Sistema integrado, adaptativo e inteligente para a gestão energética de robôs

Por

Nuno André Ferreira Ferraz

Orientador: Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Co-orientador: Doutor Filipe Baptista Neves dos Santos

Dissertação submetida à
UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
para obtenção do grau de
MESTRE
em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
DR – I série – N°151, Decreto-Lei n.º 115/2013 de 7 de Agosto e no
Regulamento de Estudos Conducente ao Grau de Mestre da
UTAD DR, 2.ª série – N°149 de 4 de Agosto de 2011

Sistema integrado, adaptativo e inteligente para a gestão energética de robôs

Por

Nuno André Ferreira Ferraz

Orientador: Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Co-orientador: Doutor Filipe Baptista Neves dos Santos

Dissertação submetida à
UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
para obtenção do grau de
MESTRE
em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
DR – I série – N°151, Decreto-Lei n.° 115/2013 de 7 de Agosto e no
Regulamento de Estudos Conducente ao Grau de Mestre da
UTAD DR, 2.ª série – N°149 de 4 de Agosto de 2011

Orientação Científica :

Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Professor Associado com Agregação do
Departamento de Engenharias
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Doutor Filipe Baptista Neves dos Santos

Investigador do
INESC TEC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência

Acompanhamento do trabalho :

Nuno Miguel dos Santos Pinto da Silva

Investigador do
Departamento de Engenharias
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

"A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro"

Albert Einstein

"Só sabemos com exactidão quando sabemos pouco; à medida que vamos adquirindo conhecimentos, instala-se a dúvida."

Johann Goethe

Aos meus pais e irmão

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Os membros do Júri recomendam à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro a aceitação da dissertação intitulada " **Sistema integrado, adaptativo e inteligente para a gestão energética de robôs**" realizada por **Nuno André Ferreira Ferraz** para satisfação parcial dos requisitos do grau de **Mestre**.

Dezembro 2016

Presidente: **Doutora Paula Cristina Ribeiro Coutinho Oliveira**,
Professora Auxiliar da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Vogais do Júri: **Doutor António Paulo Gomes Mendes Moreira**,
Professor Associado da Faculdade de Engenharia do Porto

Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos,
Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharias da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Sistema integrado, adaptativo e inteligente para a gestão energética de robôs

Nuno André Ferreira Ferraz

Submetido na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
para o preenchimento dos requisitos parciais para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Resumo — A possibilidade de aquisição de dados de várias culturas agrícolas em tempo real, bem como o tratamento desses dados elevou a agricultura para outro nível, permite aos agricultores saber qual o estado das suas culturas em tempo real, estimar qual a produção anual ou até prevenir atempadamente doenças. Esta monitorização, pode ser realizada através de redes de sensores instalados no campo, ou através de plataformas robóticas móveis que têm a capacidade de recolher diversos tipos de informação enquanto se deslocam ao longo da exploração.

Um dos grandes benefícios para o ambiente é o facto de as plataformas robóticas móveis poderem ser alimentadas a baterias, no entanto a disponibilidade energética é ainda um problema a ser resolvido. Torna-se necessário desenvolver sistemas que permitam otimizar ao máximo a energia disponível.

Esta dissertação visa o estudo de sistemas de gestão energética para plataformas robóticas, bem como sistemas que possibilitem a ancoragem da plataforma de uma forma segura e robusta. Posteriormente proceder-se-à ao desenvolvimento de um prototipo de um sistema de gestão energética que permita monitorizar os consumos da plataforma, estado das baterias, gerir a distribuição energética e carregar de forma eficiente as baterias que alimentam a plataforma, através de uma estação de ancoragem desenvolvida para o efeito.

Palavras Chave: Sistema de gestão energética, plataformas robóticas, estação de ancoragem, baterias, ISOBUS.

Robotic Integrated Smart Power Management Subsystem (RISPMAS)

Nuno André Ferreira Ferraz

Submitted to the University of Trás-os-Montes and Alto Douro
in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Master of Science in Electrical Engineering and Computers

Abstract — The possibility of real time data acquisition in different agricultural crops as well as the data processing has raised agriculture to another level, allowing farmers to know the state of its own cultures, estimate the annual production or to prevent several diseases. This monitoring may be performed by a sensors network installed in the field, or via mobile robotic platforms that have the ability to collect various types of information while moving along the scan.

One of the great benefits for the environment is that the mobile robotic platforms can be powered by batteries, but the energy availability still is a huge problem to consider, so, it is necessary to develop systems that can provide an optimization for the avaliable power.

This thesis aims the study of battery management systems for robotic platforms and systems that provide the docking of the platform in a secure and robust way. Subsequently proceed up to the development of a prototype of a battery management system that will allow monitoring the consumption of the platform, battery status, manage energy distribution and efficiently charge the batteries that power the platform through a docking station developed for this purpose.

Key Words: Battery management system, robotic platform, docking station, battery, ISOBUS

Agradecimentos

Os meus agradecimentos institucionais ao Magnífico Reitor da Universidade de Trás-os-Montes de Alto Douro, Professor Doutor António Fontainhas Fernandes, pelas facilidades concedidas à realização dos estudos conducentes ao grau de Mestre.

Ao Professor Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharias da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, orientador deste trabalho pela sua motivação, sugestões, orientações e paciência para a realização deste trabalho.

Ao Doutor Filipe Baptista Neves dos Santos, Investigador do INESC TEC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência, na qualidade de co-orientador pela sua disponibilidade, observações, apoio e motivação.

Ao Engenheiro Nuno Miguel Silva, Investigador da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, pelo grande apoio e disponibilidade durante todo o processo deste trabalho.

A todos os meus colegas deste grande curso de Engenharia Electrotécnica e de

Computadores da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, pelo convívio, apoio e amizade ao longo de destes anos, em especial aos alunos do ano letivo 2009/2010, que mais que colegas se tornaram amigos que levo comigo para a vida.

Aos meus pais e irmão, pelo incentivo e acompanhamento ao longo deste trabalho e ao longo de todos estes anos, pois sem eles nada disto seria possível.

À minha namorada Daniela Peixoto, por sempre estar do meu lado, mesmo nos momentos mais complicados, pelo apoio e amizade que contribuíram para a finalização do meu percurso académico.

Ao meu colega e amigo Jorge Mendes, pela ajuda, companheirismo e amizade que contribuíram para a finalização deste trabalho.

Ao INESC TEC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência, pela disponibilização dos meios para a realização deste trabalho.

UTAD Nuno André Ferreira Ferraz

Vila Real, 14 de outubro de 2016

Índice geral

Resumo xi

Abstract xiii

Agradecimentos xv

Índice de tabelas xix

Índice de figuras xxi

Glossário, acrónimos e abreviaturas xxv

1 Introdução 1
- 1.1 Enquadramento . . . 1
- 1.2 Motivação e objectivos . . . 3
- 1.3 Organização da dissertação . . . 4

2 Plataformas robóticas 7
- 2.1 Plataformas robóticas aplicadas à agricultura . . . 8
- 2.2 Sistemas de alimentação, baterias . . . 15
  - 2.2.1 Classificação das baterias . . . 15
  - 2.2.2 Características específicas das baterias . . . 16
  - 2.2.3 Tipos de baterias . . . 18
  - 2.2.4 Discussão sobre baterias em plataformas robóticas . . . 22
- 2.3 Estação de carregamento e ancoragem . . . 23

2.3.1 Análise de estações de carregamento e ancoragem 24

3 Gestão de energia **33**
3.1 Sistema de gestão energética 33
3.2 Elementos de um sistema de gestão energética 34
3.2.1 Carregador de baterias 34
3.2.2 Conversores DC/DC 37
3.2.3 A bateria 38
3.2.4 As cargas elétricas do sistema 38
3.3 Análise de sistemas de gestão energética 39
3.4 Resumo 44

4 A norma ISOBUS **45**
4.1 Introdução 45
4.2 Norma ISO 11783 46
4.3 Uso da norma ISOBUS na gestão energética 54

5 Protótipo e resultados **55**
5.1 Arquitectura do protótipo 55
5.2 Sistema de monitorização 56
5.3 Regulador de tensão e limitador de corrente 62
5.4 Sistema de recarregamento 64
5.5 Validação do protótipo 67
5.5.1 Rotina do sistema de gestão 68
5.5.2 Disponibilidade energética da plataforma 69
5.5.3 Curvas de descarga das baterias 70
5.5.4 Curva de recarga das baterias 73
5.5.5 Estação de ancoragem e carregamento 75

6 Conclusões e trabalho futuro **79**
6.1 Conclusões 79
6.2 Perspectivas de trabalho futuro 81

Referências bibliográficas **83**

A Publicações **93**

Índice de tabelas

2.1 Tabela comparativa de alguns diferentes tipos de bateria 22

5.1 Determinação do SOC parcial das baterias. 70

Índice de figuras

1.1 Cadeia de produção agrícola com o auxilio da AP 3

2.1 Plataforma robótica VINBOT 9
2.2 VineRobot percorrendo a vinha 10
2.3 Vista lateral do VineRobot 10
2.4 Versão final AGROBOT 11
2.5 Tanque de água da plataforma Aquarius 12
2.6 Aquarius procedendo à rega automática das plantas 12
2.7 Plataforma robótica HORTIBOT 12
2.8 VitiRover a) 13
2.9 VitiRover b) 13
2.10 Thorvald platform 14
2.11 Thorvald platform 14
2.12 Processo de carga e descarga de uma célula electroquímica 16
2.13 Exemplo de acoplagem 24
2.14 Esquema geral da estação de carga 25
2.15 Estação de carga 25
2.16 Estação de carga 26

2.17 Barras de contacto na frente do robô 26
2.18 Localização dos sensores IR e seu alcance 27
2.19 Mecanismo de acoplagem 28
2.20 Estação de ancoragem 28
2.21 Plataforma robótica 28
2.22 Posição normal do mecanismo de acoplagem na estação 29
2.23 Posição possível do mecanismo de acoplagem na estação 29
2.24 Mecanismo de acoplagem no robô (esquerda), Mecanismo de acoplagem na estação (direita) 29
2.25 Estação de carga 30
2.26 Robô em modo de carga 30
2.27 Configuração geral do sistema 31

3.1 Visão geral de um sistema de gestão energética 34
3.2 Carga e descarga Reflex charing 36
3.3 Diagrama de seleção e carga das baterias 40
3.4 Arquitectura da placa de gestão 41
3.5 Mini robô Jasmine 42
3.6 Arquitectura do módulo de gestão 43

4.1 Exemplo da cabine de um trator sem ISOBUS 46
4.2 Exemplo da cabine de um trator sem ISOBUS 46
4.3 Terminal presente na traseira do trator (IBBC) 47
4.4 Conector ISOBUS (IBC) 48
4.5 Designação das linhas presentes no IBC 48
4.6 Estrutura do identificador ISOBUS 49
4.7 Virtual Terminal (VT) 50
4.8 Exemplo de uma rede ISOBUS e suas ligações 52

5.1 Arquitectura do sistema proposto 56
5.2 INA226, Texas Instruments 57
5.3 Plataforma robótica AGROB 58
5.4 Esquema do circuito de monitorização *High-Side* (Vin +) 59

5.5 Esquema do circuito de monitorização *High-Side* (Vin -) 59
5.6 Esquema do circuito de monitorização *Low-Side* 60
5.7 Placa de circuito impresso do sistema de monitorização 61
5.8 Circuito de controlo DC/DC LM2576 (Texas Instruments) 62
5.9 Potenciómetro digital MPC4161(Microchip) 63
5.10 Esquema regulador de tensão e limitador corrente 64
5.11 Placa de circuito impresso do regulador de tensão e limitador de corrente 65
5.12 Esquema do circuito do interruptor 66
5.13 Placa de circuito impresso do interruptor 66
5.14 Circuito exemplo para definição do valor máximo de tensão 67
5.15 Esquema elétrico do carregador de baterias 67
5.16 Placa de circuito impresso do carregador de baterias 68
5.17 Fluxograma do algoritmo do sistema de gestão energética 69
5.18 Descarga da bateria, carregada com uma corrente de carga de 0,5 A . 71
5.19 Descarga da bateria, carregada com uma corrente de carga de 1 A . . 72
5.20 Descarga da bateria, carregada com uma corrente de carga de 0,8 A . 73
5.21 Recarga da bateria usando o carregador Turnigy 74
5.22 Recarga da bateria usando o carregador apresentado na secção 5.4 . . 74
5.23 Diagrama da arquitetura da estação de ancoragem 75
5.24 Módulo de ancoragem presente na frente do robô 76
5.25 Módulo de ancoragem presente na estação base 76
5.26 Contacto entre o módulo de ancoragem do robô e da estação base . . 76
5.27 Exemplo de aplicação do módulo de ancoragem na estação base . . . 76
5.28 Protótipo da estação de ancoragem 77
5.29 Robô após o processo de acoplamento 77
5.30 Variação da tensão nos terminais de alimentação do sistema de recarregamento durante o processo de ancoragem 78

Glossário, acrónimos e abreviaturas

Lista de acrónimos

Sigla	**Expansão**
AC	*Alternating Current* (corrente alternada)
DC	*Direct Current* (corrente contínua)
MOSFET	*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*
SOC	*State-of-Charge* (estado de carga)
ECU	*Electronic Control Unit* (Unidade de controlo eletrónica)
CAN	*Controller Area Network*
I^2C	*Inter-Integrated Circuit*
ISO	*International Organization for Standardization*
VT	*Virtual Terminal* (terminal virtual)
VE	Veículo elétrico
ROS	*Robot Operative System*
LDR	*Light dependent resistor*
PMB	*Power management board* (placa de gestão energética)
BMS	*Battery management system* (sistema de gestão de baterias)

Sigla	Expansão
NDVI	*Normalized Difference Vegetation Index*
VRT	*Variable Rate Technology* (Tecnologia de taxa variável)
VR	*Variable Rate* (Taxa variável)
DTN	*Delay-tolerant networking*
AP	Agricultura de precisão
IC	*Integrated circuit* (circuit integrado)
XML	*Extensible Markup Language*
PCB	*Printed Circuit Board* (placa de circuito impresso)
SBC	*Single Board Computer*

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Significado(s)
et al.	e outros (autores)
etc.	etecetera, outros
i.e.	isto é, por conseguinte
vs.	versus, por comparação com

1 Introdução

Um dos grandes problemas nas plataformas agrícolas alimentadas a baterias é a sua gestão. Assim, esta dissertação faz uma análise aprofundada das soluções atuais, tendências e propõe uma solução para melhorar a durabilidade da quantidade de energia disponível, de modo a que uma plataforma agrícola seja capaz de executar as suas tarefas sem que haja a necessidade de uma intervenção humana para a troca ou carregamento de baterias. Neste capítulo é descrito o seu enquadramento, motivação e objetivos bem como a estrutura desde documento.

1.1 Enquadramento

A agricultura de precisão (AP), abrange um conjunto de tecnologias que através da combinação de sensores, sistemas de informação e sistemas de gestão pretende otimizar a produção tendo em conta a variabilidade e incerteza dos sistemas agrícolas. Uma exploração agrícola passa a ser tratada de uma forma diferenciada e não como um todo, adaptando a aplicação de insumos consoante as necessidades. Isto permite uma melhor utilização de recursos de forma a manter a qualidade do meio ambiente, e ao mesmo tempo melhorar a sustentabilidade da disponibilidade

dos produtos. A AP fornece um meio para monitorizar toda a cadeia de produção agrícola (figura 1.1), e gerir a qualidade e quantidade dos mesmos. Para atingir um bom padrão de produção agrícola é necessário uma constante monitorização de todos os elementos constituintes de uma exploração para delinear a melhor estratégia. No entanto instalar sensores em cada planta de uma exploração é algo impraticável, tanto pelos custos como pela quantidade necessária para se obterem informações minimamente viáveis. De uma outra forma, a utilização de robôs móveis que transportam sensores de monitorização afigura-se como sendo uma solução mais adequada, pois têm a capacidade de cobrir grandes áreas agrícolas em pouco tempo a custos relativamente baixos. Para que estas plataformas robóticas sejam autenticas máquinas agrícolas e com capacidade de atuar em função dos dados recolhidos, é necessário dota-las com tecnologias de taxa variável (VRT), que combina o controlo de taxa variável (VR) com o equipamento de aplicação, permitindo a aplicação de insumos apenas nos locais onde são necessários reduzindo custos de trabalho e o impacto sobre o meio ambiente. Alguns exemplos da aplicação de VRT na agricultura incluem fertilização, aplicação de pesticidas e o semeio. Com a introdução deste tipo de máquinas aparece a necessidade de gerir com eficiência as suas reservas de energia, pois num futuro próximo todas serão movidas por sistemas elétricos, sendo o sistema de gestão energética e a estação de ancoragem serão dois constituintes chaves atingir esse propósito. O sistema de gestão energética permitirá de uma forma eficiente controlar todas as tarefas do robô tendo como base a sua energia disponível, otimizando tanto o processo de carga como o de descarga. Para que seja possível carregar as baterias de forma autónoma, será necessário a colocação de diversos pontos de ancoragem e carregamento, para que a plataforma robótica possa carregar periodicamente as suas baterias, sem nunca permitir a sua descarga total. A estação de ancoragem necessitará de um fonte de energia, neste caso de origem reutilizável (solar ou eólica), e de um sistema que permita armazenar a energia gerada, para que quando o robô atraque na estação exista energia suficiente para iniciar o processo de carga. As energias renováveis são uma opção viável, pois a aplicação deste tipo de tecnologias em locais mais remotos, como as vinhas do Douro, implica a possível inexistência de rede elétrica.

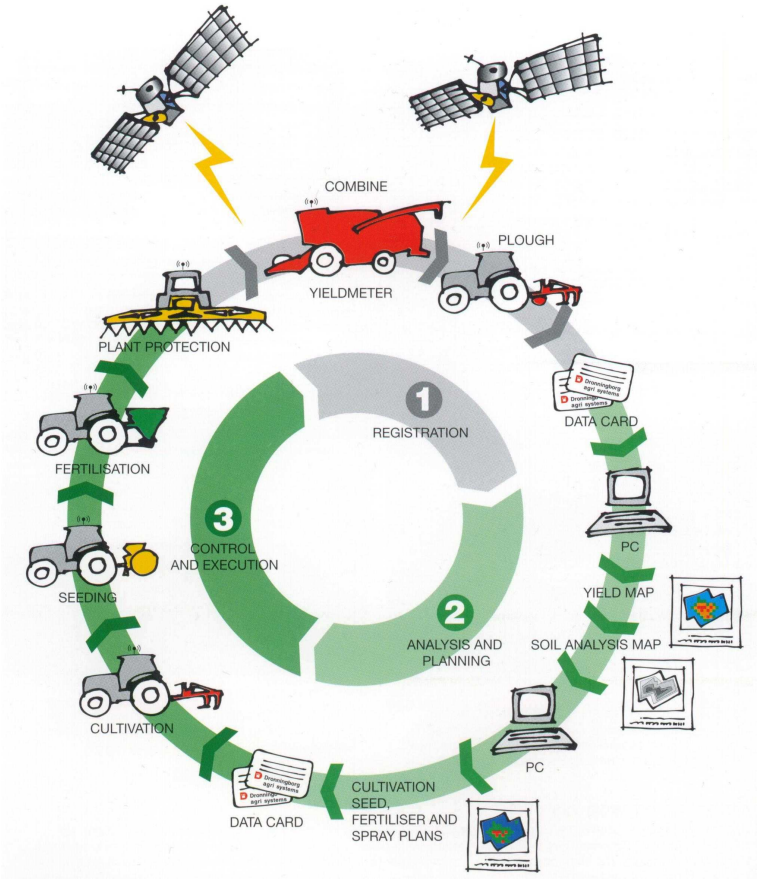

Figura 1.1 – Cadeia de produção agrícola com o auxilio da AP, Koerhuis (2014).

1.2 Motivação e objectivos

A tecnologia robótica está amplamente disseminada em grandes unidades fabris, a sua robustez, produtividade e fiabilidade motiva a comunidade ciêntifica a explorar novos cenários de aplicação da robótica. Um desses é a agricultura de precisão. A agricultura de precisão é um conceito que engloba varias áreas da robótica, passando por redes de sensores, até plataformas robóticas móveis terrestres ou até mesmo aéreas. Uma das mais valias deste tipo de plataformas é o facto de serem alimentadas a baterias, reduzindo assim o consumo de combustíveis fósseis levando à promoção de tecnologias limpas, eficientes e sustentáveis. Um dos componentes

essenciais e vitais para as plataformas robóticas é o sistema de gestão energética, pois controla em tempo real funções como a monitorização das baterias, planeamento da carga/descarga e a distribuição energética de modo a otimizar todo o processo de utilização. Este sistema poderá proporcionar um aumento na longevidade das baterias e a sua proteção contra qualquer tipo de danos que as tornem inutilizáveis ou até constituir algum tipo de perigo tanto para a plataforma na qual estão incluídas ou para o utilizador. Esta dissertação passa pela conceção e teste de um protótipo de um sistema de gestão energética, bem como a conceção de uma estação de ancoragem que permita a acoplagem e o carregamento das baterias da plataforma robótica usada para o efeito.

1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação está divida em seis capítulos, sendo o seu conteúdo resumido seguidamente.

No presente capítulo é analisado o enquadramento sobre os problemas das matérias discutidas na dissertação bem como os objetivos que levaram à realização deste trabalho.

No capítulo 2 é realizado um levantamento do estado da arte sobre plataformas robóticas de pequeno porte alimentadas a baterias, bem como uma recolha de informação sobre a classificação características das diferentes tipologias de baterias usadas nesta área.

No capítulo 3 foi realizado um levantamento do estado da arte sobre sistemas de gestão energética, os seus principais constituintes e possíveis aplicações.

No capitulo 4 é apresentada uma breve descrição da norma ISO 11783 (ISOBUS). Esta norma afigura-se como a norma que irá reger a interligação e comunicação entre os diversos módulos das máquinas agrícolas, nomeadamente sistemas de gestão energética.

No capítulo 5 está descrito o desenvolvimento e implementação dos métodos do protótipo do sistema, especificando como cada uma das etapas foi concretizada.

O capítulo 6 apresenta uma análise final sobre as matérias estudadas no decorrer da dissertação e apresenta as conclusões obtidas ao longo da sua conceção, assim como perspetivas de trabalho futuro.

2 Plataformas robóticas

A crescente expansão da população e consequentemente o consumo de produtos agrícolas, leva-nos à procura de novas formas de otimização dos diversos processos no sentido de atingir uma agricultura mais eficiente. Uma possível abordagem passa pelo uso da tecnologia disponível e procurar desenvolver máquinas inteligentes capazes de reduzir o esforço do trabalho humano de forma a conseguir maior eficácia que no passado não era possível (Kumar et al., 2012). As quatro características principais de uma máquina agrícola inteligente são (Auat Cheein and Carelli, 2013):

- Localização global: capacidade de navegação em um ambiente agrícola;
- Deteção: deteção de características biológicas do ambiente;
- Ação: execução de uma tarefa definida;
- Mapeamento: extração e construção de um mapa do campo agrícola contendo as características mais relevantes do mesmo.

