

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

DAURIMAR MENDES DA SILVA

NAVIGO – Robô autônomo para navegação agrícola

PONTA GROSSA
2013

DAURIMAR MENDES DA SILVA

NAVIGO – Robô autônomo para navegação agrícola

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada, na Área de Computação para Tecnologia Agrícola.

Orientação: Prof. Dr. Ariangelo Hauer Dias

PONTA GROSSA

2013

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

S586 Silva, Daurimar Mendes da
 NAVIGO – Robô autônomo para navegação
 agrícola/ Daurimar Mendes da Silva. Ponta
 Grossa, 2014.
 74f.

 Dissertação (Mestrado em Computação
 Aplicada - Área de Concentração:
 Computação para Tecnologias em
 Agricultura), Universidade Estadual de
 Ponta Grossa.

 Orientador: Prof. Dr. Ariangelo Hauer
 Dias.

 1.Agricultura de precisão. 2.Agrobot.
 3.Amostragem de Solos. 4.Automação
 Agrícola. 5.Braço Robótico. I.Dias,
 Ariangelo Hauer. II. Universidade
 Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em
 Computação Aplicada. III. T.

CDD: 006.3

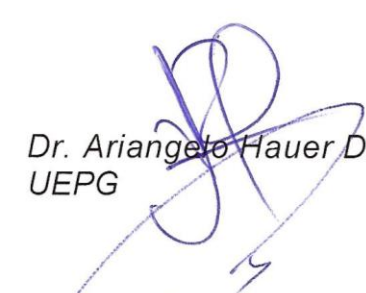
TERMO DE APROVAÇÃO

Daurimar Mendes da Silva

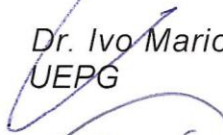
“NAVIGO – ROBÔ AUTÔNOMO PARA NAVEGAÇÃO AGRÍCOLA”.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Dr. Ariangelo Hauer Dias
UEPG



Dr. Ivo Mario Mathias
UEPG



Dr. Altair Justino
UEPG

Ponta Grossa, 26 de agosto de 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar pelas inúmeras oportunidades colocadas em meu caminho.

Ao meu pai Doguinor e a minha mãe Tereza pelos inúmeros sacrifícios realizados em suas vidas para proporcionar o meu desenvolvimento como ser humano e profissional.

Agradeço, em especial, a minha esposa Ciomara pela compreensão, sacrifício, paciência, e acima de tudo amor disponibilizados neste período de estudos do Mestrado, pois certamente foram decisivos para chegar até aqui.

Meu filho Pedro, por preencher minha vida com amor incondicional.

Aos professores Doutores Altair Justino, Ivo Mario Mathias e Pedro Henrique Weirich Neto, por confiarem e apoiarem o meu esforço ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu Orientador Professor Doutor Ariangelo Hauer Dias, que conduziu de forma sabia e com paciência as minhas dificuldades e limitações no decorrer deste trabalho.

Ao Professor Doutor José Carlos Ferreira da Rocha e ao colegiado do curso, que reconheceram as dificuldades encontradas no desenvolvimento deste projeto concedendo o meu pedido de prorrogação para a conclusão do trabalho, e a CAPES pela bolsa de estudos que contribuiu muito para atingir os resultados aqui apresentados.

Aos meus colegas e professores do mestrado e da graduação em Engenharia Agrônoma, que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho, em especial destaque para o Mestrando Robson Fernando Duda e o Graduando Luiz Antônio Zanlorensi Junior por disporem de seu tempo para ajudar no desenvolvimento das aplicações utilizadas neste projeto.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me apoiaram neste período.

RESUMO

No futuro será indispensável a robótica no ambiente agrícola, sendo grande oportunidade neste momento o desenvolvimento de novos trabalhos e pesquisas, com a geração de patentes, transformando os conhecimentos em produtos comerciais. Os avanços tecnológicos atuais permitem utilizar arquiteturas de processamento extremamente menores em relação aos computadores pessoais, que nos dão condições de construir novos equipamentos agrícolas utilizando sensores (GPS, ultrassom, multiespectral visível, infrared, imagens); modificando paradigmas e promovendo o trabalho em escalas menores podendo chegar ao nível foliar, através de robôs inteligentes autônomos atuando no lugar desejado, no momento apropriado, e navegando no trajeto adequado. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um robô agrícola autônomo (*Field Robot*), denominado NAVIGO, que tem por função percorrer talhões agricultáveis coletando amostras de solos. Para tanto, foi desenvolvido uma plataforma móvel com um braço robótico utilizando sistema computacional embarcado baseado no telefone móvel *Android* (*Smartphone*) e controlador *IOIO* para *Android*. O sistema como um todo tem por finalidade a navegação desempenhando a função de coletor de informações (amostras de solos). Os resultados obtidos demonstraram atuação estável do protótipo permitindo o seu uso como ferramenta útil na execução de coletas de amostras de solos para áreas agrícolas de pequeno e médio porte.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, Agrobot, Amostragem de Solos, Automação Agrícola, Braço Robótico, Coletor de Informações, IOIO Android.

Abstract

In the future it will be essential to robotics in the agricultural environment, with great opportunity at this time to development new work and research, with the generation of patents, transforming knowledge into commercial products. The current technological advances allow the use of extremely minor processing architectures in relation to personal computers, giving us the ability to build new agricultural equipment using sensors (GPS, ultrasound, multispectral visible, infrared, images); changing paradigms and promoting the work at smaller scales can reach the leaf level through intelligent autonomous robots acting in the desired place, at the appropriate time, and navigating the appropriate path. Thus, the present study aimed to develop an autonomous agricultural robot (Field Robot) called NAVIGO, whose function is to traverse farmland collecting soil samples. To that end, we developed a mobile platform with a robotic arm using embedded computing system based on the Android mobile phone (Smartphone) and IOIO for Android controller. The system as a whole is intended to navigation in the role of information gatherer (soil samples). Results showed stable performance of the prototype allowing its use as a handy tool in performing the sampling of soils for agricultural areas for small and medium businesses.

Keywords: Precision Agriculture, Agrobot, Soil Sampling, Agricultural Automation, Robotic Arm, Scouting, IOIO Android.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura	1	- Elementos básicos de sistemas de automação de veículos agrícolas	15
Figura	2	- Como ambiente afeta o sistema de robótica agrícola	18
Figura	3	- Robô Autônomo ACW	23
Figura	4	- Trajetória do ACW no campo	23
Figura	5	- API	24
Figura	6	- As dimensões do API	24
Figura	7	- A) Roçadora <i>Spider</i> rádio controlada; B) HortiBot; C) HortiBot	25
Figura	8	- VAA ZEUS	25
Figura	9	- Robô móvel externo GPA	26
Figura	10	- Robô móvel MoonHound	26
Figura	11	- RAM SKINNY	27
Figura	12	- Arquitetura RAM na fase 3	27
Figura	13	- AGRIBOT	28
Figura	14	- Mars Exploration Rover	29
Figura	15	- Teste da estrutura para mobilidade e suspensão	29
Figura	16	- Teste da estrutura descendo colina	30
Figura	17	- Projeto AGROBOT – Navigo 1	30
Figura	18	- The System Physical Structure Model	32
Figura	19	- Sistemas Eletrônicos Embarcados	35
Figura	20	- A) Placa de controle IOIO; B) Matriz 3x3 (Jogo da Velha); C) Android APP	36
Figura	21	- Estrutura básica do sistema de navegação em tempo real	38
Figura	22	- A) Sistema RTK; B) Robô móvel autônomo	39

Figura	23	-	Imagens resultantes de cada fase do sistema de visão	40
Figura	24	-	Resultados da experiência de processamento de imagem	40
Figura	25	-	Robô móvel com quatro braços robóticos baseado em visão computacional para colher kiwis	42
Figura	26	-	Robô móvel com braço robótico baseado em visão computacional para colher tomates	42
Figura	27	-	Desenho conceitual do braço robótico e o primeiro teste e validação no ambiente	43
Figura	28	-	A) Plano de amostragem convencional; B) Plano de amostragem georreferenciada	46
Figura	29	-	Ferramentas utilizadas para coletar amostras de solos: a) trado holandês, b) trado de rosca, c) trado meia-lua, d) marreta, e) trado tubular, f) pá reta, g) enxadão, h) balde, i) saco plástico	46
Figura	30	-	Etapas da coleta. A) remover superficialmente a vegetação e resíduos, B) fazer uma cova com enxadão de 20x20x20cm ou introduzir o trado com movimento circular, C) amostra simples será cada porção de solo retirada de uma fatia da parede da cova ou a porção de solo que ficar retida dentro do trado, depositar num balde D) após coletar aleatoriamente todas as amostras simples em zigue-zague, misturar bem e retirar uma parte (cerca de 500g) que será a amostra composta, identificar e enviar ao laboratório	46
Figura	31	-	A) identificação de cada amostra, B) homogeneização e acondicionamento no saco plástico, C) amostra sendo manipulada no laboratório	47
Figura	32	-	Exemplo do plano de amostragem georreferenciada (de pontos) de solo para geração do mapa de fertilidades e recomendações, variando ao longo do talhão	47
Figura	33	-	A) Utilização do trado holandês; B) utilização do trado tubular + marreta; C) utilização do trado de rosca + parafusadora elétrica; D) trado de rosca + parafusadora ligada ao veículo; E) trado de rosca + motor hidráulico conectado ao quadriciclo	48
Figura	34	-	A) chassi; B) eixo	50
Figura	35	-	Perspectiva do automodelo elétrico R/C modelo RCF-1 ...	51

