sinais (por exemplo: forma ou velocidade).
4. Símbolo: Neste nível, a informação é representada como símbolos. Este nível é também conhecido como o nível de decisão.

A fusão da informação tipicamente aborda três níveis de abstração: avaliações, caraterísticas e decisões. Outras possíveis classificações de fusão baseadas nos níveis abstração são as seguintes:

1. Fusão de baixo nível: os dados em bruto são diretamente fornecidos como um *input* para o processo da fusão de dados, os quais oferecem dados mais precisos que uma fonte individual.
2. Fusão médio nível: caraterísticas ou recursos (forma, textura e posição) são fundidos para obter caraterísticas que podem ser utilizadas em outras tarefas. Este nível é também conhecido como o nível de recursos ou caraterísticas.
3. Fusão de alto nível: Este nível, o qual também é conhecido como fusão de decisão, assume representações simbólicas como fontes, combinando-as para obter decisões mais precisas. Os métodos de Bayesian são os mais utilizados neste nível.
4. Fusão de múltiplos níveis: Este nível aborda dados fornecidos de diferentes níveis de abstração (exemplo: quando uma avaliação é combinada com um recurso para obter uma decisão).



#### 2.6.1.4 Classificação da fusão de dados JDL

Esta classificação é o modelo conceptual mais popular na comunidade da fusão de dados. Foi originalmente proposto por JDL e pelo Departamento de Defesa Americano (DoD) [26]. Estas organizações classificaram o processo da fusão de dados em 5 níveis de processamento que são os seguintes:

1. Nível 0 – Fonte de processamento: é o nível mais baixo do processo da fusão de dados e inclui fusão nos níveis de sinal e de *pixel*. No caso das fontes de texto, este nível também inclui o processo de extração da informação. Este nível reduz a quantidade de dados e mantém a informação útil para os processos de alto nível.

2. Nível 1 – Refinamento do objeto: utiliza os dados processados do nível anterior. Os procedimentos comuns neste nível incluem alinhamento espaço-temporal, associação, correlação, agregação ou agrupamento de técnicas, consideração de estado, eliminação dos falsos positivos, fusão de identidade e a combinação de recursos que foram extraídos das imagens. Os resultados do output desta etapa são, discriminação do objeto (classificação e identificação) e monitorização do objeto (estado e orientação do objeto). Esta etapa transforma a informação de *input* em estruturas de dados consistentes.

3. Nível 2 – Avaliação da situação: Este nível foca-se num nível mais elevado de inferência que o nível 1. A avaliação da situação tem como objetivo identificar situações semelhantes, dados os eventos observados e os dados obtidos. Estabelece relações entre os objetos, relações (de proximidade ou comunicação) essas que são avaliadas para determinar o significado das entidades ou objetos num ambiente específico. Este nível tem como objetivo identificar as inferências de alto nível, identificar atividades significativas e eventos (padrões em geral). Do output resulta um conjunto de inferências de alto nível.

4. Nível 3 – Avaliação de impacto: Este nível avalia o impacto das atividades detetadas no nível 2 para obter a perspetiva adequada. A situação atual é avaliada e uma projeção futura é realizada para identificar possíveis riscos, vulnerabilidades e possibilidades de funcionamento. Este

nível inclui uma avaliação do risco ou ameaça e a previsão do resultado lógico.

5. Nível 4 – Refinamento do processo: Este nível melhora o processo do nível 0 ao nível 3 e fornece recursos e gestão dos sensores. O objetivo deste nível é alcançar uma gestão eficiente dos recursos, enquanto se responsabiliza por privatizar tarefas, agendamento e controlo de recursos disponíveis.

A fusão de alto nível começa geralmente no nível 2 porque o tipo, localização, momento e quantidade de objetos são conhecidos nesse nível. Uma das limitações do método JDL é como a incerteza dos resultados anteriores ou posteriores podem ser utilizados para melhorar o processo de fusão. Llinas (entre outros) [27] propuseram vários refinamentos e extensões para o modelo JDL. Blasch e Plano [28] propuseram adicionar um novo nível (refinamento de utilizador) para suportar um utilizador humano no processo da fusão de dados. O modelo JDL representa o primeiro esforço para promover um modelo detalhado e uma terminologia comum para o domínio da fusão de dados.

O modelo de Dasarathy difere do modelo JDL no que diz respeito à terminologia adotada e abordagem utilizada. Resumindo, o modelo de Dasarathy oferece um método para entender as relações entre as tarefas de fusão e dos dados utilizados, enquanto o modelo JDL apresenta uma perspectiva de fusão apropriada para desenhar sistemas de fusão de dados.

#### **2.6.1.5 Classificação baseada no tipo de arquitetura**

Uma das questões principais que surgem quando se projeta um sistema de fusão de dados é onde o processo de fusão de dados será realizado. Com base neste critério foi possível identificar os seguintes tipos de arquiteturas:

- **Arquitetura centralizada:** Na arquitetura centralizada o nó da fusão reside no processador central que recebe a informação de todas as fontes de *input* de dados. Deste forma todos os processadores de fusão são executados num processador central que utiliza as medições em bruto fornecidas pelas fontes. Neste esquema as fontes obtêm apenas medições de observações e transmitem-nas ao processador central, onde o processo

de fusão de dados é realizado. Se for assumido que o alinhamento e a associação dos dados são realizadas corretamente e que o tempo necessário para transferir os dados não é significativo, então o esquema centralizado é teoricamente ideal. No entanto, os pressupostos anteriores geralmente não assentam em sistemas reais. Além disso, a grande quantidade de largura de banda que é necessária para enviar os dados brutos através da rede é outra desvantagem para a abordagem centralizada. Esta questão traduz-se num afunilamento quando este tipo de arquiteturas é utilizado na fusão de dados em redes de sensores visuais. Finalmente, o tempo atrasa quando a transferência de informação entre diferentes fontes são variáveis e afeta os resultados no esquema centralizado para um maior grau do que em outros sistemas.

- **Arquitetura descentralizada:** Esta arquitetura é composta por uma rede de nós, cada um dos nós tem as suas próprias capacidades de processamento e não existe um único ponto de fusão de dados. Portanto, cada nó funde a sua informação local com a informação que é recebida dos seus pares. A fusão de dados é realizada autonomamente, com cada nó representando a sua informação local e a informação recebida dos seus pares. Os algoritmos da fusão de dados descentralizada geralmente comunicam a informação usando as medições de Fisher e Shannon em vez do estado do objeto [29]. A principal desvantagem desta arquitetura é o custo da comunicação, dado que, quantos mais nós possui a arquitetura mais caro se torna. Desta forma este tipo de arquitetura pode sofrer problemas de escalabilidade quando o número de nós aumenta.

- **Arquitetura distribuída:** Nesta arquitetura os dados de cada nó de origem são processados independentemente antes da informação ser enviada para o nó de fusão. O nó de fusão é o responsável por a informação que é recebida dos outros nós, por outras palavras, a estimativa da associação de dados e o estado são executados no nó de origem antes da informação ser comunicada para o nó de fusão. Portanto, cada nó fornece uma estimativa do estado do objeto com base em apenas nos seus pontos de vista locais, e esta informação é o *input* para o processo de fusão, o qual proporciona uma visão global fundida. Este tipo de arquitetura oferece

diferentes opções e variações que vão de apenas um nó de fusão para vários nós de fusão intermediários.

- **Arquitetura hierárquica:** Outras arquiteturas compreendem uma combinação de nós descentralizados e distribuídos, gerando esquemas hierárquicos em que o processo de fusão de dados é utilizado em diferentes níveis hierárquicos. Em princípio, um sistema de fusão de dados descentralizado é mais difícil de implementar devido aos requisitos computacionais e de comunicação. Contudo, na prática não existe uma arquitetura que se destaque, e a seleção da arquitetura mais apropriada deve ser feita em função das necessidades, do assunto em questão, das redes existentes, da disponibilidade dos dados, das capacidades do processamento dos nós e da organização do sistema de fusão de dados.

### 2.6.2 Técnicas de associação de dados

O problema da aquisição de dados pode ser definido da seguinte forma:

- I. Os dados de cada sensor são recebidos no nó de fusão em intervalos de tempo discretos.
- II. O sensor pode não fornecer dados em intervalos de tempo específicos.
- III. Alguns dados captados pelos sensores são resultado de ruídos e outros são dados captados do alvo a detetar.
- IV. Nunca se sabe *à priori* para qualquer objeto alvo quais os intervalos de tempo e quais as observações geradas.

Assim o objetivo da associação de dados é estabelecer o conjunto de observações ou medições que são gerados pelo mesmo alvo ao longo do tempo. Hall e Llinas [35] forneceram a seguinte definição de dados associados: “O processo de atribuição e cálculo dos pesos que relaciona as observações ou faixas (Uma faixa pode ser definida como um conjunto ordenado de pontos que segue um caminho e são gerados pelo mesmo alvo.) de um conjunto para a observação de faixas de outro conjunto.”

A associação de dados é muitas vezes utilizada antes da estimação de estado dos alvos a detetar. Além disso é um passo fundamental porque a estimação ou classificação vai ter um comportamento incorreto se a fase dos dados de associação não funcionar

corretamente. O processo de associação de dados pode também aparecer em todos os níveis de fusão, mas a granularidade varia, dependendo do objetivo em cada nível.

Em geral, uma pesquisa exaustiva de todas as possíveis combinações cresce exponencialmente com o número de alvos. As técnicas mais comuns que são utilizadas para resolver problemas de associação de dados são apresentadas a seguir:

#### **2.6.2.1 Nearest Neighbors (Vizinhos mais próximos) e K-Means**

Nearest neighbor (NN) é uma simples técnica de associação de dados. NN é um algoritmo usado para classificar objetos com base em exemplos de treino que estão mais próximos no espaço de características. Em geral, os critérios utilizados podem ser baseados numa distância absoluta, na distância euclidiana ou numa fusão estatística da distância. Para utilizar este algoritmo é necessário um conjunto de exemplos de treino, definir uma métrica para calcular a distância entre os exemplos de treino e definir o valor de  $k$  (o número de vizinhos mais próximos que serão considerados pelo algoritmo).

NN é um simples algoritmo que pode encontrar uma solução ótima em alguns casos e num curto espaço de tempo. Contudo, num ambiente desordenado, pode proporcionar muitos pares que têm a mesma probabilidade e produzir um erro de propagação indesejável. Além disso, este algoritmo tem um fraco desempenho em ambientes nos quais falsos dados são frequentes, o que acontece em ambiente altamente ruidoso.

K-Means [30] é um dos algoritmos de aprendizagem sem supervisão que tem como objetivo dividir o conjunto de dados dentro dos vários  $k$  *clusters*, onde cada conjunto pertence ao cluster mais próximo da média. O processo segue uma forma simples para classificar um determinado conjunto de dados através de um certo número de clusters (assumindo  $k$  clusters) atribuídos *à priori*. A ideia principal é definir  $k$  centróides, um para cada *cluster*. Estes centróides devem ser colocados de forma astuta porque diferentes localizações causam diferentes resultados. Por essa razão, a melhor escolha é colocá-los tanto quanto possível longe um do outro. O próximo passo é pegar em cada ponto pertencente a um dado conjunto de dados e associá-lo ao centróide mais próximo. Quando nenhum ponto está pendente, o primeiro passo está completo e o agrupamento está feito. Neste ponto pode recalcular-se novos  $k$  centróides como

baricentros dos *clusters* resultantes do passo anterior. Depois de se obter os novos  $k$  centróides, uma nova ligação deve ser feita entre os mesmos pontos do conjunto de dados e o novo centróide mais próximo. É gerado um ciclo que retorna como resultados, possíveis mudanças nas localizações dos  $k$  centróides, esse ciclo é executado até não existir mais alterações possíveis. Finalmente, este algoritmo visa minimizar uma função objetivo, neste caso uma função de erro quadrática. A função objetivo é a seguinte:

$$J = \sum_{j=1}^e \sum_{i=1}^n (x^{(j)}_i - c_j)^2$$

Onde  $(x^{(j)}_i - c_j)^2$  é a distância escolhida entre um ponto de dados  $x^{(j)}_i$  e o centro do cluster  $c_j$ , que é um indicador de distância de  $n$  pontos de dados do seu respetivo centro de cluster.

O algoritmo é composto pelos seguintes passos:

1. Obter os dados de *input* e o número de clusters desejados ( $k$ ).
2. Atribuir ao acaso o centróide de cada *cluster*.
3. Fazer cada ponto de dados corresponder com o centróide de cada *cluster*.
4. Mover os centros dos *clusters* para os centróides de cada cluster.
5. Se o algoritmo não convergir voltar ao passo 3.

K-Means é um algoritmo que tem sido largamente utilizado, contudo possui algumas desvantagens:

- I. O algoritmo nem sempre encontra a melhor solução para os centros dos *clusters*
- II. O número de clusters deve ser conhecido *à priori* e deve assumir-se que o número é o ótimo.
- III. O algoritmo assume que a variância conjunta do conjunto de dados é irrelevante ou que já foi normalizado posteriormente.

### 2.6.2.2 Associação de dados probabilística

O algoritmo associação de dados probabilística (PDA) que foi proposto por Bar-Shalom e Tse [31] é também conhecido como o filtro modificado de todos os vizinhos. Este algoritmo atribui uma probabilidade de associação para cada hipótese de uma medição válida de um alvo. Uma medida válida refere-se à observação que cai na gate de validação do alvo a cada instante de tempo. A gate de validação  $\gamma$ , a qual é usada para selecionar o conjunto de medidas básicas e é definido como:

$$\gamma \geq (Z(k) - z(k|k-1))^T S^{-1}(k) (Z(k) - z(k|k-1))$$

No algoritmo PDA, a estimativa de estado do alvo é calculado como uma soma ponderada do estado estimado sobre todas as hipóteses. O algoritmo pode associar diferentes medidas para um alvo em específico. Desta forma, a associação de diferentes medidas para um alvo específico ajuda o PDA a estimar o estado do alvo, e as probabilidades de associação são usadas como pesos.

Este algoritmo é bom principalmente para seguir alvos que não efetuam movimentações bruscas nos seus padrões de movimentos. Pois se forem executados movimentos bruscos pelo alvo a seguir, provavelmente o algoritmo irá perdê-lo.

### 2.6.2.3 Junção da Associação de dados probabilísticos

A junção da Associação de dados probabilísticos (JPDA) é uma abordagem de qualidade inferior para fazer buscas a mais que um alvo em ambientes desordenados [32]. O algoritmo JPDA é similar ao algoritmo PDA, com a diferença que as probabilidades de associação são calculadas usando todas as observações e todos os alvos. Desta forma em contraste com PDA, JPDA considera várias hipóteses juntas e combina-as. Portanto, para um número conhecido de alvos, são avaliadas diferentes opções de medidas e combinadas com o correspondente estado estimado.

As principais desvantagens do JPDA são:

- Requer um mecanismo explícito para inicializar a localização. Similarmente ao PDA, o JPDA não consegue inicializar novas buscas, nem remover aquelas que estão fora da área de observação.
- JPDA é um algoritmo caro computacionalmente quando é aplicado em ambientes que possuem múltiplos alvos, já que o número de hipóteses é incrementado exponencialmente com o número de alvos.

Em geral, o algoritmo JPDA é mais apropriado que o MHT (*Multiple Hypothesis Test*) em situações em que a densidade de medidas falsas é elevada (exemplo: aplicações de sonares).

### 2.6.2.3 Teste de hipóteses múltiplas

A ideia básica de teste de hipóteses múltiplas (MHT) é baseada no uso de mais do que duas observações consecutivas para fazer uma associação com melhores resultados. Outros algoritmos que usam duas observações consecutivas têm uma alta probabilidade de produzir erros. Em contraste com PDA e JPDA, MHT estima todas as hipóteses possíveis e mantém novas hipóteses em cada iteração.

MHT foi desenvolvida para rastrear mais que um alvo em ambientes desordenados, como resultado combina o problema de associação de dados e rastreamento numa única *framework*. A regra de Bays ou Redes Baysianas são vulgarmente utilizadas para calcular as hipóteses MHT. Em geral, pesquisas têm revelado que MHT supera JPDA em ambientes de poucos falsos positivos. A principal desvantagem do MHT é o custo computacional, quando o número de alvos ou falsos positivos é incrementado.

### 2.6.2.4 Modelos gráficos

Os modelos gráficos são um formalismo para representar e racionar probabilidades e independência. Um modelo gráfico representa uma decomposição da probabilidade conjunta. Um modelo gráfico pode ser representado como um gráfico em que os nós indicam variáveis aleatórias. Os contornos indicam possíveis dependências



entre variáveis aleatórias e as placas indicam a replicação de uma subestrutura, com o índice apropriado de variáveis relevantes.

### 2.6.3 Métodos de fusão de decisão

Uma decisão é normalmente feita com base no conhecimento da situação, o qual é fornecido por várias fontes no domínio da fusão de dados. Estas técnicas têm como objetivo captar os eventos e atividades que são produzidos pelos alvos a detetar. Estas técnicas usam frequentemente informação simbólica.

#### 2.6.3.1 Métodos Bayesianos

A fusão de informação baseada na teoria Bayesiana fornece um formalismo para combinar evidências de acordo com as regras da teoria de probabilidade. A incerteza é representada usando termos de probabilidades condicionais, os quais apresentam benefícios e tomam valores entre o intervalo [0,1], onde 0 indica uma completa falta de confiança e 1 indica absoluta confiança. A teoria Bayesiana é baseada na regra de Bayes da seguinte forma:

$$P(Y|X) = \frac{P(X|Y) P(Y)}{P(X)}$$

Onde a probabilidade posterior  $P(Y|X)$ , representa a confiança nas hipóteses  $Y$  dada a informação de  $X$ . Esta probabilidade é obtida multiplicando *à priori* a probabilidade das hipóteses de  $P(Y)$  por a probabilidade de  $X$  dado que  $Y$  é verdadeiro,  $P(X|Y)$ . O valor  $P(X)$  é usado como uma constante de normalização. A principal desvantagem da teoria de Bayesiana é que as probabilidades  $P(X)$  e  $P(X|Y)$  devem ser conhecidas. Para estimar as probabilidades condicionais Pan (entre outros) [33] propôs o uso da arquitetura híbrida Bayesiana NN, enquanto Coué (entre outros) [34] propôs a programação Bayesiana.