Como estas categorias dependem umas das outras para uma execução bem-sucedida de uma tarefa nunca podem operar em separado.

No decorrer deste capítulo irão ser apresentas algumas plataformas de pequenas dimensões com aplicações em diferentes áreas da agricultura, sendo todas movidas por motores elétricos, pois cada vez mais é necessário apostar em tecnologias não poluentes. Também serão salientados os principais aspetos de uma bateria, descrição e comparação das mesmas, bem como alguns casos de estudo de estações de ancoragem para plataformas robóticas e seus constituintes.

2.1 Plataformas robóticas aplicadas à agricultura

Atualmente diversos trabalhos têm sido desenvolvidos que visam a criação de plataformas agrícolas capazes de tarefas como a pulverização, mapeamento de campos agrícolas, colheita, rega, plantação de sementes ou até poda. Dentro deste tipo de estudo podemos destacar algumas plataformas que incorporam alguns dos esforços para o desenvolvimento desta área.

O VINBOT, aparece a partir da necessidade de aumentar o *standard* de qualidade dos vinhos europeus, através do uso da agricultura de precisão aliada à produção vinícola. É uma plataforma robótica móvel desenhada para todo o tipo de terreno, que incorpora um conjunto de sensores capazes de fazer um mapeamento das diversas características da vinha (stress na planta, excesso de água na planta, variações com o calor, cor, tamanho e forma da canópia, etc.) determinando assim a qualidade e rendimento que a vinha apresenta. A plataforma VINBOT é alimentada por uma bateria de iões de lítio com autonomia de 8 horas diárias e incorpora um conjunto de câmaras com capacidade de captar imagens de alta precisão, medidores 3D de navegação no campo, um sensor NVDI (Normalized Difference Vegetation Index) para calcular o vigor da planta, um computador para realizar as operações mais básicas do robô e um módulo de comunicação. Como a quantidade de dados recolhidos é muito extensa para ser processada pelo robô, toda essa informação é enviada para uma nuvem (*cloud*), onde posteriormente será processada de forma a tratar imagens, construir mapas 3D e até planeamento de trajetórias (VINBOT; Rocha, 2015; Szathmary, 2016).

Figura 2.1 – Plataforma robótica VINBOT, Rocha (2015).

Semelhante VINBOT, o VineRobot (figuras 2.2 e 2.3), também é um robô direcionado para as vinhas. Mas esta plataforma apenas tem foco em tecnologias de deteção não invasivas para monitorizar parâmetros como o crescimento vegetativo, a água na planta ou a composição da uva. Levando assim a que o agricultor tenha acesso em tempo real ao estado da sua vinha, podendo assim através do estudo dos dados recolhidos tomar as decisões necessárias de forma a otimizar a gestão da vinha obtendo o melhor proveito possível da mesma. Pretende-se que o VineRobot seja capaz de executar o processamento dos dados adquiridos da vinha em tempo real de forma a serem apresentados em aplicações desenvolvidas para smartphones ou computadores. Ao contrário do VINBOT esta plataforma não tem a capacidade de efetuar o mapeamento 3D de toda a vinha (Tardaguila, 2013; Coxworth, 2015).

Durmus et al. (2015), começou por apresentar uma plataforma robótica autónoma com vista em diversas aplicações agrícolas. Mais tarde o seu foco principal foi alterado de forma a desenvolver uma plataforma capaz de operar em planícies agrícolas, linhas de campo ou estufas. Esta plataforma foi desenvolvida tendo em conta critérios como a modularidade, baixo custo de produção e capacidade de resistir às condições ambientais adversas presentes no campo agrícola. É constituída por três componentes principais: uma estação base, um controlador remoto e o próprio AGROBOT. A estação base é constituída por um computador que permite o controlo do robô, armazenamento dos dados recolhidos e definição de tarefas

Figura 2.2 – VineRobot percorrendo a vinha, Tardaguila (2013).

Figura 2.3 – Vista lateral do VineRobot, Tardaguila (2013).

autónomas. O controlador remoto é usado apenas para controlar o robô a pequenas distancias. Em linhas de campo ou planícies agrícolas o robô usa o sinal de GPS de forma a conseguir estimar a sua posição e prosseguir com as suas tarefas autonomamente. Dentro de estufas é necessário proceder a um mapeamento prévio da zona para que o robô seja capaz de reconhecer o espaço no qual vai operar. É alimentado por uma bateria de LiPo (*Lithium Polymer*), em que a principal razão da escolha deste tipo de bateria rege-se no facto de serem mais leves e compactas comparativamente a outros tipos de baterias. Para que a gestão dos ciclos de carga e descarga seja feita de forma apropriada, pois as baterias de LiPo requerem bastantes cuidados, uma placa de gestão de baterias foi incorporada permitindo obter valores de tensão, temperatura e o consumo das mesmas. No caso de ocorrer algum tipo de problema tanto no ciclo de descarga ou carga das baterias, como curto-circuito ou sobretensão, a placa de gestão corta a alimentação das baterias protegendo assim o sistema. Com o uso desta plataforma é possível iniciar bastantes projetos ligados às áreas agrícolas, pois o AGROBOT (figura 2.4) apresenta diversas características que podem potenciar a sua aplicação.

Um fator bastante importante na saúde das plantas é a quantidade de água disponível, tornando-se um parâmetro de elevada importância no bom desenvolvimento de qualquer tipo de planta. O Aquarius apresenta uma forma de rega baseada na medição da humidade presente no solo, permitindo assim dosear de forma precisa

Figura 2.4 – Versão final AGROBOT, Durmus et al. (2015).

a quantidade de água que a planta necessita. Com uma capacidade de transportar cerca de 115 litros de água no seu tanque (figura 2.5), permite proceder a um grande número de regas automáticas. Esta plataforma tem um modo de operação muito simples, permitindo ao utilizador uma rápida manipulação do sistema. Inicialmente é necessário marcar o caminho pelo qual o robô tem que seguir e selecionar a quantidade de água máxima que uma planta completamente seca necessita, estando pronto para começar a sua tarefa. Para que o robô seja capaz de navegar facilmente numa estufa de forma autónoma, um conjunto de sensores tais como os dois encoders responsáveis por ajustar os motores das rodas, um grupo de 12 sensores capazes de seguir a linha de orientação, sensores de nível no tanque e sensores de colisão para evitar qualquer tipo de choque com objetos, estão aplicados nesta plataforma (Dorhout, 2013; LLC, 2013).

No entanto, o mapeamento de certos parâmetros de saúde das plantas não é suficiente para manter uma cultura saudável, outros fatores como as ervas daninhas têm de ser tomados em conta, pois estas traduzem-se num problema para todo o tipo de culturas atrasando o seu crescimento e consequentemente a sua saúde. O Hortibot (figura 2.7), surge como uma plataforma robótica que visa resolver esta problemática, possuindo a capacidade de remoção das as ervas manualmente, através do fogo ou então recorrendo ao uso da pulverização de precisão (Piquepaille, 2007), permitindo

Figura 2.5 – Tanque de água da plataforma Aquarius, Dorhout (2013).

Figura 2.6 – Aquarius procedendo à rega automática das plantas, Dorhout (2013).

reduzir cerca de 75% da quantidade herbicida usado, diminuindo assim o impacto ambiental causado. Esta plataforma tem a capacidade de detetar até seis linhas visíveis de cultivo e percorre-las de forma autónoma através de um sistema de deteção da *Agrocom Vision*, levando assim a um uso reduzido do sistema de GPS. Todo o tipo de operações e dados recolhidos pelo Hortibot são enviados para uma base de dados online, que possibilitará a sua consulta e tratamento de dados. Umas das mais valias deste robô é o facto de não ser preciso qualquer tipo de planeamento prévio e a facilidade com que um trabalhador comum consegue aprender a operar as funções básicas do robô, apenas com uma hora de aprendizagem (Jørgensen et al., 2005).

Figura 2.7 – Plataforma robótica HORTIBOT, FroboMind.

Uma outra plataforma com implementação semelhante à do Hortibot, mas vocacionada para vinhas planas é o VITIROVER, pois os produtores de vinho também enfrentam problemas na eliminação das ervas que prejudicam o crescimento das videiras. Este robô é alimentado por um painel solar (figura 2.9), que lhe permite direcionar a energia recolhida pelas células fotovoltaicas para o carregamento das baterias de lítio que alimentam a plataforma, eliminando assim a necessidade de estações de carga. Esta plataforma é programada de forma bastante simples, recorrendo ao uso de uma aplicação para o smartphone que permite o acesso às funcionalidades do robô, sendo que uma delas é a capacidade de o seu utilizador poder delimitar a partir de coordenadas GPS a área na qual o robô tem de trabalhar para que não exista nenhuma possibilidade de este sair dos limites estipulados. Também está equipado com um conjunto de lâminas para corte da vegetação, cobertas por uma proteção, figura 2.8, que impossibilita possíveis danos nos troncos das videiras, a sua dimensão reduzida também é uma mais valia, pois torna o impacto visual na vinha quase nulo e possibilita uma liberdade total da plataforma em toda a área de trabalho. A uma velocidade de 500 m/hora tem a capacidade de cortar as ervas de 2 hectares de vinhas em cerca de 100 horas (VITIROVER; Niedercorn).

Figura 2.8 – Plataforma robótica VitiRover, Payne.

Figura 2.9 – Laminas de corte presente no VitiRover, Demeure (2016).

Todas as plataformas anteriormente descritas com a exceção do AGROBOT, têm as suas funções bem definidas, ou seja cada plataforma tem apenas uma especificação no campo agrícola. Em Grimstad et al. (2015) é desenvolvida a Thorvald platform, presente na figura 2.10, capaz de realizar diversas operações num

campo agrícola, desde semear, pulverizar e até proceder à colheita. Esta plataforma tem a particularidade de conseguir transportar uma variedade de ferramentas e ser bastante leve o que lhe permite operar em períodos de grande humidade sem ficar presa ou danificar a estrutura do solo. As ferramentas que esta plataforma irá usar serão desenhadas com o intuito de que o robô seja capaz de levar a cabo todas as funções no campo escolhendo a ferramenta mais apropriada para a tarefa em causa. Estas ferramentas são ligadas a um barramento CAN, que irá fornecer a alimentação e a troca de dados. Este robô é alimentado por um conjunto de baterias e é composto por 4 rodas capazes de serem controladas forma individual, garantindo assim uma mobilidade completa, figura 2.11, enquanto que os motores de 600 W potenciam a força necessária que a plataforma se possa movimentar mesmo com algum peso.

Figura 2.10 – Thorvald platform, Grimstad et al. (2015).

Figura 2.11 – Mobilidade presente na Thorvald platform, Grimstad et al. (2015).

2.2 Sistemas de alimentação, baterias

Para um sistema movido a energia elétrica as baterias são o seu constituinte mais importante. Apesar de esta tecnologia ter mais de 200 anos, visto que a primeira bateria surgiu em 1800 por Alessandro Volta, esta tecnologia ainda se encontra com uma grande margem de evolução, pois ainda não é possível dominar por completo este campo. Apesar da sua importância nos sistema movidos a energia elétrica, as baterias também apresentam algumas contrapartidas para os sistemas onde estão incorporadas, pois quanto maior for a necessidade energética, maior terá de ser a capacidade de armazenamento das baterias o que se poderá traduzir num aumento do peso e do volume das mesmas, que poderá levar a um maior esforço da plataforma e a um maior consumo (Magalhães, 2012). Por isso, é necessário conhecer os diversos tipos de baterias disponíveis de forma a utilizar a bateria mais adequada sem comprometer a eficiência da plataforma onde será aplicada.

2.2.1 Classificação das baterias

De forma a ser possível distinguir os diferentes tipos de baterias, estas foram dividias em: (Ferreira and Tavares, 2015)

- Baterias primárias: baterias que não podem ser recarregadas;

- Baterias secundárias: baterias que podem ser recarregadas.

As baterias secundárias podem ter dois tipos de utilização: podem funcionar como sistema de armazenamento de energia ou para alimentação de dispositivos eletrónicos como: smartphones, computadores portáteis ou veículos elétricos. Aqui bateria é descarregada normalmente mas com a vantagem de poder ser recarregada em vez de ser descartada como as baterias primárias. Uma bateria diz-se recarregável quando existe a possibilidade de alterar o sentido da corrente de modo a carregar a bateria.

Ou seja quando uma célula está sem carga, se um fluxo de eletrões circular em sentido contrário ao normal ocorre o processo de carga ilustrado figura 2.12 à direita. Quando o sentido do fluxo de eletrões circular no sentido inverso ao do processo de carga, da-se o processo de descarga da bateria demonstrado na figura 2.12 à esquerda, (Quintanilha, 2014).

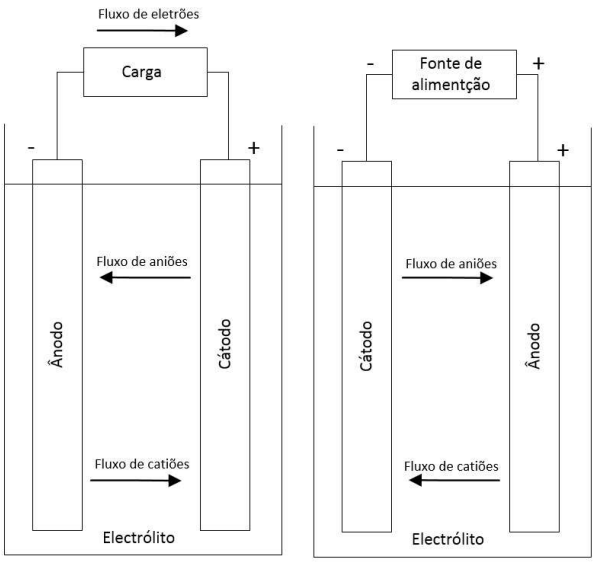

Figura 2.12 – Processo de carga e descarga de uma célula electroquímica, adaptado de Quintanilha (2014).

2.2.2 Características específicas das baterias

Nesta secção serão descritos as principais características associadas às baterias. A partir destas características é possível escolher o melhor tipo de bateria a usar e desenvolver um modelo de estimação do estado da mesma (Magalhães, 2012; Esteves, 2014; MIT, 2008) .

- **Capacidade nominal da bateria (C (Ah)):** É a quantidade de corrente que uma bateria pode fornecer numa hora. Quando maior for a taxa de Ah mais tempo a bateria demora a descarregar, considerando que a carga aplicada não é alterada .

- **Estado de carga (SOC (%)):** Relação entre a tensão máxima esperada aos terminais da bateria e a tensão atual.

- **Profundidade de descarga (DOD (%)):** Relação entre a quantidade de corrente por hora (Ah) removida a partir de uma célula de uma bateria e a carga nominal (Ah) da mesma.

- **Energia especifica:** Quantidade total de energia em Watt-hora (Wh), que a bateria pode armazenar por quilograma de peso (kg) para uma determinada taxa de descarga.

- **Potencia especifica:** Quantidade total de energia em Watt (W), que a bateria pode armazenar por quilograma de peso (kg) para uma determinada taxa de descarga.

- **Densidade energética:** Quantidade total de energia em Watt-hora (Wh), que a bateria pode armazenar por unidade de volume numa determinada condição de descarga.

- **Ciclo de vida:** É o numero total de vezes que a bateria pode ser carregada e descarregada durante a sua vida útil. Caso a bateria não possa ser carregada acima de 80 % da sua carga nominal, então a sua vida útil chegou ao fim.

- **Efeito de memória:** Causado por ciclos de carga incompletos. Caso a bateria seja carregada com uma certa quantidade de carga, fará com que esta se habitue apenas a receber uma percentagem da carga total. Para evitar este efeito as baterias devem ser totalmente descarregadas e carregadas por completo. Esta regra não se aplica a todas as tecnologias de baterias.

- **Auto descarga:** Descarga sem uso da bateria, resultado do processo eletroquímico interno.

- **Taxa de descarga (*C-rate*):** É a taxa em que uma bateria é descarregada em relação à sua capacidade máxima.

2.2.3 Tipos de baterias

Actualmente os veículos eléctricos (VE) usam baterias do tipo (Magalhães, 2012):

- Chumbo-ácido (Pb - acid)
- Níquel-cadmio (NiCd)
- Hidretos metálicos de níquel (NiMH)
- Iões de lítio (Li-ion)
- Polímeros de lítio (LiPo)
- Sulfureto de sódio (NaS)
- Ar-Zinco (Zn-Air)

Nesta secção apenas serão abordadas as baterias de níquel-cadmio, hidreto metálico de níquel, iões de lítio, polímero de lítio e chumbo, uma vez que são aquelas que representam as tecnologias com um maior destaque em termos de utilização e perspetivas de evolução.

Chumbo (Pb)

A primeira bateria de chumbo-ácido foi apresentada pelo físico Gaston Planté em 1959 (Quintanilha, 2014). Esta tecnologia, com mais de 150 anos de existência, encontra-se bem desenvolvida, sendo ainda hoje extensamente utilizada e de grande sucesso devida a fatores como o baixo custo, fácil produção, longevidade e características eletroquímicas favoráveis. As baterias de chumbo-ácido podem ser divididas em:

- **Chumbo-ácido ventiladas (*Free Vented Lead Acid - FVLA*):**

O eletrólito encontra-se no estado liquido, obrigando ao funcionamento numa posição fixa para que não exista derramamento do mesmo e a uma reposição regular do nível da água. Este tipo de baterias deve ser usada em locais ventilados e tem uma duração entre 3 a 8 anos para 100 a 800 ciclos completos nos modelos convencionais (Ferreira and Tavares, 2015).

- **Chumbo-ácido seladas (*Valve Regulated Lead Acid - VRLA*):**

  Aqui a bateria é selada, possuindo válvulas que permitem a saída de gases quando a pressão interna da bateria atinge níveis perigosos. É uma bateria que não necessita de qualquer tipo de manutenção comparativamente à bateria FVLA (Garrido, 2010).

- **AGM (*Absorvent Glass Material*):**

  Considerada a evolução mais recente das baterias de chumbo-ácido, sendo que a grande diferença é o uso de um separador especial de microfibras de vidro muito poroso em vez de gel para envolver o eletrólito (Ferreira and Tavares, 2015).

- **Chumbo-ácido híbrida (*Hybrid Lead Acid Battery (UltraBattery)*):**

  A bateria de chumbo híbrida opera muito eficientemente no estado de cargas parciais (*Partial State of Charge*, PSoC), ou seja, uso sem ciclos de manutenção de sobrecarga frequentes. De modo a aumentar o desempenho da bateria com o funcionamento em estado de cargas parciais, um super-condensador é integrado na bateria com a função de gerir as altas cargas/descargas, suavizando este processo (Ferreira and Tavares, 2015; ecoult energy storage solutions, 2016).

- **Chumbo-Cristal (*Lead Cristal Battery*):**

  As baterias de chumbo-cristal são consideradas uma versão mais robusta e moderna das baterias baseadas em chumbo. Estas baterias são compostas por

um eletrólito de sílica em estado cristalizado (SiO_2), que visa a substituição da solução de ácido sulfúrico/gel convencional. Têm um desempenho e performance superior quando comparadas a outras baterias (Deltecpower), em que um dos fatores que compromete o seu uso é o facto de serem relativamente mais caras que as restantes (Bukhari et al., 2015).

Baterias de Níquel

Dentro desta especificação de baterias, Níquel (Ni), podem ser consideradas as baterias de Hidreto Metálico de Níquel (NiMH), Níquel-Cádmio (NiCd) e Níquel-Zinco (NiZn). Apenas se irão descrever de uma forma simples e objectiva as baterias de Hidreto Metálico de Níquel e Níquel-Cádmio.

- **Níquel-Cádmio (NiCd):**

  A constituição deste tipo de baterias reside em um ânodo de hidróxido de níquel, um cátodo de cádmio e um eletrólito alcalino, tipicamente hidróxido de potássio (Garrido, 2010). São baterias que apresentam um custo mais elevado que as baterias de chumbo-ácido, mas com uma maior densidade energética, ciclo de vida de 1000 cargas, robustez, dimensões reduzidas, com um elevado débito de potencia e não são afetadas por descargas profundas. Como grande desvantagem, e daqui provem a redução do uso destas baterias, é o facto de serem constituídas por materiais tóxicos o cádmio, sendo a reciclagem deste constituinte bastante perigosa. Também possuem efeito de memoria e uma elevada taxa de auto-descarga o que provoca alguma manutenção periódica das mesmas quando armazenadas (Ferreira and Tavares, 2015; Magalhães, 2012).

- **Níquel-Hidretos metálicos (NiMH):**

  Esta bateria é composta por hidretos metálicos em vez do cádmio usado nas baterias NiCd referidas anteriormente, eliminando parcialmente o efeito de memoria. Também possuem uma de vida superior a 1000 cargas, maior densidade energética e, uma grande vantagem face às baterias de NiCd,

o material que compõe estas baterias é reciclável sem qualquer nível de toxicidade. Por outro lado possuem uma taxa de auto-descarga elevada e menor robustez no que toca às sobrecargas (Ferreira and Tavares, 2015).

Baterias lítio

Esta secção tratará de duas vertentes das baterias de Lítio (Li), as baterias de Iões de Lítio (Li-ion) e Polímero de Lítio (LiPo). A principal diferença entre ambas reside na composição do eletrólito, nas baterias de Li-ion, é composto por sais de lítio, enquanto que nas de LiPo, é composto por um polímero condutor (Esteves, 2014; Magalhães, 2012).

- **Baterias de iões de lítio (Li-ion):**

  Compostas por um elétrodo positivo de um óxido metálico de lítio, um elétrodo negativo de carbono grafítico e o eletrólito de sais de lítio. São usadas em grande parte em dispositivos portáteis. Mas, mais recentemente estão a entrar no mercado automóvel, através de marcas como a Nissan e a Tesla. (Magalhães, 2012). Estas baterias são definidas pela sua elevada densidade energética, efeito de auto-descarga baixo e sem qualquer efeito de memória. Por outro lado requerem mais cuidados, como o facto de necessitarem de um circuito de proteção para limitar o valor de tensão e corrente de modo a proteger a bateria.

- **Baterias de polímero de lítio (LiPo):**

  Recentemente este tipo de baterias começaram a ser inseridas no modelismo e na área da robótica, devido à sua elevada densidade energética e ao seu peso reduzido (Maduro, 2011). Estas baterias são semelhantes às de iões de lítio relativamente aos materiais de fabrico dos elétrodos. A única diferença é o facto de o seu eletrólito ser um polímero condutor. A vida útil da bateria é cerca de 600 ciclos de carga e a sua auto-descarga depende da temperatura, chegando a atingir cerca de 5% por mês (Sá, 2015).

Na tabela 2.1 são analisados alguns dos principais aspetos das baterias abordadas anteriormente e que devem ser tomados em conta com o objetivo de escolher a melhor bateria para um determinado propósito.