Figura	36	-	Esboço do sistema elétrico utilizado no NAVIGO	52
Figura	37	-	A) Celular móvel Samsung GT-I9100; B) placa de controle IOIO; C) placa de relês; D) adaptador bluetooth USB	54
Figura	38	-	Sistema computacional, A) vista lateral; B) vista superior; C) vista posterior	54
Figura	39	-	A) Desenhos em programa CAD; B) corte laser de acrílico	55
Figura	40	-	A) <i>eppendorf</i> ; B) motor servo com 180° de rotação; C) motor de corrente contínua; D) braço robótico para coleta de amostras de solos; E) armazenamento das amostras de solos; F) antebraço tubo coletor com êmbolo	56
Figura	41	-	Esboço do fluxo da informação utilizado no NAVIGO	58
Figura	42	-	Altura livre do eixo até o solo	60
Figura	43	-	Aplicação de Controle da Navegação para o robô	61
Figura	44	-	Aplicação de Controle do Braço Robótico para o robô	63
Figura	45	-	Movimentação do Braço Robótico para a execução da coleta de amostras de solos	63

LISTA DE TABELAS

Tabela	1	- Grupos encontrados em robótica agrícola móvel no Brasil e no mundo (acesso realizado entre 01/03/2011 a 31/03/2011)	21
Tabela	2	- Especificações obtidas a partir do robô móvel na escala 1:10, e correlacionadas com escala natural 1:1	59

LISTA DE SIGLAS

ACW	Autonomous Christmas tree Weeder
AP	Agricultura de Precisão / Precision Farming
API	Autonomous Plant-care Instrumentation system
CAD	Computer aided design
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESC	Eletronic Speed Control
EUA	Estados Unidos da América
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GB	Giga byte
GIS	Geographic Information System
GPA	Grupo de Percepción Artificial
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Service
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IDE	Integrated Development Environment
ISO	International Organization for Standardization
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEPAS	Núcleo de Ensino e Pesquisa e Simulação
PIC	Programmable Interface Controller
RAM	Robô Agrícola Móvel
RTK	Real Time Kinematics
SONAR	Sound Navigation And Ranging
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UNEP	United Nations Environment Programme
USB	Universal Serial Bus
VAA	Veículo Autônomo Agrícola
WWW	World Wide Web

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	ROBÔ AGRÍCOLA NO MUNDO	14
2.2	ROBÔ AGRÍCOLA NO BRASIL	19
2.3	PLATAFORMAS PARA ROBÔS MÓVEIS	22
2.4	INFORMAÇÕES AGRÍCOLAS GEORREFERENCIADAS	31
2.5	SISTEMAS ELETRÔNICOS EMBARCADOS	34
2.6	SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO	37
2.7	BRAÇO ROBÓTICO	41
2.8	COLETA DE AMOSTRAS DE SOLOS	44
3	MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1	ESTRUTURA MÓVEL	49
3.1.1	Chassi	50
3.1.2	Sistema Elétrico	51
3.1.3	Sistema Computacional Embarcado	52
3.1.4	Braço Robótico	55
3.2	DESENVOLVIMENTO DAS APLICAÇÕES	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1	CHASSI	59
4.2	NAVEGAÇÃO	60
4.3	BRAÇO ROBÓTICO	61
4.4	AVALIAÇÕES EXTRAS	64
5	CONCLUSÃO	66
6	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1 INTRODUÇÃO

No futuro, será de grande facilidade o uso da robótica no ambiente agrícola, o que torna o presente um momento favorável para o desenvolvimento de novos trabalhos e pesquisas, com a geração de patentes, transformando os conhecimentos em produtos comerciais.

Na agricultura, as avaliações das condições climáticas, do relevo, do solo, das plantas, do estado nutricional (solo/planta) e sanitário são tão importantes quanto conhecer o seu posicionamento geográfico, pois estas informações auxiliam em decisões futuras. A ideia principal é que o produtor rural construa uma agricultura digital, que permita conhecer as diferenças dentro dos talhões¹ fazendo gestão por zoneamento utilizando as áreas do conhecimento: agronomia e tecnologia da informação; para atingir maior detalhamento com escala compatível.

Os avanços tecnológicos atuais permitem o desenvolvimento de práticas e manejos que não eram possíveis no passado, mudando paradigmas e promovendo o trabalho com pequenos controladores inteligentes autônomos que permitem o tratamento em escala ainda menor, chegando ao nível de planta e até mesmo ao de folha.

A oportunidade de utilizar *smartphones* ou outras arquiteturas de processamento em sistemas autônomos proporciona condições no desenvolvimento de novos equipamentos agrícolas para atuarem no lugar adequado, no momento apropriado, e na rota programada.

Analisando os processos da produção agrícola e considerando o custo, a simplicidade e a automação, o Laboratório de Automação e Robótica da Universidade Estadual de Ponta Grossa propôs o projeto AGROBOT. Esse projeto possui diversas áreas de pesquisa, destacando-se o desenvolvimento de um robô agrícola (*Field Robot*²) denominado NAVIGO, o qual tem por objetivo percorrer talhões com a função de coletar informações padronizadas, contínuas e georreferenciadas.

¹ O termo talhões descreve o plural de talhão ou gleba, que significa uma área menor ou uma parcela da divisão do total da área cultivada na propriedade agrícola, onde geralmente recebe tratamento único em toda a sua extensão.

² O termo *Field Robot* descreve Robô de Campo.

O projeto AGROBOT é constituído por uma arquitetura de *hardware*³ e *software*⁴, sendo esse de código aberto possibilitando à comunidade seu uso, contribuição e caso necessite a modificação de acordo com as necessidades.

Dentro deste contexto, este trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um robô agrícola viabilizando a utilização agrônômica de equipamentos eletrônicos, sistemas computacionais, técnicas e processos para os usuários.

1.1 OBJETIVO GERAL

Construir uma estrutura móvel que possibilite o deslocamento em superfícies irregulares, acondicionando os componentes eletrônicos, elétricos e mecânicos, necessários ao funcionamento da navegação autônoma e da coleta de informações.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar estrutura robótica para coletar e armazenar as amostras de diferentes tipos de solos;
- Construir estrutura para fixar os componentes eletrônicos de controle e aquisição das informações;
- Programar a interface de automação para controlar os atuadores;
- Avaliar o desempenho da estrutura robótica nas atividades de: locomoção, coleta e armazenamento das amostras de solo.

³ O termo *hardware* descreve a parte física de um computador formado pelos componentes eletrônicos.

⁴ O termo *software* descreve a sequência de instruções escritas para serem interpretadas por um computador.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordada a revisão bibliográfica de trabalhos relacionados com o objetivo desta pesquisa, iniciando com os temas Robôs Agrícolas Móveis (RAM's) e Veículos Autônomos Agrícolas (VAA's), os quais são assuntos pouco desenvolvidos no Brasil, e com uma grande oportunidade de crescimento no País em virtude das extensas áreas agrícolas para produção alimentar mundial. Os assuntos sobre: Informações Agrícolas Georreferenciadas, Sistemas Eletrônicos Embarcados, Sistemas de Navegação, Braço Robótico, e Coleta de Amostras de Solos proporcionam abordagem complementar para o desenvolvimento do projeto.

2.1 ROBÔ AGRÍCOLA NO MUNDO

Os primeiros relatos da idealização do robô de campo (*Field Robot*) datam de 1868, pelo americano escritor de romances de ficção científica Edward Ellis, que caracterizou um homem mecânico a vapor “*Steam man*” para realizar trabalhos em substituição ao humano. Desde então, várias mudanças tecnológicas ocorreram surgindo novas ferramentas, equipamentos e técnicas que possibilitam a construção de robôs. As indústrias utilizam robôs desde 1961 e são vários esforços para o desenvolvimento de robôs de campo; a seguir, são compilados alguns trabalhos relacionados com robôs de campos no mundo (THE STEAM MAN, 2011).

Monta, Kondo e Shibano (1995) desenvolveram um estudo abordando um robô agrícola em sistema de produção de uva, o qual era composto de braço robótico, sensor visual, e locomoção entre as fileiras de plantio do vinhedo, identificando início e fim das linhas, realizando quatro operações: colheita, desbaste de bagas, pulverização localizada e ensacamento de cachos um a um. Na operação de colheita não foram danificadas as bagas manipuladas. Os resultados experimentais de campo e laboratório mostraram que o robô pode executar de forma eficiente as operações que lhe foram atribuídas.

A pesquisa realizada por Reid *et al.* (2000), nos últimos dez anos sobre automação agrícola na América do Norte, conclui que as tecnologias de sensoriamento tiveram promissores avanços no desenvolvimento e orientação de

pesquisas, gerando expectativa de pesquisas futuras visando à maximização do desempenho dos sistemas, mantendo a usabilidade e simplicidade para os operadores dos equipamentos agrícolas. Na Figura 1 pode ser visualizado os elementos básicos apresentados pela pesquisa de Reid *et al.* (2000) para os sistemas de automação de veículos agrícolas da época.