Hall e Llinas [35] identificaram os seguintes problemas associados à teoria Bayesiana:

- Dificuldade em estabelecer o valor das probabilidades *à priori*.

- Complexidade quando existem várias hipóteses potenciais e um número substancial de eventos que dependem das condições.
- As hipóteses devem ser mutuamente exclusivas.
- Dificuldade em descrever a incerteza das decisões

### 2.6.3.2 A teoria de Dempster-Shafer

A teoria Dempster-Shafer é baseada na teoria matemática introduzida por Dempster [36] e Shafer [37], a qual generalizou a teoria Bayesiana. A teoria Dempster-Shafer apresenta um formalismo que pode ser usado para representar conhecimento incompleto, atualizando as confianças e a combinação de evidências e permite representar a incerteza explicitamente [38].

Esta teoria permite combinar diferentes fontes e chegar a um grau de confiança (representado a função de confiança) que leva em conta todas as avaliações de evidência.

Em contraste com a teoria de Bayesiana, as probabilidades não são necessárias *à priori* na teoria Dempster-Shafer, porque são atribuídas no instante em que a informação é fornecida. Wu (entre outros) [39] usam a teoria de Dempster-Shafer para fundir informação em ambientes sensíveis ao contexto. Este trabalho foi estendido em [40] para modificar dinamicamente os pesos associados aos dados do sensor. Por tanto o mecanismo de fusão é calibrado de acordo com os dados recentes captados pelos sensores. No domínio militar [41], o raciocínio de Dempster-Shafer é usado como informação *à priori*, guardada nas bases de dados para classificar navios militares. Morbee (entre outros) [42] descreve o uso da teoria de Dempster-Shafer para construir mapas de habitação 2D a partir de várias câmaras e para avaliar a contribuição de subconjuntos de câmaras numa tarefa em específico. Cada tarefa é a observação de um evento de interesse, na qual o objetivo final é avaliar a validade de um conjunto de hipóteses que são fundidas usando a teoria de Dempster-Shafer.

### **2.6.3.3 Raciocínio abdutivo**

Raciocínio abdutivo é um método de raciocínio em que uma hipótese é escolhida sob uma suposição, que em caso de ser verdade explica o evento observado com mais precisão [43]. Por outras palavras, quando um evento é observado, o método de abdução tenta encontrar a melhor explicação.

### **2.6.3.4 Método semânticos**

As técnicas de fusão de decisão que utilizam dados semânticos de diferentes fontes como um *input*, podem fornecer resultados mais precisos do que aqueles que contam apenas com uma única fonte. Existe um crescimento interessante na técnica que determina automaticamente a presença de características semânticas em vídeos para resolver lacunas semânticas [44].

A fusão semântica pode ser vista como uma ideia para integrar e traduzir dados de sensores em linguagem formal. Portanto, a linguagem obtida como resultado a partir das observações do ambiente é comparada com as linguagens similares que são guardadas na base de dados. A chave desta estratégia é que comportamentos similares representados por linguagens formais sejam também semanticamente similares. Este tipo de métodos permite poupar nos custos de transmissão, porque os nós apenas necessitam de transmitir a estrutura da linguagem forma em vez de dados brutos. Contudo, um conjunto conhecido de comportamentos deve ser guardado numa base de dados antecipadamente, o que pode ser difícil em alguns senários.

“A fusão de dados obtidos a partir de multisensores é uma tecnologia emergente aplicada ao departamento de defesa (DoD), áreas como reconhecimento automático de objetos, vigilância do campo de batalha e orientação e controlo de veículos autónomos, aplicada a áreas como monitoramento de máquinas complexas, diagnósticos médicos e edifícios inteligentes. As técnicas de fusão de dados obtidas a partir dos vários sensores são provenientes de uma ampla gama de áreas incluindo inteligência artificial, padrões de reconhecimento, estimação estatística e outras áreas” [35].

## 2.7 Atuadores

Um atuador é um elemento que produz movimento, atendendo a comandos que podem ser manuais, elétricos ou mecânicos. Cilindros pneumáticos, cilindros hidráulicos, motores, válvulas, contadores, pás ou qualquer outro elemento que realize um comando recebido de outro dispositivo são exemplos de atuadores. Normalmente os motores são controlados por algum dispositivo mecânico, eletrônico ou eletromecânico.

Um motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina vantagens de energia elétrica (baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando), com a sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos.

A maioria dos motores elétricos trabalha através da interação entre campos magnéticos, mas existem motores baseados em outros fenómenos eletromecânicos, tais como forças eletrostáticas. Um motor elétrico funciona basicamente devido a ímanes (que sevem para criar movimento) e magnetismo. Como os polos iguais se repelem e os opostos se atraem, dentro do motor elétrico essas forças de atração e de repulsão criam o movimento de rotação.

Na robótica existem muitos tipos de atuadores, por exemplo em braços robóticos.

- **Servo motor:** É um motor, mecânico ou eletromecânico, que apresenta um movimento proporcional a um comando, isto é em vez se mover livremente sem um controlo sobre a posição de deslocamento como a maioria dos motores, os servomotores são dispositivos de malha fechada, ou seja recebem um sinal de controlo, verificam a posição atual e atuam no sistema atualizando a posição desejada. Estes motores possuem uma liberdade de apenas 180 graus, mas são bastante precisos no que diz respeito á sua posição. O seu sistema apresenta um motor elétrico, ligado a um conjunto de engrenagens, de forma a amplificar o torque do motor. Possui também um sensor e um circuito de controlo que permitem, regular a velocidade angular desejada.

- **Motor de passo:** Um motor de passo é um tipo de motor usado quando são exigidas grandes precisões e posicionamentos em ângulos exatos. Neste tipo de motores o cálculo da rotação é controlada por uma série de campos eletromagnéticos que são ativados e desativados eletronicamente. Os motores de passo são conhecidos pelo grande binário que produzem.
- **Motor hidráulico:** É um atuador mecânico que converte a pressão hidráulica e o fluxo em binário e deslocamento angular (rotação). A rotação do motor hidráulico é similar á rotação do cilindro hidráulico.

## 2.8 Projetos na área de Inteligência artificial

A seguir são mostrados alguns dos projetos dentro da área da inteligência artificial, dos quais permitiram esclarecer dúvidas e retirar algumas ideias para o desenvolvimento do projeto em questão:

### 2.8.1 AVA

Em 2011 a empresa iRobot, mais conhecida pelos seus aspiradores de pó e máquinas de guerra, apresentou uma plataforma robótica móvel chamada AVA [I.15].

O robô AVA tem várias aplicações como: trabalho colaborativo, cuidar de pessoas idosas, segurança, inspeção fabril, assistente em lojas de comércio, etc. Apresenta várias características:

- Possui navegação autónoma, o que lhe permite navegar entre dois pontos de forma autónoma sem precisar de ajudas externas.
- O equilíbrio das características e robustez integrada de forma significativa e produtiva.
- É composto por uma série de sensores (laser, sonar e imagem), dando ao robô a capacidade de navegação autónoma.
- Possui uma interação intuitiva, fácil de usar e sem interações intrusivas com o utilizador.

- Tem a capacidade de seguir pessoas, ajuste da altura do ecrã interativo de forma a simplificar o seu uso.
- Possui a capacidade de avaliar as situações em tempo real de forma consciente e tomar decisões rápidas.
- Deteta e evita pessoas, objetos e perigos tal como escadas utilizando, para isso, sensores de precipício.
- Identifica e reage às mudanças ambientais em tempo real.

### 2.8.2 Museu interativo com robô guia

Este robô chamado RHINO [I.16] foi implementado no “*Deutsches Museum Bonn*”, onde guiou centenas de visitantes pelo museu durante o seu período de implementação. O *software* do robô permite que este navegue em alta velocidade no meio de multidões densas e ao mesmo tempo evita colisões com obstáculos. Este robô possui também uma interface de utilizador adaptada para utilizadores não especialistas.

As características principais deste robô baseiam-se em dois principais pontos:

- **Navegação segura e confiável** – O robô navega a uma velocidade aproximadamente igual à velocidade do andar de um ser humano e não colide com quaisquer obstáculos (pessoas, exposições, etc).
- **Interação com o utilizador atrativa e intuitiva** – Os visitantes do museu têm entre 2 e 80 anos de idade. Por essa razão, o grande desafio foi construir um robô que fosse intuitivo e amigável.

O *software* de controlo do robô RHINO aplica-se a vários princípios de design, os mais importantes são:

1. Representações probabilísticas, raciocínio e aprendizagem. Desde que a percepção é inerentemente imprecisa e incompleta e desde que o meio ambiente, como o de um museu, está em constante mudança e de maneiras bastantes

imprevisíveis, RHINO utiliza permanentemente os mecanismos probabilísticos para representar o estado e a razão sobre a mudança do estado.

2. Recursos de adaptabilidade. Vários componentes de *software*, tal como o planeamento de trajetórias ou o módulo de localização podem adaptar-se aos recursos computacionais disponíveis.

3. Processamento distribuído assíncrono com tomada de decisão descentralizada. O *software* do RHINO era altamente distribuído. Não tinha coordenação central para sincronizar os diferentes módulos, e o robô podia funcionar mesmo que algumas das partes importantes do seu *software* deixarem de funcionar temporariamente.

### **2.8.3 ASIMO (*Advanced Step in Innovative Mobility*)**

ASIMO [I.17, I.18] é o estado de arte de robôs humanoides no mundo. Este robô foi desenvolvido pela Honda Motor Co. Ltd, uma empresa japonesa.

Foi oficialmente inaugurado em 2000 depois de 15 anos de pesquisa. O propósito de construir o ASIMO foi construir um robô capaz de ajudar o ser humano e viver em harmonia com as pessoas.

#### **2.8.3.1 Características/habilidades**

ASIMO pesa 48 kg, mede 1.3 m de altura e tem a capacidade de andar e correr. (È capaz de correr para trás e saltar continuamente para cima e para baixo, consegue atingir velocidade de 2,7 km/h e correr com uma velocidade de 9 km/h). Também é capaz de interagir com posturas do ser humano. ASIMO pode ainda executar tarefas de acordo com os gestos de um ser humano. Por exemplo, este pode reconhecer uma localização indicada e mover-se para ela. Tem a capacidade de dar apertos de mão quando um ser humano faz o gesto para tal. Outro dos gestos reconhecidos é o comum sinal que as pessoas utilizam para dizer "adeus", quando uma pessoa o utiliza, o robô reconheço-o e repete-o. Consegue reconhecer caras e vozes de pessoas, distingui-las e, ainda, consegue fixá-las pelo seu nome. Este robô, vira o rosto para a pessoa que chamar pelo seu nome, reconhece sons repentinos e incomuns como quedas e colisões de objetos, tem capacidade

para reconhecer obstáculos, reconhecer a sua posição e evita-los durante um movimento, prevenindo possíveis colisões. O ASIMO consegue aproximar-se bastante das pessoas, segui-las e mover-se na direção que estas indicarem. Tem conexão à internet e pode obter informações para as pessoas através da mesma. ASIMO é o primeiro robô humanoide mais inteligente do mundo, consegue manter o equilíbrio enquanto caminha em superfícies irregulares e inclinadas e também mantém o equilíbrio quando empurrado ou sofre um impacto de um certo grau. O robô cai quando empurrado fortemente e não consegue levantar-se sozinho.

### **2.8.3.2 Diretiva de Projeto básico/Mecânico**

#### **Articulações/Graus de Liberdade**

O ASIMO tem cabeça, mãos e pernas que possuem movimentos similares aos seres humanos. Possui sensores de ângulos que permitem determinar o ângulo e posição do corpo do robô. Este utiliza sensores de força e sensores de binário em cada um dos motores que estão acoplados no seu corpo, utiliza também, sensores giroscópios para medir a orientação do robô ASIMO. Possui 57 graus de liberdade.

#### **Controlo de Conformidade**

A força de aterragem de impacto é absorvida pelas escovas de borracha nos pés do robô. A borracha deforma-se elasticamente na vertical, o que evita a vibração da perna e realiza o controlo da conformidade.

#### **Equilíbrio**

A postura do corpo é controlada usando o mecanismo de controlo “*Zero Movement Point*”. Neste, robô reflete as pernas para manter um padrão de movimento estável com base nas trajetórias.



## **Movimento**

ASIMO usa a tecnologia “i-Walk” (movimento previsto de controlo). Pode prever o seu próximo movimento em tempo real e mudar o seu centro de gravidade na direção esperada. A postura do seu corpo é equilibrada durante o seu andar. O movimento bípede do robô é baseado em funções que envolvem caminhada dinâmica com base no feedback de sensores e previsão de planeamento de trajetórias. Quando o ASIMO caminha, prevê um movimento ideal com base no controlo *Zero Movement Point* e inclina o corpo para os lados ou para a frente para mudar o seu centro de gravidade em antecipação.

## **Tecnologia/Inteligência**

ASIMO é controlado por um computador ou uma unidade de controlo através de um sistema de redes sem fios e tem um processador de computador tridimensional, criado pela Honda. O computador que controla os movimentos do robô, está alojado na cintura do mesmo e pode ser controlado por um computador, por controlo *wireless* ou por comando de voz. ASIMO pode compreender e realizar tarefas que tenham sido pré programadas na sua placa memória, baseadas em vozes de comando dadas em inglês, tem vários sensores para adquirir os dados brutos do ambiente. Possui, também, giro sensores para controlar a sua orientação, sensores de força, para obter as forças, microfones, para detetar sons, e câmaras de visão para obter pixéis de imagem. ASIMO também possui uma câmara montada no seu torso, usada para visualizar pontos de referência no chão e nas escadas.

O sistema de visão do ASIMO é responsável pelo processamento da precessão espacial, mapeamento de objetos, monitorização de humanos, reconhecimento facial e deteção de gestos feitos pelos humanos. O robô baseia-se nas imagens estéreo (de 2 pontos de vista de ângulos ligeiramente diferentes), fornecidas por uma *frame* de captura que está conectada a 2 câmaras de bordo na unidade principal do robô. Objetos 3D e em movimento são identificados pelo cálculo de profundidade do espaço com base na soma dos diferentes valores absolutos (SAD), o método utiliza imagens que são capturadas a preto e branco e calibradas por lentes de distorção. O mapa 3D do local é construído e fornecido para os agentes responsáveis pelo caminhar e movimento do robô. O sistema de visão também identifica partes de movimentos e objetos em movimento, dos quais o

reconhecimento humano, reconhecimento de gestos e de posturas é processado e fornecido por agentes e por interações humano-robô.

ASIMO pode identificar pessoas num cenário usando um algoritmo *snake* para distinguir os contornos das formas humanas. Quando um humano se encontra em movimento o robô, segue este usando um algoritmo de fluxo ótico para bloquear as suas mudanças de posições nos dados da imagem. O algoritmo de reconhecimento de gestos 2D consegue identificar apertos de mão, o sinal de adeus, o gesto de chamar com a mão, etc, tendo como base as probabilidades de uma determinada posição da mão usando o modelo estatístico de Bayes. O algoritmo 3D de reconhecimento gestual consegue identificar quando uma pessoa está a apontar com base nas posições relativas da cabeça e da mão da pessoa a partir dos dados do mapa de profundidade.

ASIMO conta com dados de som para estar consciente do que está á sua volta e fora do seu campo de visão. A direção dos sons é calculada baseada no volume e na diferença de tempos dos sinais recolhidos através de 2 microfones separados. Consegue distinguir vozes e passos de humanos a partir de dados de som e olhar para uma pessoa, quando este chamar pelo seu nome ou algo cair no chão. ASIMO usa sensores sonares, infravermelhos e medidores de distâncias para detetar obstáculos. Faz um mapa da memória local usando a visão, reconstrói-o depois da deteção de obstáculos e move-se para o ponto de interesse de forma autónoma.

#### **2.8.4 AIBO**

O robô AIBO [1,19] é o nome que a Sony deu á família de robôs de entretenimento, estes foram criados com o objetivo de apresentar uma visão para um novo estilo de vida no qual os seres humanos alcançariam um melhor nível de vida, com a ajuda destas criaturas robóticas. Este robô surgiu no ano 1999, o seu desenvolvimento e produção foram descontinuados em 2006.

Atividades autónomas do robô AIBO:

- O robô AIBO tem a capacidade de se mover, pensar e mostrar atributos como emoções, instinto, aprendizagem e cultura.

- Estabelece comunicação com pessoas por exibição de emoções, e assume vários comportamentos (ações autônomas) baseadas na informação que reúne do ambiente. O robô AIBO não é apenas um simples robô, mas um robô autônomo com a capacidade de complementar a vida do ser humano.

- Enquanto o robô AIBO vive com uma determinada pessoa, o comportamento padrão deste robô desenvolverá de acordo com a sua aprendizagem e o seu crescimento. Quando encontra uma pessoa, este irá aproximar-se alegremente, trazendo o seu brinquedo na tentativa de motivar essa pessoa a brincar com ele. Por outro lado, quando uma pessoa não presta atenção a este robô, este vai ignorá-la, até que essa mesma pessoa fale para ele.

Emoções e instintos do robô de entretenimento AIBO:

- Baseado em todos os tipos de fatores que o robô recolhe do ambiente que o envolve, este sobre alterações de espírito as quais são mostradas na forma de expressão emocional. O robô AIBO expressa os seguintes 5 instintos básicos:

- **Instinto de afeto:** Que se traduz no desejo de comunicar com uma pessoa.
- **Instinto de pesquisa:** Este instinto mostra o desejo de satisfazer a sua própria curiosidade.
- **Instinto de movimento:** Este instinto reflete a necessidade de se mover.
- **Instinto de recarregar:** Este instinto mostra a necessidade de o robô encontrar uma fonte de eletricidade para se recarregar, tal como o instinto humano de se alimentar.
- **Instinto de dormir:** Este instinto reflete a necessidade de dormir.