Tabela 2.1 – Tabela comparativa de alguns diferentes tipos de bateria, (STA; University, 2010; Sá, 2015; Ferreira and Tavares, 2015)

	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion	Li-ion polymer
Densidade de energia (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	110-160	100-130
Densidade de energia (Wh/l)	60	50-150	140-300	170-300	300
Potência especifica (W/kg)	180	150	250-1000	50-200	50-250
Resistência Interna (mΩ)	<100 [1]	100-200 [2]	200-300 [2]	150-250 [3]	200-300[3]
Ciclos de vida (nº de cilos)	200-300	1500	500-1000	500-1000	300-500
Auto-descarga Mensal	5 %	20%	30%	10%	10 %
Tensão da célula (V)	2	1,25	1,25	3,6	3,6
Tolerância à sobrecarga	Alta	Moderada	Baixa	Muito Baixa	Baixa

[1]Pack 12 V, [2]Pack 6 V, [3]Pack 7,2 V.

2.2.4 Discussão sobre baterias em plataformas robóticas

A seleção das baterias depende de inúmeros fatores, incluindo a estabilidade mecânica e química, capacidade de armazenamento, temperatura de operação, comportamento a elevadas correntes, ciclos de vida, preço entre outros parâmetros. Na robótica móvel, tanto o tamanho das baterias como o seu peso, são fatores de extrema importância, pois ambos condicionam o desenvolvimento da robótica na atualidade. O fator tamanho é uma condicionante para a redução das plataformas

robóticas e o peso é um fator que pode condicionar a mobilidade das mesmas, bem como gerar um aumento nos consumos energéticos. Dentro dos diversos tipos de baterias existentes, as baterias mais populares na robótica são as de NiMH/NiCd, enquanto que as baterias de lítio fazem parte de uma tecnologia que ainda se encontra em desenvolvimento, estando a entrar aos poucos nesta área. As baterias de lítio proporcionam elevadas densidades energéticas, não implicando um aumento tanto das dimensões como do peso, existindo ainda a possibilidade de manipular a sua forma durante o processo de produção, permitindo atingir formas ideais que permite a sua colocação em locais onde as dimensões das restantes baterias não o permitem. Em contrapartida são baterias relativamente mais caras e requerem mais cuidados, como um sistema de carga especifico e um sistema de proteção contra sobrecarga e descarga das mesmas, pois pode levar à sua completa inutilização. As baterias de NiMH tem a capacidade de resistir a elevados picos de corrente, podendo chegar a atingir os 5C, uma característica superior face às baterias de lítio (Gloye, 2005). Este fator é bastante importante, pois numa plataforma robótica móvel, o arranque dos motores ou o esforço dos mesmos geram grandes picos que podem danificar as baterias caso não estejam preparadas para tal. Em conclusão, a escolha das baterias resume-se ao compromisso entre fatores como o custo, energia e tamanho. Os diversos avanços nesta tecnologia estão a permitir torna-la mais robusta e diversificada, permitindo aumentar o leque de escolhas através do seu desenvolvimento, proporcionando uma melhor adaptação das baterias tanto para os robôs móveis como para todas as restantes plataformas alimentadas a baterias (Morris and Tosunoglu, 2012; Bukhari et al., 2015).

2.3 Estação de carregamento e ancoragem

De forma a ser possível manter a plataforma robótica num trabalho de regime continuo, é necessária uma fonte de energia que possibilite a recarga das baterias que a alimentam. Sendo que os métodos de recarga convencionais tais como o de ligar um dispositivo a uma tomada, requerem intervenção humana, não são aplicáveis

pois o intuito é que não exista qualquer tipo de intervenção por parte do operador. As estações, além de proporcionar um modo de recarga autónomo para as baterias também incluem sistemas que asseguram o acoplamento mecânico da plataforma robótica à estação, para que o contacto seja mantido e o carregamento seja bem sucedido durante o tempo necessário.

2.3.1 Análise de estações de carregamento e ancoragem

Os sistemas de carregamento e ancoragem variam consoante as necessidades do equipamento para o qual são desenhados e cada tipo de estação tenta contornar as adversidades às quais estas possam estar expostas.

Em Roh et al. (2008) é apresentado um modelo que ultrapassa o problema da adaptabilidade do sistema e da fraca tolerância ao erro, como se pode ver na figura 2.13. Este modelo incorpora um grupo de ímanes tanto na estação de carregamento como no modulo embutido na plataforma robótica fazendo com que a força magnética gerada entre ambos garanta uma acoplagem robusta e com compensação do erro. O facto do modulo de acoplamento presente na estação ser um modulo com mobilidade, permitindo um deslocamento horizontal, possibilita o acompanhamento do robô independentemente da forma como se dirige para a estação.

Figura 2.13 – Exemplo de acoplagem, adaptado de Roh et al. (2008)

Uma outra forma de efetuar o carregamento das baterias proposta por Wu et al. (2009), é desenvolvida tendo em conta o tempo de carga como um fator limitante

neste processo, pois todos os robôs necessitam de um certo tempo para carregar completamente as suas baterias. Neste método, esse tempo de carregamento é eliminado quase por completo. Ao invés do robô ficar acoplado na estação à espera que as suas baterias carreguem, procede-se à troca de uma bateria parcialmente gasta por outra completamente carregada, sendo isto feito em poucos segundos. Havendo a mudança de bateria, o robô pode retornar à sua tarefa principal de uma forma mais rápida.

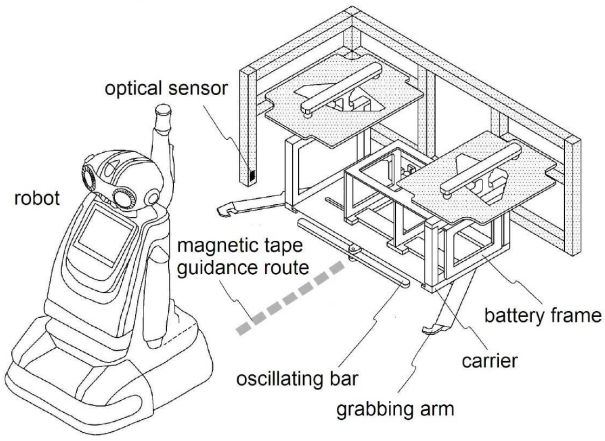

Figura 2.14 – Esquema geral da estação de carga, Wu et al. (2009).

Figura 2.15 – Estação de carga, Wu et al. (2009).

Na figura 2.16 demonstra-se a solução proposta por Cassinis et al., que se baseia numa simples estrutura de madeira, com um lado aberto para permitir a entrada do robô. A estrutura da estação contem duas lâmpadas que servem de marcadores

visuais para que o sistema de navegação seja capaz de estimar a sua posição face à estação de carga. No seu interior existem quatro encaixes, dispostos de forma a que o robô, figura 2.17, seja capaz de realizar a acoplagem e assim carregar as suas baterias, evitando um curto-circuito. Em ambos os lados da caixa existe um sistema composto por uma célula fotoelétrica e um sinalizador, que permitirá saber quando o robô se encontra presente ou não no processo de carga.

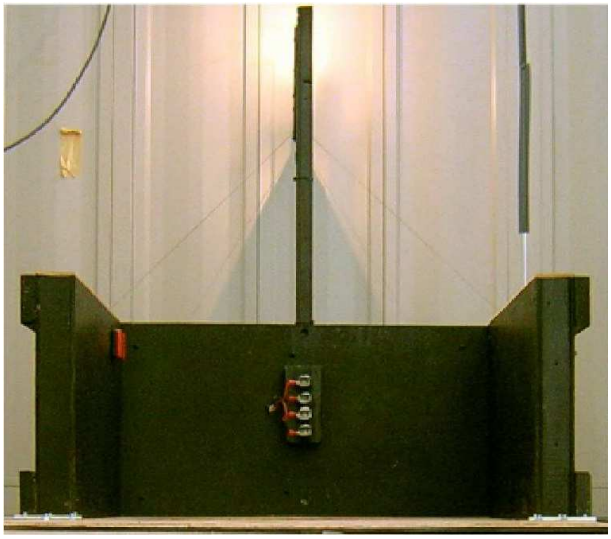

Figura 2.16 – Estação de carga, Cassinis et al..

Figura 2.17 – Barras de contacto na frente do robô, Cassinis et al..

Kim et al. (2005) propõe um sistema de *docking* composto pelos mecanismos de orientação e de acoplagem, em que a maioria deste sistema sistema está embutido na estação, com exceção dos sensores de infra-vermelhos e os controladores. O

mecanismo de orientação é composto por emissores de infra-vermelhos localizado na estação enquanto que os recetores estão localizados no robô, figura 2.18, permitindo que quando o robô se encontre dentro do limite dos sensores se dirija para a estação para proceder à carga. O mecanismo de acoplagem foi desenhado de forma a não existirem variações no processo de carga. Este mecanismo de acoplagem é composto por uma espécie de pinça, figura 2.18, não precisando de quaisquer tipo de sensores ou de dispositivos eletrónicos para controlar o seu mecanismo, pois é operado apenas pela força gerada pelo robô.

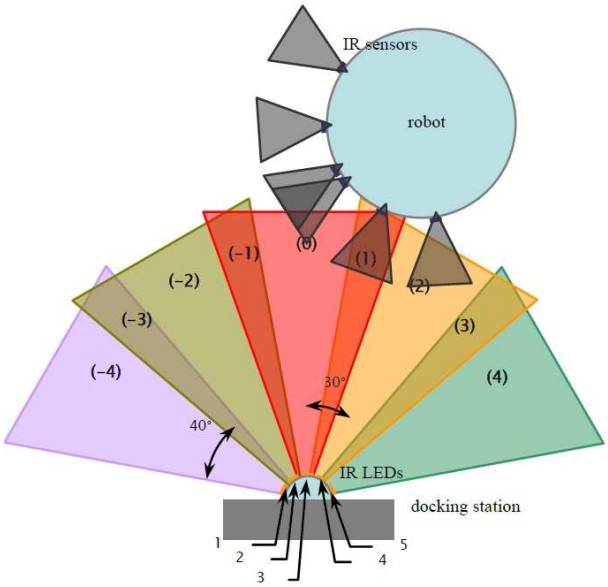

Figura 2.18 – Localização dos sensores IR e seu alcance, Kim et al. (2005).

Zeybek and Chang (2014) propõe o uso de estações de carga de fácil conexão, recorrendo ao de nós de redes tolerantes a atraso (DTN) capazes de comunicar com os veículos através do protocolo ZigBee, onde as estações periodicamente enviam as suas coordenadas GPS e dados informativos necessários. A estação usada para este protótipo, figura 2.20, tem uma forma cilíndrica onde à sua superfície foram colocadas horizontalmente duas fitas de cobre que contêm a tensão necessária para ativar o módulo de carga presente no robô. Como se pode ver na figura 2.21, duas fitas de cobre espaçadas de forma igual à da estação de carga, posicionadas na sua

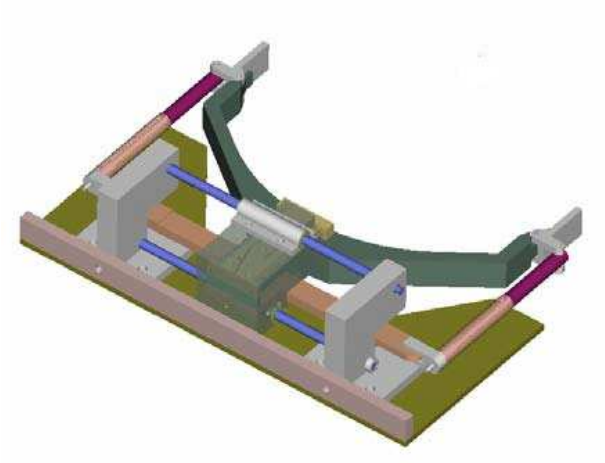

Figura 2.19 – Mecanismo de acoplagem, Kim et al. (2005).

parte frontal servem de contacto para que quando a plataforma esteja alinhada seja possível a transferência de energia.

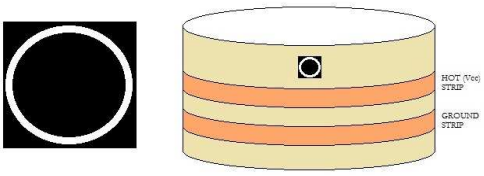

Figura 2.20 – Estação de ancoragem, Zeybek and Chang (2014).

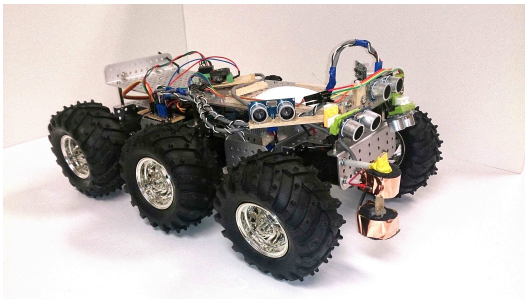

Figura 2.21 – Plataforma robótica, Zeybek and Chang (2014).

Luo et al. (2005) propõe uma estação com um dispositivo de recarga automática com um mecanismo que possibilite a acoplagem do robô à estação. A estação é composta por dois conjuntos de pinos como se pode ver na figura 2.24. Um destes conjuntos está situado a meio da estrutura da estação de carga, sendo que este tem a função de carregar as baterias que alimentam o computador e os sensores, tendo capacidade de fornecer uma tensão de 12 V(DC) e corrente máxima de 30 A. O outro conjunto está situado na base da estrutura, que tem como finalidade carregar as baterias dos motores, fornecendo 36 V(DC) e uma corrente máxima de 15 A, sendo que cada conjunto da estação é compatível com as entradas disponíveis no

robô. Os pinos de carga referidos anteriormente possuem um conjunto de molas que permite alguma mobilidade para corrigir alguns pequenos erros que possam surgir no processo de acoplagem. Quando o robô não se encontra na estação os pinos irão manter a configuração apresentada na figura 2.22, sendo que podem assumir outras posições durante o processo de carga (figura 2.23), de modo a ajustar a posição para que o contacto entre o robô e a estação seja bem sucedido. O dispositivo de recarga automática presente na estação permite detetar a presença do robô na plataforma e 30 segundos depois está pronto para começar o processo de carga definido para as baterias.

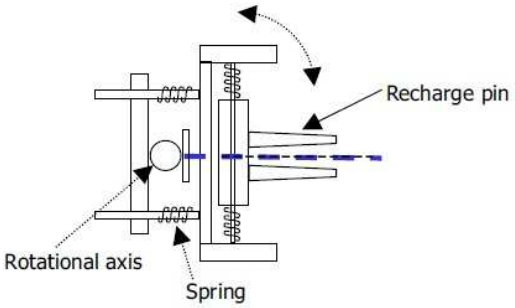

Figura 2.22 – Posição normal do mecanismo de acoplagem na estação, Luo et al. (2005).

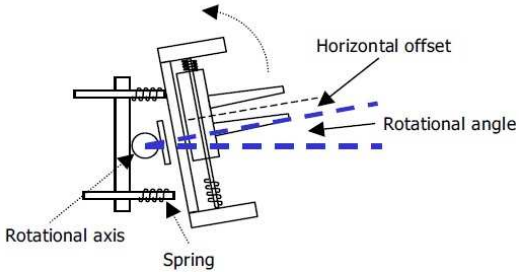

Figura 2.23 – Posição possível do mecanismo de acoplagem na estação, Luo et al. (2005).

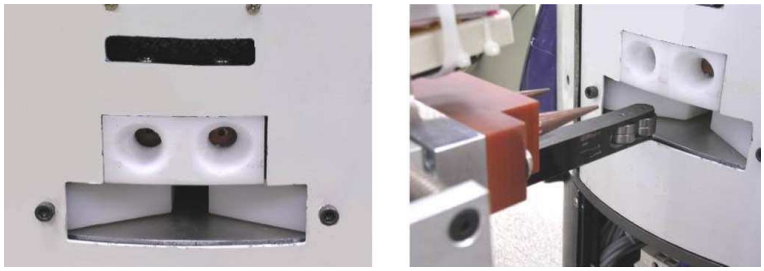

Figura 2.24 – Mecanismo de acoplagem no robô (esquerda), Mecanismo de acoplagem na estação (direita), Luo et al. (2005).

Para um pequeno robô de rega de plantas como referido em Chris and Schur's (2015), foi construída uma estação sólida e robusta (figura 2.25), composta um carregador de baterias, um sensor de infra-vermelhos para servir de orientação para o sistema

de navegação do robô e duas placas de cobre ligadas ao carregador de baterias que servirão de interface física entre o robô e a estação, como se pode ver na figura 2.26. Quando o robô se encontra em contato com as placas de cobre da estação uma tensão é detetada por parte da plataforma, fazendo com que este não avance mais. De forma a garantir a segurança do processo de carga, um interruptor que permite desligar por completo a alimentação do robô é acionado sempre que, a plaforma não detete essa tensão e continue a dirigir-se no sentido da estação sem parar.

Em Marostica et al. (2014), foi desenvolvida uma estação de carreamento wireless em que o robô usa uma datamatrix tag, lida através de uma câmara RGB de forma a encontrar o melhor trajeto para chegar ao local de carregamento. Quando o robô se encontra a 50 cm da datamatrix tag fica imóvel, posicionando-se em cima da bobine primária da estação, figura 2.27, quando se sobrepõe a esta bobine inicia a transferência de energia. Neste caso o robô contém um carregador interno para carregar as suas baterias.

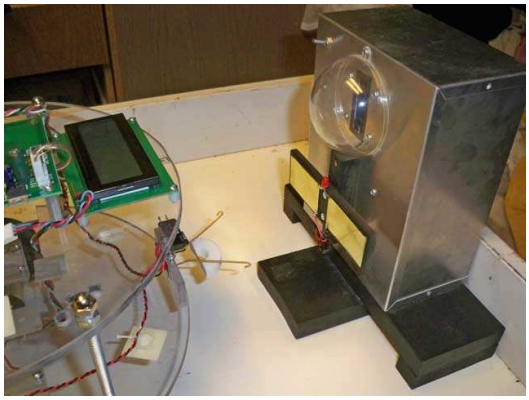

Figura 2.25 – Estação de carga, Chris and Schur's (2015).

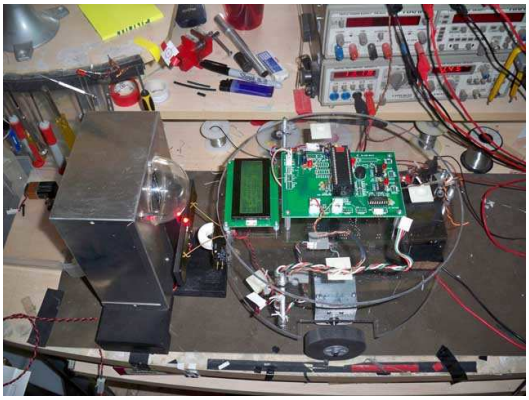

Figura 2.26 – Robô em modo de carga, Chris and Schur's (2015).

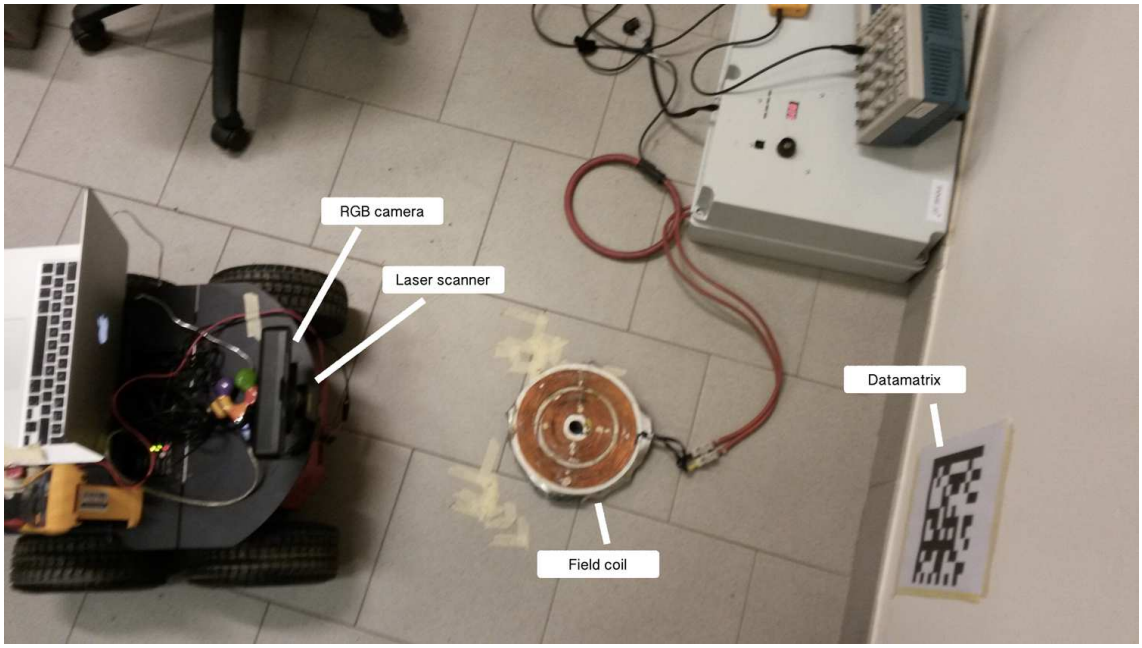

Figura 2.27 – Configuração geral do sistema, Marostica et al. (2014).

3 Gestão de energia

Hoje em dia, em sistemas alimentados a baterias procura-se otimizar ao máximo a durabilidade das mesmas, sendo que para tal existem diversas formas de o concretizar, quer através da manipulação da trajetória da plataforma robótica, quer através da incorporação de sistemas de carga mais completos. Neste capítulo serão apresentados os principais constituintes de um sistema de gestão de energia, a sua importância e alguns casos de estudo.

3.1 Sistema de gestão energética

Num veículo elétrico, a sua única fonte de energia são baterias sendo por isso necessário o máximo cuidado com as mesmas. Para tal existem sistemas que são desenvolvidos para este propósito, de forma a não existirem falhas, má utilização das baterias, do sistema ou o próprio esgotamento das mesmas. Os sistemas de gestão energética têm a capacidade de controlar múltiplas saídas, gerar tensões distintas, desligar ou ligar cargas e monitorizar os parâmetros base das baterias, como a sua tensão, corrente e temperatura. Através da leitura destes parâmetros, e juntamente com as outras funções, é possível criar rotinas com capacidade de otimizar da melhor

forma o processo de carga e descarga e proteção do sistema. Na figura 3.1 apresenta-se uma visão geral de um sistema de gestão energética.

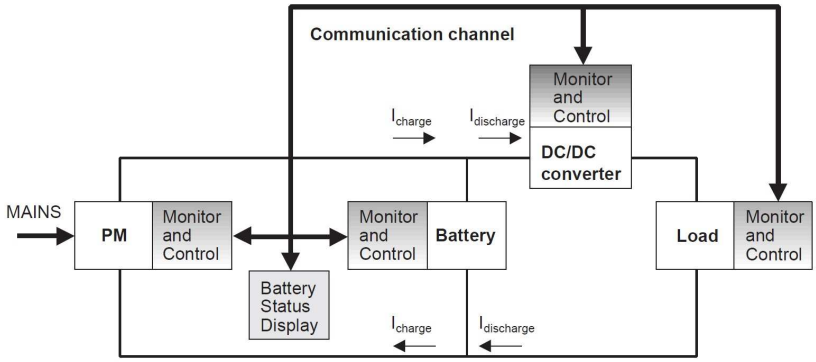

Figura 3.1 – Visão geral de um sistema de gestão energética, adaptado de Bergveld (2001).