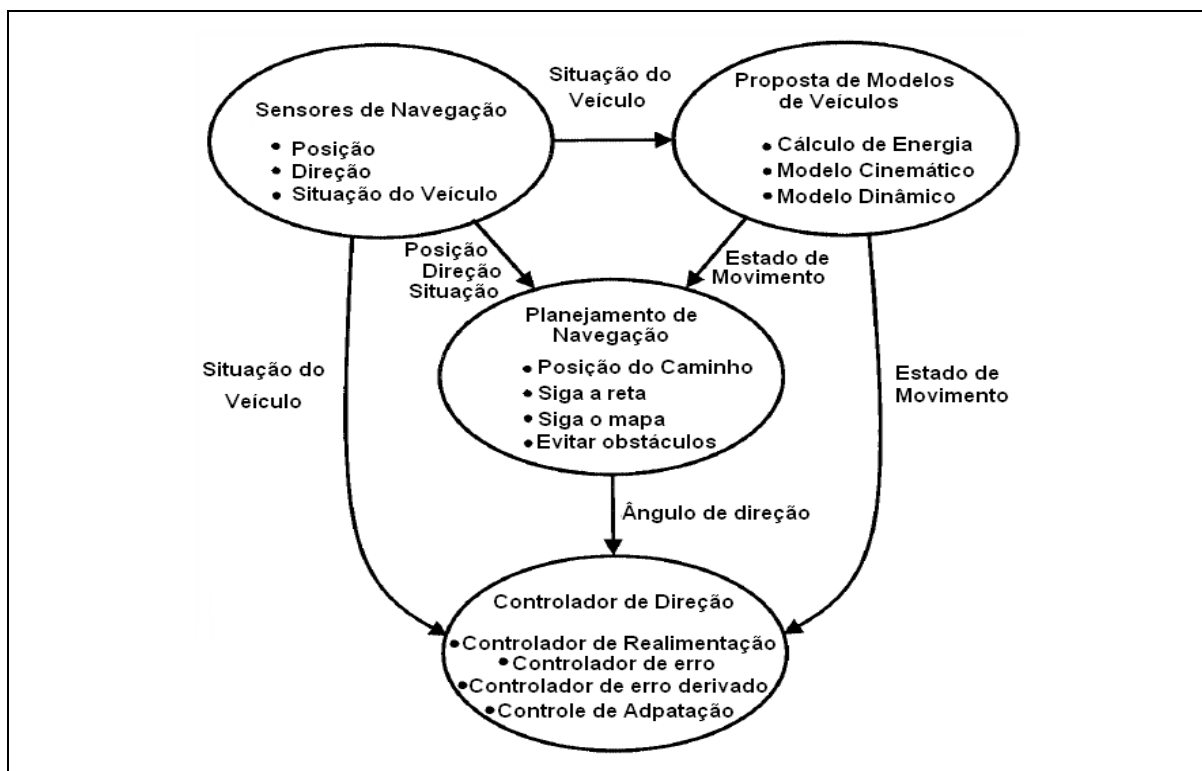


Figura 1 - Elementos básicos de sistemas de automação de veículos agrícolas. (adaptado de Reid *et al.*, 2000)

Blackmore, Have e Fountas (2001) apresentaram uma visão de como seriam os requisitos comportamentais do trator autônomo. Citaram que durante a última década foram introduzidas tecnologias como: *Global Positioning System* (GPS⁵) e *Geographic Information System* (GIS⁶) permitindo a gestão por zonas de manejo (subdivisão do talhão) devido às observações no campo ser em escalas menores. Com o advento das novas tecnologias, o comportamento baseado em robótica pode estudar escalas ainda menores, que são chamadas de unidades *Phytotechnology*⁷. Os novos equipamentos sofisticados seriam sistemas autônomos para trabalhar por longos períodos no cuidado com a planta individual, da

⁵ O termo GPS descreve o Sistema de Posicionamento Global.

⁶ O termo GIS ou SIG, descreve os Sistemas de Informações Geográficas.

⁷ O termo *phytotechnology* descreve a aplicação da ciência e da engenharia para estudar os problemas e fornecer soluções que envolvem plantas (UNEP, 2003)

implantação até a colheita seletiva, em culturas de valor agregado, como horticultura ou silvicultura, justificando investimento desta natureza.

Zhang (2001) apresentou um projeto de controlador de direção para os atuadores elétricos e hidráulicos de um trator agrícola, diferentemente, da maioria dos modelos existentes baseados em controlador matemático, em que o controle da direção utilizou a lógica *fuzzy*⁸ “imitando o pensamento” do operador humano nas diferentes tomadas de decisões. Os resultados dos testes provaram que o controlador de direção com a lógica *fuzzy* pode ser aplicado a diferentes tipos e/ou modelos de veículos análogos com pequena recalibração.

Astrand e Baerveldt (2002) desenvolveram um robô autônomo agrícola para controle mecânico⁹ de plantas invasoras em ambientes abertos, utilizando dois sistemas de visão: o primeiro usava níveis de cinza no reconhecimento da cultura para guiar a locomoção, e o segundo usava níveis de cores para identificar as plantas cultivadas e diferenciar das plantas indesejadas. Este sistema de visão controla uma ferramenta que remove as plantas invasoras. O robô mostrou capacidade de gerenciar o controle mecânico com precisão de aproximadamente dois centímetros.

Syed e Cannon (2004) descreveram um algoritmo de mapa de correspondência com base na lógica *fuzzy* para sistema de navegação de veículo em centros urbanos. As informações eram obtidas por um receptor GPS e um giroscópio de baixo custo. Os resultados mostraram melhoria no acompanhamento do veículo entre obstáculos do centro urbano apresentando maior confiabilidade do algoritmo proposto em comparação com os algoritmos convencionais baseados em abordagem geométrica.

Blackmore *et al.* (2005) afirmaram: “a necessidade em encontrar novas maneiras de melhorar a eficiência no desenvolvimento da agricultura, utilizando tecnologias de informação disponíveis na forma de máquinas mais inteligentes para o uso mais

⁸ A teoria de conjuntos *fuzzy* foi introduzida, em 1965, pelo matemático de origem iraniana Lotfi Asker Zadeh, Prof. da Universidade de Berkley - EUA, com objetivo no tratamento matemático a certos termos linguísticos subjetivos, como “aproximadamente”, “em torno de” dentre outros (BARROS, 2002).

⁹ O termo controle mecânico descreve a exclusão do mato (plantas daninhas, invasoras, indesejadas), como: arrancar, capinar, roçar e cultivar feito por cultivadores tracionados por animais ou tratores.

adequado dos insumos¹⁰. A agricultura de precisão (AP¹¹) tem mostrado benefícios desta abordagem, mas é possível avançar para nova geração de equipamentos. O advento de arquiteturas de sistemas autônomos nos dá a oportunidade de desenvolver nova gama de equipamentos agrícolas com base em pequenas máquinas inteligentes que podem fazer a tarefa adequada, no lugar adequado, na hora adequada e no caminho adequado.”

Slaughter, Giles e Downey (2008) realizaram uma revisão dos sistemas robóticos autônomos para controle de plantas invasoras, e citaram que a tecnologia pode reduzir o uso de herbicidas¹² na agricultura, com melhoria da sustentabilidade e redução no impacto ambiental, apresentando quatro principais tecnologias para êxito no desenvolvimento do sistema de robótica:

- Detecção;
- Orientação e identificação;
- Precisão no controle;
- Mapeamento.

Slaughter, Giles e Downey (2008) destacaram como maior desafio a detecção e a identificação em ampla faixa de condições comuns para os campos agrícolas, e, ainda, que alguns sistemas robóticos demonstraram grande potencial, mas com necessidade de estudos e desenvolvimento mais amplos.

Blackmore (2009) declarou que pesquisadores universitários estavam desenvolvendo novas tecnologias de automação agrícola alterando as práticas agrônômicas radicalmente, e correlacionou a interferência do ambiente sobre o sistema de robótica na Figura 2 introduzindo alguns novos conceitos como: *Phytotechnology*, insumo no alvo adequado, zero força de tração, zero compactação, autonomia energética, usabilidade (simplicidade), modularidade (tarefa orientada em módulos de sistema automático), sistemas de cultivo, fases de

¹⁰ O termo insumos descreve os produtos que auxiliam no desenvolvimento da planta, como: fertilizantes, herbicidas, fungicidas, inseticidas, e outros produtos químicos.

¹¹ O termo AP descreve a Agricultura de Precisão como sendo um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente (Boletim Técnico MAPA, 2013).

¹² O termo herbicida (de acordo com a etimologia: herbi, erva, e cida, matar) usualmente descreve os produtos químicos com ação destruidora de plantas indesejadas, com a principal vantagem o não revolvimento do solo e a desvantagem na seleção de plantas resistentes.

corte, bioprodução flexível, o ciclo de cultivo, formação da cultura, tratamentos culturais, colheita seletiva, dependência e independência do clima, segurança e confiabilidade, inteligência da máquina (execução das tarefas programadas, e, ainda, supervisão e gerenciamento de falhas), comportamentos robóticos, comportamentos reativos, conceitos de sistemática, posições do plantio permanente, *reseeding*¹³, *scouting*¹⁴, *microspraying*¹⁵, fertilização localizada, biomanipulação, Sistema de Gestão Avançada de Maquinário, coordenação, cooperação, e colaboração.

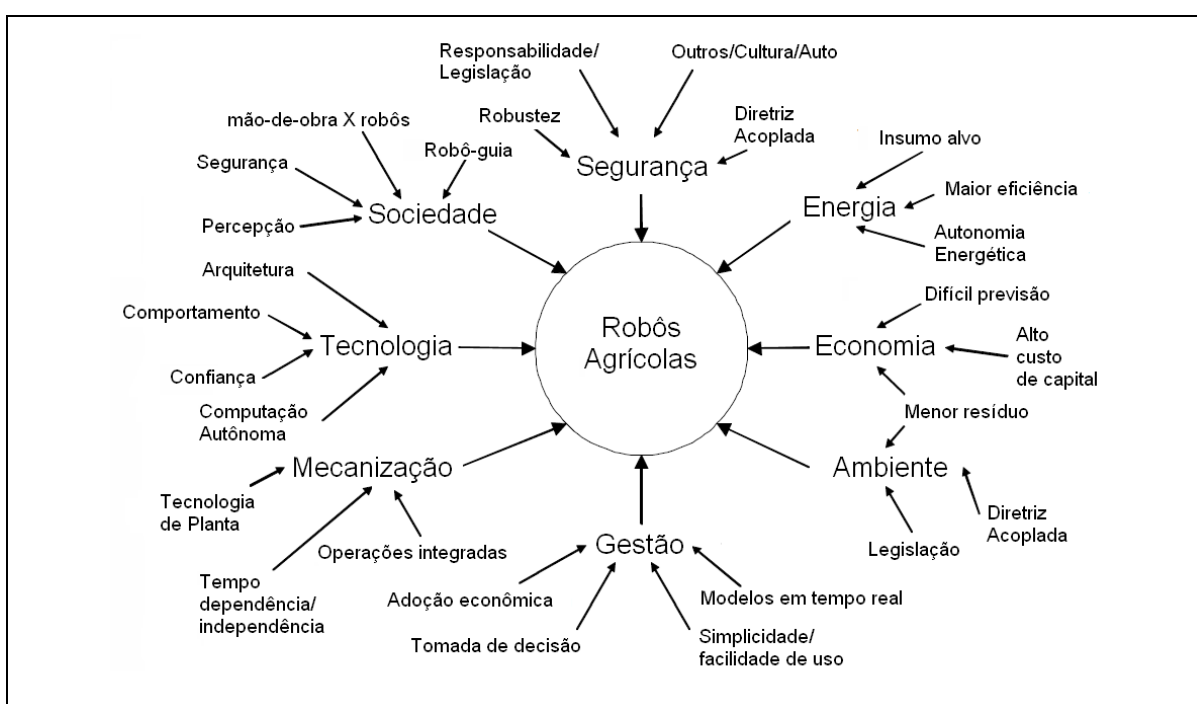


Figura 2 - Como ambiente afeta o sistema de robótica agrícola. (adaptado de Blackmore, 2009)

Segundo Blackmore (2009), “as mudanças de paradigmas serão necessárias, pois o desenvolvimento das tarefas de campo com o auxílio de robôs autônomos agrícolas é diferente da rotina agrícola atual.” As atividades desenvolvidas na agricultura seriam automatizadas com sistemas computacionais dedicados para racionalização da energia, insumos e mecanização, melhorando o ambiente, a segurança, a gestão, e a economia agrícola.