#### **2.8.4.1 Caraterísticas do robô AIBO**

O robô AIBO consiste na combinação de *hardware* e software que permitem dar ao robô o seu carácter e personalidade. Para além disso o robô possui todas as funções e capacidades para se mover por ele próprio.

O robô está equipado com vários sensores que permitem “dar-lhe sentidos”, usados para tomar decisões e fazer avaliações do que o rodeia.

- **Sensor de toque:** O robô AIBO possui sensores de toque na sua cabeça, nas costas, no queixo e nas patas, permitindo sentir o contato do ser humano.
- **Sensor de audição:** Permite ao robô detetar sons no ambiente através de um par de microfones. Isto torna possível ao robô responder à voz de uma pessoa.
- **Sensor de visão:** O robô está equipado com uma câmara de cores e sensores de distância, que permitem procurar cores que o robô goste e evitar obstáculos. Este sensor permite também reconhecer a cara do ser humano.
- **Sensor de equilíbrio:** O robô AIBO mantém o seu equilíbrio com recurso a sensores de aceleração.

O robô AIBO tem uma vasta gama de movimentos naturais e expressivos. Possui 20 graus de liberdade o que torna possível ao robô alcançar uma variedade de movimentos naturais.

O robô está equipado com luzes faciais e tem capacidade de gerar tons musicais, os quais são usados para expressar as suas emoções e condição física.

#### **2.8.4.2 Características do *software* AIBO**

Quando o *software* AIBO é instalado, este aprende com as pessoas com as quais convive e com o ambiente no qual está inserido.

Cada robô AIBO vive com uma determinada pessoa e vai aprendendo quais as suas coisas favoritas, a cara, o nome da mesma, ou seja, é um AIBO único, diferente de todos os outros no que diz respeito ao seu comportamento, contraído um grande afeto por

uma pessoa, e até tornar-se num AIBO que tem as suas próprias brincadeiras, dependendo do quanto o seu dono interage com ele.

O robô possui um comportamento chamado “*House Sitting Mode*”, este comportamento permite dar a capacidade ao robô de tomar conta da casa. Quando o robô está neste modo, detetando movimentos, caras ou outro som, tira uma foto e pode notificar a pessoa através de *e-mail*. As imagens que o AIBO captura podem ser vistas usando um *web browser*.

#### **2.8.4.3 Rotinas diárias do AIBO**

O robô AIBO adapta a sua rotina diária à rotina do seu dono. Este acordará e irá para a cama à mesma hora que o seu dono. Quando o robô tem fome ou está cansado, este dirige-se ao seu posto de energia para se recarregar. O robô adora brincar com o ser humano, mas é perfeitamente capaz de se divertir sozinho com os seus próprios brinquedos (uma bola cor-de-rosa e o brinquedo *AIBOne*). Quando está sozinho em casa tira fotos sobre o comando do dono e vai para o seu posto de energia.

#### 2.8.4.4 Sensores e alguns dos atuadores que compõem o robô AIBO

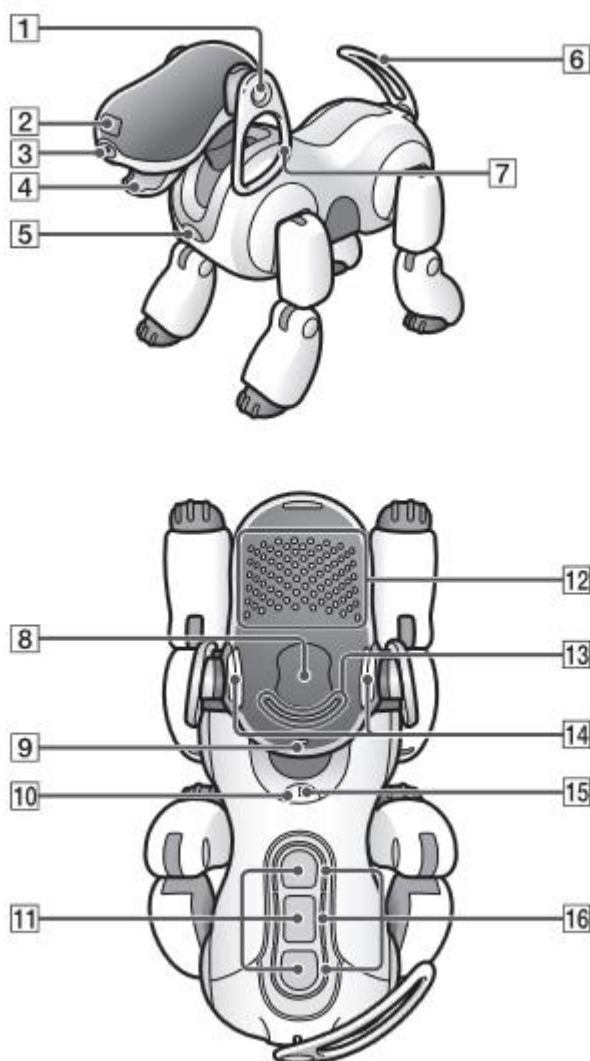


Figura 6 - Sensores do AIBO

1-Microfones: Permitem ao robô ouvir o ambiente em que este está envolvido	9-Luz <i>Wireless</i> : Indicador usado como função <i>wireless LAN</i>
2-Sensor de distância da cabeça: Mede distâncias entre o robô e outros objetos	10-Botão de pausa: Serve para parar ou fazer play ao robô
3-Câmara de cores: Deteta as cores, formas e movimentos dos objetos por perto	11-Sensores das costas: Deteta e fica branco quando alguém toca nele

4-Boca: Apanhar o seu “brinquedo” e expressar as suas emoções	12-Luzes faciais- Estas luzes assumem várias cores para mostrar emoções e condições do robô
5-Sensor de distância do peito: Mede distâncias entre o AIBO e outros objetos	13-Luz da cabeça: Fica branca quando alguém toca no sensor da cabeça
6-Cauda: Serve para expressar emoções	14-Indicadores de modo (dentro das orelhas): Estes indicam o modo e condições atuais do robô AIBO
7-Orelhas: Serve para expressar emoções	15-Luzes de ações: Estas luzes podem exibir várias cores as quais dependem do estado atual do robô
8- Sensor na cabeça: deteta quando alguém toca na sua cabeça	16-Luzes das costas: Estas luzes tornam-se brancas quando os sensores das costas são estimulados.

**Tabela 1 - Descrição dos sensores do AIBO**

### 2.8.5 Soccer Robot

A ideia de equipas de futebol de robôs autónomos inevitavelmente inspira imagens e expectativas um pouco diferentes da realidade.

As equipas de futebol robótico competem em jogos chamados RoboCup [I.5, I.6], equipadas de pesquisadores propuseram-se a um desafio que consistia em bater uma equipa de futebol contra humanos em 2050 no *WorldCup*.

Competições RoboCup são organizadas de acordo com os avanços do estado da arte da AI e da robótica, com o objetivo final de criar uma sociedade em que seja possível os robôs e os seres humanos conviverem num ambiente físico comum.

Os robôs enfrentam muitos desafios técnicos. O chão é verde, os objetivos são amarelos e azuis e a bola é laranja, os limites são vermelhos e azuis, o campo é marcado com marcas coloridas para possibilitar ao robô um conhecimento das suas metas e objetivos. O objetivo futuro é integrar nos robôs uma forma de raciocínio, de forma a pensar, perceber e agir.

Uma das principais funções do robô é localizar-se no campo, e quando este se move, deve atualizar a sua posição no campo. Para possibilitar que os robôs obtenham a sua localização e consigam atingir os seus objetivos (marcar golos na baliza do adversário), estes são equipados com visão robusta e localização.

Os robôs estão equipados com diferentes tipos de sensores para perceber o ambiente e atuadores para se mover, driblar e chutar a bola. Uma vez que os robôs devem ser totalmente autónomos estão equipados com computadores de bordo para a interpretação dos sinais dos sensores e para o cálculo razoável do seu comportamento. Os robôs de uma equipa podem trocar informações através de comunicação sem fios.

Através da combinação de atuadores designados por rodas, o robô pode tomar qualquer direção e virar ao mesmo tempo.

A figura 7 apresenta um robô com os diferentes componentes que lhe permitem perceber o meio em que se encontra e atuar sobre ele.

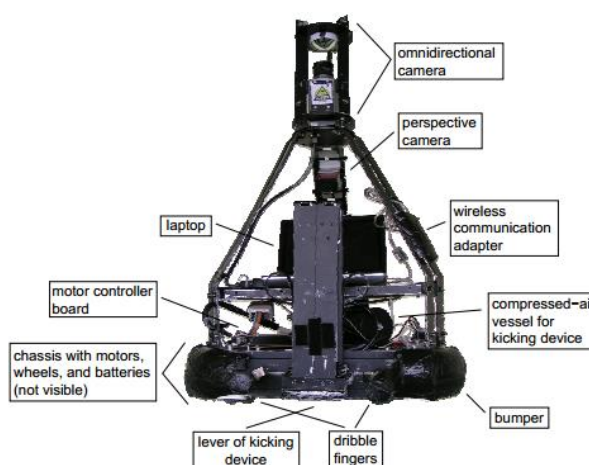


Figura 7 - Soccer Robot

O robô é composto por uma câmara omnidirecional equipada com um espelho que permite ao robô ter uma visão de 360 graus, uma outra câmara de perspetiva geral que permite obter a imagem sobre a qual o robô vai tomar as decisões principais (como identificar ou seguir a bola de futebol), comunicação *wireless* que permite aos robôs da mesma equipa comunicarem entre si, um computador de bordo o qual é responsável por



efetuar os cálculos e tomar as decisões de controlo do robô, uma placa de controlo de motores a qual é responsável por controlar a velocidade dos motores, um reservatório de ar comprimido que permite lançar a bola, um chassi que suporta os motores e tudo o resto e várias outras partes de hardware responsáveis por manipular a bola.

A informação extraída das imagens é usada em junção com sensores e abordagens de monitoramento, para obter um modelo geográfico coerente do ambiente. Os robôs são capazes de determinar a sua própria postura em campo e estimar o movimento da bola.

### 3 Robô – Especificação do Hardware

#### 3.1 Arquitetura do Hardware

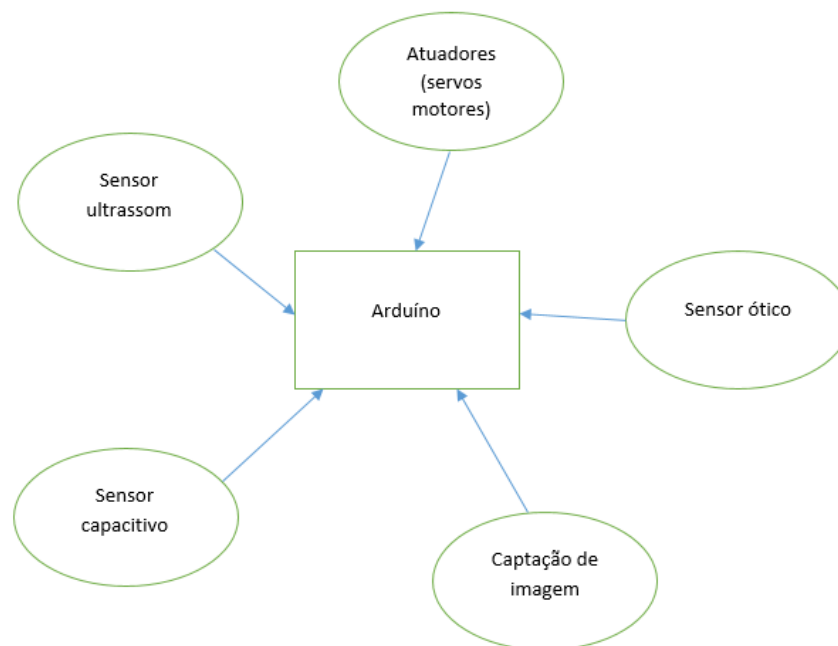


Figura 8 - Arquitetura de Hardware

#### 3.2 Placa Arduíno

O Arduíno [I,20] é um microcontrolador que tem a capacidade de efetuar leitura de dados recolhidos de uma variedade de sensores, utilizando para isso as suas portas de entrada de dados. Possui também portas que permitem controlar atuadores utilizando impulsos digitais ou analógicos (entre 0 e 5v). Este microcontrolador tem a capacidade

de por exemplo fazer variar a intensidade da luz de um led, a velocidade de um motor, entre outros.

A placa Arduino possui um CI (circuito integrado), onde está o programa que permite controlar todas as entradas e saídas da placa. Para programar este CI, é utilizado um *software* próprio de programação do Arduino, o software apresentado na figura 9.

Este *software* permite desenvolver programas em linguagem c, para controlar a placa Arduino. Este *software* vem já equipado com uma grande variedade de bibliotecas suportadas pelo Arduino. Por exemplo EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*), *Ethernet*, *Firmata*, *Servo*, *Wire*, *Stepper*, etc. Cada uma destas bibliotecas deve ser utilizada conforme a necessidade do programador.

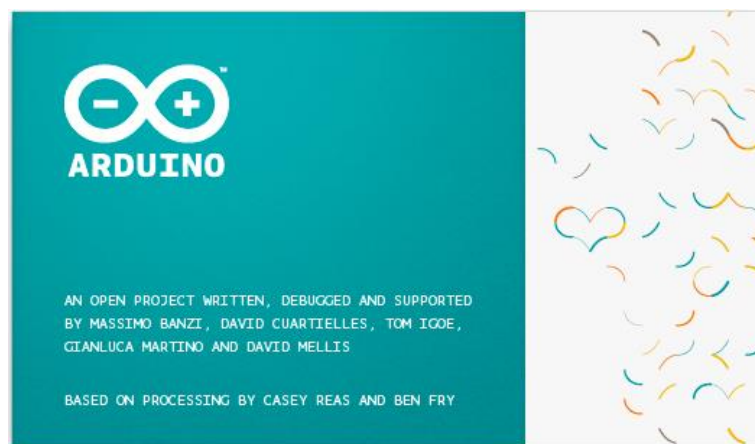


Figura 9 - Software Arduino

Para além de todas estas funcionalidades este *software*, ainda possui um *Serial Monitor* que permite enviar e receber dados para a placa Arduino através da porta série à qual está ligada o mesmo. Este *software* pode ser utilizado em diferentes tipos de sistema operativo como por exemplo: *Windows*, *Linux*, *Mac* ou *OSX*.

No que diz respeito à plataforma *hardware*, esta possui também diferentes estilos e potencialidades. Exemplos:

- Arduino Uno
- Arduino Duemilanove
- Arduino Nano
- Arduino Mega

- *Arduíno LilyPad*
- *Arduíno Diecimila*
- ...

A estes diferentes tipos de Arduíno podem ser adaptadas várias *Shields*, que permitem adicionar mais funcionalidades á placa de *hardware* base. Exemplos:

- *Ethernet Shield*
- *XBee Shield*
- *Breadboard Shield*
- *Motor Driver Shield*
- *Bluetooth Shield*
- *Arduíno Joystick Shield*
- ...

### 3.3 Arduíno Mega 2560

O Arduíno mega 2560 [I,20] é uma placa baseada no micro controlador ATmega 2560 (como mostra a figura 10). Este é composto por 54 pinos digitais de entrada ou saída, (destes 54 pinos 14 deles podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (*Univrrsal Asynchronous Receiver Transmitter-ports* serial de *hardware*), um oscilador cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma conexão de Power para tensões entre 7V e 12V, 2 conjuntos de pinos ICSP (*IN Circuit Serial Programming*), e um botão reset. Tudo o que é necessário para ter o microcontrolador a funcionar é conectá-lo a um computador com um cabo USB, ligá-lo a uma bateria através da porta de alimentação ou ainda utilizando o pin Vin (pino de alimentação do microcontrolador).



Figura 10 - Microcontrolador Arduino Mega

Microcontrolador	ATmega2560
Voltagem de Operação	5V
Voltagem de Input (recomendada)	7-12V
Voltagem de Input (Limites)	6-20V
Digital I/O Pinos	54 (dos quais 14 são PWM Output)
Pinos de Input Analógico	16
Corrente DC por pinos de I/O	40 mA
Corrente DC para o pino 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB de 8 KB usadas pelo bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Tabela 2 - Especificações da placa Arduino Mega 2560

O Arduino pode ser alimentado pela porta USB ou com uma fonte de alimentação externa. A fonte de energia é selecionada automaticamente.

A placa pode operar ligada a uma fonte de alimentação externa de 6 a 20V. Contudo se for fornecido menos de 7V, o pino de 5V pode ficar instável. Se utilizar mais de 12V, o regulador de tensão pode sobreaquecer e danificar a placa. A gama recomendada é de 7 a 12V (como mostra a tabela 2).

Cada um dos 54 pinos digitais do Arduino Mega pode ser utilizado como uma entrada ou saída, utilizando as funções *pinMode()*, *digitalWrite()*, *digitalRead()*. Estes pinos operam a 5V. Cada pino fornece ou recebe um máximo de 40 mA e tem uma resistência de pull-up interno (desligada por padrão) de 20-50 K $\Omega$  (kilo ohms). Além disso, alguns dos pinos possuem funções especiais:

- **Serial:** 0 RX (*Receiver*) e 1 TX (*Transmitter*); 1 Serial: 19 (RX) e 18 (TX); 2 Serial: 17 (RX) e 16 (TX); 3 Serial: 15 (RX) e 14 (TX). São usados para receber (RX) e transmitir (TX) *serials* (*Time To Live*).
- **Interrupções externas:** 2 (interrupção 0), 3 (interrupção 1), 18 (interrupção 5), 19 (interrupção 4), 20 (interrupção 3) e 21 (interrupção 2). Estes pinos podem ser configurados para disparar uma interrupção por um valor baixo.
- **PWM (*Pulse Width Modulation*):** 0-13.
- **SPI (*Light-Emitting Diode*):** 13. Existe um LED incorporado na placa, que está ligado ao pino 13.
- **TWI (*To-Wire Interface*):** 20 DAS (*Data Line*) e 21 SCL (*Clock Line*). Suporte de comunicação TWI usando a biblioteca *Wire*.
- **AREF:** Tensão de referência para as entradas analógicas.
- **Reset:** Faz o reset ao microcontrolador.