3.2 Elementos de um sistema de gestão energética

Seguidamente serão apresentados os principais constituintes de um sistema de gestão energética.

3.2.1 Carregador de baterias

O carregador de baterias, ou Power Module (PM), tem a capacidade de transformar a energia elétrica disponível, podendo esta ser proveniente de fontes como baterias de carros ou células fotovoltaicas, em energia que pode ser usada para carregar as baterias da plataforma em causa. Este elemento tanto pode estar embutido na plataforma para a qual se destina ou então pode ser externo à mesma (Bergveld, 2001), possibilitando assim uma maior adaptabilidade dependendo do sistema.

Técnicas de carga de baterias

O ato de carregar uma bateria hoje em dia parece ser banal, dada a quantidade de dispositivos elétricos existentes que fazem parte do nosso dia a dia. Mas o processo

de carga de uma bateria é sempre um aspecto em que todo o cuidado é pouco pois se não for realizado da forma adequada pode diminuir a sua vida útil ou danificar por completo a bateria (de Sousa, 2013). Existem diversos modos de carga dependo da química das baterias. No presente caso como as baterias usadas para a alimentação da plataforma em estudo são de NiMH, apenas serão apresentados as técnicas de carga mais usadas para este tipo de química, podendo alguns estes métodos também ser usados para outros tipos de químicas. De forma a ser possível obter uma bateria completamente carregada, na maioria dos casos é necessário carregar a mesma com mais de 100% da sua capacidade, pois parte da energia aplicada é perdida em reações secundarias (Bergveld, 2001).

- ***Low-Rate charging*:** Normalmente usado em carregadores bastante simples que operam a uma taxa de carga de cerca de 0,1 C. O algoritmo de carga apenas se baseia num temporizador e ao fim de 14-16 horas, este algoritmo atinge o seu limite permitindo assim obter uma bateria completamente carregada. Após a carga completa da bateria qualquer tipo de carregamento apenas irá resultar num aumento da pressão e temperatura interna da bateria reduzindo a sua fiabilidade (Venis).

- ***Quick charging*:** Este método é bastante semelhante ao *Low-Rate charging* acima descrito, pois também faz uso de um temporizador para terminar a carga, excepto a taxa de carga que é superior (cerca de 0,3 C), levando a uma redução do tempo de carga para cerca de 4 a 5 horas, para uma bateria completamente descarregada (PowerStream, 2016).

- ***Fast charging*:** Com uma taxa de carga até 1 C, a carga completa é atingida em cerca de 1 a 1,5 horas. Neste modo de carga existe a necessidade de utilizar um sistema de monitorização, pois o tempo de carga encontra-se dependente do valor do SOC (*State of Charge*) e também da percentagem de sobrecarga utilizada (de Sousa, 2013; PowerStream, 2016).

- ***Top-off charging*:** É um método que visa ser utilizado logo após o Fast charging, pois desta forma não seria possível carregar a bateria até 100%. A taxa de carga aplicada neste método é bastante reduzida, 0,1 C, como no caso de *Low-rate charging*. Através deste método assegura-se que todas as células ficam carregadas antes do fim do algoritmo, que tem uma duração de cerca de 30-60 minutos (Bergveld, 2001).

- ***Trickle charging*:** Uma taxa de carga relativamente reduzida (entre 0,03 C até 0,05 C) é aplicada de modo a compensar a taxa de auto-descarga da bateria mantendo assim a carga perto da sua capacidade máxima, sendo que este método não possui qualquer tempo limite de carga (Bergveld, 2001; Venis).

- ***Reflex* ou *"burp" charging*:** De modo a reduzir o tempo de carga e a aumentar o tempo de vida útil da bateria pode considerar-se o uso deste método. Este método consiste em enviar impulsos de corrente seguidos de períodos com corrente nula. Como é possível verificar na figura 3.2, um período de descanso é adicionado na passagem do período de descarga para o período de carga. A alternância entre estes períodos permite que a bateria não esteja sempre sujeita a um processo de carga contínuo, reduzindo a temperatura e estabilizando as reações químicas internas (Fan et al., 2011; Tsai et al., 2015).

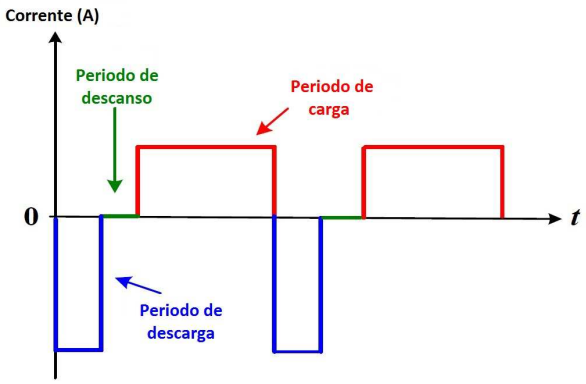

Figura 3.2 – Carga e descarga Reflex charing, adaptado de Tsai et al. (2015).

3.2.2 Conversores DC/DC

Um conversor DC/DC é um circuito que recebe uma tensão de entrada e tem a capacidade de aumentar ou diminuir o seu nível, resultando num valor de tensão diferente à saída, (de Sousa Torres, 2013). O tipo de conversão usada pode ser eletrónica, linear, comutada, magnética e capacitiva (Tushar, 2011). São bastante importantes pois os dispositivos eletrónicos contêm diversos circuitos que requerem tensões distintas e apenas uma fonte de energia, nomeadamente uma bateria (Chauhan, 2014). Um regulador linear é usado com o intuito de manter uma tensão constante, sendo que a resistência dinâmica do regulador varia consoante a carga que lhe é aplicada mantendo a tensão de saída num nível igual ao estipulado. A diferença entre a tensão de entrada e a tensão regulada é dissipada na forma de calor, sendo este o maior inconveniente dos reguladores lineares, pois a quantidade de calor gerada é bastante considerável. Num regulador comutado, um dispositivo ligado em série passa rapidamente de um estado ligado para o estado desligado, sendo que o ciclo de trabalho da transição de estado define a quantidade de carga que é transferida. Estes reguladores têm uma eficiência maior quando comparados com os reguladores lineares, pois o elemento ligado ou se encontra a conduzir completamente ou completamente desligado levando a uma dissipação de calor muito reduzida. Também têm a capacidade de gerar tensões maiores que a entrada e com polaridade inversa ao contrario dos reguladores lineares (Solutions, 2016). Apesar de existirem diversos tipos de conversores DC/DC, seguidamente, apenas serão mencionados os mais usados em dispositivos móveis/portáteis, sendo os conversores não isolados os mais utilizados (Mousumi, 2011).

- **Conversor *Step-Down*:**

  O conversor *Step-Down*, é um conversor usado para diminuir a tensão, caracterizado por ter entrada em tensão e saída em corrente. Uma da das grandes vantagens deste circuito é o facto de ser de baixo custo e de construção bastante simples (Clóvis Antônio Petry, 2001).

- **Conversor *Step-Up Boost*:**

  No conversor *Step-Up*, é possível elevar a tensão, tendo uma entrada em corrente e saída em tensão (Clóvis Antônio Petry, 2001).

- **Conversor *Buck-Boost*:**

  O conversor *Buck-Boost*, tanto pode ser usado para aumentar ou diminuir a tensão, sendo a entrada e saída em tensão (Clóvis Antônio Petry, 2001).

- **Conversor *Cuk*:**

  Este tipo de conversor tem basicamente a mesma função que um conversor *Buck-Boost*, mas tem a vantagem de ter as correntes de entrada e saída filtradas, coisa que no conversor anterior não acontecia (de Sousa Torres, 2013).

3.2.3 A bateria

A bateria tem como principal funcionalidade armazenar energia, podendo esta ser obtida pela rede elétrica ou por outra fonte de energia externa, e fornecer essa mesma energia armazenada a um sistema quando necessário. A informação sobre o tipo de químicas de baterias existentes e suas características é dada na secção 2.2 do presente documento.

3.2.4 As cargas elétricas do sistema

A carga do sistema tem capacidade de converter a energia elétrica, podendo ser fornecida por uma bateria, em energia que irá servir para a execução de uma determinada tarefa, seja ela mecânica, sonora, luminosa ou calorifica (Valer Pop, 2008). No que toca à carga para o desenvolvimento de um sistema de gestão energética é necessário ter em consideração aspetos como as diferentes tensões de alimentação, consumo dos constituintes do sistema e o uso de componentes existentes para realizar funções de gestão. Em relação aos consumos, é necessário saber quais

os seguintes constituintes e dimensionar de forma correta um sistema de alimentação capaz de corresponder as necessidades sem provocar quaisquer tipo de problemas. A existência de um microcontrolador ou um micro-processador irá possibilitar a implementação de diversas funções de monitorização e controlo que serão a base principal do sistema de gestão energética (Bergveld, 2001).

3.3 Análise de sistemas de gestão energética

Na secção anterior foi abordada a necessidade de incorporar um sistema de gestão energética e quais os seus componentes principais. Qualquer tipo de plataforma ou dispositivo que seja alimentado a baterias, para que seja possível aumentar a disponibilidade energética e preservar o bom estado das baterias, um bom sistema de gestão é algo extremamente valioso. Algumas empresas já oferecem soluções vocacionadas para a gestão energética, como podemos ver em (REC; Instruments, 2015; Torres, 2010; Systems).

Dentro deste campo, alguns trabalhos têm vindo a ser desenvolvidos mas vocacionados para plataformas robóticas. Em Mathews and Gopi (2014) projetou-se uma plataforma capaz de carregar as suas baterias usando um painel solar acoplado à plataforma. Um microcontrolador PIC (Microchip, USA) está encarregue de todo o sistema de gestão energética desta plataforma sendo esta composta por duas baterias de chumbo que funcionam de forma alternada, enquanto uma está em modo de carga através do painel solar a outra bateria alimenta o sistema. Quando a bateria, que está a alimentar a sua carga, chega a valore mínimos de tensão, passa a ser carregada pelo painel sendo que a outra bateria alimenta passa estar a alimentar o sistema, figura 3.3. Com este modo de carga eliminam-se as eventuais paragens da plataforma para cargas sucessivas, mas com uma contrapartida pois as baterias de chumbo além de terem dimensões relativamente grandes para uma plataforma de pequeno porte também são um pouco pesadas fazendo com que o robô necessite de um esforço. Para que a bateria seja carregada com sucesso, o painel solar necessita de estar constantemente direcionado para a fonte de luz possível, pelo que abordagem se

utiliza um conjunto LDR (*Light Dependent Resistor*) possibilitando a orientação do painel para a melhor fonte de luz.

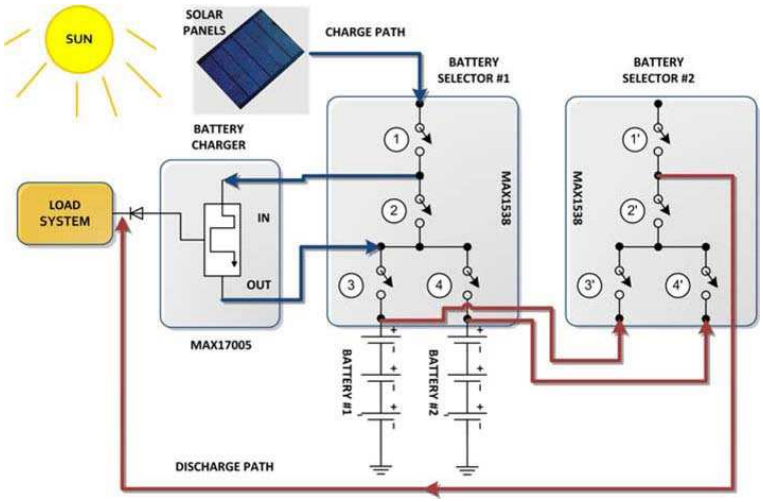

Figura 3.3 – Diagrama de seleção e carga das baterias, Mathews and Gopi (2014).

Pinto et al. (2015) propõe um sistema de gestão energética para plataformas robóticas que tenham como base o ROS (*Robot Operative System*), sendo que cada vez mais este sistema operativo está presente em inúmeras plataformas robóticas. O sistema de gestão tem como base principal uma *Power Management Board* (PMB), figura 3.4, que irá supervisionar e controlar as funções mais críticas do robô em caso de diminuição da energia disponível ou de impossibilidade de recorrer a alguma estação de carregamento. A PMB tem capacidade de fornecer todas a tensões necessárias para os diversos subsistemas da plataforma, através do uso de conversores DC/DC onde cada conversor e cada saída é monitorizada continuamente. Como a PMB serve de interface entre o nível mais elevado do software e todos os atuadores, permite controlar tudo em caso de a bateria chegar a um nível bastante baixo, ativando o modo de poupança para evitar quaisquer possíveis problemas. Um conjunto de LED's e displays está incorporado de forma ser possível fazer uma leitura rápida de qualquer tipo de problema que tenha acontecido, por exemplo uma tensão errada ou um fusível fundido. O facto de esta placa incorporar bastantes funcionalidades permite vantagens como a capacidade de a plataforma operar em baixo consumo, redução da cablagem, sistema mais compacto e fácil adaptabilidade.

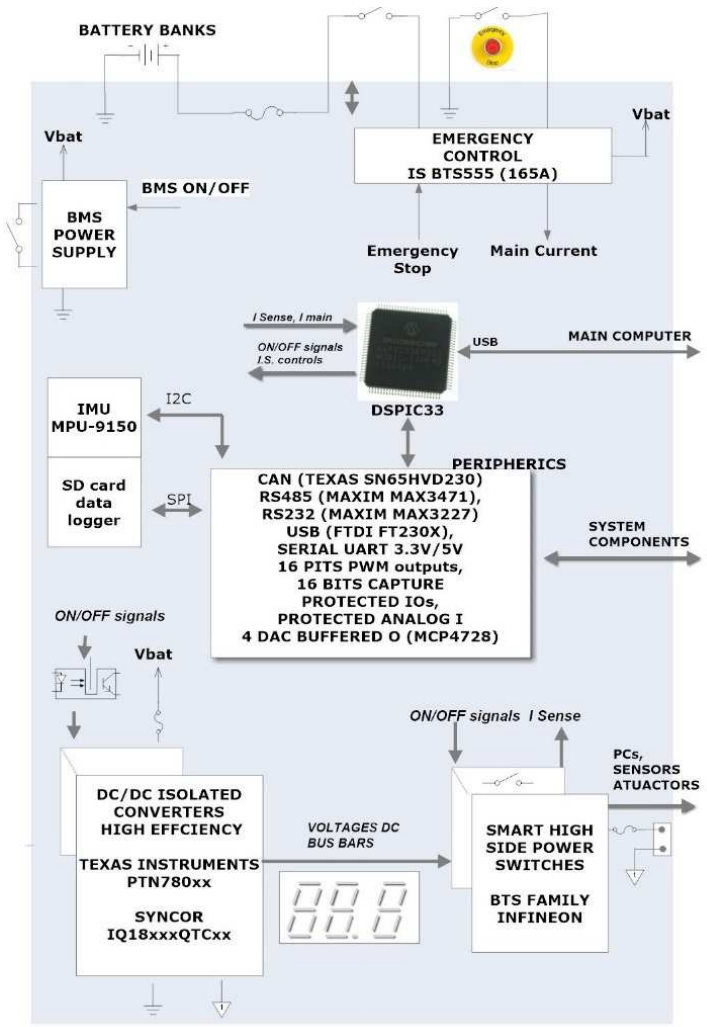

Figura 3.4 – Arquitectura da placa de gestão, adaptado de Pinto et al. (2015).

Jasmine (figura 3.5), é uma outra plataforma que incorpora um pequeno e simples módulo de gestão de baterias, um robô de dimensões bastante reduzidas construído para trabalhar em conjunto com outros robôs, ou seja um enxame de robôs. Kornienko (2005) propõe um módulo de gestão energética, pois carregar manualmente um conjunto considerável de mini-robôs não é tarefa fácil. Então o *Smart Power Module*, permite ao sistema saber o estado da sua bateria e caso esta se encontre num nível baixo decidir desligar o robô de forma segura ou preferencialmente encontrar um local onde possa carregar a sua bateria mantendo-se ligado. Quando o robô se encontrar em modo de carga também será possível monitorizar o seu processo de carga sabendo assim quando a bateria se encontra a 100% fazendo com que o robô possa voltar autonomamente às suas tarefas.

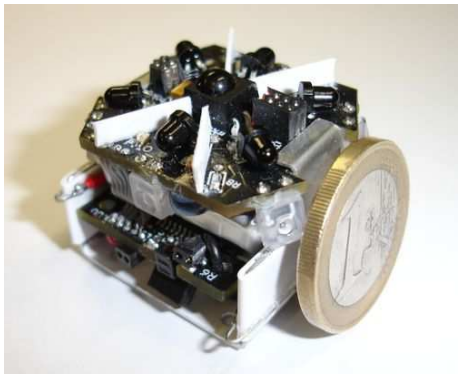

Figura 3.5 – Mini robô Jasmine, Kornienko (2005).

O AMiRo é um robô de pequenas dimensões usado para pesquisa e educação, contendo todos os requisitos para a participação na liga de futebol robótico, a AMiRESoT. Ulrich Rückert (2012), descreve o sistema deste pequeno robô, que apesar das suas dimensões, apresenta uma elevada complexidade. Este robô é alimentado com duas baterias de lítio em série, com uma tensão nominal de 7,4 V e uma capacidade de 1950 mAh. O módulo de gestão é composto por dois medidores que fornecem a informação necessária do estado das baterias, como a capacidade da bateria, o estado da carga (SOC) e a tensão atual. Também é composto por dois módulos de carga capazes de fornecer 1,2 A a cada bateria de lítio. Três conversores síncronos *step-down* são usados para gerar as tensões de 5 V, 3,3 V e 1,8 V com

uma corrente máxima de 1,5 A. Estes conversores podem ser desligados de forma a poupar energia caso seja necessário. Um conversor *step-down* alimenta apenas o microcontrolador e alguns componentes essenciais para manter o módulo de gestão sempre em funcionamento. Um conjunto de oito LED mostra de uma forma visual o estado do sistema, para ser possível visualizar mais facilmente algum tipo de anomalia.

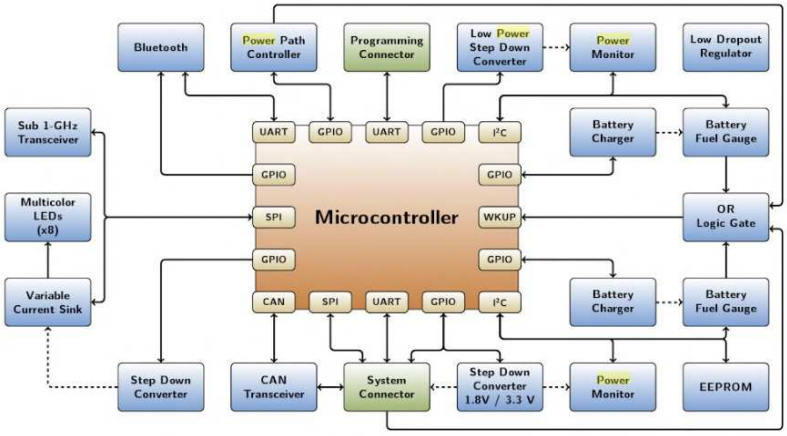

Figura 3.6 – Arquitectura do módulo de gestão, adaptado de Ulrich Rückert (2012).

A maioria dos estudos relativos a este tema, apenas foca a redução do consumo energético através do planeamento de trajetórias por exemplo, (Wang et al., 2008; Lu et al., 2014; Kaplan et al., 2015, 2016). Mei et al. (2005) usou uma abordagem para tentar reduzir consumos da plataforma Pioneer 3DX, através do estudo do consumo energético dos seus componentes. Este tipo de abordagem complementada com a abordagem, do planeamento de trajetórias, poderá trazer um grande aumento na redução do consumo das baterias fazendo com que haja uma melhor utilização das mesmas. Este robô pesa cerca de 9 kg com capacidade de carga de cerca de 22,5 kg, contem duas baterias: uma de chumbo para alimentar o robô e outra de Li-ion para alimentar o computador de controlo da plataforma. Também propõe alguns exemplos para um aumento da eficiência energética através do uso de algoritmos de DPM (*Dynamic Power Management*) e RTS (*Real-Time Scheduling*) tais como: desligar componentes que não sejam vitais para uma determinada tarefa, redução

da operação da frequência do processador do microcontrolador ou cooperação entre diversos robôs.

3.4 Resumo

Perante o visto anteriormente, julga-se importante propor um prototipo de um sistema de gestão energética que tenha em consideração os apetos descritos. Neste desenvolvimento, julga-se igualmente importante incorporar conceitos de normalização de procedimentos com vista a aumentar a operacionalidade das plataformas robóticas, pelo que o capítulo seguinte se reserva à aprentação da norma ISO 11783, conhecida por ISOBUS.

4 A norma ISOBUS

O facto de existir uma norma que permite a padronização dos sistemas das máquinas agrícolas, leva a que seja pertinente mencioná-la neste trabalho e ver de que forma uma plataforma de gestão energética a poderia adoptar.

4.1 Introdução

Na agricultura de precisão é crescente a utilização de equipamentos eletrónicos para os mais vantajosos fins. Inicialmente, a diversidade de fabricantes e a falta de um padrão de comunicação, geraram um grande problema de incompatibilidade entre as alfaias agrícolas, sendo que as informações registadas em tratores e alfaias agrícolas não podiam ser partilhadas. Além disso, cada equipamento necessitava de uma interface específica para visualização de dados e ações de controlo, levando assim a um aumento excessivo de cablagem e dispositivos de visualização, como pode ser visto nas figuras 4.1 e 4.2.

Tendo em conta esta problemática, em meados de 1980, na Alemanha iniciou-se o desenvolvimento de uma rede de comunicação entre tratores e as suas alfaias, aparecendo assim a norma DIN 9684, sendo as suas principais partes constituintes

Figura 4.1 – Exemplo da cabine de um trator sem ISOBUS, AgTalk (2009).

Figura 4.2 – Exemplo da cabine de um trator sem ISOBUS, AgTalk (2009).

terminadas no final de 1991. Ao mesmo tempo, nos Estados Unidos, aparece a norma SAE J1936 para autocarros e camiões. Ambas tinham o propósito de tornar padrão as comunicações baseadas em CAN (Auat Cheein and Carelli, 2013; Student; Johansson et al., 2005; Godoy et al., 2010), mas a falta de concordância entre estas normas tornava-as completamente incompatíveis (Oksanen et al., 2005; Henninger, 2007).