¹³ O termo *reseeding* descreve o ato de replantio e/ou ressemeadura (Ludwig, Maia e Correa, 2011).

¹⁴ O termo *scouting* descreve o ato de caminhamento do talhão para o mapeamento dos dados coletados (CLAY, 2002).

¹⁵ O termo *microspraying* descreve a aplicação de microjato localizado e/ou microaspersão (Reis, Campostrini e Sousa, 2009).

Xue e Xu (2010) utilizando o conceito de arquitetura aberta desenvolveram um robô independente com orientação e locomoção entre as fileiras de plantio, baseada na visão computacional em tempo real. Os resultados experimentais mostraram que os algoritmos de identificação das linhas de plantio e as entrelinhas foram eficazes qualificando o robô para locomoção com elevada precisão.

Norremark *et al.* (2011) trabalharam o problema da remoção de ervas daninhas mecanicamente nas linhas de plantio semeadas com precisão utilizando GPS de navegação. O sistema rotativo de oito hastes verticais funciona em conjunto ou individual, evitando a colisão com plantas georreferenciada da cultura, simuladas através de tubos de *polyvinyl chloride* / policloreto de vinila (PVC). As avaliações do sistema quantificaram as áreas tratadas de desenraizamento¹⁶, sepultamento¹⁷, e a previsão correspondente de eficiência no controle. O resultado da previsão é de crucial importância para as considerações de projetos de ferramentas no atual estágio conceitual do sistema.

Como observado, já existem várias linhas de pesquisas no mundo para o desenvolvimento de soluções autônomas agrícolas; a seguir, serão apresentados alguns trabalhos realizados no Brasil demonstrando a mesma tendência.

2.2 ROBÔ AGRÍCOLA NO BRASIL

O desenvolvimento de robôs agrícolas é uma área promissora devido a crescente demanda por automação e sistemas inteligentes que contribuam na gestão do agronegócio (Kranenburg-de Lange, 2012); acompanhando essa tendência, desde 1999 são desenvolvidos estudos com robôs agrícolas móveis no Brasil, sendo representados pelos próximos trabalhos.

Sousa (2007) desenvolveu um sistema de direção e navegação para robôs agrícolas móveis (RAM's) e veículos autônomos agrícolas (VAA's) utilizando regras difusas para compor e coordenar os comportamentos primitivos e complexos com o auxílio de sensores para o módulo perceptivo; e algoritmo para auxiliar a composição da rede de comunicação digital para sistemas de controle robóticos.

¹⁶ O termo desenraizamento descreve a retirada da raiz da planta de cultivo do seu local original, causado pela realização da operação do equipamento.

¹⁷ O termo sepultamento descreve a colocação de solo sobre a planta de cultivo, causado pela realização da operação do equipamento.

Avaliaram-se os comportamentos e a capacidade de operação da plataforma robótica em ambiente agrícola simulado, com resultados satisfatórios.

Freitas (2008) baseando-se em literatura, mercado, modelagem cinemática de VAA's, e estruturas mecânicas de máquinas projetou e construiu uma plataforma robótica com conceito modular e de pórtico para o sensoriamento em lavouras brasileiras com diferentes fases de desenvolvimento. A plataforma desenvolvida foi para auxiliar futuros projetos de VAA's.

Tangerino (2009) desenvolveu dois sistemas de sensoriamento embarcados; no primeiro sistema, foram coletadas as informações sobre refletância e altura das plantas na cultura de cana-de-açúcar; e no segundo, informações de refletância na cultura de milho para controlar aplicação de fertilizantes à taxa variável; para isto, foram utilizados sensores *Crop Circle* (medidas de refletância para monitoramento de status da planta), *sound navigation and ranging* (SONAR¹⁸) (medida de altura de plantas) e GPS. Os sistemas desenvolvidos cumpriram o papel de integradores de conhecimento, possibilitando observações práticas sobre necessidades, falhas e acertos no desenvolvimento de sistemas embarcados para uso em aplicações agrícolas.

Godoy *et al.* (2010) desenvolveu uma arquitetura eletrônica para RAM, com foco no sistema de comunicação sem fio para teleoperação e no controle distribuído através da rede *Controller Area Network*¹⁹ (CAN) e da ISO11783²⁰. A operação do robô forneceu dados para avaliação do desempenho como: resposta dos motores e tempo de resposta da arquitetura. Os resultados demonstraram que a arquitetura desenvolvida pode ser aplicada para teleoperação e controle distribuído de robôs agrícolas cumprindo os requisitos para a obtenção de movimentação precisa e tempo aceitável de resposta para comandos de controle e supervisão do robô.

No trabalho de Godoy *et al.* (2010) utilizou a teleoperação que consiste na capacidade de utilizar (operar e controlar) uma máquina à distância.

¹⁸ O termo SONAR descreve navegação e determinação da distância por ondas de som.

¹⁹ O termo CAN descreve protocolo de comunicação serial síncrono, desenvolvido originalmente pela companhia alemã Robert Bosch para utilização na indústria automotiva, a qual buscava basicamente a comunicação efetiva com custos reduzidos às aplicações embarcadas (Pazul, 1999).

²⁰ O termo ISO11783 descreve a padronização do método e formato de transferência de dados entre os sensores, atuadores, elementos de controle, armazenamento de informações, e as unidades de exibição, para os equipamentos do setor agrícola (ISO, 2011; Guimarães e Saraiva, 2003).

Tabile *et al.* (2011) descreveu o projeto da plataforma experimental, baseando-se em literatura sistematizada, prototipagem virtual (para o estudo cinemático da estrutura mecânica), e experiências em trabalhos anteriores.

Tangerino *et al.* (2011) apresentou um estudo do estado da arte em robótica agrícola móvel no Brasil e no Mundo através dos dados da Plataforma Lattes do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Tabela 1); no Brasil há 1.206 pesquisadores doutores com trabalhos relacionados à robótica, dos quais, 36 possuem algum trabalho relacionado com a agricultura, porém apenas 10 doutores possuem trabalhos relacionados a robô ou robótica agrícola, enquanto que no diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq existem quatro grupos com registro em robô ou robótica agrícola, mas apenas um grupo com resultados com robô agrícola.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Instrumentação Agropecuária de São Carlos e a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) construíram um robô agrícola em 2000, sendo continuado pelo Núcleo de Ensino e Pesquisa e Simulação (NEPAS) e atualmente conta com a terceira versão do projeto sendo financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) em parceria com a empresa JACTO de Pompéia-SP.

Tabela 1 – Grupos encontrados em robótica agrícola móvel no Brasil e no mundo (acesso realizado entre 01/03/2011 a 31/03/2011) (adaptado de Tangerino *et al.*, 2011).

(continua)

Nome	AGRIBOT
Descrição	autoguiagem baseada em visão, sensores de proximidade, sensores de planta; uso em ambientes externos para coleta de informações sobre plantação
Instituição	EMBRAPA e EESC, Brasil
End. Eletrônico	www.nepas.eesc.usp.br/agribot
Nome	VERO
Descrição	estação base e sistema embarcado com sensores inerciais, câmera, <i>lasers</i> , odômetros e GPS
Instituição	Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), Campinas, Brasil
End. Eletrônico	http://www.cti.gov.br/index.php/drvc-projetos/vero-veiculo-robotico.html
Nome	AMARA
Descrição	controle de robôs móveis em ambientes exteriores
Instituição	“Centro de Automática y Robótica” do “Instituto de Automática Industrial” (IAI), Espanha
End. Eletrônico	http://www.car.upm-csic.es/gpa
Nome	MANIFA
Descrição	uso de GPS e imagens de satélite para formação autônoma de mapa para localização e navegação autônoma distribuída de mais de um robô para executarem manutenção em fazendas
Instituição	Castello de La Plana, na “Universitat Jaume I”, Espanha
End. Eletrônico	http://www.robot.uji.es/lab/plone/projects/manifa

Tabela 1 – Grupos encontrados em robótica agrícola móvel no Brasil e no mundo (acesso realizado entre 01/03/2011 a 31/03/2011) (adaptado de Tangerino *et al.*, 2011).

(encerra)

Nome	ZEUS
Descrição	veículo autônomo de baixo custo para realizar tarefas específicas em campo; uso de GPS e no futuro uso de técnicas de fusão de sensores
Instituição	"Piraeus Institute of Technology" em colaboração com a "University of Thessaly", Grécia
End. Eletrônico	http://users.forthnet.gr/ath/startrek/index.html
Nome	---
Descrição	Sistema de visão para guiagem autônoma de precisão; plataforma utilizada em horticultura, com uso de sensoriamento para detecção de plantas para corrigir posição do veículo, tais como sonar e visão
Instituição	"Silsoe Research Institute" (SRI) e Tillet and Hague Technology Ltd., Inglaterra
End. Eletrônico	http://www.thtechnology.co.uk
Nome	Autonomous Christmas tree Weeder (ACW)
Descrição	robô autônomo com a função de cortar plantas invasoras em plantações de pinheirinhos para o Natal, com sensores de detecção de presença das árvores
Instituição	"Copenhagen University", Dinamarca
End. Eletrônico	http://www.unibots.com/ACW.htm
Nome	Autonomous Plant-care Instrumentation system (API)
Descrição	Sistema de plataforma autônoma e de informação, em forma de robôs de quatro rodas guiáveis
Instituição	"Danish Technical University" e "Aalborg University", Dinamarca
End. Eletrônico	http://www.control.auc.dk/farming/04gr1030a/report/report.pdf
Nome	HORTIBOT
Descrição	robô enfermeiro de plantas capaz de passar sobre parcelas com linhas visíveis de forma autônoma sem uso de GPS, com uso de visão
Instituição	"Danish Institute of Agricultural Sciences", Dinamarca
End. Eletrônico	http://www.hortibot.dk/index.html

O desenvolvimento de robôs autônomos agrícolas no mundo é conduzido de forma distinta em função das necessidades agrícolas regionais, da tecnologia e do orçamento disponível, na maioria dos estudos; suas plataformas são semelhantes em alguns casos ou totalmente diferentes em outros, como pode ser visualizado a seguir.