O ATmega2560 no Arduíno Mega vem com um *bootloader* que permite fazer o *upload* de novos códigos sem o uso de um programador de *hardware* externo. Este comunica com o original STK500 (*Starter Kit 500*) protocolo.

### 3.4 Bluetooth *Shiled*

Um Bluetooth *Shield* [I,20] que integra o módulo Bluetooth série HC-05. Pode ser usado facilmente com o Arduíno para comunicações *wireless* série. Existem dois tipos de placas Bluetooth, placa Bluetooth (Master/*Slave*) e placa Bluetooth apenas com modo *Slave* disponível.

#### 3.4.1 Bluetooth (Master/*Slave*)

Com esta *Shield* Bluetooth é possível que a placa base Arduíno, se torne Master (mestre) ou *Slave* (escravo). Em modo Master a placa Arduíno tem a capacidade de receber dados e fazer pedidos aos escravos. Em modo *Slave* a placa apenas pode responder a pedidos enviados por um Master.

A placa Bluetooth *Shield* apresentada na figura 11 pode ser configurada como Master ou como *Slave*.

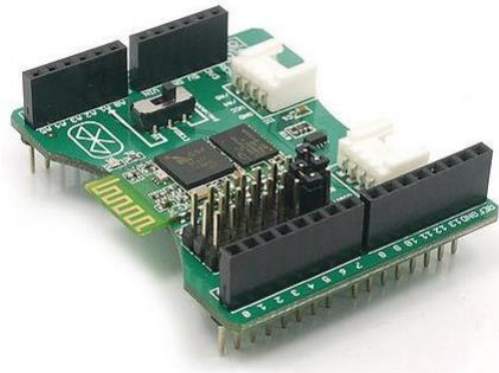


Figura 11 - Bluetooth Shield (Master/Slave)

Contudo o Master não tem necessariamente de ser uma *Shield* Bluetooth, pode ser outro dispositivo qualquer que possua um dispositivo Bluetooth.

Esta *Shield* pode ser facilmente adaptada ao Arduíno para efetuar comunicações série *wireless* transparentes. Para isso basta escolher 2 pinos do Arduíno de D0 a D7 como portas série de *software* para comunicar com o Bluetooth *Shield* (D0 e D1 são portas série de *hardware*). A *Shield* possui também 2 conectores (um digital e outro analógico) que permitem ligar módulos especiais como: leds, sensores, etc.

### Características:

- Compatível com Arduíno
- Alcance de comunicação até 10 metros de distância sem obstáculos
- UART interface (TTL) com taxa de transmissão programável (SPP *firmware* instalado)
- Taxa de transmissão por defeito: 38400, bits de dados: 8, bit de paragem: 1, paridade: Não tem paridade.
- Código pin por defeito: “1234”
- Um conjunto completo de comandos de configuração
- Possui antena PCB

## Especificações:

Item	Min	Recomendado	Max	Unidade
Voltagem	2.8	3.3	3.5	VDC
Corrente	3	/	100	mA
Distância de comunicação	/	/	10	M
Protocolo	Bluetooth V2.0 com SPP firmware			/
Interface	UART Serial Port (TTL)			/
Taxas de transmissão suportadas	9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800			Bps
Dimensões	57.4x45.3x19.4			Mm
Peso líquido	10±2			g

Tabela 3 - Especificações da Shield Bluetooth

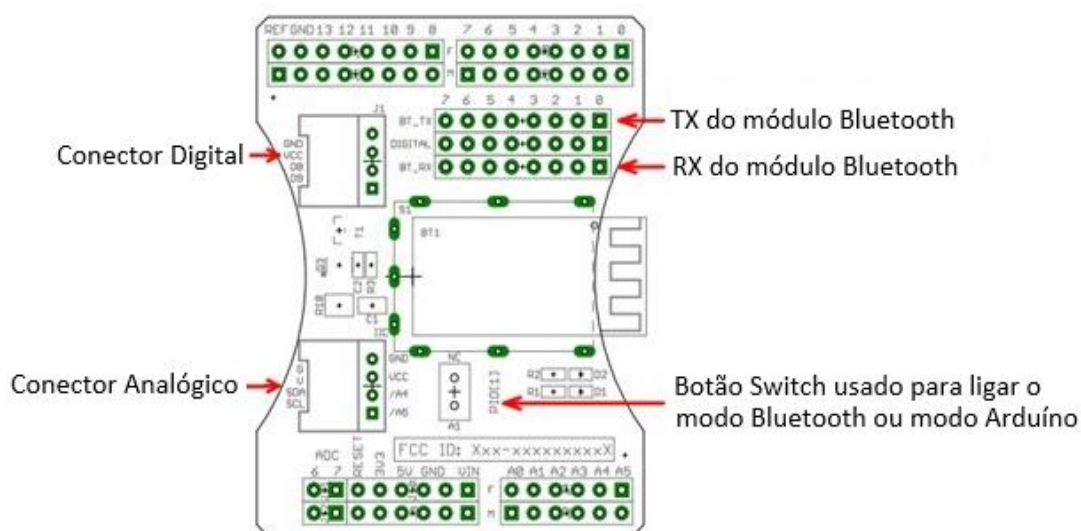


Figura 12 - Datasheet Bluetooth Shield

### 3.4.2 Bluetooth (Slave)

Esta Bluetooth *Shield* oferece ao Arduino a possibilidade de se tornar acessível via Bluetooth, no entanto apenas pode funcionar em modo *Slave* (escravo). Isto significa que esta placa apenas pode receber pedidos de Masters e responder a esses mesmos pedidos.

Na figura 13 pode confirmar-se que existem diferenças entre a placa Bluetooth (*Masters/Slave*) e a placa Bluetooth (*Slave*).



Figura 13 - Bluetooth Shield (Slave)

Nesta *Shield* ao contrário da *Shield* Bluetooth (Master/Slave), não têm de ser definidos pinos de comunicação para efetuar comunicações com a porta série. Nesta *Shield* apenas é necessário selecionar a voltagem pretendida (3.3V ou 5V), utilizando para isso o botão *switch* apropriado para a mesmo efeito. Na *Shield* existe também outro *switch* que permite fazer a seleção entre a placa Arduino e a ligação USB (isto será explicado em mais detalhe no capítulo seguinte).

Para além das diferenças visuais, outra das características que estas placas têm de diferente é a taxa de transmissão que vem por defeito. Na placa Bluetooth *Shield* (Master/Slave) a taxa de transmissão por defeito é de: 38400 Bps (nesta *Shield* é possível alterar a taxa de transmissão), no caso da *Shield* (Slave) é de 9600 Bps. Em contrapartida uma característica em comum entre estas duas *Shields*, é que ambas as portas ocupadas por estas na Placa Arduino continuam a poder ser usadas pelo programador para o que este necessitar (exceto as portas de comunicação entre a placa Bluetooth e a placa Arduino, que são as portas 0: RX e 1: TX).



## 3.5 Sensores

### 3.5.1 Sensor ultrassom

Os sensores ultrassom têm uma grande utilidade em automação, em robótica e em linhas de montagem na indústria. Sem precisar de contato físico com o objeto, ou ainda de adquirir propriedades especiais desse objeto, este sensor não só detecta como determina a distância a que este se encontra. Estes sensores são compostos por um emissor e um receptor e possuem uma ampla variedade de formas, dependendo da aplicação. Também possuem diferentes gamas de medidas, devendo ser adaptados às necessidades em questão.

O sensor ultrassônico transmite os seus sons numa frequência não audível entre 30 a 300 KHz. Filtros implementados dentro do sensor ultrassônico, verificam o som recebido e atualizam o eco emitido pela onda do sensor. A velocidade de operação do sensor é limitada por uma frequência, que em média varia de 1Hz a 125 Hz.

A maior vantagem deste sensor reside no fato de poder detectar uma larga escala de diferentes materiais. A detecção é independente da forma ou cor do material. Contudo quanto mais denso e mais liso for o material mais preciso será o sinal recebido.

A figura 14 ilustra o princípio de funcionamento de um sensor de ultrassom, onde é emitido um ultrassom pelo emissor, esse sinal é refletido por um objeto e o som refletido é captado pelo receptor.

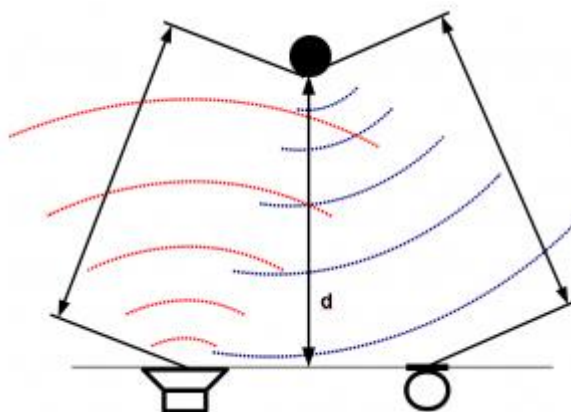


Figura 14 - Funcionamento do Sensor Ultrassom

### 3.5.2 SRF05

O SRF05 é uma evolução do sensor SRF04, como tal estes dois são totalmente compatíveis. Este sensor pode ser ligado de dois modos possíveis:

#### Modo1:

Neste modo o sensor usa os pinos Trigger e Echo separados, e é o modo mais simples de usar. Para usar este modo basta deixar o pino Mode desconetado como apresentado na figura 15:

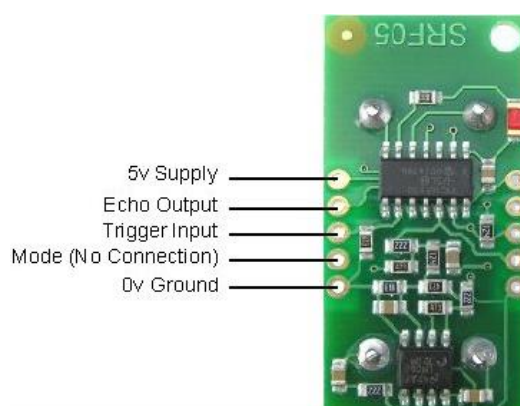


Figura 15 - Modo de ligação 1

#### Modo 2:

Neste modo é usado um único pino para o Trigger e o Echo, este modelo foi criado para economizar os pinos do microcontrolador. Para usar este modo, deve conectar-se o pino Mode ao GND (como mostra a figura 16). O sinal de eco aparecerá no mesmo pino que envia o sinal. Visto que o pin que envia o sinal é o mesmo que recebe, após enviar o sinal, o pino de saída deve ser trocado para pino de entrada, para ler o sinal refletido pelo objeto e através dessa leitura fazer o cálculo da distância.

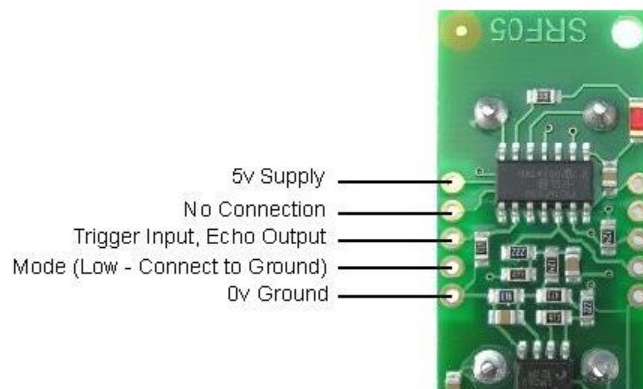


Figura 16 - Modo de ligação 2

### 3.5.3 Calcular a distância

Tudo que é preciso para calcular a distância é fornecer um pulso curto de 10  $\mu$ s (micro segundos), no pino *trigger* para iniciar o alcance. O SRF05 irá disparar oito ciclos de ultrassons a 40 Khz e ativar o pino *Echo* (ou *Trigger* no modo 2). Em seguida o pino *Echo* ouve um eco e assim que é detetado, ele desativa o *Echo* novamente. A linha de eco é, portanto, um pulso cuja largura é proporcional à distância do objeto. Cronometrando o pulso é possível calcular a distância em centímetros. Se nada for detetado, em seguida, o SRF05 irá desativar o *Echo* após 30 ms.

### 3.5.4 Sensor ótico

Os sensores óticos são indicados para diversas situações como por exemplo, quando o contato físico com o objeto não é possível ou quando o objeto é de um material incapaz de ser detetado por outro tipo de sensor, entre outras condições possíveis. Como características, estes sensores têm um baixo custo, tamanho reduzido, robustez, capacidade de detetar todo o tipo de material (desde que não seja transparente) sempre com uma boa resolução, distâncias de resolução relativamente altas e um princípio de funcionamento muito simples.

Os sensores óticos possuem um princípio de funcionamento baseado num feixe laser, em geral infravermelho, que pode ser ou não polarizado, gerado por um dispositivo emissor e captado por um outro dispositivo recetor (como mostra a figura 17).

Dependendo do tipo de sensor em questão, a presença do objeto no caminho do raio infravermelho possibilita ou impede a recepção deste por parte do recetor.



Figura 17 - Funcionamento Sensor Ótico

Nos dispositivos mais comuns o emissor consiste num LED infravermelho polarizado, o qual emite um raio de um determinado espectro de frequência. O dispositivo recetor, em geral, consiste num fototransístor, que efetua o corte ou a saturação (dependendo se recebe ou não um feixe laser emitido pelo emissor) e possibilita a passagem da corrente entre o coletor e o emissor do fototransístor. Através desta ação é possível obter na saída um sinal que permite saber se o objeto é encontrado ou não.

Os sensores óticos formados por um LED e um fototransístor apresentam algumas desvantagens, tais como:

- Pouca potência luminosa do feixe emitido e como consequência pouco alcance.
- Existem versões mais precisas e de maior alcance, mas que exigem um alinhamento perfeito entre o emissor e o recetor.
- Incapacidade de ser adaptar a ambientes com altos índices de contaminação ótica (por exemplo: ambientes onde se trabalha com solda elétrica).

O sensor CNY70 é um sensor muito utilizado na robótica por ser bastante económico e ter várias aplicações práticas. Habitualmente usa-se na robótica móvel

sempre que é necessário seguir uma linha marcada no chão. Obviamente a marca que se desenha no chão deve ser de cor diferente da cor do chão (para uma melhor resolução por parte do sensor as cores devem ser branco e preto), pois é esta diferença de cores que o sensor vai detetar e enviar os dados ao microcontrolador, por sua vez este vai tomar as decisões e atuar sobre o robô, dirigindo este para a direção marcada pela linha. Também pode ser usado na deteção de obstáculos se as superfícies forem reflexivas.

**Funcionamento:** No interior este sensor possui um díodo LED que emite infravermelhos, invisíveis para o olho humano. Nesta mesma superfície situa-se um fototransístor tendo como objetivo conduzir a corrente elétrica entre o emissor e o coletor (como mostra a figura 18), proporcional à quantidade de luz refletida pelo objeto a detetar.

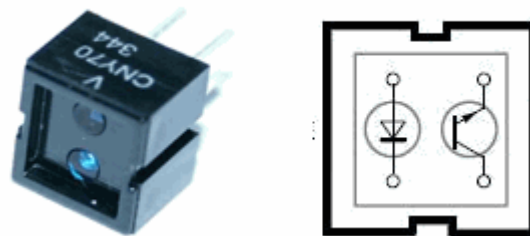


Figura 18 - Sensor Ótico

A superfície refletora deve ser colocada a poucos milímetros da base do sensor, visto que o led emissor de luz tem pouco alcance.

### 3.5.5 Sensor capacitivo

Os sensores capacitivos foram desenvolvidos para atender às necessidades dos sistemas modernos de produção, onde é necessário conciliar altas velocidades e elevada confiabilidade. Estes podem ser utilizados num largo campo de aplicações como: automação, proteção e segurança.

Este tipo de sensores detetam qualquer tipo de massa. Estes possuem cargas que geram um campo eletromagnético, quando um objeto interfere neste campo eletromagnético, este é detetado (como está ilustrado na figura 19). Esta é a característica comum a todos os sensores capacitivos, quando é colocado algum tipo de massa entre os seus elétrodos (onde são armazenadas as cargas) o seu campo magnético é alterado. Por sua vez esta variação do campo elétrico é traduzida num sinal digital.



Figura 19 - Funcionamento Sensor Capacitivo

O seu princípio de funcionamento baseia-se no princípio da mudança de frequência de oscilação de um circuito ressonante com a alteração do valor de capacitância formada pela placa sensível e o ambiente, devido á aproximação de um corpo qualquer. Esta capacitância pode ser alterada, praticamente por qualquer objeto que se aproxime do campo de atuação do sensor. A mudança de frequência ocasionada pela alteração da capacitância da placa sensível é enviada a um circuito detetor que transforma a variação de frequência em nível de tensão. O circuito *trigger*, trata de receber o sinal de tensão gerado no detetor e transformá-lo num onda quadrada adequada a excitar um circuito de comutação o que já é o suficiente para acionar circuitos externos.

### 3.5.6 Sensor capacitivo Arduíno

O arduíno possui uma biblioteca (*capacitiveSensor*) que permite tornar dois ou mais pinos da placa em sensores capacitivos, os quais conseguem sentir a capacidade elétrica do corpo humano. Tudo o que a configuração do sensor requer é uma resistência, um fio e um pedaço de alumínio (como ilustra a figura 20). Na forma mais sensível o sensor começa a sentir uma mão humana a centímetros de distância do sensor.

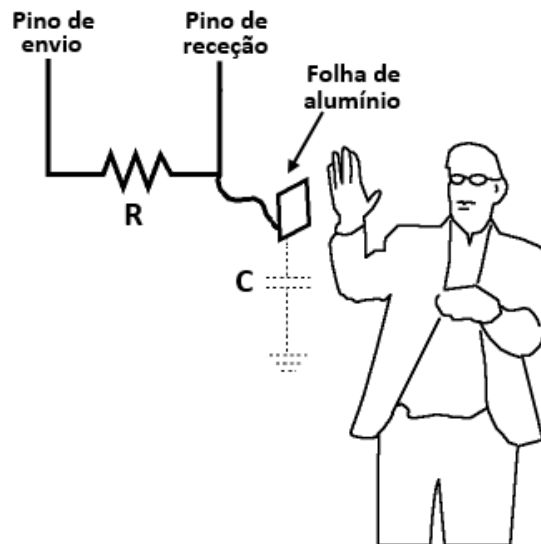


Figura 20 - Sensor de Toque Arduino

Quando um humano toca num objeto condutor, este cria um certo grau de capacidade elétrica, que aumenta a capacidade do material condutor em que o humano tocou para armazenar a carga.