4.2 Norma ISO 11783

Desde 1992 a ISO (*International Organization for Standardization*), começou a desenvolver um novo padrão de comunicação para máquinas agrícolas, a ISO 11783, conhecida por ISOBUS. Este padrão especifica a rede de controlo e comunicações para máquinas agrícolas, tendo em conta várias partes das normas anteriormente descritas, DIN 9684 e SAE J1939. A camada física (*physical layer*) e a camada de dados (*data layer*) da ISO 11783 são baseadas no protocolo CAN 2.0b com identificadores de 29-bit. A aplicação desta norma vem padronizar a troca de dados entre equipamentos e permite aos fabricantes de módulos eletrónicos de tratores e acessórios agrícolas a simplificação do hardware. Como já mencionado anteriormente a norma ISOBUS visa uma compatibilidade entre todas as alfaias instaladas na rede de comunicação do trator. Esta encontra-se dividida em 14 partes, onde cada

parte especifica os vários componentes necessários à implementação total da mesma (de Almeida Guimarães, 2003; de Sousa, 2002; Pereira, 2008).

Parte 1: Padrão geral para comunicação (*General Standard for Mobile Data Communication*)

São apresentadas as definições base e caracteriza os requisitos fundamentais gerais necessários para uma rede ISOBUS. Contém todos os termos e definições usados nas partes restantes.

Parte 2: Camada física (*Physical Layer*)

A camada física descreve as definições do hardware, sendo esta baseada no protocolo CAN 2.0b com uma taxa de 250 kbps para uma comunicação série. O CAN 2.0b define também o barramento composto por quatro linhas: dois condutores, CAN High (CAN_H) e CAN Low (CAN_L) e dois conectores elétricos, *Terminanting Bias Circuit Power* (TBC_PWR) e *Terminating Bias Circuit Ground* (TBC_RTN). A ligação entre o trator e a alfaia realizada pelo *Implement Bus Breakway Conector* (IBBC), figura 4.3, proporcionando assim uma alfaia agrícola a conexão ao barramento CAN através de um único conector *Implement Breakway Conector* (IBC), presente na figura 4.4, que liga ao IBBC localizado na parte traseira do trator.

Figura 4.3 – Terminal presente na traseira do trator (IBBC), Lecocq (2014).

Existe também a necessidade do uso de uma terminação localizada nos extremos de cada barramento, *Terminating Bias Circuit* (TBC), tanto no barramento do trator

Figura 4.4 – Conector ISOBUS (IBC), Powell.

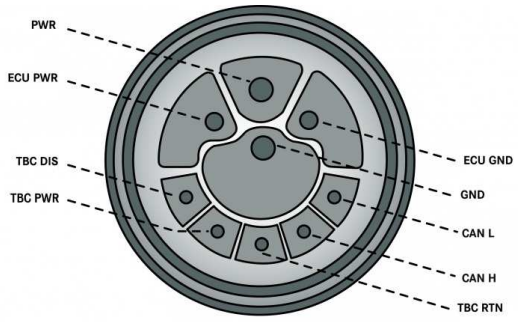

Figura 4.5 – Designação das linhas presentes no IBC, adptado de von Ralf Moebus (2012).

no da alfaia, tendo a TBC como função fornecer uma referência elétrica entre os pinos CAN_H e CAN_L.

Parte 3: Camada de dados (*Data Link Layer*)

De forma a garantir a compatibilidade entre as aplicações, o formato das mensagens do sistema foram conciliadas com a norma SAE J1939, que adota o CAN 2.0b. Este formato define um identificador de 29 bits, sendo que identificador é formado por 6 campos: prioridade (3 bits), reservado (1 bit), página de dados (1 bit), formato do PDU (8 bits), PDU especifico (8 bits) e endereço de origem (8 bits), figura 4.6. Ou seja permite que uma ECU envie uma mensagem diretamente para outra ECU.

Parte 4: Camada de Rede (*Network Layer*)

Nesta camada são descritos os serviços e requisitos necessários para troca de dados entre os diferentes segmentos da rede, ou seja, a comunicação entre ECU em diferentes secções da rede. Nesta secção são descritas as ECU com uma característica específica pois são unidades de interconexão de rede, *Network Interconection Unit* (NIU). As unidades de interconexão de rede têm a função de filtragem, encaminhamento, tradução de endereços, remontagem de parâmetros no campo de dados das mensagens e gestão de base de dados. As NIU podem apresentar cinco

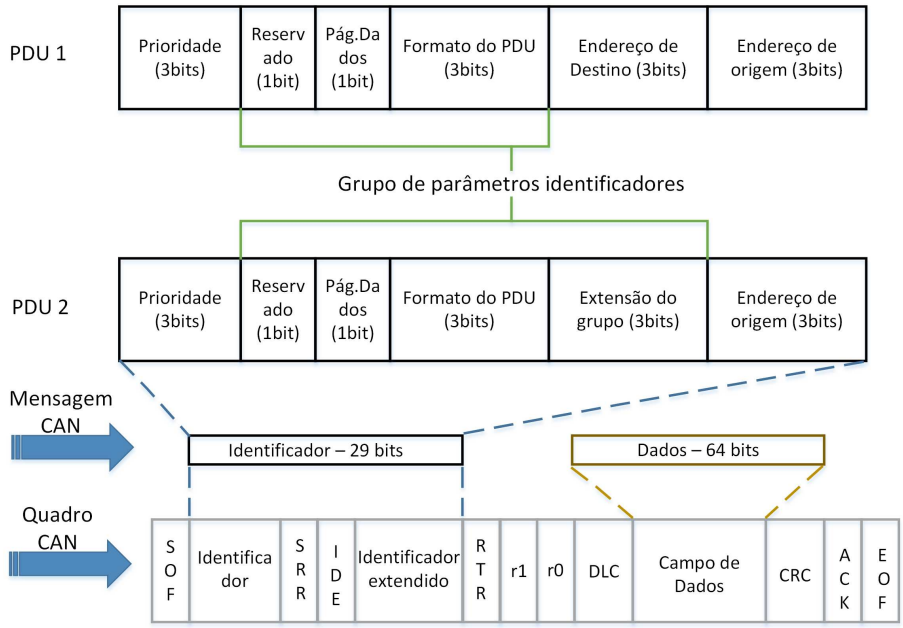

Figura 4.6 – Estrutura do identificador ISOBUS, adaptado de Pereira (2008).

tipologias numa rede ISOBUS, podendo ser: repetidor, ponte, *router*, *gateway* e TECU (*Tractor Electronic Control Unit*). Num sistema trator-alfaia apenas existe uma TECU, pois esta tem a função de ligação entre o barramento do trator e o barramento da alfaia (TECU-ECU), desempenhando também todas as quatro funções acima descritas.

Parte 5: Camada de Gestão de Rede (*Network Management*)

Responsável pela gestão de endereços de origem das ECU. Com a associação destes endereços com a identificação funcional do dispositivo, os processos de conexão e inicialização das ECU permitem criar um identificador único para cada elemento da rede. A ECU tem de obter um endereço que a identifique na rede, para tal quatro formas distintas de configuração de endereços são descritas: ECU de endereço configurável, ECU de endereço não configurável, ECU de endereço configurável por comandos e ECU de endereço auto-configurável). As funcionalidades podem ser caracterizadas de três formas: ECU Padrão, ECU de diagnóstico ou desenvolvimento

e NIU, como descrita na Parte 4: Camada de Rede. A norma também define um de campo de dados NAME, composto por 64 bits divididos em vários campos, que ditam a função e o posicionamento de uma ECU na rede ISOBUS. Todas as ECU devem ter um NAME para obter um endereço na rede e poder descrever as suas características e funcionalidades a todas as outras ECU presentes na rede.

Parte 6: Terminal Virtual (*Virtual Terminal*)

A figura 4.7 mostra o sistema que serve interface ao utilizador de forma a ser possível o acesso a todas as funcionalidades do trator e da alfaia a ele acoplada. Este terminal encontra-se localizado na cabine do trator conectado ao barramento. Disponibiliza por norma um *touchscreen* onde são apresentadas todas as funcionalidades que podem ser usadas pelo operador, características físicas do dispositivo, definições, comportamentos, atualização de dados e alarmes. Como a norma apresenta uma definição específica para o VT, leva a que os fabricantes sigam à risca estes padrões, permitindo assim alcançar a compatibilidade entre diferentes fabricantes de VT e ECU dos diversos acessórios agrícolas.

Figura 4.7 – Virtual Terminal (VT), Uharvest.

Parte 7: Camada de mensagens de aplicação do implemento (*Implement Messages Application Layer*)

Define um conjunto de mensagens usadas entre tratores e alfaias, que podem implementar necessidades como controlo de funções entre ambos e informações do trator para a alfaia. Estas mensagens suportam informação como: data/hora, velocidade, distancia, navegação, alimentação, *Power Take-off* (PTO), processamento de dados, estado do acessório.

Parte 8: Definição de mensagens do veículo (*Power Train Messages*)

Aqui são definidas todas as mensagens para dados específicos de cada trator, sendo estas enviadas apenas no barramento do trator, separadamente do barramento do acessório. Podemos ter mensagens que nos indiquem informação sobre: regulação dos travões, combustível, velocidade do motor, torque, entre outros parâmetros.

Parte 9: ECU do trator (*Tractor ECU*)

A ECU do trator, normalmente descrita como TECU, funciona como gateway entre o barramento do trator e o barramento da alfaia, como é apresentado na figura 4.8. Cada TECU é classificada segundo uma classe num total de três, podendo elas ser: Classe 1, que fornece informações básicas do trator. Suporta a gestão de energia, armazenamento do idioma de parâmetros específicos e permite o controlo da iluminação do trator, ideal para adaptações de tratores antigos tornando-os compatíveis com ISOBUS; Classe 2 adiciona um conjunto novo de mensagens às usadas pela classe 1, tais como: hora e data, distancia, direção ou o estado das válvulas. Permitindo um controlo mais completo da alfaia; Classe 3 aceita comandos do barramento da alfaia, como por exemplo comandos de controlo da posição de engate, PTO. A TECU também é responsável por controlar a gestão de potência fornecida às alfaias, sendo esta fornecida pelos condutores PWR e ECU_PWR através do condutor IBC.

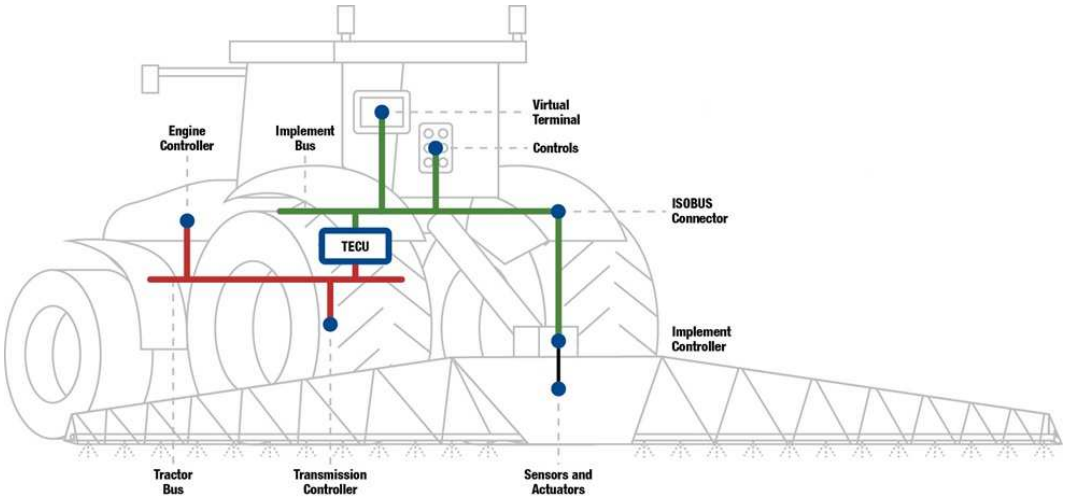

Figura 4.8 – Exemplo de uma rede ISOBUS e suas ligações, adaptado de Jefferson (2014).

Parte 10: Administração de tarefas e gestão de informação de troca de dados do sistema (*Task Controller and Management Information System Data Interchange*)

O gestor de tarefas (TC) é o responsável por gerir o controlo das tarefas definidas a ser realizadas no campo agrícola. O TC pode ser programado através de uma sequência de dados em formato XML, por norma pré-gravadas num cartão de memória que contem os comandos necessários para que o acessório consiga executar uma determinada tarefa, tais como aplicação de um determinado produto agrícola, limpeza do campo, entre outras. Os dados gerados para construir uma sequência de controlo que irá ser realizada no campo são preparadas anteriormente a partir da recolha de diversos dados de colheitas anteriores. Estas tarefas (tasks) são geradas a partir de um computador, *Farm Management Information System* (FMIS), que contem um software especifico para o efeito. Quando a tarefa se encontra no sistema, o operador usa o VT para escolher a tarefa destinada ao acessório em causa ou até cancelar se for esse o caso.

Parte 11: Dicionário de elementos de dados móveis (*Mobile Data Element Dictionary*)

O dicionário de dados é uma listagem de todos os objetos e seus elementos de dados. Um elemento de dados é uma unidade de informação, que consiste em atribuir o formato dos dados, número de identificação, limites, resolução e unidades. Esta listagem de dados está disponível em www.isobus.net.

Parte 12: Serviços de diagnóstico (*Diagnostics Services*)

A norma padroniza um sistema de diagnóstico da rede, em que são solicitadas a todas as ECU informações específicas. Estas informações permitem a um operador realizar o diagnóstico e determinar qual o possível problema que esta a gerar a anomalia, conseguindo assim proceder à correção da mesma.

Parte 13: Servidor de arquivos (*File Server*)

Tem como objetivo fornecer o armazenamento de arquivos para todos os controladores que estão ligados à rede via CAN. Também é especificado o formato geral das mensagens, o formato dos dados, controlo de transmissão de dados, estado e volume de dados. O servidor de arquivos pode ter o seu conteúdo manipulado por outros nós da rede caso isso seja necessário.

Parte 14: Funções automatizadas (*Automatic Functions*)

A última parte da norma referente às funções automatizadas tem em vista executar tarefas repetitivas no campo, aumentando o conforto, produtividade e diminuindo a suscetibilidade a erros. Esta opção apenas estará disponível como opção para o operador, não sendo obrigatória num sistema ISOBUS.

4.3 Uso da norma ISOBUS na gestão energética

Numa perspetiva ambiental, a tendência das máquinas agrícolas, num futuro muito próximo é deixarem de operar a diesel e passarem a ser movidas por motores elétricos (Lee et al., 2014). Para tal, um módulo de gestão energética torna-se um elemento essencial ao bom funcionamento das plataformas agrícolas. E como é necessário respeitar os *standards* implementados na industria agrícola e ser possível entrar dentro deste mercado competitivo é necessário desenvolver hardware e software compatível. Numa possível primeira fase de implementação deste sistema de gestão energética seria necessário mudar o modo de comunicação para CAN, usado pelo ISOBUS, permitindo aceder a todas as funcionalidades disponíveis para do gestor. Actualmente é possível tornar um Raspberry Pi compatível com a comunicação CAN através da incorporação do módulo PiCAN2 (Pang), tornando possível a comunicação com as ECUs. Além da integração do módulo no barramento CAN, também seria necessário desenvolver uma aplicação compatível com o VT, para que fosse possível visualizar todo o tipo de informação gerada e interação com as diversas funcionalidades. A grande empresa de maquinas agrícolas John Deere, já está a começar a disponibilizar algumas formas para que seja possível começar a desenvolver aplicações vocacionadas para o VT desenvolvido pela marca (Deere).

5 Protótipo e resultados

Neste capítulo é descrito a concepção de um protótipo de um sistema de gestão energética utilizar numa plataforma robótica e uma estação de ancoragem que irá promover o acoplamento entre um ponto fixo de recarga e a plataforma móvel.

5.1 Arquitectura do protótipo

Na figura 5.1 é apresentada a arquitetura do sistema proposto, sendo este composto, pelo menos, por dois módulos distintos, o módulo de monitorização, regulação e controlo e o módulo de carga das baterias, ambos desenvolvidos a partir de componentes de baixo custo. O módulo de carga das baterias é único no entanto o módulo de monitorização, regulação e controlo pode ser replicado de acordo com o tipo de gestão que se pretende fazer. Se for pretendido fazer uma monitorização e controlo individual de cada um dos componentes funcionais da plataforma robótica (motores, laser, GPS, IMU, etc) será necessário incluir um módulo destes para cada um deles. Se for pretendido fazer uma monitorização e controlo de conjuntos de componentes funcionais então apenas será necessário incluir um módulo destes para cada um desses conjuntos. Todo o sistema é controlado por um computador

numa placa (SBC - *Single Board Computer*) mais propriamente um Raspberry Pi, que irá tomar todas as decisões com base nos dados adquiridos. Esses dados são armazenados por forma a serem analisados mais tarde.

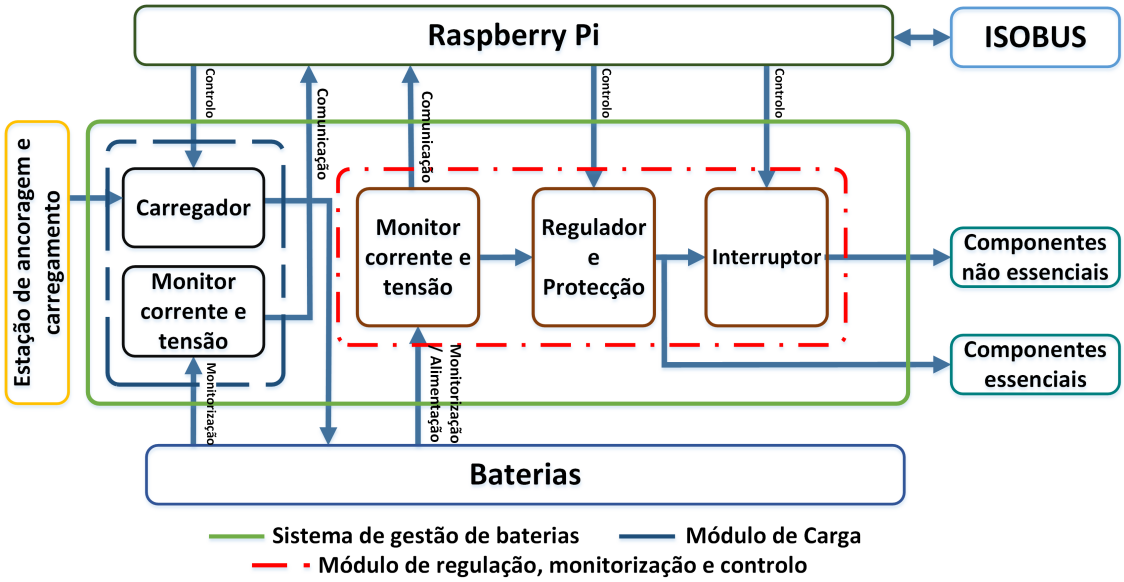

Figura 5.1 – Arquitectura do sistema proposto.

5.2 Sistema de monitorização

Para que a plataforma AGROB, figura 5.3, consiga estimar os seus níveis de bateria, saber que percentagem de bateria lhe resta e quando tem de a carregar, é necessário incorporar um sistema que faça a monitorização dos consumos do robô e o estado das baterias, fornecendo esta informação vital ao sistema de gestão. Para que o valor do ponto de vista da carga oferecida à bateria seja o mais fiável possível, considerou-se: motores, laser, GPS, IMU, micro-processadores, etc. Refletindo-se num aumento da eficácia da gestão da energia disponível.

Para a aquisição destes parâmetros foi usado um medidor de corrente e tensão (INA226, Texas Instruments), figura 5.2. Escolheu-se este circuito integrado pelas seguintes razões:

- Medição de valores de tensão, corrente e potência;
- Elevada precisão: 0.1 % Erro de ganho (Máx), 10 uV Offset (Max);
- 16 endereços configuráveis, possibilitando assim a sua expansão;
- Tensão de alimentação 2,7 V a 5,5 V;
- Interface de comunicação I^2C;
- Leituras de tensões até 36 V.

Este circuito permite monitorizar a tensão da bateria e a corrente consumida pela carga à qual está aplicado, possibilitando assim a monitorização de cada componente de forma individual. Como o circuito usa uma interface do tipo I^2C apenas será necessário configurar os diferentes endereços através dos pinos A0 e A1.

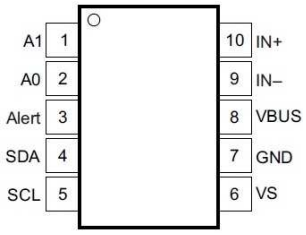

Figura 5.2 – INA226, Texas Instruments.

O INA226 possui três tipos de implementação, *High-Side* (Vin+) presente na figura 5.4, *High-Side* (Vin-) na figura 5.5 e *Low-Side* na figura 5.6. Estes três circuitos de medição variam apenas na forma como a resistência sensora ou resistência de shunt está colocada no circuito face à carga. Após o teste de cada um dos circuitos apresentados, não se verificou nenhuma diferença considerável nos valores das medições, sendo que se optou pela aplicação padrão presente na figura 5.4.

Figura 5.3 – Plataforma robótica AGROB.

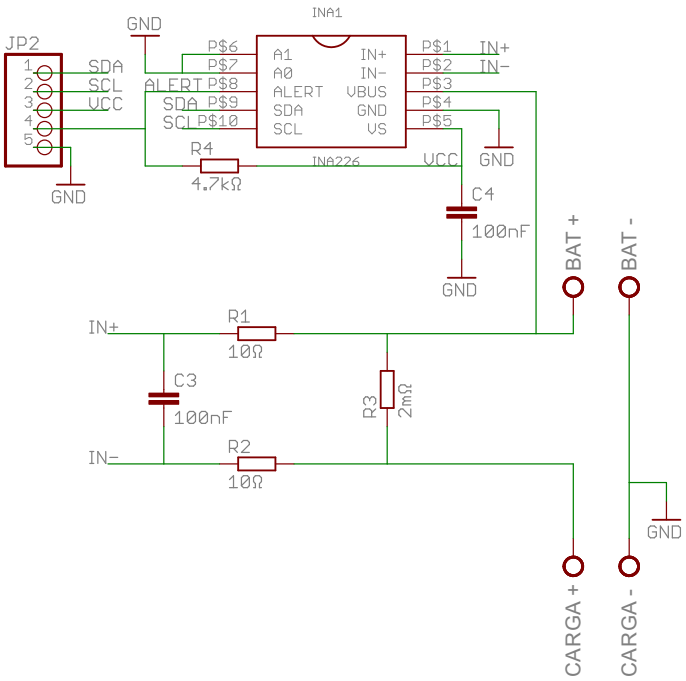

Figura 5.4 – Esquema do circuito de monitorização *High-Side* (Vin +).