2.3 PLATAFORMAS PARA ROBÔS MÓVEIS

O projeto *Autonomous Christmas tree Weeder* (ACW) é desenvolvido pela *Copenhagen University*, na Dinamarca, iniciou em 2002, utilizando a estrutura do cortador de grama com quatro rodas motorizado a gasolina com operação humana, apresentado na Figura 3. O local destinado para o operador controlar o equipamento foi substituído por componentes eletrônicos, fontes de alimentação, GPS com sinal diferencial para maior precisão, computadores e uma caixa de proteção para manter tudo seco. Algoritmos de controle foram desenvolvidos. Um cortador lateral foi

projetado para desenvolver o corte sem danificar o caule da árvore, eliminando as ervas daninha das linhas de plantio para não competir com a planta e conservando-as das entre linhas para melhorar a biodiversidade e reduzir a erosão, como está representada na Figura 4 a trajetória de corte.



Figura 3 – Robô Autônomo ACW (Blackmore et al., 2005).

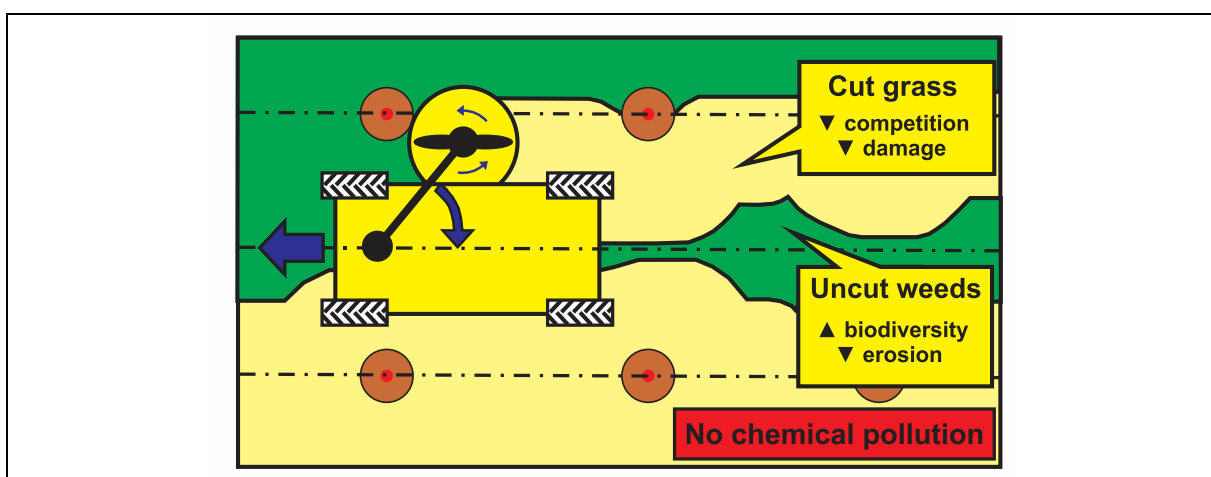


Figura 4 – Trajetória do ACW no campo (Blackmore et al., 2005).

Bisgaard, Vinther e Østergaard (2004) desenvolveram o projeto baseado no API apresentado nas Figuras 5 e 6, que foi *joint venture*²¹ entre o Instituto Dinamarquês de Ciências Agrícolas, *The Royal Veterinary e Agricultural University*, e *Aalborg University*, tendo como objetivo determinar a viabilidade da utilização de

²¹ O termo *joint venture* descreve um novo empreendimento entre duas ou mais pessoas (geralmente pessoas jurídicas), com objetivo de obter benefícios econômicos que não seria possível isoladamente, com finalidade e duração limitada.

plataformas autônomas de acompanhamento no terreno e o cuidado das plantas. Eles projetaram e programaram algoritmos tolerantes a falhas de controle; a plataforma API detecta, isola e acomoda a falhas, e, assim, permanece operacional pelo maior tempo possível.



Figura 5 – API (Bisgaard, Vinther e Østergaard, 2004).

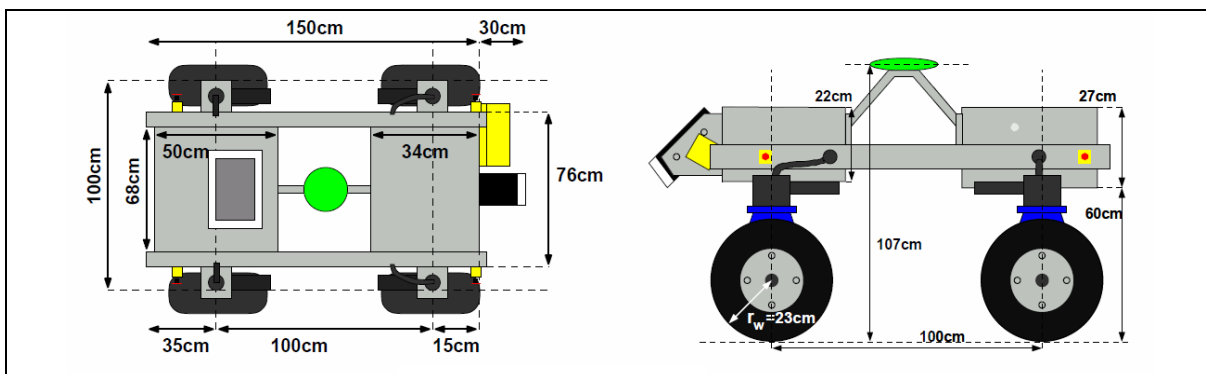


Figura 6 – As dimensões do API (Bisgaard, Vinther e Østergaard, 2004).

O HortiBot (Figuras 7B e 7C) foi um projeto coordenado pelo Instituto Dinamarquês de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola; combinaram um produto comercial que atua nas áreas de tecnologia de precisão de capina, tecnologia robótica para fins agrícolas e de gerenciamento de máquinas (Figura 7A), com a plataforma de pesquisa API (Figuras 5 e 6). O projeto terminou em agosto de 2007 custando o valor total de 438.000 €; porém resultou em um robô que cuida de plantas “*A Plant Nursing Robot*”, e entrou para a lista das melhores

Invenções de 2007, elaborada pela Revista *Time* (HortiBot, 2007 e Jørgensen *et al.*, 2007).



Figura 7 – A) Roçadora *Spider* rádio controlada; B e C) HortiBot (HortiBot, 2007).

Gemtos, Blackmore e Fountas (2006) desenvolveram o projeto ZEUS (Figura 8) que é um VAA de baixo custo projetado para realizar tarefas dentro do talhão atendendo as tendências da AP e *Phytotechnology*. A construção é baseada em módulos simplificando a montagem para o metalúrgico, configurando precisão nas articulações e com baixo peso. O módulo eletrônico é composto de unidade de controle principal e sensores que fornecem habilidades básicas de navegação. A finalização do projeto prevê um VAA com possibilidades de executar várias tarefas de campo durante 60% do período inicial da safra suportando uma carga adicional de 40 quilogramas sem perder o desempenho com prioridade no consumo de energia a fim de solucionar o aumento da independência.



Figura 8 – VAA ZEUS (Gemtos, Blackmore e Fountas, 2006).

A Universidade Politécnica de Madrid em conjunto com o Conselho Superior de Pesquisas Científicas formaram em novembro de 2009 o Centro de

Automação e Robótica (CAR) na Espanha ao qual pertence o *Grupo de Percepción Artificial* (GPA) que se especializou na integração das informações de diferentes sensores o processamento automático inteligente e seu uso para a tomada de decisões, solucionando as demandas de diferentes problemas. A concepção do grupo é multidisciplinar com ação baseada na percepção, planejamento e ação; e também, com organização do conhecimento e modelos de tomada de decisão solucionando o paradigma de percepção com ação em tempo real através de sistemas em ambientes incertos gerando leitura e armazenamento de informações. Todo conhecimento gerado está empregado atualmente em robôs móveis externos (Figuras 9 e 10) e AP.