O sensor capacitivo pode ser usado em qualquer lugar, onde seja necessário sentir o toque humano. Este sensor pode ser usado para sentir o toque humano através de plástico, madeira, material isolante ou outra (no entanto, estes materiais devem ser finos, como por exemplo uma folha), permitindo que o sensor seja completamente escondido visualmente.

Um sensor capacitivo coberto com papel ou outro isolante também pode atuar como sensor de pressão quando pressionado com uma mão humana, visto que não atua logo quando tocado, é necessário fazer um pouco de pressão para este atuar.

Quando o pino de envio muda de estado, provavelmente muda o estado do pino de recepção. O atraso entre o pino de envio e o pino de recepção é determinado pelo RC, tempo constante, definido por  $R \cdot C$ , onde R é o valor da resistência e C é a capacidade elétrica do pino de recepção, mais outro elemento capacitivo (exemplo: corpo humano), presente no sensor (pino de recepção). Pode colocar-se um condensador em paralelo com a capacidade elétrica do corpo humano, para estabilizar a leitura do sensor.

### 3.5.7 Sensor PIR (Sensor Infravermelho Passivo)

Um sensor infravermelho passivo (PIR) é comum em algumas casas e na maioria dos estabelecimentos comerciais, estes permitem detetar movimento com o arduíno. Este sensor regista calor emitido por pessoas, animais ou outra fonte de calor como radiações infravermelhas.

As radiações infravermelhas são invisíveis ao olho humano mas para o sensor é fácil distingir estas. O sensor em si é similar ao sensor encontrado numa câmara digital, mas sem as lentes complexas para capturar uma imagem detalhada.

Os sensores PIR são basicamente feitos de um sensor piroelétrico (coberto com um metal redondo e com um retângulo de cristal no centro, como ilustra a figura 21), estes têm a capacidade de detetar níveis de radiação infravermelha. Todas as coisas emitem alguma radiação de baixo nível, mas as mais quentes são aquelas que emitem uma maior radiação. O sensor de deteção de movimento esta efetivamente dividido em duas partes. A razão para isso é porque este é usado para detetar movimento (mudanças no ambiente) e não para detetar níveis de radiação. Quando as duas partes estão ligadas, estas anulam-se mutuamente. Se por acaso uma das partes do sensor detetar mais ou menos radiação que a outra, a saída irá oscilar entre 0 e 1.

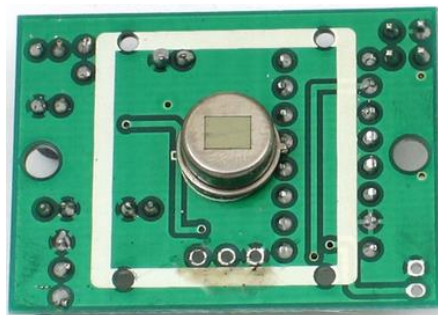


Figura 21 - Sensor PIR (backside)

Este sensor já vem equipado com toda a eletrónica necessária para se calibrar a si próprio. Apenas é necessário um microcontrolador, que o alimente e faça a leitura dos dados obtidos pelo sensor. Para isso, este sensor é constituído por 3 pinos (como mostra a figura 22).





Figura 22 - Sensor PIR

### 3.5.8 Câmara

A visão computacional, também conhecida como visão artificial, é responsável por extrair informações e características importantes de uma imagem que tem como principal objetivo auxiliar na tomada de decisões inteligentes feitas por uma máquina. Esse tipo de processamento de imagens está enquadrado no alto nível. Visão de alto nível refere-se a processos que tendem a simular o raciocínio, servindo-se de métodos de inteligência artificial.

São vários os exemplos de aplicações como o controlo de processos (robôs industriais), detecção de eventos, modelagem de objetos ou ambientes e interação homem máquina.

### 3.5.9 Câmara Wireless

Mini 2.4 GHz *wireless* 4 Canais Vídeo/Áudio USB DVR é uma câmara, que permite a transmissão wireless de vídeo em tempo real. Essa transmissão é recebida por um adaptador USB que permite a visualização do vídeo em tempo real, utilizando um *software* que vem com a câmara por defeito. Esta câmara apenas necessita de alimentação para funcionar e transmitir as imagens para o recetor (figura 23).



Figura 23 - Câmera Bluetooth

### 3.5.10 Câmera USB

A figura 24 ilustra a câmera USB Logitech HD 720p com microfone incorporado a qual foi implementada no robô:



Figura 24 - Camara USB

Esta câmera com 3 *megapixels*, permite a captura vídeo HD 720p, possui um microfone incorporado sem ruídos de fundo e permite um ajuste automático da imagem em relação à luminosidade.

## 3.6 Atuadores

### 3.6.1 Servo motor

O servo motor é uma máquina eletromecânica, que apresenta movimento proporcional a um comando, em vez de girar ou se mover livremente sem um controle como a maioria dos motores normais, este tipo de motores são dispositivos em malha fechada, ou seja, recebem um sinal de controle, verificam a posição atualizam-na para a posição desejada. O servo motor tem um aspeto como ilustra a figura 25.



Figura 25 - Servo Motor

Em contraste com os motores contínuos que giram indefinidamente, o eixo dos servos motores possui a liberdade de girar apenas 180°, contudo estes são muito precisos quando à sua posição. Por essa razão estes incorporam três componentes básicos:

- **Sistema atuador** – O sistema atuador é constituído por um motor elétrico, embora também se possam encontrar servo motores de corrente alternada, a maioria utiliza motores de corrente contínua. O sistema atuado é também composto por um conjunto de engrenagens que dão origem a uma caixa de redução bem longa, que tem como objetivo amplificar o torque do motor. Estes motores diferenciam-se através de algumas especificações como:

tamanho, torque, velocidade, material das engrenagens, liberdade de rotação e consumo.

- **Sensor** – O sensor normalmente é um potenciômetro solidário ao eixo do servo. O valor da sua resistência elétrica indica a posição angular em que se encontra o eixo. A qualidade deste vai interferir na precisão, estabilidade e vida útil do servo motor.
- **Circuito de controle** – O circuito de controle é formado por componentes eletrônicos integrados e geralmente é composto por um oscilador e um controlador PID (controle proporcional integrativo e derivativo) que recebe o sinal do sensor (posição do eixo) e o sinal de controle e aciona o motor no sentido necessário para posicionar o eixo na posição desejada.

Os servos motores possuem três fios de interface (como mostra a figura 25), dois para alimentação dos circuitos integrados e do motor e outro para o sinal de controle. O sinal de controle utiliza o protocolo PPM (modulação por posição de pulso) que possui três características básicas: largura mínima, largura máxima e taxa de repetição (frequência).

### **Servo *Towerpro* SG5010**

Especificações:

- Binário: 5.2kg·cm (4.8v)    6.5kg·cm (6.0v)
- Velocidade de operação: 0.20 segundos/60 graus (4.8v)    0.16segundos/60 graus (6.0v)
- Voltagem de operação: 4.8V ~ 6.0V
- Temperatura: -20°C a 60°C
- Dimensões: 41mmX20mmX38mm
- Peso: 41g

## **3.7 OpenCV**

OpenCV (*Open Source Computer Vision*) [I.21] é uma biblioteca *open source* que inclui centenas de algoritmos de visão por computador. Esta biblioteca tem uma estrutura

modelar, ou seja que inclui várias bibliotecas compartilhadas ou estáticas. Os módulos seguintes são os disponíveis:

- **Core** – É um pequeno módulo que define uma estrutura de dados básicos, incluindo uma matriz multidimensional *array Mat* e funções básicas usadas por todos os outros módulos.
- **Imgproc** – É um módulo de processamento de imagem que inclui filtragem de imagem linear e não linear, transformações geométrica de imagem, conversão do espaço de cores, histogramas, etc.
- **Video** – É um módulo de análise de vídeo que possui: *motion estimation*, *background subtraction* e *object tracking algorithms*.
- **Objdetect** – Este módulo tem a capacidade de detectar objetos e instâncias de classes predefinidas (por exemplo: cara, olhos, pessoas, carros, etc).
- **Highgui** – Consiste numa interface fácil de usar para capturar vídeo, imagem e *codecs* de vídeo.

### 3.7.1 Algoritmo de detecção facial

A biblioteca OpenCV utiliza um algoritmo designado por *Haar Cascades* para fazer a detecção da cara de um humano.

A detecção de objetos usando *Haar* baseado em classificadores cascata é um método eficaz proposto por Paul Viola e Michael Jones [47]. Este algoritmo é baseado numa máquina de aprendizagem onde este é treinado a partir de um grande conjunto de imagens positivas e negativas e é então usado para detectar objetos e outras imagens.

Inicialmente o algoritmo precisa de um grande conjunto de imagens positivas (imagens de caras) e imagens negativas (imagens sem caras), para treinar o filtro. Depois é necessário extrair características deste.

Todos os tamanhos e localizações possíveis de cada núcleo são usados para calcular a abundância de características. Para cada característica calculada, é necessário encontrar um montante de pixels por baixo dos retângulos brancos e pretos. Para resolver estes cálculos, foi introduzido um integral de imagens, que simplifica o cálculo do montante de pixels.

Os engenheiros Paul Viola e Michael Jones [47] desenvolveram um algoritmo que permite detectar rostos numa imagem com um custo computacional muito baixo. O algoritmo alcança altas taxas de detecção em relação a outros algoritmos.

O método de Viola e Jones possui três contribuições principais que o distingue de outros algoritmos e o torna computacionalmente mais eficiente: a integração da imagem, o algoritmo de aprendizagem baseado em *AdaBoost* e um método para combinar classificadores de complexidade crescente baseados em *Haar-like features*, isto permite criar um filtro em cascata eficiente.

A técnica da integração da imagem foi utilizada para que fosse possível calcular de forma eficiente a presença ou não de uma *Haar-like feature* em cada uma das diversas posições e escalas, nas quais uma janela de observação pode ser colocada na imagem em que se quer detectar um objeto. Por essa razão, o termo integral realiza a soma dos valores de todos os *pixels* presentes acima e à esquerda de um pixel em específico, podendo esse ser representado por um ponto (X, Y) da imagem. Após a integração, obtém-se para cada *pixel* da imagem o valor da soma dos pixels do retângulo formado pelo canto da origem da imagem (canto superior esquerdo) e pela localização do pixel em questão. Assim, para descobrir o valor médio dessa região, basta dividir o valor obtido pela área do retângulo. É importante notar que para calcular o valor médio de uma área que não tem um dos seus cantos na origem da imagem, o processo necessário torna-se computacionalmente simples, necessitando de quatro etapas como pode ser visto na figura 26:

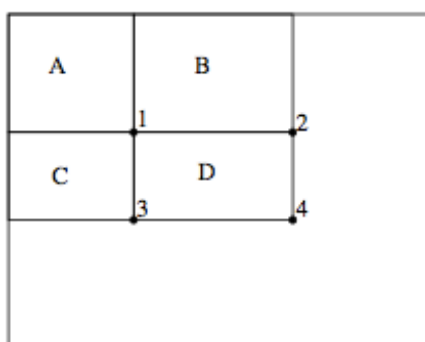


Figura 26 - Funcionamento do método Viola e Jones

O valor da imagem integral na posição 1 é a soma dos *pixels* do retângulo A. O valor referente à posição 2 é igual a soma de A+B, para a posição 3 é A+C e para a posição 4 é A+B+C+D. Logo a soma dos valores dos *pixels* do retângulo D pode ser calculada por  $4+1 - (2+3)$ .

Esta técnica torna eficiente o cálculo para avaliar a presença ou ausência de uma *haar-like feature* em determinada posição na imagem, pois utiliza exatamente os resultados obtidos com a imagem integral. A presença é determinada pela subtração da média dos valores dos *pixels* da região considerada escura com a região clara. Se a diferença estiver acima de um limiar, ou seja, se realmente existir uma região mais escura e outra mais clara, isso significa a existência de uma *feature*. Na figura 27 pode observar-se o que seriam *haar-like features* e a forma de as colocar sobre uma imagem para ser avaliada (estas figuras foram retiradas de [47]).

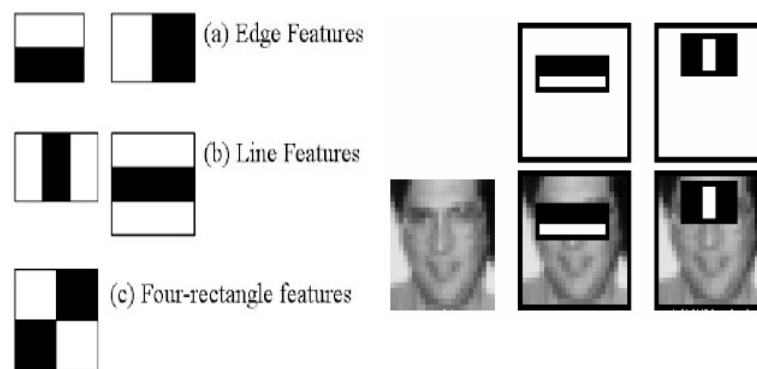


Figura 27 - Exemplo e funcionamento das Haar-like features

O algoritmo de aprendizagem baseado em *AdaBoost* é utilizado para definir quais das *features* existentes serão utilizadas e também os valores dos limiares a que estão sujeitas. O que Viola e Jones observaram foi que um número pequeno de *features* combinadas podem formar bons classificadores, contudo, o problema principal era escolher quais as *features* mais adequadas. Por essa razão a etapa de aprendizagem é realizada por uma variável do *AdaBoost*, que é a responsável pela escolha de uma *feature* para treinar cada classificador, para que este consiga separar da melhor maneira possível amostras positivas e negativas. Assim, para cada *feature* o algoritmo determina um limiar que minimize o número de amostras classificadas como erradas.

Os classificadores fracos possuem uma *feature* e um limiar, que são combinados com o auxílio de pesos para formar um classificador forte, com o intuito de criar uma

estrutura que possa minimizar a ocorrência de falsos negativos. Estes são organizados no formato de uma árvore de decisão degenerada que consiste no detetor em cascata.

O funcionamento básico de uma estrutura como esta consiste em passar todas as subjanelas de uma imagem por diversos classificadores, sendo os primeiros mais simples que os seguintes. A subjanela é submetida ao primeiro filtro se for aprovada passa ao seguinte e sempre assim até chegar ao final, caso não seja aprovada termina aqui o processo desta janela e é rejeitada (não foi detetada cara humana na subjanela que foi avaliada). A figura 28 ilustra este processo:

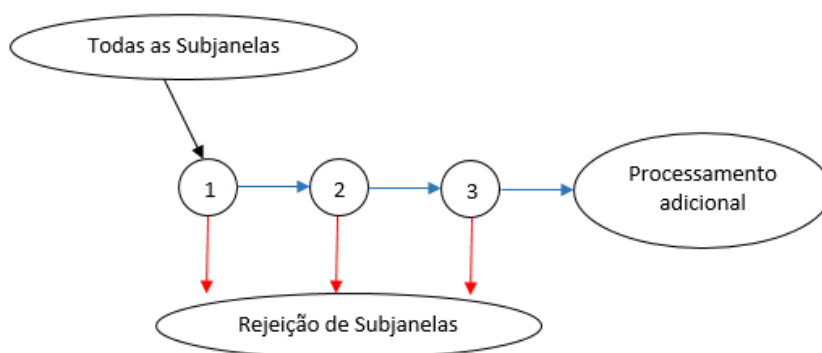


Figura 28 - Funcionamento do processo de cascata Viola e Jones

A estrutura desta cascata é bastante interessante pois, como existem muitas subjanelas na imagem, logo no primeiro filtro são descartadas todas aquelas que são consideradas subjanelas negativas (em que não foi detetada face alguma). Ao longo da cascata, os filtros vão sendo cada vez mais complexos, por essa razão, exigem um maior custo de processamento logo quantas menos subjanelas tiver de se avaliar melhor.

Como é salientado por Viola e Jones, o treino de uma cascata envolve um dilema entre a eficiência computacional e o desempenho do detetor. Isto ocorre porque em geral os classificadores com mais *features* alcançam maiores taxas de detecção e menores falsos positivos. No entanto, classificadores como estes exigem mais tempo de processamento. Chegando assim à conclusão que para realizar um processo como este deve ter-se em atenção o número de etapas de classificadores, o número de *features* e o limiar em cada uma dessas etapas. Para otimizar este processo extremamente complicado, é realizada uma cascata com o objetivo de eliminar falsos positivos em cada etapa e são reduzidas as



subjanelas a serem avaliadas no final, reduzindo o tempo de processamento computacional.

A figura 29 ilustra o processo realizado para a determinação de um rosto.