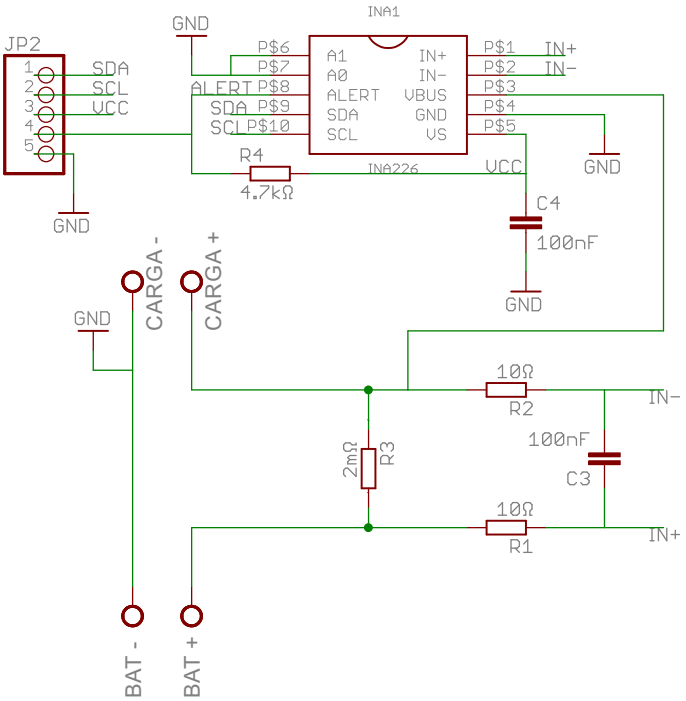

Figura 5.5 – Esquema do circuito de monitorização *High-Side* (Vin -).

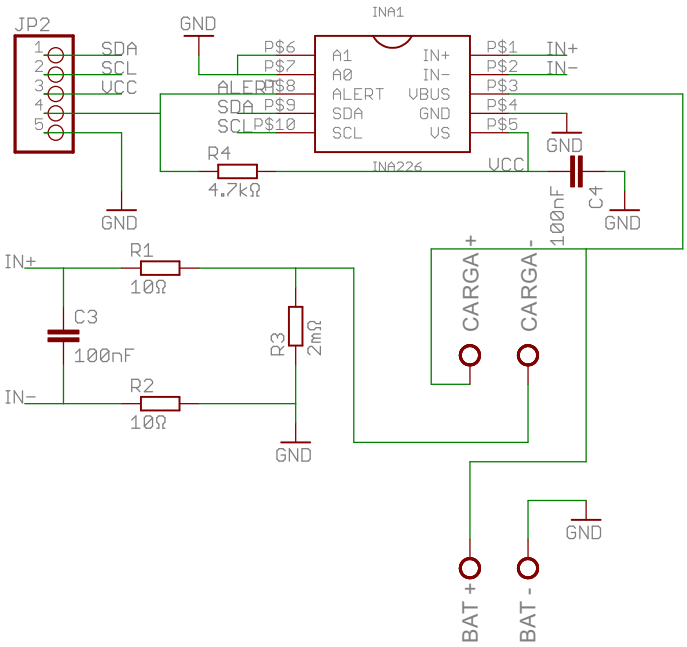

Figura 5.6 – Esquema do circuito de monitorização *Low-Side*.

Para que o valor de corrente seja o mais preciso possível é necessário proceder à atualização do registo de calibração (CAL) recorrendo à equação 5.1,

$$CAL = \frac{0,00512}{Current_{LSB} \times R_{Shunt}} \tag{5.1}$$

onde 0,00512 é um valor interno fixo, R_{Shunt} é o valor da resistência de shunt e o $Current_{LSB}$ é um valor proveniente da equação 5.2.

Para calcular a resolução é necessário actualizar o registo ($Current_{LSB}$) presente na equação 5.2,

$$Current_{LSB} = \frac{Max_{Current}}{2^{15}} \tag{5.2}$$

onde o valor de $Max_{Current}$ é a corrente máxima desejada.

O valor de $Current_{LSB}$ usado para o circuito é de 1 mA/bit pois simplifica bastante a conversão do valor de corrente final. Existe a necessidade de atualizar os registos sempre que este circuito é alimentado pois não contêm qualquer tipo de memória. As correntes que serviram de base para a calibração do circuito foram obtidas recorrendo a um multímetro Fluke cuja precisão (1.0 % + 3 digitos) foi considerada suficiente para esta tarefa. O processo de calibração passa pela aplicação de uma carga ao circuito, medindo com o multímetro a corrente consumida, e por comparação ir alterando os valores dos registos até que o valor de corrente medido com o circuito seja próximo. Este processo deve ser repetido várias vezes e para várias cargas que reflitam a gama de correntes que se pretende medir. Uma vez finalizada a calibração, os valores usados nos registos ficam armazenados no algoritmo responsável pela gestão do sistema, para utilização sempre que o circuito é alimentado de novo. A implementação do circuito acima descrito resultou na PCB apresentada na figura 5.7, sendo esta usada para os diversos testes realizados durante a conceção do protótipo.

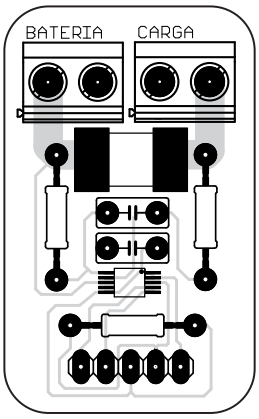

Figura 5.7 – Placa de circuito impresso do sistema de monitorização.

A aquisição contínua deste tipo de dados irá proporcionar dados relevantes sobre o desempenho do robô, eliminando a hipótese de as baterias descarregarem por completo e fazendo com que este fique incapacitado de terminar a tarefa em curso. A partir destes dados é possível definir níveis de criticidade para o robô, ou seja, de que forma este deve agir para poupar energia de modo a chegar à estação de ancoragem e carregamento. Estes níveis de criticidade devem ser baseados no nível

de energia disponível, e para cada um desses níveis deve haver a possibilidade de desligar certos componentes que exijam um elevado consumo mas que não sejam vitais para a execução da tarefa em causa, refletindo-se num aumento da autonomia.

5.3 Regulador de tensão e limitador de corrente

Como uma plataforma robótica necessita de tensões distintas geradas a partir das suas baterias, é necessário incorporar um ou mais conversores DC/DC capazes de alimentar os diferentes componentes funcionais. De forma a ser possível satisfazer este propósito optou-se pela utilização do regulador comutado LM2576 (Texas Instruments), figura 5.8.

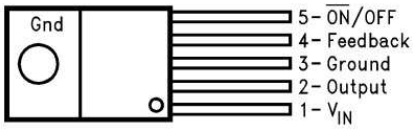

Figura 5.8 – Circuito de controlo DC/DC, LM2576(Texas Instruments).

O LM2576 é um conversor do tipo *step-down* existindo em duas versões: tensão de saída fixa e tensão de saída configurável. Na versão fixa é possível ter tensões de saída de 3,3 V, 5 V, 12 V e 15 V. A versão com saída configurável pode ser configurada para tensões de saída entre 1,23 V e 37 V, com uma corrente máxima de 3 A, sendo esta a versão escolhida. Escolheu-se a versão configurável pois possibilita uma maior liberdade na escolha da tensão de saída, podendo ser alterada a qualquer instante. Para que seja possível efetuar essa alteração de forma simples e via software optou-se por usar um potenciómetro digital MCP4161 (Microchip, USB), figura 5.9. Este potenciómetro tem uma resolução de 8-bit (256 valores) e uma resistência de 50 kΩ. Também contém uma memoria não volátil permitindo armazenar o valor definindo num estado anterior mesmo que todo o circuito se desligue.

Além do controlo da tensão também foi adicionado um limitador de corrente, o que permite definir a corrente máxima para o circuito em causa evitando assim

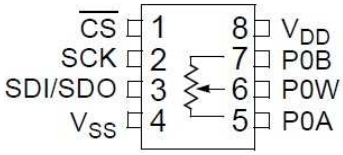

Figura 5.9 – Potenciómetro digital MPC4161(Microchip).

potenciais danos de sobreintensidades que possam ocorrer . O circuito de limitação de corrente, ilustrado na figura 5.10, apresenta um circuito que mede a corrente de saída, utilizando amplificadores operacionais do tipo TLC272 (Texas Instruments). O facto de este integrado conter dois amplificadores operacionais, permite também regular o valor máximo da corrente, recorrendo ao uso de outro potenciómetro digital. Após diversos testes ao circuito apresentado e ter-se verificado a viabilidade do mesmo para o efeito pretendido, desenvolveu-se a PCB apresentada na figura 5.11, de forma a obter melhores resultados e eliminar quaisquer tipo de erros indesejados muitas vezes presentes nas placas de teste.

Com o intuito de uma forma simples e eficiente, aplicar ou remover a alimentação de cada componente da plataforma que esteja a ser monitorizado, foi desenvolvido um interruptor baseado num transístor MOSFET IRF520 (International Rectifier). Este permite uma tensão máxima de 100 V, corrente de 6,5 A sendo que a sua comutação rápida permite mudar de estado de forma eficaz sem qualquer tipo de inconveniente.

Sempre que um componente não essencial à missão em execução tenha um consumo excessivo pode ser desligado (a sua alimentação removida) disponibilizando mais energia das baterias aos componente em uso. De igual forma, quando o robô se encontra no modo de carga das baterias, todos os componentes não essenciais poderão ser desligados para que não existam pequenos consumos desnecessários que atrasem o processo. Nas figuras 5.12 e 5.13, pode observar-se respetivamente esquema elétrico e a placa de circuito impresso resultante.

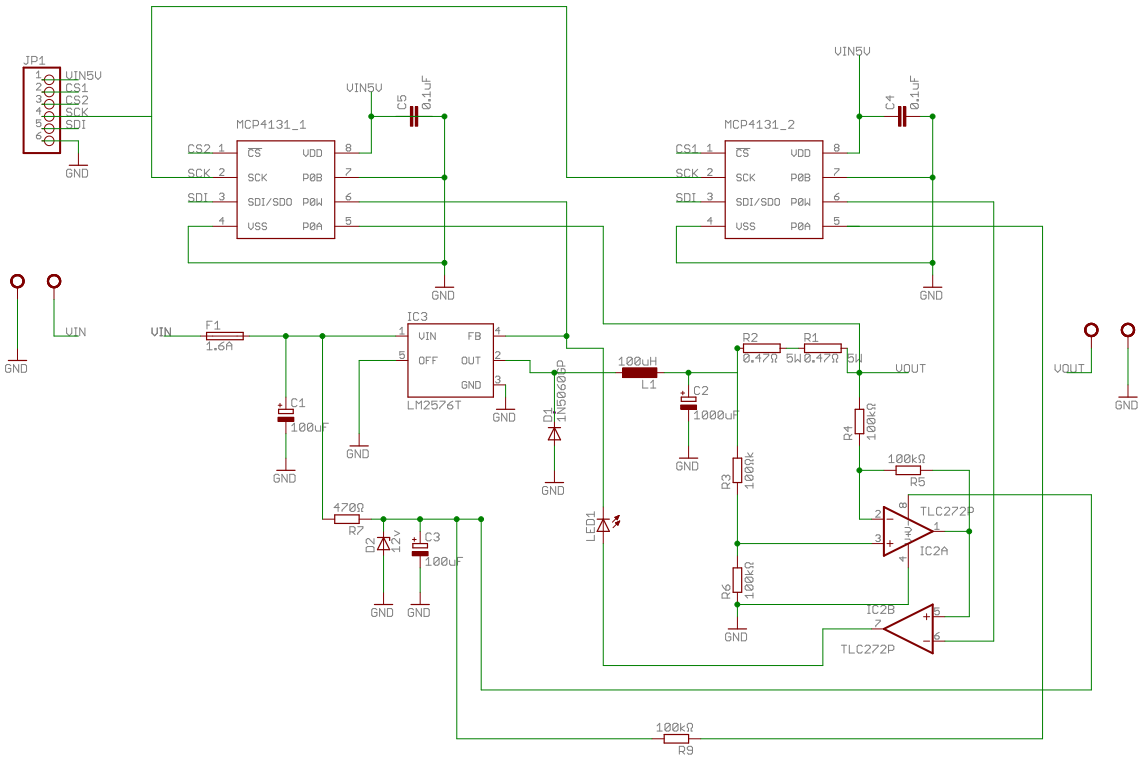

Figura 5.10 – Esquema regulador de tensão e limitador corrente.

5.4 Sistema de recarregamento

Para que as baterias que o robô transporta sejam carregadas de forma eficaz foi necessário implementar um carregador que possibilitasse a gestão dos modos de carga e com uma boa eficiência. Para tal escolheu-se o integrado MAX1640 (Maxim Integrated), pois existe a possibilidade de controlar os diferentes modos de carga a partir de um microcontrolador. O valor máximo da tensão de saída é calculado segundo a expressão 5.3.

$$R3 = R4 \times ((\frac{Vout}{Vterm}) - 1) \tag{5.3}$$

Onde $Vterm = 2$ V e $Vout$ é a tensão desejada.

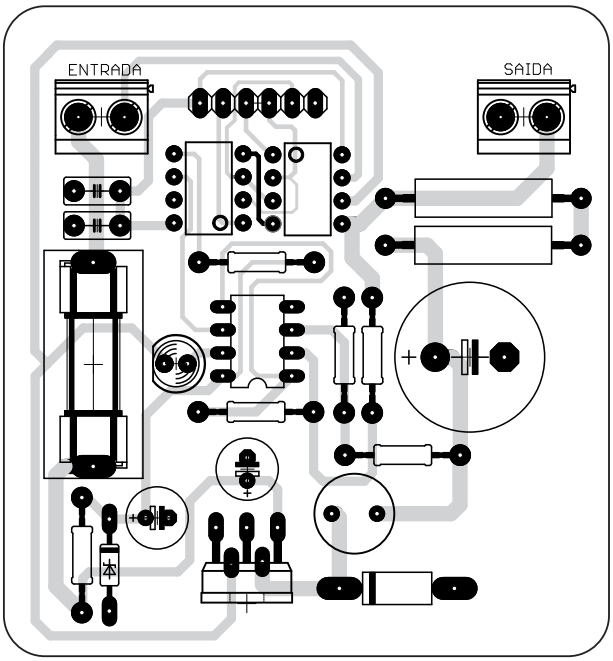

Figura 5.11 – Placa de circuito impresso do regulador de tensão e limitador de corrente.

No circuito, figura 5.14, pode verificar-se que procedendo à alteração da resistência R3 para o valor resultante dado pela formula 5.3, é possível programar o circuito de forma a que, quando atingir o limite estipulado páre de carregar a bateria. Mas com o uso do circuito de monitorização acima descrito, não existe a necessidade de proceder a este tipo de cálculos e alterações, pois existe uma constante monitorização dos valores das baterias. Por segurança optou-se também por definir este valor de tensão máxima a partir da escolha das resistências. Os modos de carga podem ser programados através dos pinos D0 e D1, permitindo a alteração do seu estado consoante o algoritmo de carga utilizado.

Uma vez que os pinos de I/O (*Input/Output*) do Raspberry Pi funcionam com um nível de tensão de 3,3 V e os pinos de controlo do MAX1640 funcionam com um nível de tensão de 5 V foi necessário recorrer a uma adaptação de nível, sendo neste caso materializada com um transístor DTC123 (ROHM semiconductor) e respectiva resistência de pull-up ligada a 5 V. O carregador de baterias pode ser alimentado numa gama de tensões entre os 7,5 V e 28 V, fazendo com que seja possível ser alimentado pela estação de ancoragem descrita na secção 5.5.5 do presente

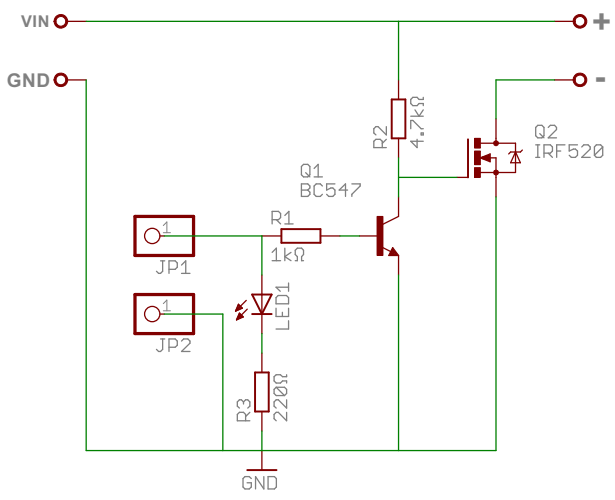

Figura 5.12 – Esquema do circuito do interruptor.

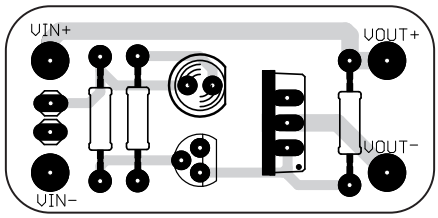

Figura 5.13 – Placa de circuito impresso do interruptor.

documento. Na figura 5.15 é apresentado o esquema do protótipo desenvolvido para o carregador de bateria, sendo este desenvolvido com base na aplicação típica do MAX1640. Este circuito foi implementado e testado diretamente numa placa de circuito impresso porque alguns componentes são de montagem em superfície não sendo adequados para utilização em placas de testes sem algum tipo de adaptação. O circuito impresso pode ser visto na figura 5.16.

O sistema de carga das baterias estará localizado no interior da plataforma robótica uma vez que se perspectiva a utilização de várias estações de ancoragem espalhadas pelo terreno não sendo monetariamente viável que todas elas disponham de um carregador próprio. Além disso, não faz muito sentido que as plataformas de ancoragem disponham de um carregador uma vez que podem ser utilizadas por plataformas robóticas com sistemas de carga diferentes.

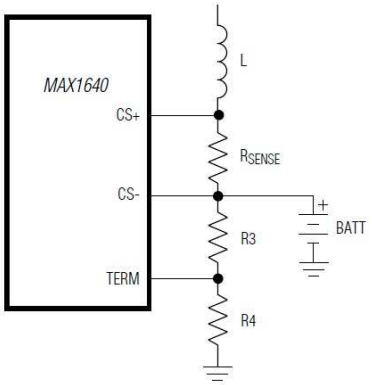

Figura 5.14 – Circuito exemplo para definição do valor máximo de tensão.

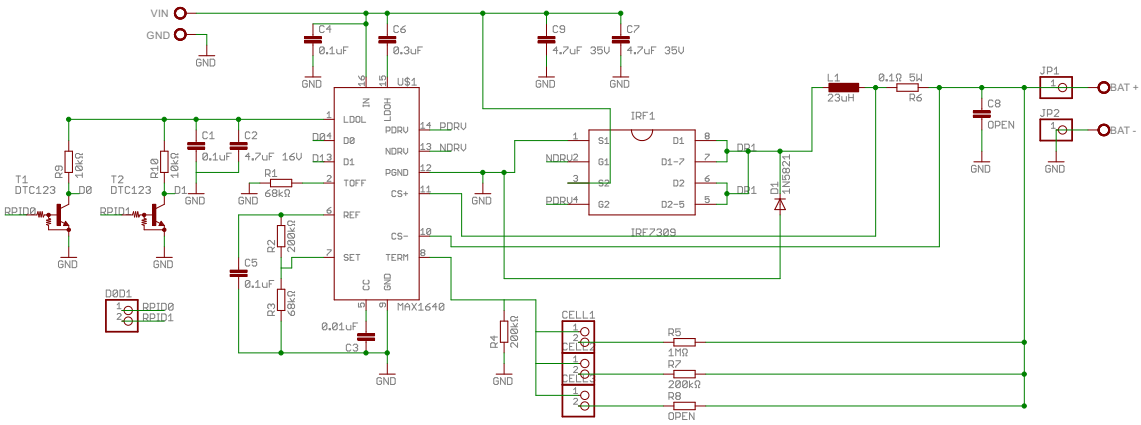

Figura 5.15 – Esquema eléctrico do carregador de baterias.

5.5 Validação do protótipo

Para se proceder aos diversos testes e verificar o funcionamento de todos os módulos em conjunto, recorreu-se ao uso de um Raspberry Pi que permite o controlo de todos os módulos a partir de um algoritmo desenvolvido para o efeito. Também se procedeu ao registo de valores de corrente, tensão e potência adquiridos pelo módulo de monitorização, bem como o estado do modo de carga atual do carregador e do interruptor.

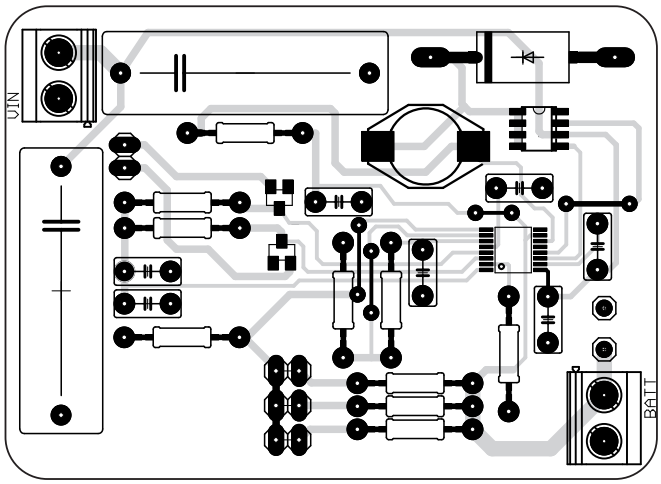

Figura 5.16 – Placa de circuito impresso do carregador de baterias.

5.5.1 Rotina do sistema de gestão

Como referido anteriormente, uma das características do protótipo desenvolvido é a possibilidade de cada um dos módulos descritos ser controlado via software. Isto facilita vários processos pois não é necessário proceder a qualquer tipo de alteração manualmente. Assim sendo, foi desenvolvido um algoritmo na linguagem python e implementado numa Raspberry Pi. Através do uso deste algoritmo é permitido adquirir os dados dos valores de tensão das baterias bem como a corrente consumida pelas cargas monitorizadas, guardando esses valores em folhas de dados para futura análise. Também existe a possibilidade de definir níveis de criticidade do sistema, baseados nos dados adquiridos pelo sistema de medição, permitindo desligar e ligar componentes e alterar os modos de carga do módulo de carregamento. Outro ponto importante, também é possível definir qual o nível de tensão desejada na saída do conversor, bem como a corrente máxima para que no caso de alguma eventualidade o sistema não seja comprometido. O fluxograma geral do algoritmo desenvolvido é apresentado na figura 5.17.