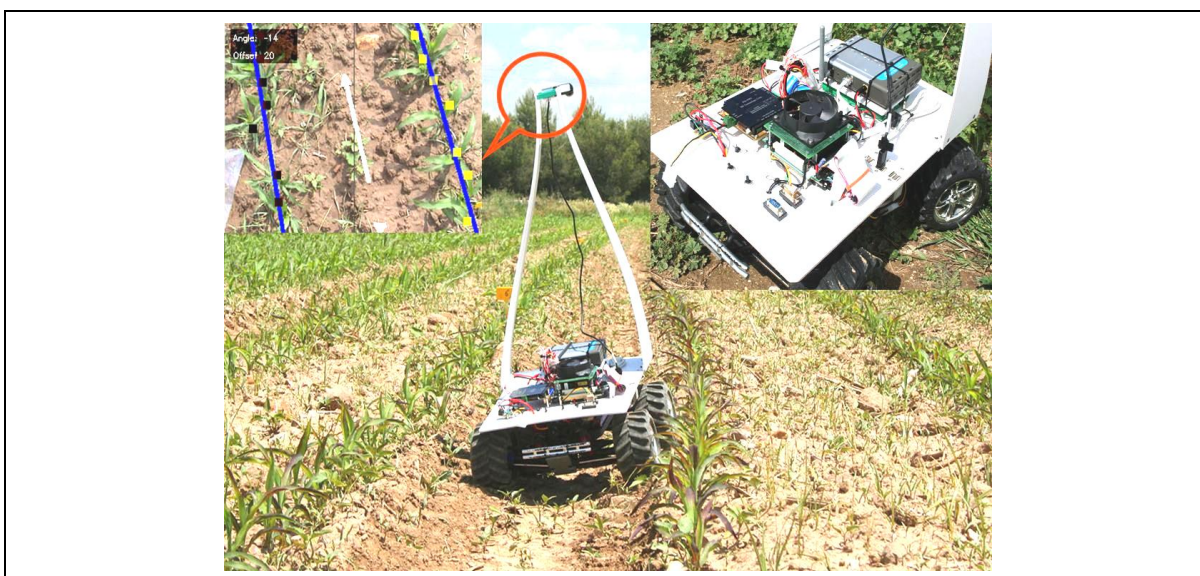


Figura 9 – Robô móvel externo GPA (UPM / CSIC / CAR / GPA, 2011).



Figura 10 – Robô móvel MoonHound (García, Barrientos e Rossi, 2011).

A parceria da USP, EESC e EMBRAPA gerou em 1999 o GRA pertencente ao NEPAS que desenvolve trabalhos de pesquisa no ambiente agrícola com robótica móvel, sendo apresentado na Figura 11 o primeiro protótipo.



Figura 11 – RAM SKINNY (USP/EESC/NEPAS, 1999).

O grupo a partir de 2002 desenvolveu um trabalho de doutorado da EESC/USP que propôs o desenvolvimento da arquitetura robótica agrícola móvel com novo chassi e sistema de tração, para atuar em diferentes culturas nacionais (Figura 12).



Figura 12 – Arquitetura RAM na fase 3 (USP/EESC/NEPAS, 2008).

Atualmente estão desenvolvendo pesquisas de sensoramento remoto, comunicação sem fio, teleoperação, e navegação com o projeto *Agribot* (Figura 13), que é financiado pela FINEP, e que conta com grupos de desenvolvimento: diversas equipes da USP/EESC, a EMBRAPA e a Empresa Jacto.



Figura 13 – AGRIBOT (USP/EESC/NEPAS, 2010).

A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (2004) através de seu projeto *Mars Exploration Rover* (Figura 14), enviou dois laboratórios móveis para a superfície de Marte para estudos geológicos, incluindo o exame das rochas e solos que podem revelar uma história de atividade de água no passado, ou, até mesmo, se já foi ambiente propício à vida. Estes laboratórios móveis se constituem de estrutura robótica móvel similar aos robôs autônomos agrícolas, podendo fundamentar o desenvolvimento da estrutura robótica móvel para coletas em campos agrícolas, visto que, as dificuldades enfrentadas pelo *Mars Exploration Rover* em sua navegação pela superfície de Marte são muito semelhantes às dificuldades que um robô autônomo de navegação agrícola terá que desenvolver em sua trajetória dentro do talhão.

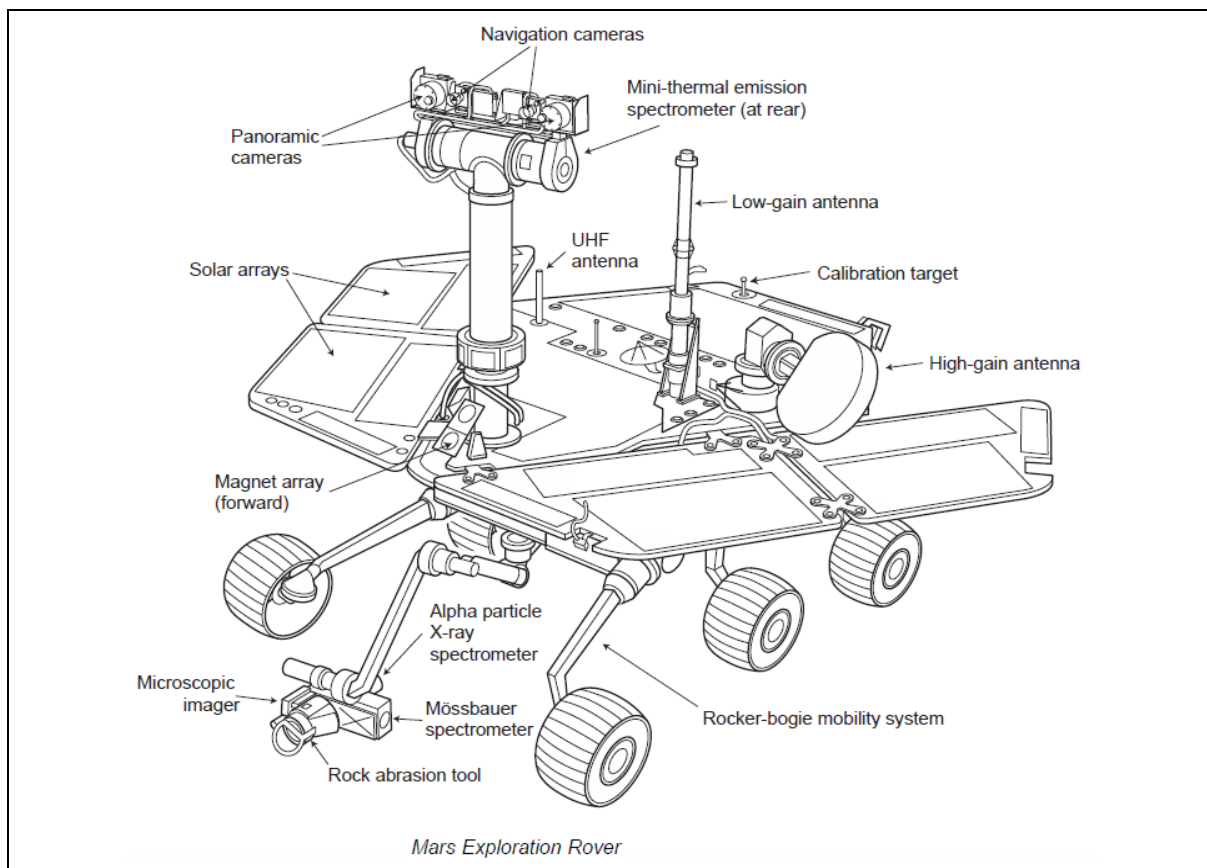


Figura 14 – Mars Exploration Rover (NASA, 2004).

O modelo apresentado na Figura 14 foi substituído pelo modelo mostrado em 2007 (Figuras 15 e 16), ocasião em que a NASA desenvolvia e testava exaustivamente o novo protótipo de veículo autônomo.

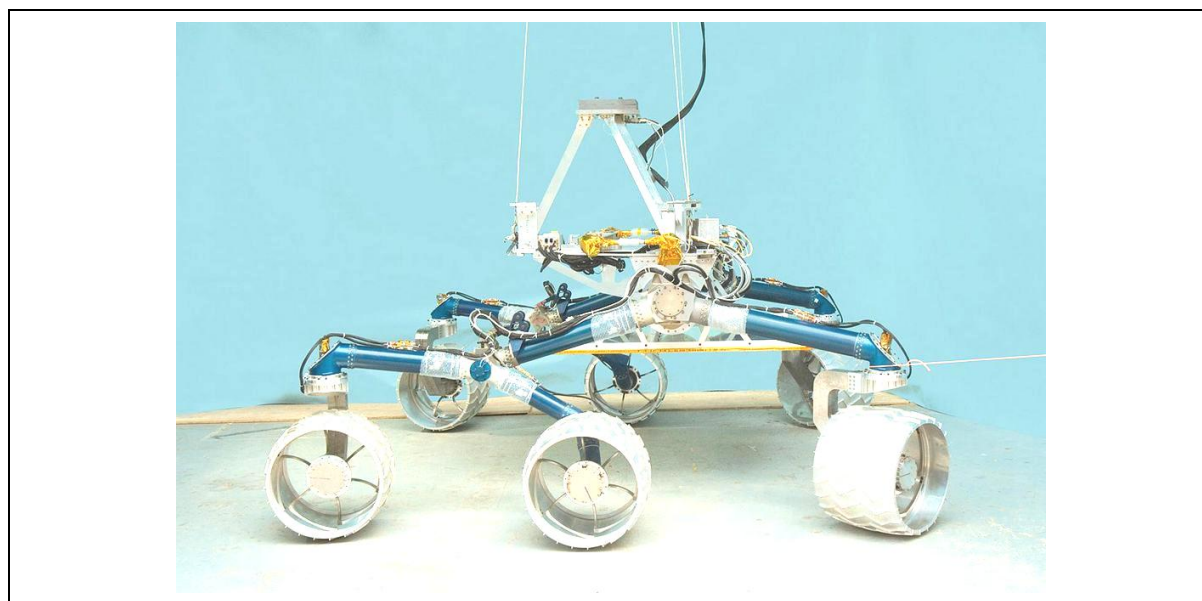


Figura 15 – Teste da estrutura para mobilidade e suspensão (NASA, 2007).



Figura 16 – Teste da estrutura descendo colina (NASA, 2007).

Na 10^a Conferência Mundial sobre Computadores na Agricultura, em Taiwan, Dias *et al.* (2012) apresentou os primeiros estudos do Navigo – um robô de campo para pequenas propriedades agrícolas. Para fundamentar a ideia do RAM que se destina a explorar, de forma autônoma, áreas abertas em fazendas, coletando informações meteorológicas, amostras ou dados de solo e vegetação, a fim de obter o posicionamento global da informação no momento da coleta. A estrutura robótica foi baseada em *hardware* e *software* de código aberto, com objetivo de gerar soluções de baixo custo que podem ser usados de forma eficiente por um maior número de pequenos e médios agricultores (Figura 17).



Figura 17 – Projeto AGROBOT – Navigo 1 (Dias *et al.*, 2012).