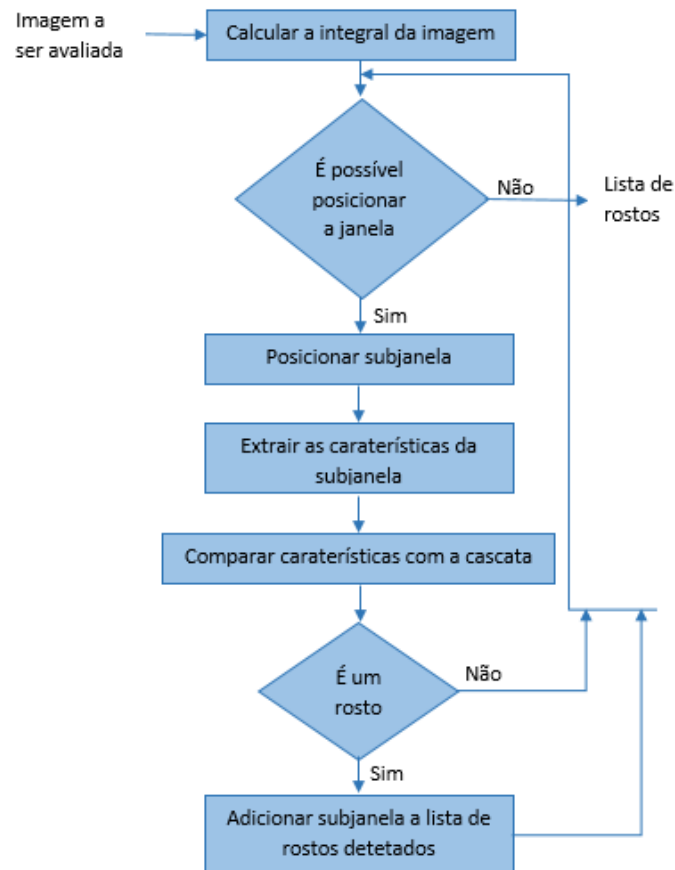


Figura 29 - Processo de detecção de um rosto numa imagem

### 3.8 Circuito *Step Down*

Os circuitos *step down* são circuitos eletrônicos que convertem uma fonte de tensão de um determinado valor, em outro valor mais baixo. Existem diversos conversores *step down* como por exemplo: DC (corrente contínua)  $\rightarrow$  DC, AC (corrente alternada)  $\rightarrow$  AC e AC  $\rightarrow$  DC.

Estes circuitos permitem converter um determinado valor de tensão debitado por uma fonte, em outro valor de tensão. No entanto a diferença de conversão deve ser de

pelo menos 2V no mínimo (por exemplo: quando se quer converter 12V numa tensão menor, o valor no qual se pretende converter deve ser igual ou inferior a 10V).

A figura 30 apresenta um *step down* de 12V para 5V (DC → DC):

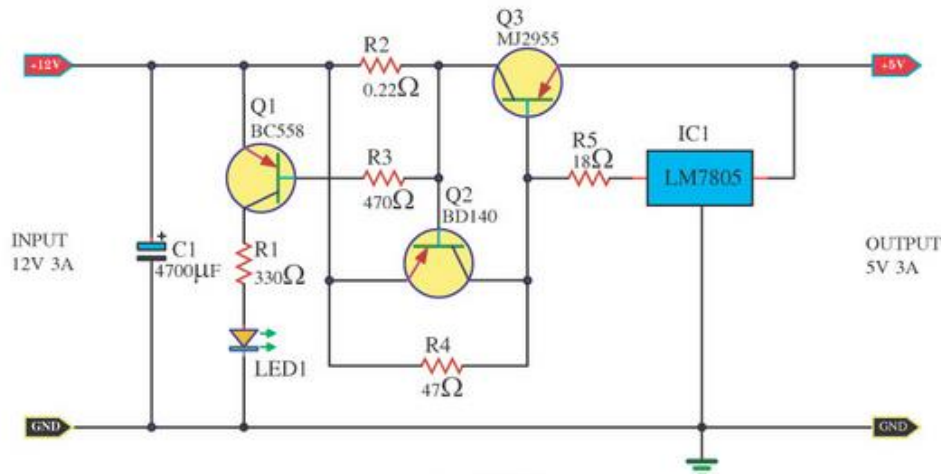


Figura 30 - Circuito Step-down

Este circuito é constituído por três transístores, cinco resistências, um condensador e um circuito integrado LM7805.

O circuito integrado LM7805 é um regulador de tensão que permite converter tensões de no máximo 35V em tensões de 5V, mas apenas consegue fornecer 1A de corrente. Por essa razão foi implementado em circuito como mostra a figura 30, que permite fornecer 3A de corrente contínua graças ao transístor MJ2955. Este circuito possui também uma proteção contra sobretensões, neste caso o transístor MJ2955 deixa de funcionar e passa a funcionar o BD140.

## 4 Robô – Especificação do *Software*

### 4.1 Arquitetura de *Software*

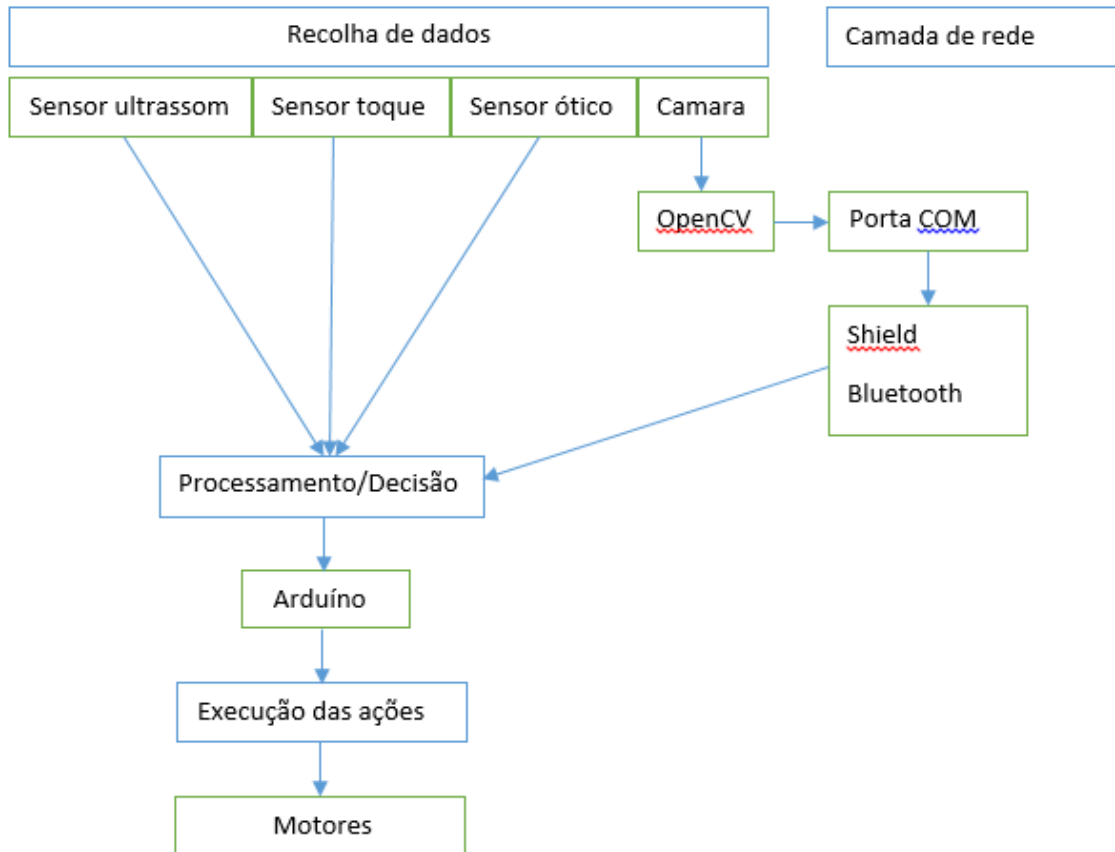


Figura 31 - Arquitetura de Software

### 4.2 Implementação dos servo motores

Para elaborar e possibilitar a movimentação da estrutura da aranha foram implementados 20 servo motores. Dos quais dezoito são servo sg5010 e dois são micro servo 9g. Os servo sg5010 são utilizados nas patas do robô, o que vai tornar possível a movimentação deste em todos os sentidos, desempenhar alguns movimentos e dar alguns graus de liberdade às patas do robô para possíveis interações com o ser humano. Os micro servo são utilizados na “cabeça” do robô para que este possa avaliar o meio ambiente de forma rápida, eficaz e sem efetuar grandes movimentações. A sua montagem é semelhante á que é esta apresentada na figura 32:

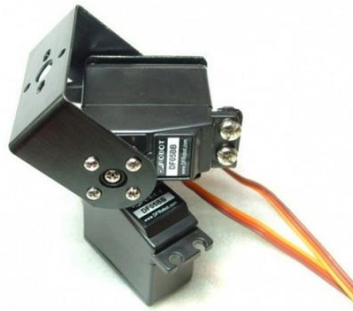


Figura 32 - Estrutura da cabeça do robô

Nesta estrutura serão adaptados o sensor de ultrassom e a câmara, o que tornará possível a medição de distâncias e a avaliação do meio ambiente com alguns graus de liberdade.

### 4.3 Implementação dos sensores óticos

Foram desenvolvidos testes com os sensores óticos que permitiram tirar conclusões como o alcance de detecção, os materiais que estes detetam, a gama de medidas de detecção e o tempo de resposta.

Para ser possível fazer testes com este sensor foi necessário efetuar uma montagem do mesmo numa *breadboard*. Este sensor possui 4 pinos (como mostra a figura 33), dois destes pinos dizem respeito a um díodo LED que emite infravermelhos, os outros dois dizem respeito a um fototransístor que conduz a corrente elétrica, entre o emissor e o coletor, proporcional á quantidade de luz refletida pela superfície do objeto que se pretende detetar. Um dos pinos do díodo LED é ligado aos 5V e o outro é ligado a uma resistência de  $200\ \Omega$  e posteriormente ao GND, possibilitando assim ao sensor emitir radiação infravermelha invisível ao olho humano. Esta luz é refletida por um objeto (se existir um objeto para detetar), que por sua vez vai estimular o fototransístor a conduzir a corrente elétrica. Quanto mais luz for refletida mais corrente vai conduzir o fototransístor. Um dos pinos do fototransístor é ligado aos 5V e o outro é ligado é ligado em série com o output (pino de leitura do sensor), uma resistência de  $10\ K\Omega$  e o GND (como apresenta a figura 33).

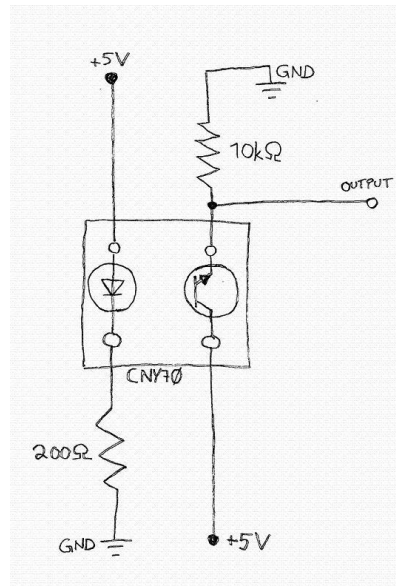


Figura 33 - Funcionamento do sensor ótico

Os dados calculados pelo sensor são transmitidos pelo pino de output e enviados para um microcontrolador, que tenha a capacidade de tomar decisões baseadas nos dados recebidos.

#### 4.4 Implementação dos sensores capacitivos

O microcontrolador arduíno possui já incorporado uma biblioteca que permite tornar os pinos do mesmo em sensores capacitivos. No entanto é necessário adicionar mais alguns componentes para criar este sensor capacitivo. Tal como apresentado na figura 20 são necessários dois pinos do arduíno um que envia sinais e outro que os recebe, entre esses dois pinos deve colocar-se uma resistência, que tenha um valor entre  $1\text{M}\Omega$  e  $4.7\text{M}\Omega$ . Por último, é necessário colocar ligado em série com o pino de receção um metal condutor, que permita sentir o toque humano.

Quando o humano toca no metal condutor, este irá de certa forma absorver parte da energia enviada pelo pino de envio e o pino de receção vai detetar esse mesmo fenómeno.

## 4.5 Implementação sensor ultrassom

Para medir distâncias entre o robô e os objetos foi utilizado um sensor de ultrassom. Este sensor permite ao robô saber a posição aproximada de determinado objeto que esteja situado à sua frente. Quanto mais denso e menos rugoso for esse material, mais preciso e estável será o sensor nas suas leituras de distâncias.

Este possui 4 pinos (como ilustra a figura 34), dois pinos de alimentação e dois pinos de envio e recepção de sinais (*trigger* e *echo*).

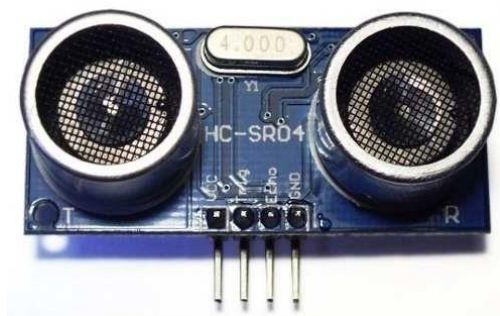


Figura 34 - Sensor Ultrassom

O modelo de ligação adotado foi o modo 2 (explicado em cima no capítulo anterior, onde é feita a descrição do sensor). Neste modelo de ligação é usado um único pino para o *Trigger* e o *Echo* (responsáveis pelo envio e recepção de sinais), tendo como objetivo economizar os pinos do microcontrolador. Desta forma o pino VCC e GND são os pinos de alimentação do sensor, o pino de *Mode* fica ligado ao GND também. O pino *Trigger* vai ser utilizado para enviar os sinais e fazer a leitura dos mesmos.

Pelo facto de o pino *Trigger* ser utilizado como pino de envio e recepção de sinais, é necessário, numa primeira fase, este pino ser de *output* do sinal (e enviar assim sinais). Depois de enviados os sinais, muda-se este pino para pino de *input*, aguarda-se 5 microssegundos e posteriormente faz-se a leitura dos sinais.

Para tornar este sensor mais útil, foi colocado sobre dois servo motores, o que permitirá ao robô ter uma noção dos objetos que o rodeiam dentro de um ângulo de 120°, aproximadamente.

## 4.6 Implementação do sensor PIR

Tendo como objetivo o robô detetar movimentos de um humano e identificar de que lado vem o movimento, foi implementado um sensor PIR no robô. Este sensor permite detetar qualquer movimento à sua volta avaliando para isso as radiações infravermelhas emitidas pelos objetos, animais e humanos. Este sensor é muito utilizado e muito eficaz em ambientes comerciais como representa a figura 35:



Figura 35 - Funcionamento do Sensor PIR

Este sensor possui apenas três pinos de ligação como ilustra a figura 36:

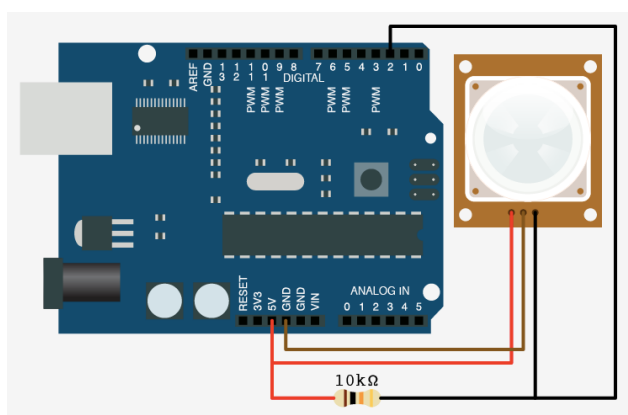


Figura 36 - Implementação do sensor PIR na placa Arduino

Dois dos pinos do sensor são responsáveis por alimentá-lo, o outro é o pino de sinal, responsável por transmitir o sinal ao microcontrolador. Para que este pino funcione de forma estável, é colocado em paralelo com o pino de leitura do microcontrolador uma resistência de 10 K $\Omega$  e uma fonte de alimentação de 5V.

#### **4.7 Implementação de uma Câmara**

Toda a implementação de sensores feita até aqui revela-se muito útil, contudo, para o robô interagir com um humano, estes sensores não são suficientes, pelo facto de nenhum deles detetar se aquilo com que o robô está a interagir em tempo real é um humano ou é um simples objeto.

Por essa razão foi implementada uma câmara no robô. Esta irá possibilitar, com a ajuda de um algoritmo OpenCV, a identificação de caras humanas em tempo real e a determinação das coordenadas das mesmas. Com estas coordenadas, será possível seguir a cara de um humano, tudo isto em tempo real. Pelo simples facto de o robô ser completamente livre e autónomo, deve ser integrada uma câmara *wireless* ou Bluetooth no robô.

Este *kit* de processamento de imagem possui uma câmara que capta a imagem/vídeo em tempo real e um adaptador USB que recebe essa imagem/vídeo e transmite ao dispositivo ao qual está conectada. Para que a câmara funcione esta apenas precisa de uma fonte de alimentação.

Esta câmara possui 2 características muito apelativas para ser implementada no robô. A primeira é ser uma câmara Bluetooth e não possuir qualquer fio, assim, a transmissão de dados é feita via Bluetooth para o recetor USB. A segunda característica é ser uma câmara de tamanho bastante reduzido, que permitirá uma grande flexibilidade quando ao local onde pode ser colocada.

No caso de não ser possível implementar esta câmara, por alguma razão em específico, então recorrer-se-á a uma câmara USB, o que trará a desvantagem de o robô estar ligado por um fio ao computador.



## 4.8 Implementação Bluetooth no arduíno mega 2560

Normalmente é usado o cabo USB que liga o computador ao microcontrolador arduíno, o qual permite receber e enviar dados em tempo real entre os mesmos e permite, também, fazer o *upload* dos programas do computador para o microcontrolador.

Como o objetivo deste trabalho era desenvolver um robô autônomo e completamente independente e sem necessidade de estar ligar por meio de cabos a um computador, foi usada uma Bluetooth *Shield* como a da figura 13, que permite fazer a comunicação sem fios, via Bluetooth, entre a placa à qual está ligada e um outro dispositivo também ele Bluetooth, no caso do projeto em questão o computador.

Bluetooth *Shield* V2.1 é uma placa que possui um Bluetooth incorporado e permite a comunicação *wireless* através de uma porta série. Esta placa pode ser adaptada ao Arduíno, o que permite enviar e receber dados em tempo real, para o programa que está a ser executado no microcontrolador Arduíno. Esta placa Bluetooth pode apenas ser utilizada como *Slave* (escravo), isto significa que o dispositivo que vai enviar dados para esta placa deve ser o Master (mestre). No caso deste trabalho, o master será o computador, o qual vai enviar os dados para a placa Bluetooth.