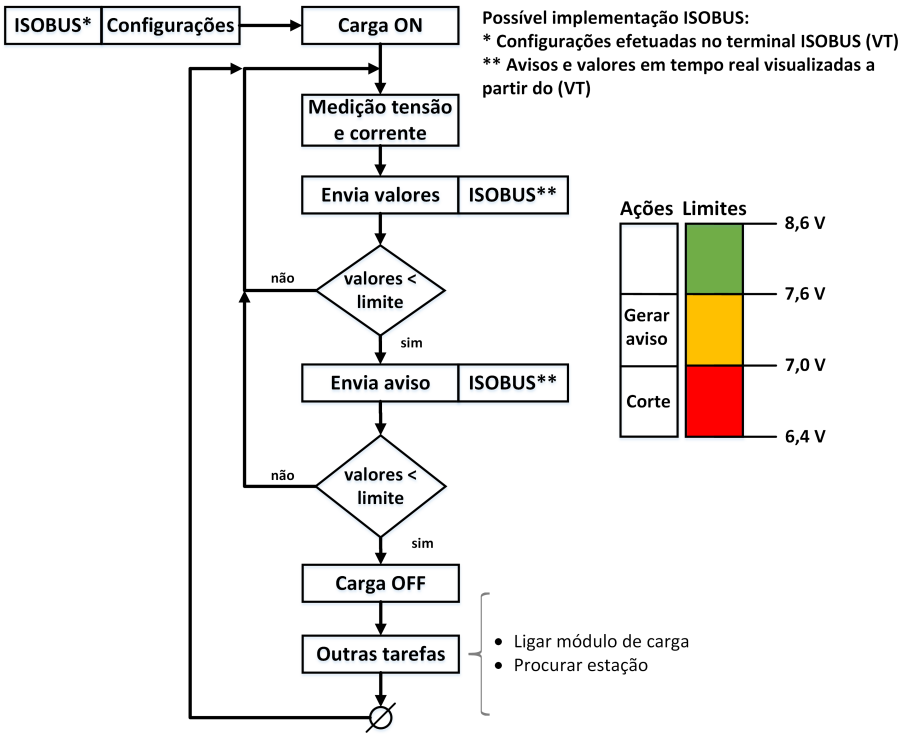

Figura 5.17 – Fluxograma do algoritmo do sistema de gestão energética.

5.5.2 Disponibilidade energética da plataforma

A plataforma robótica usada para os testes está dividida em duas partes distintas, a parte que trata de todo o processamento (TOP), sendo esta parte alimentada por duas baterias ligadas em paralelo de NIMH de 7,2 V e 2000 mAh e a parte dos motores ($BOTTOM$) alimentada por mais duas baterias idênticas às anteriormente descritas. Para ser possível calcular o SOC das baterias tanto do TOP como do $BOTTOM$, foi necessário medir quais o valores da tensão das baterias quando estas se encontram completamente carregadas e no exato momento em deixam de ter tensão suficiente para alimentar o sistema. Na tabela 5.1 são apresentados os valores das tensões das baterias nos momentos descritos anteriormente.

Tabela 5.1 – Determinação do SOC parcial das baterias.

	TOP	BOTTOM
Bateria a 100 % (V)	8,6 V	8,8 V
Bateria a 0% (V)	6,7 V	6,8 V

Como se pode verificar, tem-se uma margem de cerca de 2 V deste a carga máxima do robô até ao esgotamento das baterias. Ou seja, é necessário proceder ao desenvolvimento de formas que permitam que o robô nunca chegue ao limite de ficar completamente inutilizável, para tal é necessário ajustar rotinas que permitam a tomada de decisões tendo em conta estes limites adquiridos.

5.5.3 Curvas de descarga das baterias

Uma das formas de tentar aumentar o tempo de vida de uma bateria é tentar perceber como esta se comporta na sua descarga. Pois, teoricamente, segundo a formula 5.4, pode saber-se qual a capacidade de uma bateria. Mas na realidade devido a vários fatores, como o tipo de carregamento, a corrente de carga, as reações internas da bateria e a temperatura ambiente, condicionam a capacidade da bateria. Para as baterias usadas na plataforma robótica procedeu-se ao estudo das baterias em diversas situações de carga e descarga bem como através do uso de diferentes estratégias de carga.

$$C = I \times t \tag{5.4}$$

Onde C (Ah) é a capacidade, I (A) a corrente de descarga e t (h) o tempo de descarga.

1 - Ensaio com corrente de carga de 0,5 A

Para este ensaio carregou-se uma a bateria de NiMH, com uma corrente de carga de 0,5 A, através do carregador inteligente (Turnigy Accucell-8150). Após o término do processo de carga, usou-se uma carga cujo consumo médio era de 0,5 A e monitorizou-se a descarga da bateria, registando os valores de tensão da bateria em intervalos de 1 segundo em 1 segundo. Este processo repetiu-se novamente nas mesmas condições mas, para cargas com consumos médios de 1 A e 1,5 A. Após o fim dos ensaios descritos obteve-se o gráfico presente na figura 5.18.

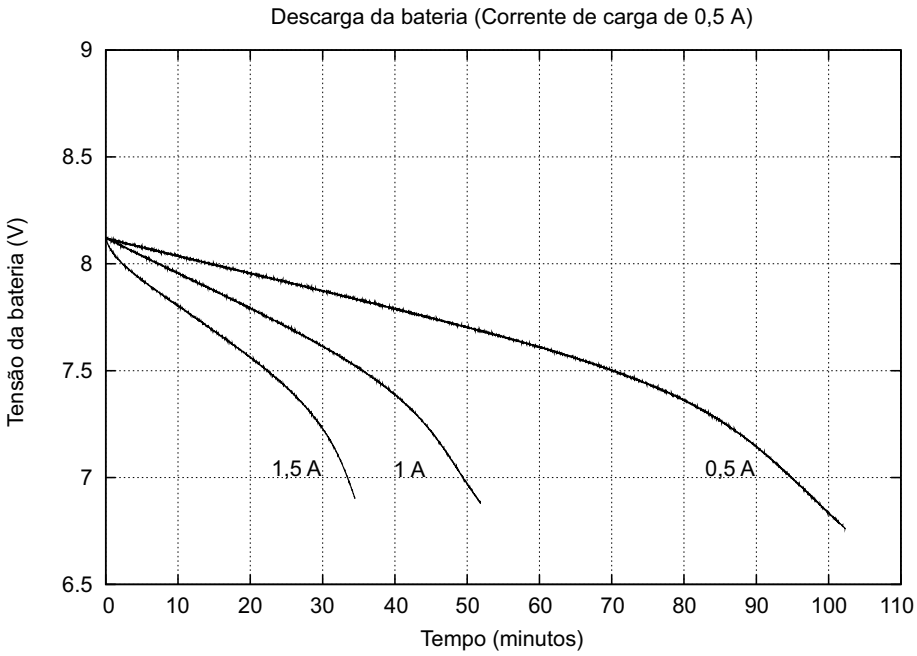

Figura 5.18 – Descarga da bateria, carregada com uma corrente de carga de 0,5 A.

2 - Ensaio com corrente de carga de 1 A

Para este ensaio procedeu-se de forma igual ao anteriormente descrito ensaio em que a única alteração reside no valor da corrente de carga, em que aqui tomou o valor de 1 A. A figura 5.19, apresenta os resultados obtidos deste ensaio.

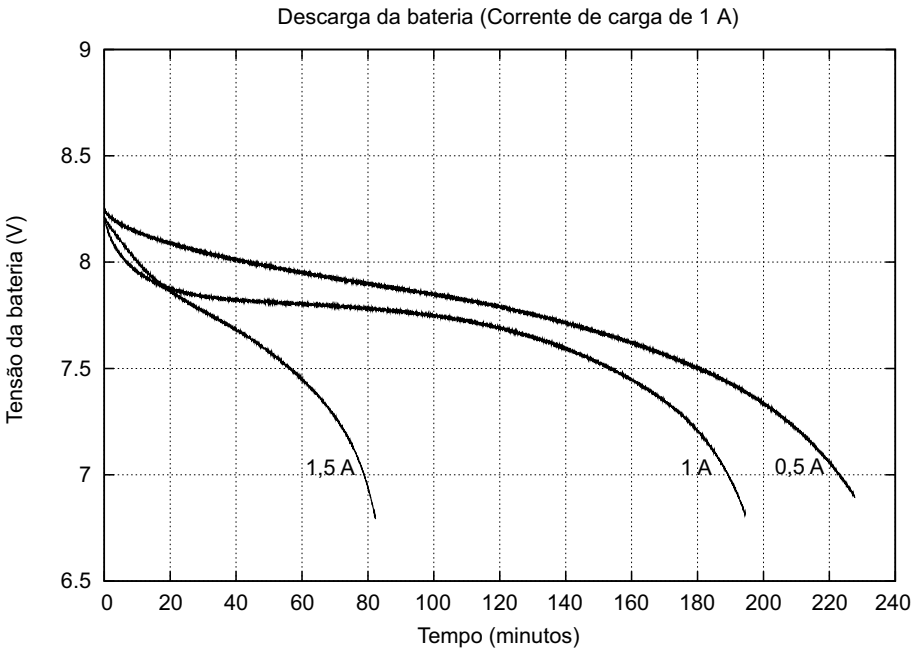

Figura 5.19 – Descarga da bateria, carregada com uma corrente de carga de 1 A.

3 - Ensaio com corrente de carga de 0,8 A

Neste mesmo ensaio tentaram reproduzir-se todas as condições dos ensaios anteriormente descrito, apenas diferindo no valor da corrente de carga e o tipo de carregador usado, pois neste ensaio o carregador usado antes de cada descarga foi o carregador projetado para o sistema de gestão energética. A figura 5.20, apresenta os resultados obtidos neste ensaio.

Discussão dos resultados

Como se pode verificar existem algumas diferenças significativas nos ensaios acima descritos. Relativamente ao primeiro e segundo ensaio podemos concluir que quando se usou uma corrente de carga de 1 A, os resultados foram consideravelmente mais satisfatórios pois a durabilidade da bateria aumentou praticamente para o dobro. Enquanto que no terceiro ensaio, obtiveram-se resultados menos favoráveis aproximando-se dos valores do segundo ensaio. Pode-se concluir que tanto a corrente

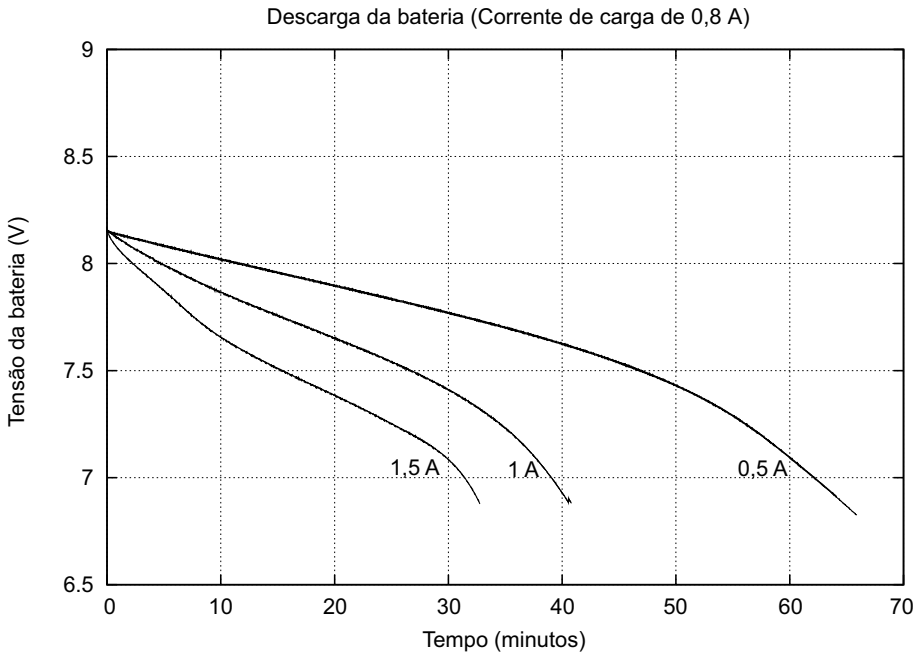

Figura 5.20 – Descarga da bateria, carregada com uma corrente de carga de 0,8 A.

de carga, o modo de carga e o tipo de carregador são fatores que influenciam consideravelmente a duração do tempo de descarga de uma bateria.

5.5.4 Curva de recarga das baterias

Além de se ter monitorizado o processo de descarga das baterias, também houve necessidade de verificar como acontecia o processo inverso, ou seja a recarga das mesmas. Num primeiro ensaio usou-se um carregador inteligente (Turnigy Accucell-8150), preparado para carregar diferentes tipos de baterias, incluindo NiMH. Para este ensaio escolheu-se uma corrente de carga de 1 A, obtendo-se o gráfico presente na figura 5.21. Este processo durou cerca de duas horas desde o inicio da recarga até ao final da mesma. Num segundo ensaio procedeu-se ao uso do carregador desenvolvido para o sistema de gestão energética, para a recarga das baterias escolheu-se o modo *Fast Charging* que o carregador disponibiliza, com capacidade de fornecer cerca de 0,8 A de corrente de carga. Durante cerca de uma hora o processo de recarga decorreu até ao limite máximo estipulado de 8,5 V, como se pode verificar na

figura 5.22.

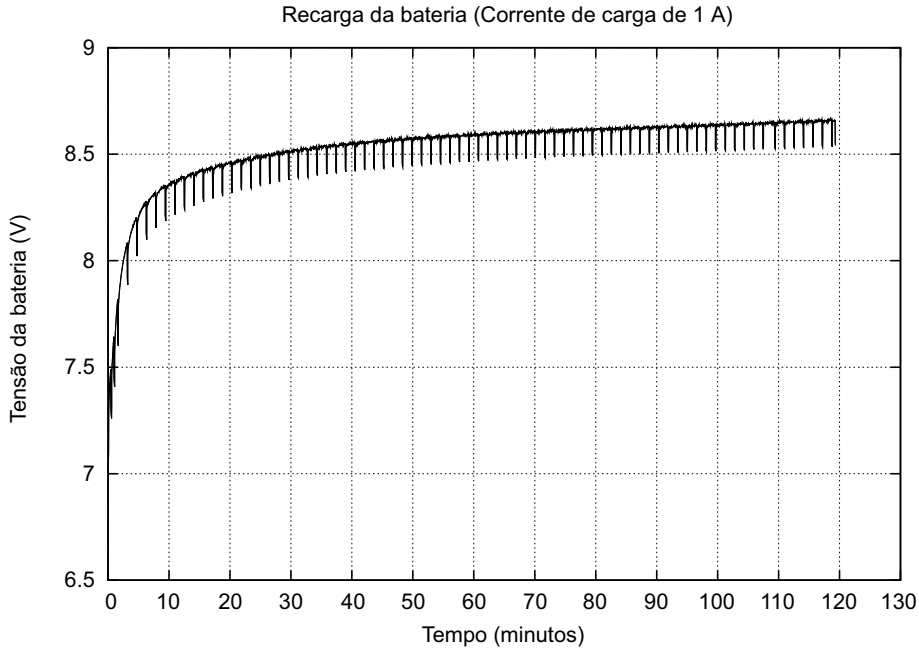

Figura 5.21 – Recarga da bateria usando o carregador Turnigy.

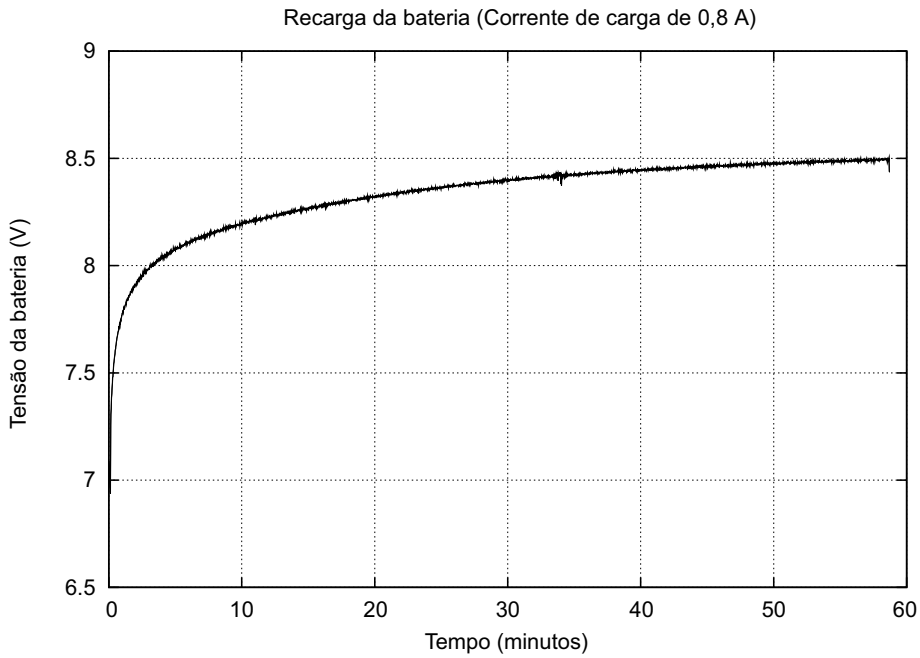

Figura 5.22 – Recarga da bateria usando o carregador apresentado na secção 5.4.

5.5.5 Estação de ancoragem e carregamento

Para que seja possível alimentar o carregador de baterias como descrito anteriormente, foi necessário proceder ao desenvolvimento de uma estação de ancoragem que disponibilizasse a tensão necessária para alimentar o módulo de carga, sendo a sua arquitetura proposta demonstrada na figura 5.23. Esta estação tem a capacidade de coletar a luz solar através de um painel, armazenando essa energia num sistema de baterias. Este sistema de armazenamento irá disponibilizar uma tensão de 12 V, que se enquadra dentro da gama necessária para alimentar o módulo de carga e através de um conjunto de aros metálicos, figura 5.25, responsáveis pelo acoplamento mecânico e eletrico fundamentais para a transferência de energia quando entram em contato com com módulo presente na parte frontal do robô, figura 5.24. Tanto os aros metálicos como o modulo presente no robô contêm ímanes que quando próximos e com a sua força de atração iram proporcionar um contacto mais seguro e robusto. A flexibilidade dos aros metálicos irá conferir uma maior área de contacto quando o robô se encostar aos mesmos, como se pode ver na figura 5.25.

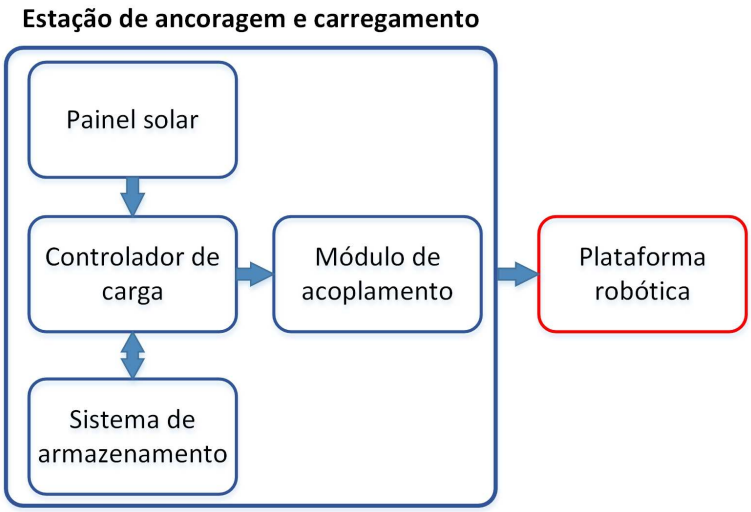

Figura 5.23 – Diagrama da arquitetura da estação de ancoragem.

Figura 5.24 – Módulo de ancoragem presente na frente do robô.

Figura 5.25 – Módulo de ancoragem presente na estação base.

Uma das particulares do uso de aros circulares é o facto de ser possível aplicar na vegetação ou outros elementos existentes na área onde a estação base ficará localizada. Um dos exemplos é apresentado na figura 5.27, em que os aros estão colocados em volta de uma árvore diminuindo assim o impacto visual.

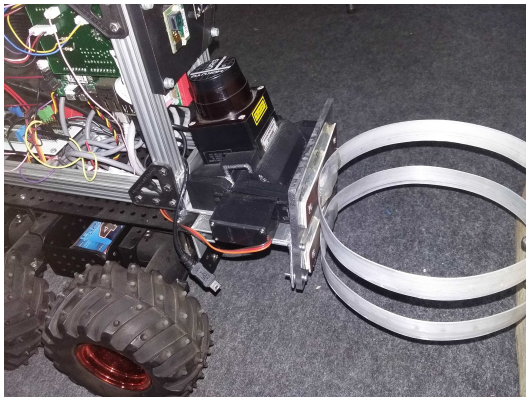

Figura 5.26 – Contacto entre o módulo de ancoragem do robô e da estação base.

Figura 5.27 – Exemplo de aplicação do módulo de ancoragem na estação base.

Nas figuras 5.28 e 5.29, é apresentada a montagem do protótipo da estação de ancoragem usado para os testes, bem como a acoplagem do robô.

Figura 5.28 – Protótipo da estação de ancoragem.

Figura 5.29 – Robô após o processo de acoplamento.

Testes de ancoragem

Para se verificar a viabilidade do processo de ancoragem e da transferência de energia, realizaram-se alguns testes de modo a caracterizar este processo. Para tal, procedeu-se à aproximação do robô à estação de modo a estabelecer contacto com a mesma para que fosse possível alimentar o carregador de baterias. A figura 5.30, é o resultado da média de diversas tentativas de ancoragem, demonstrando as variações existentes durante a aproximação.

Discussão dos resultados

A estação de ancoragem desenvolvida provou ser um meio eficaz para proceder à alimentação do carregador de baterias, apresentou um bom contacto entre a estação e a plataforma robótica sem existência de falhas durante os testes realizados. Durante o processo de ancoragem verificou-se uma pequena oscilação no valor da tensão durante os primeiros 20 ms, que é quando ocorre a ancoragem da plataforma à estação, estabilizando seguidamente atingindo o nível de tensão desejado.

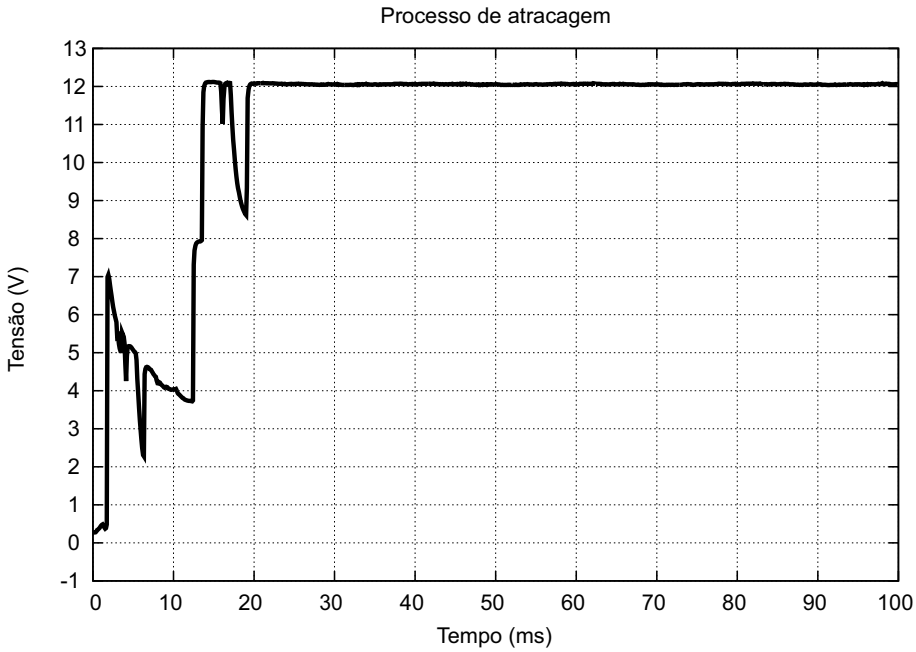

Figura 5.30 – Variação da tensão nos terminais de alimentação do sistema de recarregamento durante o processo de ancoragem.