O cenário que cada pesquisador possui, revela objetivos semelhantes, mas um ou mais fatores proporcionaram desenvolvimentos diferentes para solucionar questões, como: a coleta de informações no ambiente agrícola, o gerenciamento da informação para auxiliar um Especialista na tomada de decisão, e ainda, a execução da ação no formato autônomo com mobilidade. A seguir, veremos a importância do conhecimento das informações relacionadas com o local da unidade produtiva e o momento de sua ocorrência.

2.4 INFORMAÇÕES AGRÍCOLAS GEORREFERENCIADAS

De acordo com a definição encontrada nos dicionários a palavra “informação” é o ato ou efeito de informar, ou, conjunto de dados organizados forma uma informação, e também o processo de geração da informação descreve-se como: se uma mensagem qualquer (verbal, não verbal, simbólica, fenômeno ou evento) for reconhecida por um agente (emissor) e transmitida a um ou mais agentes envolvidos (receptor) estaria estabelecido o processo de comunicação. Os emissores e os receptores deveram ter amplo conhecimento da sistemática de codificação e organização empregadas neste processo, pois deveram compreender e entender a informação contida na mensagem, para garantir o sucesso no ganho de conhecimento.

No contexto desta pesquisa, as informações agrícolas georreferenciadas agregam no pacote da informação atributos como: latitude, longitude, altitude, fatores climáticos, e o momento da ocorrência, denominada temporal; o que proporciona aumento no volume de dados a serem analisados e processados; dificultando os procedimentos de organização, armazenamento, resgate, análise, processamento das informações e a tabulação dos resultados. Na EMBRAPA o pesquisador Coelho (2005) considerou em sua análise somente os dados de produção de grãos de lavoura de milho em 40 ha, coletados a cada segundo por um monitor de colheita instalado em uma colhedora, e considerou que o processamento e a análise dos dados (≈ 67.000 pontos composto de latitude, longitude, umidade e peso) são praticamente impossíveis sem o auxílio de computadores. Assim, programas de computadores que podem facilmente armazenar, manipular e analisar esses dados são de grande importância para a agricultura de precisão. Os

programas podem variar em complexidade de simples elaboração de mapas, até complexas análises com múltiplas camadas de dados.

O pesquisador Chen *et al.* (2012) relatou que a informação agrícola precisa e confiável são bases da agricultura digital; e o procedimento de coleta e envio da informação agrícola é mais complexa, sendo necessário que o sistema colete a informação agrícola através do dispositivo portátil com total interação e versatilidade, possuindo nível de processamento para serviços “one-stop”, adquirir as coordenadas geográficas, registrar atributos agrícolas, e aquisição de imagens, executando em seguida a transmissão desse novo pacote de informações para o sistema de monitoramento utilizando rede 3G ou rede GRPS²² (Figura 18).

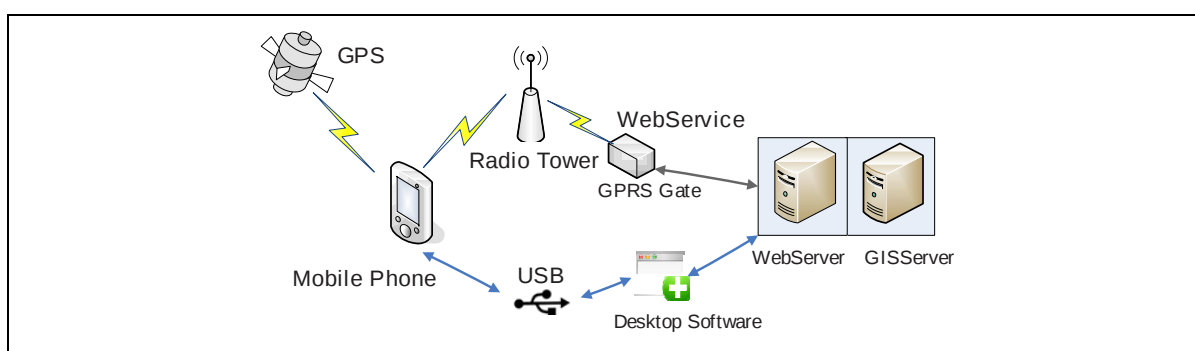


Figura 18 – *The System Physical Structure Model* (Chen *et al.*, 2012).

Molin (2013) cita que existem relatos de AP desde o início do século XX. Porém, a prática inicia em 1980, quando houve o primeiro mapa de produtividade na Europa e a primeira aplicação de adubação com doses variadas nos EUA. O desenvolvimento da AP foi impulsionado depois da popularização do SIG e do GPS em torno de 1990 no exterior e no Brasil datam de 1995. A AP utiliza estratégias para aumentar a uniformidade nas lavouras e se possível tirar proveito dessas variações. São práticas que podem ser desenvolvidas em diferentes níveis de complexidade e com diferentes objetivos, pois a AP é um sistema de gestão que considera a variabilidade física, química, compactação, infestações indesejadas de plantas, doenças e pragas (BRASIL MAPA, 2013).

Alba, Flores e Miele (2012) desenvolveram a modelagem espacial do solo para apoio à viticultura de precisão em Bento Gonçalves – RS; os estudos

²² O termo GPRS é abreviação do *General Packet Radio Service* que é o serviço de transmissão de informações utilizando a tecnologia móvel GSM, abreviação de *Groupe Special Mobile*, empregada na telefonia móvel.

abordaram: mapeamento detalhado dos solos, elaboração do modelo digital de elevação (estação total), malha regular de amostras superficiais de solos (20 cm), processamento dos dados conforme métodos estatísticos e de modelagem com SIG. Os dados sugerem variabilidade espacial significativa para vários atributos, com boa correlação com as classes taxonômicas de solo em nível de ordem (Argissolos, Cambissolos e Neossolos). A modelagem SIG mostrou potencialidade para a integração com maior número de níveis de informação considerando a lógica *fuzzy*. Os diferentes níveis temáticos foram organizados segundo valores decimais entre 0 e 1, e correlacionados com os atributos do solo e a definição de zonas de manejo.

De acordo com Alahakone e Ragavan (2009), o SIG é um sistema preciso, poderoso e amplamente utilizado na indústria para planejamento de navegação e trajetória, monitoramento, gerenciamentos de segurança, e gestão de frotas; para isto, desenvolveram um SIG utilizando *Google Maps* para visualizar e monitorar rotas de objetos móveis, através das informações obtidas por dispositivos GPS, e transmitidas pela rede GPRS, e, ainda, armazenam as informações em um banco de dados espacial utilizando *MySQL*²³. O sistema mostra informações históricas salvas no repositório de dados para posterior referência com precisão de 1m² para áreas abertas e até 10m² para as áreas urbanas.

Para Weidong, Chun, Jing (2010), a utilização do GPS e do SIG pode aumentar a eficiência de trabalho, com ganho na qualidade, e diminuição nos custos de produção, com menor dificuldade para o operador do equipamento agrícola. Em seus estudos, desenvolveram um equipamento eletrônico que auxilia o operador na orientação da direção através da barra de luzes. O sistema auxiliou a orientação do operador para o desenvolvimento do trajeto das máquinas, podendo gravar o percurso de operação, a recuperação deste, a execução no cálculo da área percorrida; sendo informações de grande importância para o desenvolvimento da produção agrícola e gestão da informação.

As pesquisas anteriores revelam que no passado o setor agrícola manipulava pequeno volume de informações digitais, no entanto com a utilização de tecnologias haverá aumento no volume de dados, principalmente, no processamento de imagens, necessitando atenção no gerenciamento, na segurança, e no

²³ O termo *MySQL* descreve um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), que utiliza a linguagem *SQL* (Linguagem de Consulta Estruturada, do inglês *Structured Query Language*) como interface.

armazenamento dessas informações agrícolas georreferenciadas, o que possibilite construir uma Agricultura Digital; outro fator que poderá contribuir para abastecer as bases de dados agrícolas são os Sistemas Computacionais Embarcados.

2.5 SISTEMAS ELETRÔNICOS EMBARCADOS

A evolução tecnológica aumentou capacidade de armazenamento (dados/energia-bateria) e processamento em aparelhos cada vez menores, modificando alguns conceitos preconizados em sistemas eletrônicos embarcados, como: limitações nas funcionalidades de *hardware* e/ou *software* em relação ao computador pessoal (PC); execução de tarefas específicas; baixa portabilidade; possuem maior qualidade e confiabilidade em relação a outros sistemas computacionais. Atualmente alguns dispositivos deixaram de ser inseridos em sistemas eletrônicos embarcados, a prova disto são os celulares, *Palmtops*, GPS's, *tablets*, e *Smartphones*, que desempenham uma função principal aliados a outras funções (câmera digital, comunicação voz / texto, jogos eletrônicos, visualização e edição de textos / planilhas / apresentações / imagens, sintonizador de rádio, gravador e leitor de som, comunicação sem fio com rede de dados, calculadora, relógio, dispositivo de armazenamento digital, visualizador de mapas, dispositivos de entrada/saída (monitor sensível ao toque, autofalante, microfone), entre outras); utilizando a mesma capacidade de processamento e armazenamento de computadores pessoais.

De acordo com Mehl (2011), os sistemas eletrônicos embarcados ou embutidos (*embedded electronics systems*) são sistemas computacionais de uso específico e possuem recursos semelhantes aos computadores: armazenamento, processamento e interfaces de entrada e saída, mas com o propósito dedicado (especialista), em geral, realizam um conjunto de tarefas pré-definidas resultantes da combinação entre *hardware* e *software*, que possuem: circuito eletrônico aprimorado, tamanho reduzido, programação clássica; noções de controle de processos, sistemas em tempo real, tecnologias de aquisição de dados (conversores analógico-digitais e sensores), atuadores (conversores digital-analógico, PWM, e outros), eficiência (estrutura, tamanho e velocidade) do código produzido, recursos computacionais restritos, custo reduzido e ganho na confiabilidade (Figura 19).