Este *Shield* possui 2 botões um deles permite regular a tensão que é fornecida á placa, (de 5V ou 3.3V), o outro permite também selecionar duas opções que são *Board* e FT232. A opção FT232 permite que a placa à qual está ligada o *Shield* Bluetooth (neste caso o Arduíno Mega), fazer comunicação através do cabo USB. A opção *Board* permite fazer a comunicação *wireless* com uma porta série.

### Processo de ligação:

**Passo 1:** É necessário instalar um módulo Bluetooth no computador e instalar os seus drivers. Se, por acaso, o computador já possuir um Bluetooth integrado, então este passo não será necessário.

**Passo 2:** É necessário ligar a *Shield* Bluetooth à placa Arduíno, como mostra a figura 37.



Figura 37 - Conexão entre a placa Arduino e a Bluetooth Shield

**Passo 3:** Depois da conexão entre as duas placas é necessário fazer o *upload* de um programa para a placa Arduino. Esse programa é aquele que vai permitir comunicar com o computador através de uma porta série.

**Passo 4:** Neste Passo é preciso efetuar a ligação do computador com a placa Bluetooth, para isso, deve clicar-se duas vezes sobre o botão Bluetooth que aparece na barra de tarefas (como mostra a figura 38). Depois procura-se o Bluetooth e faz-se a conexão ao mesmo. Este vai requerer um pin de conexão, que por defeito é “1234”.

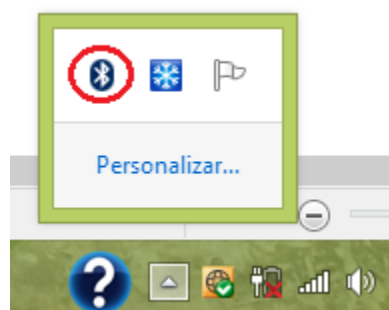


Figura 38 - Ligação do Bluetooth do computador

**Passo 5:** Depois de feita a conexão Bluetooth, é necessário criar um programa para enviar dados para o programa que está no microcontrolador arduino, ou fazer *download* de um programa que permita enviar dados através de uma porta COM. Neste trabalho foi criado um programa em c++, que permite enviar dados através de uma porta COM (o qual será explicado posteriormente).

## 4.9 Implementação de movimentos no robô

Para além de se movimentar para a frente, para trás, virar para a esquerda e para a direita, o robô deve possuir mais movimentos, que permitam tanto a interação com o ser humano, como chamar a atenção do mesmo. Os movimentos devem ser atrativos e despertar a atenção do ser humano, de maneira a levar este a interagir com o robô.

O robô deve possuir também movimentos que facilitem a interação com o ser humano, para que a interação seja o mais simples e intuitiva possível.

## 4.10 Bateria Li-Po (bateria de polímero lítio)

A bateria usada para a alimentação do robô é uma bateria Li-Po de elevada descarga, ótima para alimentar projetos de robótica que sejam portáteis ou autónomos, pois fornece bastante corrente e tem um tamanho reduzido (como ilustra a figura 39).



Figura 39 - Bateria LiPo

Esta bateria tem duas células, tensão de 7.4V e 2200mAh de capacidade de armazenamento de carga. Pelo facto de esta possuir 2 células de 3,7V, é necessário um carregador especial para baterias Li-Po. Esta bateria não é compatível com carregadores de células individuais. Por essa razão é necessário efetuar cargas com um carregador como mostra a figura 40:



Figura 40 - Carregador de baterias LiPo

O carregador ilustrado na figura 40 permite carregar e equilibrar as células de baterias Li-Po, Li-Fe, Ni-Cd e Ni-MH. As baterias do tipo Li-Po apenas podem ser carregadas com carregadores deste tipo, já que necessitam de ser calibradas devido às várias células existentes em cada bateria.

#### 4.11 Testes com algoritmo de detecção facial (OpenCV) e porta série

Para tratar o vídeo recebido pela câmara implementada no robô foi criado um programa que utiliza o algoritmo *Haar Cascades*, este possibilita não só a detecção da cara de um humano num vídeo captado em tempo real, como também possibilita calcular a coordenadas de localização da cara em relação ao ecrã captado. Com esta informação é possível seguir a cara de um humano e levar o robô a interagir com ele, e não com outro objeto qualquer.

Numa primeira fase, foram elaborados testes com a câmara integrada no computador, onde a figura 41 é um dos resultados obtidos. Já a figura 42 apresenta as posições x,y onde se situa o retângulo de detecção da cara humana.

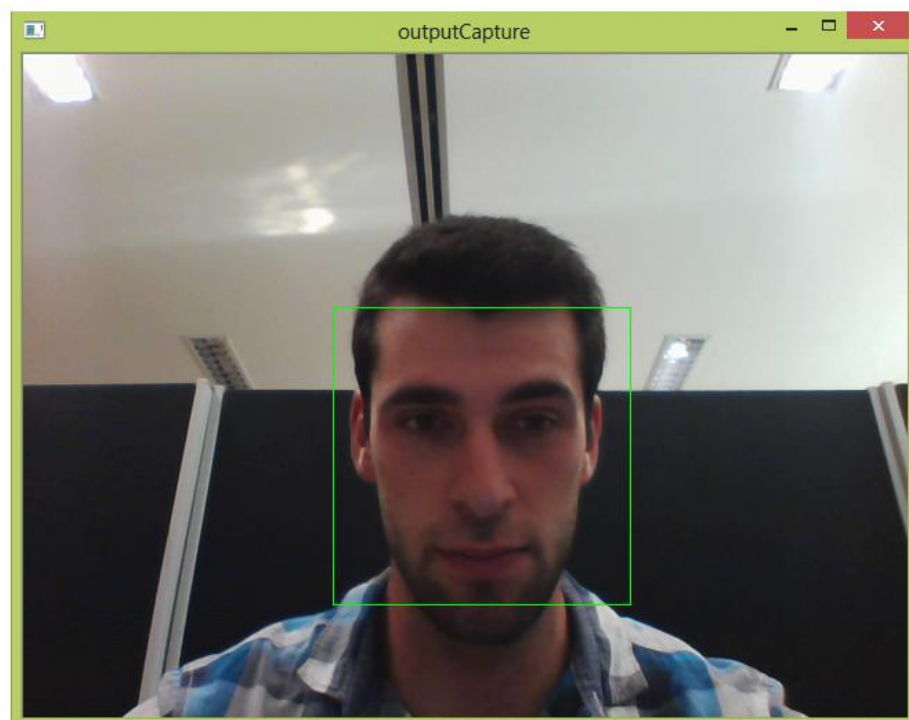


Figura 41 - Captura da face humana

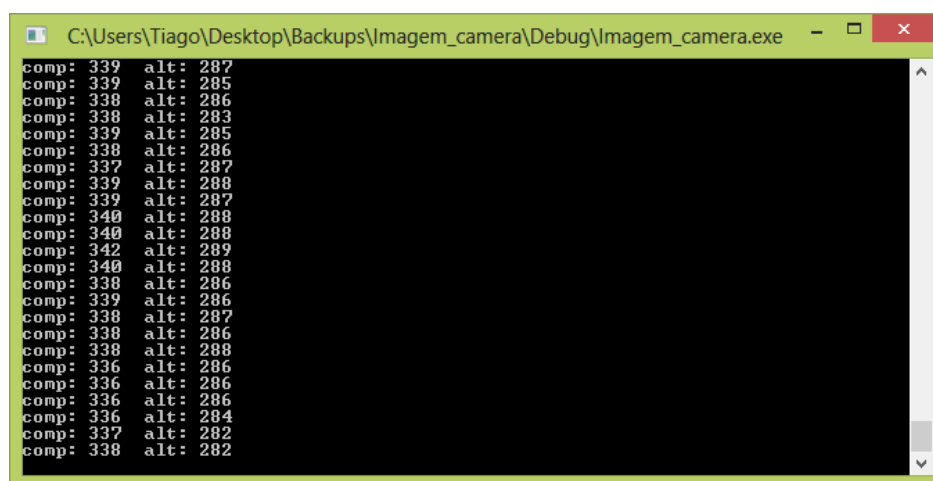


Figura 42 - Posição (X,Y) da face humana no ecrã

As figuras acima apresentadas referem-se à captura e cálculo das coordenadas de localização da cara do humano no ecrã, respetivamente. Estas coordenadas devem ser, posteriormente, enviadas pela porta série para a placa Bluetooth, para o arduíno poder tratar estas informações e fazer a interação com o humano.

O programa feito em c++, encarrega-se de calcular se a câmara está bem centrada na cara do humano, ou se precisa de um pequeno ajuste em alguma direção, já que para seguir a cara do humano é necessário saber em que sentido este se está a mover. Caso seja necessário a câmara movimentar-se em algum sentido, esses dados são enviados pela porta série para a placa Bluetooth e posteriormente transmitidos ao arduíno (para este atuar sobre os atuadores em questão). A figura 43 apresenta a transmissão dos dados entre a porta série e o programa arduíno:

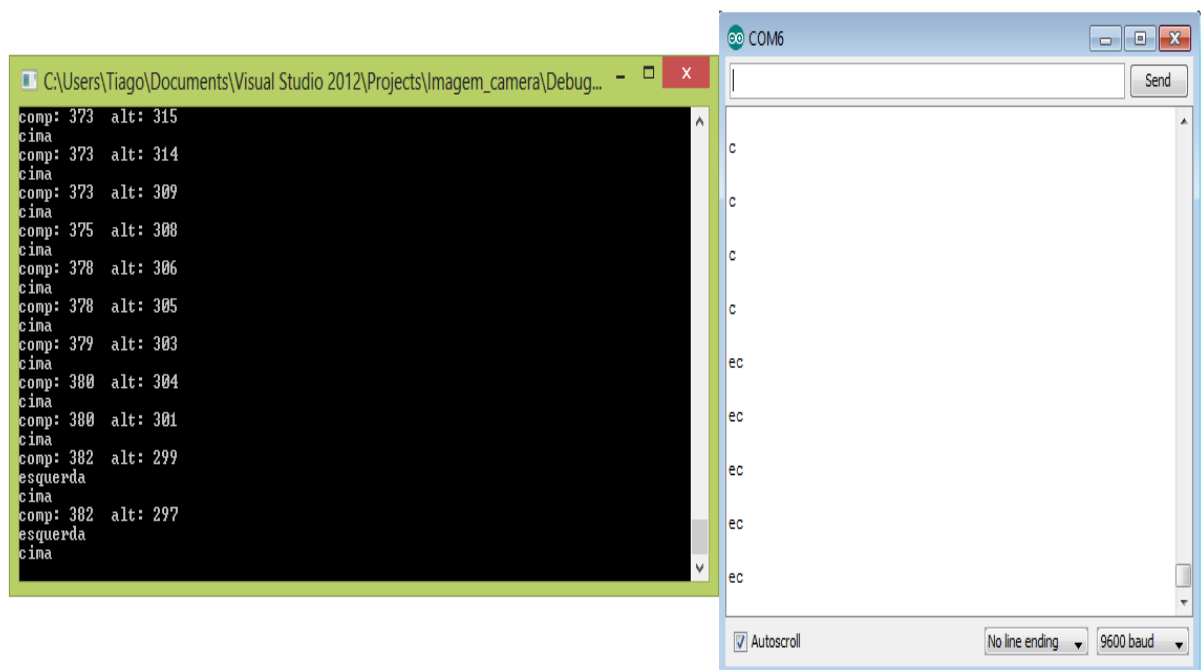


Figura 43 - Envio de dados pela porta série

Na figura acima estão representadas a consola do programa desenvolvido em c++ e a porta série à qual o arduíno está ligado. A consola do programa tem apresentadas as coordenadas do ecrã nas quais se situa a cara do ser humano e também o sentido no qual a câmara se deve mover para a cara do mesmo ficar centrada. A porta série apresenta as iniciais do sentido no qual a câmara se deve mover. Depois de receber estes dados, o arduíno trata a informação de modo a seguir a cara do humano.

## 5. Resultados

### 5.1 Arquitetura do robô

Na figura 44 está representada uma arquitetura simples de como o robô funciona:

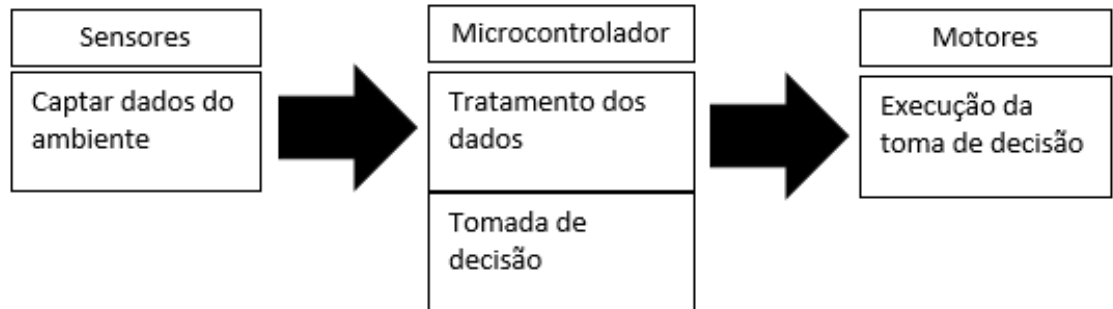


Figura 44 - Arquitetura do robô

A arquitetura consiste nos diversos sensores que recolhem dados do ambiente, estes são tratados pelo microcontrolador e com base nesses dados recolhidos pelos sensores são tomadas as decisões. Todo o processamento de informação e tomada de decisão é feito no microcontrolador, este por sua vez controla os atuadores, que permitem ao robô executar ações e atuar no ambiente em que se situa.

Nesta arquitetura existe uma fusão sensorial de todos os dados recolhidos pelos sensores. Pode classificar-se as relações entre as fontes de dados como uma interação complementar e cooperativa.

**Complementar** no sentido em que todos os dados recolhidos pelos diferentes sensores, complementam as informações uns dos outros. Por exemplo, no caso do robô em questão a câmara obtém a imagem e nessa imagem são capturados diferentes objetos ou obstáculos. O sensor de ultrassom completa esta informação dando dados como a distância a que se situam esses objetos ou obstáculos.

**Cooperativa** no sentido em que um dos sensores pode levar os outros a alcançar os seus objetivos. Por exemplo, quando o robô não deteta nenhuma face humana com a câmara, mas o sensor de ultrassom deteta um “obstáculo” relativamente perto, o sensor de ultrassom “segue” o objeto, tentando que a câmara encontre algo, como uma face

humana. Quando uma face humana é encontrada, os dois sensores cooperam no sentido de seguir a face humana e de se aproximar do humano, para que possa haver uma interação entre os dois.

## 5.2 Implementação dos servo motores

Para possibilitar que o robô tivesse a estrutura de uma aranha e poder ter ângulos de liberdade equivalentes foi desenvolvida a estrutura ilustrada na figura 45.



Figura 45 – Servo Motores Implementados

Esta estrutura permite que o robô desempenhe vários movimentos básicos como: movimentar-se em frente, para trás, virar para a esquerda e para a direita. Contudo, permite, também, desempenhar outros movimentos mais avançados, como mostram as fotos em anexo. Esses movimentos permitem chamar a atenção do ser humano e incentivar a interação com o mesmo. Tal como mostra a figura 45, o robô possui 18 servo motores para movimentar o este e 2 servo motores (mais pequenos) para movimentar a cabeça do robô, tendo este como objetivo possibilitar ao mesmo uma procura mais rápida de um ser humano.



### 5.3 Implementação dos sensores óticos

Foram implementados dois sensores óticos em duas das patas do robô, deste modo, quando o robô se movimenta consegue detetar se existe ou não solo para se poder movimentar no sentido em que este deseja. Por essa razão, os sensores foram colocados por baixo das duas patas da frente do robô, como mostra a figura 46:

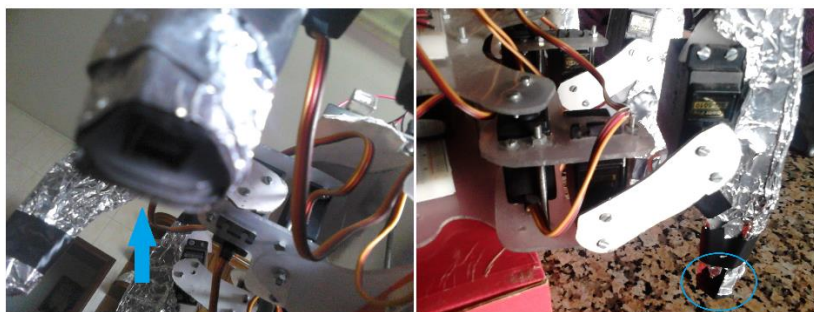


Figura 46 - Sensores Óticos Implementados

Desta forma quando o robô movimenta as patas da frente, os sensores implementados nas mesmas indicam se existe chão ou não. Isto permite que o robô se movimente em cima de objetos (como por exemplo uma mesa) sem correr o risco de cair ao chão.

### 5.4 Implementação dos sensores de toque capacitivos

Foram implementados no robô seis sensores de toque capacitivos, estes permitem ao robô sentir o toque de um ser humano. Existe um sensor em cada um das patas do robô, por essa razão as mesmas estão revestidas com prata (como apresenta a figura 45), para fazer a condução do toque humano. Assim, o robô pode sentir o toque humano em muitas partes do seu “corpo”.

### 5.5 Implementação do sensor ultrassom e câmara

O sensor de ultrassom e a câmara foram implementados em cima de dois servo motores (como ilustra a figura 47), para permitir a procura de um ser humano num ângulo

de aproximadamente 180°, de forma mais rápida e sem necessitar de movimentar o robô. O sensor de ultrassom permite medir distâncias entre o robô e o ser humano, isto é, permite ao robô saber se o ser humano está suficientemente perto para existir uma interação ou se é necessário haver uma aproximação prévia antes da interação entre os dois.