6 Conclusões e trabalho futuro

O objetivo subjacente ao presente trabalho passou pela conceção e validação de um sistema de gestão energética para plataformas robóticas de pequeno porte usadas em tarefas de monitorização de proximidade em cenários agrícolas, e de uma estação de ancoragem e recarregamento.

Neste capítulo apresenta-se uma revisão geral do trabalho, retirando as respetivas conclusões e ideias para trabalho futuro.

6.1 Conclusões

De modo a ser possível o cumprimento dos objetivos propostos foi necessário numa primeira fase efetuar um estudo sobre plataformas robóticas de pequeno porte e suas características.

No capítulo 2 procedeu-se a um levantamento sobre o tipo de aplicações das plataformas robóticas na agricultura e os seus sistemas de alimentação, concluindo-se que cada vez mais são baterias. Para um melhor entendimento procedeu-se ao estudo

das diferentes químicas de baterias mais utilizadas na área da robótica móvel. Após este estudo concluiu-se que apesar do grande uso das baterias de chumbo nesta área, as baterias de lítio estão a ganhar terreno devido às suas características favoráveis (nomeadamente o peso e a densidade de energia), sendo o preço um dos principais fatores que impedem uma maior proliferação.

Verificou-se que as estações de ancoragem ainda não são muito usadas fora de ambientes não controlados, pois a existência de diversos fatores externos, a localização da estação e o ângulo de ancoragem são problemas que dificultam a sua implementação.

No capítulo 3 efetuou-se um levantamento dos principais elementos de um sistema de gestão energética, para se aferir que fatores seriam necessários ter em conta para o desenvolvimento de um módulo de gestão. Para tal foi necessário estudar quais as técnicas de carga mais utilizadas para as baterias de NiMH, para que fosse possível perceber qual a mais vantajosa e escolher um carregador tendo em conta essa característica. Visto que as plataformas robóticas necessitam de diferentes tensões, também foi necessário estudar os vários tipos de conversores DC/DC capazes de fornecer as tensões necessárias. Optou-se pela escolha de um conversor comutado *step-down*, pois face aos conversores lineares não apresentam o problema da dissipação de calor, sendo relativamente simples de implementar. Optou-se por um SBC Raspberry Pi para controlar todos o sistema de gestão

No capítulo 4 foi revista de uma forma breve a norma ISOBUS, pois ainda não existem grande aplicação de forma generalizada nesta área. Esta norma ainda só é acessível a grandes empresas agrícolas, estando apenas agora a entrar em outros mercados. A norma ISOBUS é um padrão que faz todo o sentido ser implementado e hoje em dia todos os desenvolvimentos ligados à maquinaria agrícola deveriam ter em conta este padrão, por uma questão de integração e interoperabilidade num futuro próximo. Apesar de existirem algumas empresas a disponibilizar plataformas para o uso da norma, ainda são muito limitadas e com poucos recursos.

Por fim, o capítulo 5 descreve a implementação prática e os resultados obtidos nas diferentes etapas do trabalho. Verificou-se que o sistema de gestão energética funciona como pretendido, permitindo monitorizar a tensão das baterias e os seus consumos com exatidão. O módulo de regulação e proteção permite definir diferentes níveis de tensão e um nível máximo de corrente efetuando a proteção com sucesso em caso de curto-circuito. Como o regulador é do tipo comutado não se verificou grande dissipação de calor. Quanto ao carregador de baterias, verificou-se que a corrente de carga máxima era inferior ao definido nos cálculos, devido ao facto de alguns componentes não serem de precisão ou os mais recomendados, afetando os parâmetros dos modos de carga presentes. Sempre que houve necessidade de desligar uma carga consoante os níveis de bateria estipulados, o interruptor funcionou de forma coerente não apresentando qualquer tipo de problema.

A transferência de energia através da estação de ancoragem para o módulo de carga foi assegurada sem qualquer tipo de inconveniente durante todo o processo de carga. Existindo apenas uma oscilação mínima da tensão no início do processo de ancoragem.

6.2 Perspectivas de trabalho futuro

Após a conclusão do trabalho que conduziu à presente dissertação, verificou-se que existem, diversos aspetos que podem ser melhorados e trabalhados de uma forma mais sistemática, com o intuito de otimizar a solução proposta. Dessa forma, apresentam-se de seguida alguns pontos que podem ser alvo de trabalhos futuros:

- Integração do sistema de gestão energética na plataforma AGROB;
- Desenvolvimento de uma placa de circuito impresso mais robusta e com

melhorias significativas;

- Possível incorporação de outras fontes de energia (gerador eólico, p.ex) na estação de ancoragem para complementar a produção de energia por painéis fotovoltaicos;
- Integração da norma ISOBUS, nomeadamente para o controlo, configuração e visualização dos parâmetros do sistema de gestão energética da plataforma.

Referências bibliográficas

AgTalk (2009). Lets see your cabs. Sítio de Internet. Consultado a 20 de Setembro de 2016. URL - http://talk.newagtalk.com/forums/thread-view.asp?tid=90292&DisplayType=flat&setCookie=1. 46

Auat Cheein, F. A. and Carelli, R. (2013). Agricultural Robotics: Unmanned Robotic Service Units in Agricultural Tasks. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 7(3):48–58. 7, 46

Bergveld, H. J. (2001). *Battery management systems: design by modelling*. PhD thesis, s.n.], S.l. OCLC: 67147578. 34, 35, 36, 39

Bukhari, S. M. A. S., Maqsood, J., Baig, M. Q., Ashraf, S., and Khan, T. A. (2015). Comparison of Characteristics – Lead Acid, Nickel Based, Lead Crystal and Lithium Based Batteries. pages 444–450. IEEE. 20, 23

Cassinis, R., Tampalini, F., Bartolini, P., and Fedrigotti, R. Docking and charging system for autonomous mobile robots. 25, 26

Chauhan, S. (2014). *Hysteretic controlled DC-DC converters*. PhD thesis, Wright State University. 37

Chris and Schur's, D. (2015). Cbot - plant maintainence robot 1. Sítio de Internet. Consultado a 7 de Julho de 2016. URL - http://schursastrophotography.com/robotics/Cbot-3.html. 29, 30

Clóvis Antônio Petry, I. B. (2001). *Fundamentos sobre conversores CC-CC*. PhD thesis, Universidade Federal de Santa Catarina. 37, 38

Coxworth, B. (2015). Vinerobot will keep tabs on the grapes. Sítio de Internet. Consultado a 13 de Junho de 2016. URL - http://www.gizmag.com/vinerobot/35820/. 9

de Almeida Guimarães, A. (2003). Análise da norma iso 11783 e sua utilização na implementação do implemento de um monitor de semeadora. Master's thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 47

de Sousa, J. M. N. (2013). *Sistema bidirecional de carga de baterias para o FEUP VEC*. PhD thesis, Universidade do Porto. 35

de Sousa, R. V. (2002). Can (controller area network): Uma abordagem para automação e controle na área agrícola. Master's thesis, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil. 47

de Sousa Torres, R. J. (2013). *DC/DC Converter with Transparent Electronics for Application on Photovoltaic Panels*. PhD thesis, Universidade do Porto. 37, 38

Deere, J. Adapt (agricultural data application programming toolkit). Sítio de Internet. Consultado a 20 de Setembro de 2016. URL - https://developer.deere.com. 54

Deltecpower. What is unique about the lead crystal technology as a product? Sítio de Internet. Consultado a 20 de Julho de 2016. URL - http://sokolicsolar.co.za/pdf/lead_crystal_comparison_table.pdf. 20

Demeure, Y. (2016). Voici vitirover, robot solaire qui veut mettre fin

à l'utilisation des désherbants chimiques! Sítio de Internet. Consultado a 22 de Agosto de 2016. URL - http://sciencepost.fr/2016/05/voici-vitirover-robot-solaire-abandonner-desherbants-chimiques/. 13

Dorhout, D. (2013). Aquarius: The greenhouse robot. Sítio de Internet. Consultado a 12 de Julho de 2016. URL - http://learn.parallax.com/educators/inspiration/aquarius-greenhouse-robot. 11, 12

Durmus, H., Günes, E. O., Kirci, M., and Üstünda, B. B. (2015). The design of general purpose autonomous agricultural mobile-robot:AGROBOT. In *Agro-Geoinformatics (Agro-geoinformatics), 2015 Fourth International Conference on*, pages 49–53. IEEE. 9, 11

ecoult energy storage solutions (2016). Ultrabattery: The new dimension in lead-acid battery technology. Sítio de Internet. Consultado a 23 de Julho de 2016. URL - http://www.ecoult.com/technology/ultrabattery. 19

Esteves, D. (2014). O papel das baterias nos sistemas elétricos de energias renováveis. Master's thesis, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, Vila Real, Portugal. 16, 21

Fan, S.-Y., Chang, G.-K., and Tseng, S.-Y. (2011). A reflex charger realized by multi-interleaved buck-boost converters. In *2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, pages 1215–1220. IEEE. 36

Ferreira, J. H. and Tavares, C. (2015). Desenvolvimento, Implementação e Simulação de um Controlador para Sistemas de Armazenamento de Energia com Baterias. 15, 19, 20, 21, 22

FroboMind. Hortibot. Sítio de Internet. Consultado a 22 de Agosto de 2016. URL - http://frobomind.org/index.php/FroboMind_Robot:Archive. 12

Garrido, E. L. (2010). Baterias de acumuladores (secundárias). Sítio de Internet. Consultado a 23 de Julho de 2016. URL - http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page666.htmhtml. 19, 20

Gloye, A. (2005). Batteries for mobile robots. Pode ser obtido em: URL - http://robocup.mi.fu-berlin.de/buch/chap6/06robocup-battery.pdf. 23

Godoy, E. P., de Sousa, R. V., Porto, A. J. V., and Inamasu, R. Y. (2010). Design of CAN-based distributed control systems with optimized configuration. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 32(4):420–426. 46

Grimstad, L., Pham, C. D., Phan, H. T., and others (2015). On the design of a low-cost, light-weight, and highly versatile agricultural robot. In *2015 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)*, pages 1–6. IEEE. 13, 14

Henninger, G. (2007). ISOBUS-die Zukunft hat längst begonnen. *LANDTECHNIK Agricultural Engineering*, 62(4):206–207. 46

Instruments, T. (2015). *Battery Management Guide*. Pode obter-se em http://www.ti.com/lit/sg/slyt420c/slyt420c.pdf. 39

Jefferson, B. (2014). Isobus plugfest 2014. Sítio de Internet. Consultado a 20 de Setembro de 2016. URL - https://www.distek.com/blog/isobus-plugfest-2014-saw/. 52

Johansson, K. H., Törngren, M., and Nielsen, L. (2005). Vehicle applications of controller area network. In *Handbook of networked and embedded control systems*, pages 741–765. Springer. 46

Jørgensen, R., Sørensen, C., Maagaard, J., Havn, I., Jensen, K., Søgaard, H., and Sørensen, L. (2005). *HortiBot: A System Design of a Robotic Tool Carrier for High-tech Plant Nursing*. Danmarks JordbrugsForskning, Flakkebjerg. OCLC: 473628591. 12

Kaplan, A., Kingry, N., Uhing, P., and Dai, R. (2016). Time-Optimal Path Planning With Power Schedules for a Solar-Powered Ground Robot. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, pages 1–10. 43

Kaplan, A., Uhing, P., Kingry, N., and Dai Adam, R. (2015). Integrated path planning and power management for solar-powered unmanned ground vehicles. In *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 982–987. IEEE. 43

Kim, K. H., Choi, H. D., Yoon, S., Lee, K. W., Ryu, H. S., Woo, C. K., and Kwak, Y. K. (2005). Development of docking system for mobile robots using cheap infrared sensors. In *Proceedings of the 1st International Conference on Sensing Technology*, pages 287–291. 26, 27, 28

Koerhuis, R. (2014). Precision farming. Sítio de Internet. Consultado a 23 de Julho de 2016. URL - http://www.q-riousmarketing.nl/en/tag/agco-launches-fuse-precision-farming-9/. 3

Kornienko, S. (2005). Power management board. Sítio de Internet. Consultado a 1 de Julho de 2016. URL - http://www.swarmrobot.org/PowerManagementBoard.html. 42

Kumar, G. A., Ramya, M., and others (2012). Wedding of robots with agriculture. In *Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT), 2012 Third International Conference on*, pages 1–4. IEEE. 7

Lecocq, R. (2014). La france prend sa part dans le développement de l?isobus. Sítio de Internet. Consultado a 20 de Setembro de 2016. URL - http://www.pleinchamp.com/machinisme/actualites-machinisme/la-france-prend-sa-part-dans-le-developpement-de-l-isobus. 47

Lee, Y., Chang, Y., Ryoo, Y.-J., and Joo, J. (2014). Platform of tracked electric tower wagon for eco-friendly agriculture. In *Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS), 2014 Joint 7th International Conference on and Advanced Intelligent Systems (ISIS), 15th International Symposium on*, pages 823–826. IEEE. 54

LLC, D. R. (2013). Aquarius robot. Sítio de Internet. Consultado a 12 de Julho de 2016. URL - http://www.dorhoutrd.com/aquarius_robot. 11

Lu, D., Cui, R., and Wang, P. (2014). Energy efficient path planning of autonomous underwater vehicles for environment modeling. In *Multisensor Fusion and Information Integration for Intelligent Systems (MFI), 2014 International Conference on*, pages 1–6. IEEE. 43

Luo, R. C., Liao, C. T., Su, K. L., and Lin, K. C. (2005). Automatic docking and recharging system for autonomous security robot. In *Intelligent Robots and Systems, 2005.(IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on*, pages 2953–2958. IEEE. 28, 29

Maduro, L. (2011). Carregador de baterias de iões de lítio (li-ion) / polímeros de lítio (li-po) de uma célula. Sítio de Internet. Consultado a 23 de Julho de 2016. URL - http://robotica.estg.ipleiria.pt/clube/index.php/projetos-tutoriais. 21

Magalhães, D. (2012). *Projeto de um sistema de gestão de baterias (BMS) aplicadas na alimentação de Veículos Elétricos (EVs)*. FEUP. 15, 16, 18, 20, 21

Marostica, M., Bullo, M., Moro, M., Dughiero, F., and Menegatti, E. (2014). A wireless recharging system for electrical agriculture robots with autonomous docking. 30, 31

Mathews, T. and Gopi, V. (2014). Embedded system based power management for battery operating robotic vehicle. In *Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2014 International Conference on*, pages 503–508. IEEE. 39, 40

Mei, Y., Lu, Y.-H., Hu, Y. C., and Lee, C. G. (2005). A case study of mobile robot's energy consumption and conservation techniques. In *Advanced Robotics, 2005. ICAR'05. Proceedings., 12th International Conference on*, pages 492–497. IEEE. 43

MIT (2008). *A Guide to Understanding Battery Specifications*. MIT. Pode ser obtido em: URL - http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf. 16

Morris, M. and Tosunoglu, S. (2012). Survey of Rechargeable Batteries for Robotic Applications. 23

Mousumi, B. (2011). *Control techniques for DC-DC Buck Converter with improved performance*. PhD thesis, National Institute of Technology Rourkela. 37

Niedercorn, F. Vitirover, robot and winegrower. Sítio de Internet. Consultado a 13 de Julho de 2016. URL - http://www.solutions-and-co.com/project/vitirover/. 13

Oksanen, T., Ohman, M., Miettinen, M., and Visala, A. (2005). ISO 11783-standard and its implementation. In *IFAC World Congress, Prague, Czech Republic*. 46

Pang, S. Pican2 can-bus board for raspberry pi 2/3. Sítio de Internet. Consultado a 20 de Setembro de 2016. URL - http://skpang.co.uk/catalog/pican2-canbus-board-for-raspberry-pi-2-p-1475.html. 54

Payne, J. Vitirover, solar-powered mower for vineyards. Sítio de Internet. Consultado a 22 de Agosto de 2016. URL - http://robohub.org/vitirover-solar-powered-mower-for-vineyards/. 13

Pereira, R. R. D. (2008). Protocolo iso 11783: Procedimentos para comunicação serial de dados com o controlador de tarefas. Master's thesis, Escola de Engenharia de São Carlos Departamento de Engeharia Mecânica, São Carlos, Brasil. 47, 49

Pinto, E., Deusdado, P., Marques, F., Lourenço, A., Mendonca, R., Santana, P., Flores, L., and Barata, J. (2015). A Health and Usage Monitoring System for ROS-based service robots. In *Mechatronics and its Applications (ISMA), 2015 10th International Symposium on*, pages 1–6. IEEE. 40, 41

Piquepaille, R. (2007). Hortibot, a weed-removing robot. Sítio de Internet. Consultado a 13 de Julho de 2016. URL - http://www.zdnet.com/article/hortibot-a-weed-removing-robot/. 11

Powell. La france prend sa part dans le développement de l?isobus. Sítio de Internet. Consultado a 20 de Setembro de 2016. URL - https://www.powell.com/content/Powell-Agriculture-3100042308. 48

PowerStream (2016). Nimh battery charging basics. Sítio de Internet. Consultado a 27 de Julho de 2016. URL - http://www.powerstream.com/NiMH.htm. 35

Quintanilha, J. (2014). Sistemas de armazenamento de energia eletroquímica residenciais. Master's thesis, Faculdade de Engenharia do Porto, FEUP, Porto, Portugal. 16, 18

REC. *Battery management system 4-15S*. REC. Pode obter-se em http://www.rec-bms.com/datasheet/UserManual9R.pdf. 39

Rocha, C. (2015). Vinbot, um robô todo-o-terreno para a vinha. Sítio de Internet. Consultado a 13 de Junho de 2016. URL - https://www.publico.pt/tecnologia/noticia/vinbot-o-robo-todooterreno-para-a-vinha-1702366. 8, 9

Roh, S.-g., Park, J. H., Lee, Y. H., Song, Y. K., Yang, K. W., Choi, M., Kim, H.-S., Lee, H., and Choi, H. R. (2008). Flexible docking mechanism with error-compensation capability for auto recharging system of mobile robot. *Int. J. of Control, Automation, and Systems*, 6(5):731–739. 24

Sá, I. (2015). Gestão de energia e estação de ancoragem para plataformas robóticas autossustentáveis. Master's thesis, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, Vila Real, Portugal. 21, 22

Solutions, F. L. (2016). Regulators and references. Sítio de Internet. Consultado a 27 de Julho de 2016. URL - http://www.futureelectronics.com/en/regulators-references/regulator-reference.aspx. 37

STA. *Manual das Baterias Recarregáveis, Pilhas e Carregadores*. Pode obter-se em www.sta-eletronica.com.br. 22

Student, P. G. Effective CAN Controller Design for Highly Secured Applications. 46

Systems, P. Bms - battery management system. Sítio de Internet. Consultado a 27 de Julho de 2016. URL - http://www.powertechsystems.eu/home/products/battery-management-system-bms/. 39

Szathmary, A. (2016). Periodic report summary 1 - vinbot (autonomous cloud-computing vineyard robot to optimise yield management and wine quality). Sítio de Internet. Consultado a 7 de Julho de 2016. URL - http://cordis.europa.eu/result/rcn/177513_en.html. 8

Tardaguila, D. J. (2013). Vinerobot. Sítio de Internet. Consultado a 13 de Junho de 2016. URL - http://www.vinerobot.eu/. 9, 10

Torres, D. (2010). *Multi-Cell Li-Ion Battery Management System Using MSP430F5529 and bq76PL536*. Texas Instruments. Pode obter-se em http://www.ti.com/lit/an/slaa478/slaa478.pdf. 39

Tsai, C.-T., Kuo, Y.-C., Kuo, Y.-P., and Hsieh, C.-T. (2015). A Reflex Charger with ZVS and Non-Dissipative Cells for Photovoltaic Energy Conversion. *Energies*, 8(2):1373–1389. 36

Tushar, M. H. (2011). *Comparative study on Dc/Dc Converters*. PhD thesis, M. Sc Thesis, Brac University. 37

Uharvest. Sítio de Internet. Consultado a 20 de Setembro de 2016. URL - https://www.uharvest.net/features/. 50

Ulrich Rückert, Sitte Joaquin, W. F. (2012). *Advances in Autonomous Mini Robots: Proceedings of the 6-th AMiRE Symposium*. Springer Science and Business Media. 42, 43

University, B. (2010). Whats the best battery? Sítio de Internet. Consultado a 20 de Julho de 2016. URL - http://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery. 22

Valer Pop, Henk Jan Bergveld, D. D. P. P. L. R. P. H. L. N. (2008). *Battery Management Systems: Accurate State-of-Charge Indication for Battery-Powered Applications*. Springer Science and Business Media. 38

Venis, M. Standard vs trickle charging nicd and nimh batteries. Sítio de Internet. Consultado a 27 de Julho de 2016. URL - http://www.vencon.com/charging-nicd-nimh-batteries/. 35, 36

VINBOT. Sítio de Internet. Consultado a 13 de Junho de 2016. URL - http://vinbot.eu/?lang=pt. 8

VITIROVER. Vitirover, ecological mower-robots. Sítio de Internet. Consultado a 13 de Julho de 2016. URL - http://www.vitirover.com/en/. 13

von Ralf Moebus, F. (2012). Schluss mit dem kabelsalat. Sítio de Internet. Consultado a 20 de Setembro de 2016. URL - http://www.all-electronics.de/schluss-mit-dem-kabelsalat-2/. 48

Wang, T., Wang, B., Wei, H., Cao, Y., Wang, M., and Shao, Z. (2008). Staying-alive and energy-efficient path planning for mobile robots. In *2008 American Control Conference*, pages 868–873. IEEE. 43

Wu, Y.-C., Teng, M.-C., and Tsai, Y.-J. (2009). Robot docking station for automatic battery exchanging and charging. In *Robotics and Biomimetics, 2008. ROBIO 2008. IEEE International Conference on*, pages 1043–1046. IEEE. 24, 25

Zeybek, T. and Chang, H. (2014). Delay tolerant network for autonomous robotic vehicle charging and hazard detection. In *Computer and Information Science (ICIS), 2014 IEEE/ACIS 13th International Conference on*, pages 79–85. IEEE. 27, 28

A Publicações

Durante o trabalho desta dissertação foram publicados/submetidos os seguintes artigos:

Publicado

Mendes, J. M., dos Santos, F. N., Ferraz, N., Couto, P., dos Santos, R. M. (2016). Vine trunk detector for a reliable robot localization system. *In 2016 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC).*

Mendes, J. M., dos Santos, F. N., Ferraz, N. A., Couto, P. M., dos Santos, R. M. (2016). Towards a pruning robot for steep slope vineyards with natural features detector. *Journal of Intelligent & Robotic Systems.*