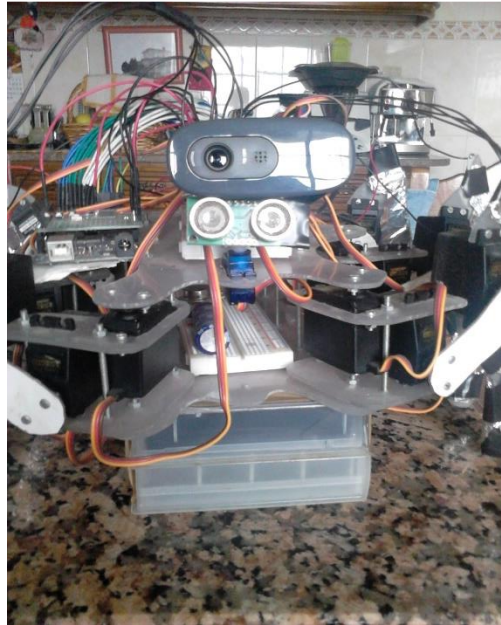


Figura 47 - Câmara USB Implementada

Numa fase inicial estava previsto implementar uma câmara Bluetooth no robô, contudo a implementação dessa câmara não foi bem sucedida pois a biblioteca OpenCv não tinha a capacidade de captar e mostrar o vídeo em tempo real, devido ao formato do vídeo fornecido pela câmara não ser compatível com esta biblioteca. Foi, então, usada outra biblioteca conhecido com *DirectShow*, com esta foi possível captar o vídeo da câmara em tempo real, tratá-lo e fazer a extração dos dados pretendidos. Em seguida, tentou-se converter o vídeo captado pela biblioteca *DirectShow* num formato que a biblioteca OpenCv entende-se, mas mais uma vez sem sucesso. Por estas razões foi implementada no robô uma camara USB como a que está ilustrada na figura 24.

A câmara USB facilitou bastante o processo de tratamento de imagem, no entanto, possui um fio de ligação ao computador. Isso significa que o robô deve ter este

fio de ligação quando está em funcionamento para poder ser feito o tratamento de vídeo em tempo real.

## **5.6 Implementação do sensor de detecção de movimento**

No que diz respeito á implementação do sensor PIR ou sensor de detecção de movimento, os resultados não foram satisfatórios devido ao facto de o robô se encontrar em constante movimento.

Este tipo de sensores é mais adequado em ambientes como: centros comerciais (na entrada de uma porta para detetar pessoas), em casas de banho (para ligar e desligar a luz), etc. Não é, no entanto, adequado em robôs que estão em constante movimento, porque desta forma este sensor está sempre a detetar que existe movimento. Por esta razão, decidiu-se excluir este sensor do robô porque estava a recolher dados “falsos” ou insatisfatórios e implementar a câmara já descrita em cima.

## **6 Conclusão e Trabalho Futuro**

### **6.1 Síntese**

Neste projeto foi construído um robô que possui a forma de uma aranha, dotado de vários sensores que permitem a este sentir o ambiente e interagir com um humano. Também está dotado de vários atuadores que permitem ao robô realizar vários movimentos e permitem a interação com o humano. O robô tem como principais objetivos estimular a interação com o humano e interagir com o mesmo.

Este robô tem a capacidade de procurar um humano utilizando uma câmara, aproximar-se do mesmo caso este esteja longe, estimular a interação e posteriormente interagir com o humano. Tem também a capacidade de detectar ausência de chão e evitar quedas.

### **6.2 Conclusão**

Numa fase inicial, foram implementados sensores que apenas permitiam ao robô interagir com o ambiente (medindo distâncias, sentindo o toque humano e detectando a falta de solo). Posteriormente foi implementado um sensor PIR (sensor de detecção de movimento). O objetivo inicial deste sensor era detectar movimentos de humanos, perceber de onde vinham esses movimentos e virar o robô nessa direção tendo em vista interagir com esse humano. Este sensor daria ao robô alguma sensibilidade em relação ao ambiente em que estivesse inserido, pois poderia detectar movimentos de pessoas mesmo que estivessem nas suas “costas”. Contudo, não foi possível implementar este sensor pois o robô encontra-se em contante movimento, e por essa razão o sensor estava constantemente a detectar movimentos do meio ambiente, mesmo quando não existiam.

Tendo em conta que o robô no início interagiu com todo o tipo de objetos, mesmo não sendo humanos (pois os sensores implementados não permitiam identificar humanos), decidiu implementar-se uma câmara neste. Esta câmara revelou-se muito útil porque com a sua ajuda foi possível detectar seres humanos através da sua face. Com a ajuda desta, o robô apenas interage com humanos, o que permitiu atingir o objetivo inicial da tese. A câmara permite, ainda, com a ajuda de dois atuadores, seguir a face do humano e movimentar-se com ele.

Foi implementado, também, um pequeno algoritmo de aprendizagem no robô, que permite a este descobrir qual o movimento que o humano prefere. Foi feito um *array* com todos os movimentos que o robô consegue desempenhar, numa primeira fase, o robô efetua os movimentos de forma aleatória e todos os movimentos têm a mesma probabilidade de ser executados. Quando um movimento é executado, se for bem sucedido, isto é, se enquanto o robô efetua movimentos este for tocado pelo humano, ou o humano se aproximar do robô) a probabilidade deste ser executado novamente aumenta, se for mal sucedido (isto é não existir toque humano, nem aproximação do humano em relação ao robô) a probabilidade de ser executado novamente baixa.

O algoritmo de detecção facial deve ser melhorado, pois por vezes são detetadas caras de humanos onde não existem, normalmente isto acontece em ambientes com grandes diferenças de luminosidade, o que influencia particularmente o algoritmo.

No que diz respeito às patas do robô, a parte das mesmas que entra em contato com o solo deveria ser revestida com um material aderente ao mesmo, pois isso facilitaria o equilíbrio do robô.

### **6.3 Trabalho futuro**

Na linha da investigação desta dissertação podem identificar-se alguns pontos que merecem um estudo mais aprofundado:

- O robô poderia implementar algoritmos de aprendizagem, que permitissem a este aprender com o ser humano. O robô possui já uma pequena estrutura de aprendizagem que consiste no robô desempenhar movimentos para atrair a atenção do humano, tentar perceber qual o movimento que mais atrai a atenção do humano e dar particular atenção a esse movimento sem esquecer os outros. Isto acontece à custa dos sensores de toque e a custa do sensor de ultrassom.
- Melhoramento e aperfeiçoamento do algoritmo de detecção facial, que permitisse reduzir os falsos alarmes gerados, por vezes, pelo algoritmo.
- Estudo e implementação de um material nas patas do robô que permitisse dar mais aderência a este.

- Implementação de novos motores no robô que permitissem executar novos movimentos e de forma mais rápida. Obviamente, a implementação de novos motores implicaria uma nova estrutura mais forte e mais robusta.
- Implementação de outros tipos de sensores que fossem vantajosos para o projeto em questão. Como, por exemplo, sensores laser, para obter distâncias mais precisas.
- Estudo e implementação de sensores e atuadores que permitissem ao robô uma troca de palavras simples com o ser humano.

Estas alterações permitirão, não só melhorar a interação entre o robô e o ser humano, tendo em vista uma interação mais completa e mais aperfeiçoada, mas também uma movimentação mais rápida do robô e como consequência uma procura mais rápida e eficaz do ser humano.

## **7 Bibliografia**

1. Carneiro D., Gomes M., Costa A., Novais P., Neves J., Enriching Conflict Resolution Environments with the Provision of Context Information, Expert Systems, Wiley-Blackwell, ISSN: 1468-0394 (In press). <http://dx.doi.org/10.1111/exsy.12049>.
2. MITCHELL, T. Machine Learning . New York: McGrall- Hill, 1997.
3. OGINO, M. et al. Reinforcement learning of humanoid rhythmic walking parameters based on visual information. Advanced Robotics , v. 18, n. 7, p. 677- 697, 2004.
4. Ohya, Akihisa; Kosaka, Akio; Kak, Avinash. Vision-Based Navigation by a Mobile Robot with Obstacle Avoidance Using Single-Camara Vision and Ultrasonic Sensing. IEEE Transactions on Robotics and Automation, v. 14, n. 6, p. 969-978, 1998.
5. Castillo JC., Carneiro D., Serrano-Cuerda J., Novais P., Fernández-Caballero A., Neves J., A Multi-Modal Approach for Activity Classification and Fall Detection, International Journal of Systems Science, Taylor & Francis LTD, ISSN 0020-7721, (in press), <http://dx.doi.org/10.1080/00207721.2013.784372>

6. Solbet Microcontroladores e Robótica Ltda. KITs 9901\_1 & 9901\_2 V. 1.1: manual de montagem e operação, São Paulo, 2000. 14 p.
7. HAYKIN, S. Redes Neurais : Princípios e Prática. 2. ed. Porto Alegre, RS, Brazil: Bookman, 2001.
8. Preuveneers D., Novais P., A survey of software engineering best practices for the development of smart applications in Ambient Intelligence, in Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, IOS Press, ISSN: 1876-1364, Volume 4, Number 3 , pp 149-162, 2012, <http://dx.doi.org/10.3233/AIS-2012-0150>
9. Carneiro D., Castillo JC., Novais P., Fernández-Caballero A., Neves J, Multimodal Behavioural Analysis for Non-invasive Stress Detection, Expert Systems With Applications, Elsevier, ISSN: 0957-4174, Volume 39, Issue 18, Pages 13376-13389, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.065>
10. HEINEN, F. J. Robótica Autônoma : Integração entre Planificação e Comportamento Reativo. São Leopoldo, RS, Brazil: UNISINOS Editora, 1999.
11. Ravinder S. Dahiya, Maurizio Valle: Tactile Sensing for Robotic Applications. University of Genova, Italian Institute of Technology, Genova, Italy.
12. Michael N. Huhns, Munindar P. Singh, “Agents and Multiagent Systems: Themes, Approaches and Challenges”, Huhns, Singh (editors), Readings in Agents, pp. 1 23, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, USA, 1998.
13. Pattie Maes, “Situated Agents Can Have Goals”, Designing Autonomous Agents, Maes (editor), MIT Press, 1990.
14. Michael J. Wooldridge, Nicholas R. Jennings, “Intelligent Agents: Theory and Practice”, Knowledge Engineering Review, 10 (2), pp. 115 152, 1995.
15. Reis L., Coordenação em Sistemas Multi-Agente: Aplicações na Gestão Universitária e Futebol Robótico, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
16. Treisman A. M., G Gelade. (1980). “A feature-integration theory of attention”. Cognitive Psychology, 12 (1): 97-136, [doi:10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5).

17. Detsch J. A., Detsch D. (1963). "Attention: some theoretical considerations". *Psychological Review* Vol 70: 80-90. [doi:10.1037/h0039515](https://doi.org/10.1037/h0039515).
18. Broadbent D. (1958). *Perception and Communication*. London Pergamon Press
19. Karel Capek (1921). "Rossum's Universal Robots".
20. Chien-Ming Hunang e Andrea L. Thomaz "Join Attention in Human-Robot Interaction" 801 Atlantic Dr. Atlanta GA
21. Mohammed M. Hoque, Tomomi Onuki, Dipankar Das, Yoshinori Kobayashi e Yoshinori Kuno. "Attracting and Controlling Human Attention through Robot's Behaviors Suited to the Situation" DOI: [10.1007/978-3-642-34103-8\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34103-8_29)
22. Ren C. Luo and Michael G. Kay. Multisensor Integration and Fusion in intelligent Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 19, No. 5, September/October 1989, pp 901-931.
23. H. F. Durrant-Whyte, "Sensor models and multisensory integration," *International Journal of Robotics Research*, vol. 7, no. 6, pp. 97-113, 1988.
24. B. V. Dasarathy, "Sensor fusion potential exploitation-innovative architectures and illustrative application," *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, no. 1, pp. 24-38, 1997.
25. R. C. Luo, C.-C. Yih, K. L. Su, "Multisensor fusion and integration: approaches, applications and future research directions," *IEEE Sensors Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 107-119, 2002.
26. JDL, Data Fusion Lexicon. Technical Panel For C3, F.E. White, San Diego, Calif, USA, Code 4<sup>20</sup>, 1991.
27. J. Llinas, C. Bowman, G. Rogova, A. Steinberg, E. Waltz and F. White, "Revisiting the JDL data fusion model II", Technical Report, DTIC Document, 2004.
28. E. P. Blasch and S. Plano, "JDL Level 5 fusion model" "user refinement" issues and applications in group tacking", in *Proceeding of the Signal Processing, Sensor Fusion and Target Recognition XI*, pp. 270-279, April 2002.



29. H. F. Durrant-Whyte and M. Stevens, "Data fusion in decentralized sensing networks", in Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Information Fusion, pp. 302-307, Montreal, Canada, 2001.
30. S. Lloyd, "Least squares quantization in pcm", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 28, no. 2, pp. 129-137, 1982.
31. Y. Bar-Shalom and E. Tse, "Tracking in a cluttered environment with probabilistic data association", Automatica, vol. 11, no. 5, pp. 451-460, 1975.
32. T. E. Fortmann, Y. Bar-Shalom and M. Sheffe, "Multi-target tracking using joint probabilistic data association", in Proceeding of the 19<sup>th</sup> IEEE Conference on Decision and Control including the Symposium on Adaptive Processes, vol. 19, pp. 807-812, December 1980.
33. H. Pan, Z.-P. Liang, T. J. Anastasio, e T. S. Huang, "Hybrid NN-Bayesian architecture for information fusion", in Proceeding of the International Conference on Image Processing (ICIP '98), pp. 368-371, October 1998.
34. C. Coué, T. Fraichard, P. Bessière, and E. Mazer, "Multi-sensor data fusion using Baysian programming: an automotive application", in Proceeding of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 141-146, October 2002.
35. D. L. Hall and J. Llinas, Handbook of Multisensor Data Fusion, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 2001.
36. P. Dempster, "A generalization of Bayesian Inference", Journal of the Royal Statistical Society B, vol. 30, no. 2, pp. 205-247, 1968.
37. A. Shafer, Mathematical Theory of Evidence, Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 1976.
38. G. M. Provan, "The validity of Dempster-Shafer belief functions", International Journal of Approximate Reasoning, vol. 6, no. 3, pp. 389-399, 1992.
39. H. Wu, M. Siegel, R. Stiefelhagen e J. Yang, "Sensor fusion using Dempster-Shafer theory", in Proceeding of the 19<sup>th</sup> IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (TMTTC '02), pp. 7-11, May 2002.

40. H. Wu, M. Siegel and S. Abay, "Sensor fusion using Dempster-Shafer theory II : static weighting and Kalman filter-like dynamic weighting", in Proceeding of the 20<sup>th</sup> IEEE Information and Measurement Technology Conference (TMTTC '03), pp. 907-912, May 2003.
41. É. Bossé, P. Valin, A. -C. Boury-Brisset, and D. Grenier, "Exploitation of a priori Knowledge for information fusion", *Information Fusion*, vol. 7, no. 2, pp. 161-175, 2006.
42. M. Morbee, L. Tessens, H. Aghajan e W. Philips, "Dempster-Shafer based multi-view occupancy maps", *Electronics Letters*, vol. 46, no. 5, pp. 341-343, 2010.
43. C. S. Peirce, *Abduction and Induction. Philosophical Writings of Peirce*, vol. 156, Dover, New York, NY, USA, 1955.
44. A. W. M. Smeulders, M. Worring, S. Santini, A. Gupta and R. Jain, "Content-based image retrieval at the end of the early years", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 12, pp. 1349-1380, 2000.
45. Treisman, A. (1964). "Monitoring and storage of irrelevant messages in selective attention". *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour* 3 (6): 449-201. [doi:10.1016/S0022-5371\(64\)80015-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(64)80015-3)
46. Baron-Cohen, S. Jolliffe, T. Mortimore C. & Robertson M. "Another advanced test of mind: evidence from very high functioning adults with autism or Asperger syndrome", 1997.
47. P. Viola and M. Jones. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001.

## Referencias WWW

- [I.1] – <http://www.agvrobots.com/>, acesso em 12/10/2013
- [I.2] – [http://www.hitachi-pt.com/agv\\_intelligentcarry/](http://www.hitachi-pt.com/agv_intelligentcarry/), acesso em 12/10/2013
- [I.3] – <http://www.drives.co.uk/fullstory.asp?id=3007>, acesso em 20/10/2013
- [I.4] – <http://www.atab.se/>, acesso em 20/10/2013
- [I.5] – <http://www.robocup.org/>, acesso em 25/10/2013
- [I.6] – <http://www.robotsoccer.at/rainbow/>, acesso em 25/10/2013
- [I.7] – <http://www.verlab.dcc.ufmg.br/laboratorio/nomad200>, acesso em 01/11/2013
- [I.8] – <http://www.sonyaibo.net/>, acesso em 04/11/2013
- [I.9] - <http://science.howstuffworks.com/>, acesso em 25/01/2014
- [I.10] - <http://pt.wikipedia.org/wiki/Aten%C3%A7%C3%A3o>, acesso em 26/1/2014
- [I.11] - [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-37722008000400016&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-37722008000400016&script=sci_arttext), acesso em 26/1/2014
- [I.12] - [http://www.citi.pt/educacao\\_final/trab\\_final\\_inteligencia\\_artificial/robotica.html](http://www.citi.pt/educacao_final/trab_final_inteligencia_artificial/robotica.html), acesso em 28/1/2014
- [I.13] - <http://www.dw.de/rob%C3%B4s-na-vida-moderna/a-16912442>, acesso em 28/1/2014
- [I.14] - <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/kismet.html>, acesso em 28/1/2014
- [I.15] - <http://www.irobot.com/us/learn/commercial/ava500.aspx>, acesso em 2/2/2014

[I.16] - <http://www.iai.uni-bonn.de/~schulz/articles/museum-aaai98.pdf>, acesso em 2/2/2014

[I.17] - <http://world.honda.com/ASIMO/>, acesso em 3/2/2014

[I.18] - <http://pt.wikipedia.org/wiki/ASIMO>, acesso em 1/2/2014

[I.19] - [http://www.robotbooks.com/sony\\_aibo.htm](http://www.robotbooks.com/sony_aibo.htm), acesso em 4/2/2014

[I.20] - <http://www.arduino.cc/>, acesso em 30/11/2013

[I.21] - <http://opencv.org/>, acesso em 16/3/2014