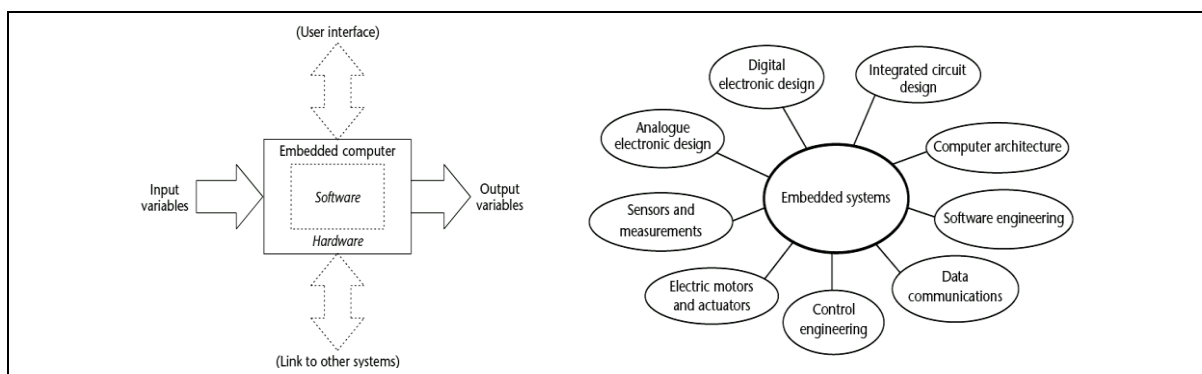


Figura 19 – Sistemas Eletrônicos Embarcados (Mehl, 2011).

Atualmente, os sistemas eletrônicos embarcados são invisíveis às pessoas, e com forte presença no dia a dia demonstrando crescimento na utilização (ex.: micro-ondas, geladeira, máquina de lavar, ar-condicionado, alarme, portão eletrônico, máquina leitora de cartão, máquina de costura, entre outros); podendo uma pessoa entrar em contato diariamente com pelo menos 20 processadores; e estimativas apontam que cada pessoa terá contato com 350 processadores por dia em 2020 (Mehl, 2011).

Dias (2007) desenvolveu um sistema eletrônico embarcado baseado na teoria fuzzy para aeração de grãos de milho, visando ao armazenamento em pequenas e médias propriedades rurais; tendo em vista critérios técnicos, energéticos e econômicos; para isto, desenvolveu um equipamento eletrônico responsável pela aquisição das informações ambientais necessários ao controle do processo de aeração de grãos de milho; e um *software* responsável pelo processamento, controle e armazenamento das informações. O sistema foi eficiente e confiável na tarefa de controle da aeração.

Os pesquisadores indianos Yadav, Kulkarni e Gholap (2013) desenvolveram um sistema eletrônico embarcado denominado MILKOTESTER, composto de uma única unidade e com baixo consumo de energia; utilizando um feixe de luz para efetuar a leitura de dispersão que resulta na medida do teor de gordura presente no leite. Os resultados foram satisfatórios uma vez que minimizou os erros nas entradas dos dados no sistema, e, também, acelerou o procedimento do teste informando o resultado para o produtor rural no momento da análise.

A proposta de Jin *et al.* (2010) para sistemas embarcados foi a utilização do processador ARM AT91SAM9260 associado com o módulo de GPS e com o módulo de GPRS, para viabilizar as comunicações entre os “veículos inteligentes”

(automóveis, ônibus, caminhões) em tempo real, com o objetivo de gerenciar o trânsito de passageiros e cargas em grandes centros urbanos. O fluxograma do sistema proposto e a depuração foram apresentados em uma máquina para futura validação.

Os pesquisadores croatas Gojic, Brezak e Petrovic (2011) descreveram um conceito de sistema eletrônico embarcado para robôs móveis de serviço, através de vários módulos diferentes (gerenciador de energia, gerenciador de sonar, controle do motor e recarga de energia) que são usados no controle dos subsistemas do robô. O projeto dos módulos foi baseado no processador PIC da família 16F; a conexão do computador principal com os módulos e entre os módulos foi através do sistema de barramento I2C. O computador principal é um dispositivo mestre e os módulos são dependentes.

Teng *et al.* (2011) descreveu a placa de circuito impresso baseada no processador PIC família 24FJ (Figura 20A) como: “componente eletrônico que conecta um telefone celular *Android* com o mundo externo”. Este componente eletrônico foi configurado para que a informação seja capaz de fluir do mundo exterior (ambiente) para o celular ou vice-versa, para isto, foi elaborada uma matriz 3x3 (Jogo da Velha) (Figura 20B). A célula que estiver ocupada interromperia a leitura dos sinais ópticos, enviando a informação para a placa controladora (Figura 20A), que, por sua vez, atualizaria as informações na tela do celular através do APP do *Android* (Figura 20C); ou seja, foi demonstrada a interação do ambiente com um dispositivo *Android*.

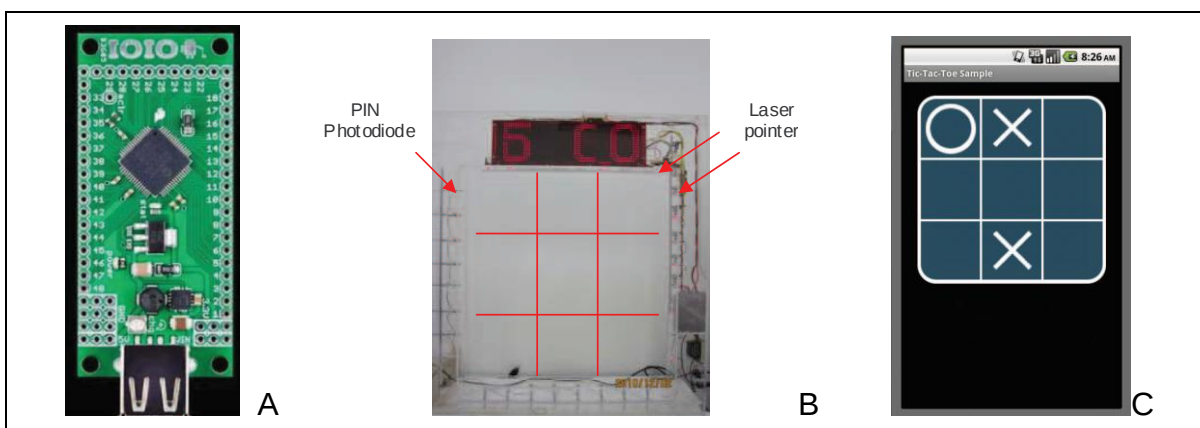


Figura 20 – A) placa de controle IOIO; B) Matriz 3x3 (Jogo da Velha); C) *Android* APP (Teng *et al.*, 2011).

Os pesquisadores americanos Tabarracci e Currier (2013) acreditam que um celular poderá em breve controlar um veículo aéreo complexo e “inteligente”. O estudo desenvolvido implica que uma aeronave autoguiada por um *smartphone* pode ser viável como ferramenta de pesquisa e desenvolvimento de UAV²⁴, mas existem alguns obstáculos que irão exigir mais pesquisas: testar o real tempo de atraso na transferência de dados com um *smartphone*, e com a placa de entrada / saída (IOIO) através da USB. No entanto, afirmaram com segurança que as aplicações móveis de *smartphones* e *tablets* irão acelerar os padrões atuais e capacidades, como as empresas de tecnologia também fizeram no avanço dos limites do que era possível para dispositivos pessoais, desenvolvendo novas gerações de dispositivos móveis.

De acordo com as pesquisas realizadas nos dois últimos anos, as tecnologias móveis, de comunicação, de armazenamento, e de acúmulo de energia (bateria) revolucionaram o ambiente de desenvolvimento agregando qualidades e funções nas aplicações (*softwares*); antes não era possível e/ou economicamente inviável. Na próxima seção, serão abordados os sistemas de navegação que incorporaram qualidades e funções das novas tecnologias móveis.

2.6 SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO

Veiga, Zanetti e Faggion (2007) citam que sempre foi necessidade do homem conhecer onde vive por questões de sobrevivência, orientação, segurança, conflitos (guerras), deslocamento (marítimo, aéreo e terrestre), construções, entre outras. Nos primórdios a representação do espaço se baseava na observação e descrição do meio, porém alguns historiadores dizem que o homem produzia “mapas” (representações de caminhos) antes mesmo da escrita. O desenvolvimento de novos conhecimentos e técnicas colaborou para facilitar a obtenção de informações e posterior representação do meio onde o homem vive.

Para Morita (1993), os mapas possuem a principal função de facilitar a navegação, juntamente, com as respostas das seguintes questões: “- Quem sou eu?”, “- Aonde devo ir?”, “- Onde eu estava?”, “- Onde está o meu destino?”, e “- Como faço para chegar lá?”; e, logicamente, o mapa é o instrumento para sanar as

²⁴ O termo *Unmanned Aerial Vehicle* ou *drone* (zangão, em inglês) descreve um veículo aéreo remotamente pilotado ou não tripulado.

dúvidas anteriores, desde que forneçam as informações necessárias. O processo é dinâmico nos sistemas de navegação e algumas das etapas de processamento de informações que normalmente são realizadas pelo cérebro humano foram substituídas pelo processamento da máquina, com retorno da informação visual ou sonora.

Evans e Stevens (1997) desenvolveram estudos experimentais para obtenção de medidas gráficas complexas no contexto da tarefa de direção e utilizaram estímulos experimentais semelhantes aos existentes em navegação de veículos e orientação de rotas. As medidas obtidas foram correlacionadas com os dados de desempenho humano em experimentos de laboratórios estatisticamente. Os resultados das análises indicaram alta correlação; foram observadas que várias medidas hipotéticas de complexidade se mostraram promissoras como preditores de desempenho humano.

Hasegawa *et al.* (1999) estudou a implementação do sistema de navegação baseado na integração de informações provenientes do receptor GPS portátil em conjunto com uma base de dados geográficos armazenada em um computador portátil. A posição instantânea do veículo é mostrada na tela do computador, sobre um mapa da região, juntamente, com a identificação automática do local que estava armazenado em um banco de dados. Na Figura 21 está representado o esquema da integração das informações oriundas da base de dados com as informações da posição de navegação obtidas em tempo real.

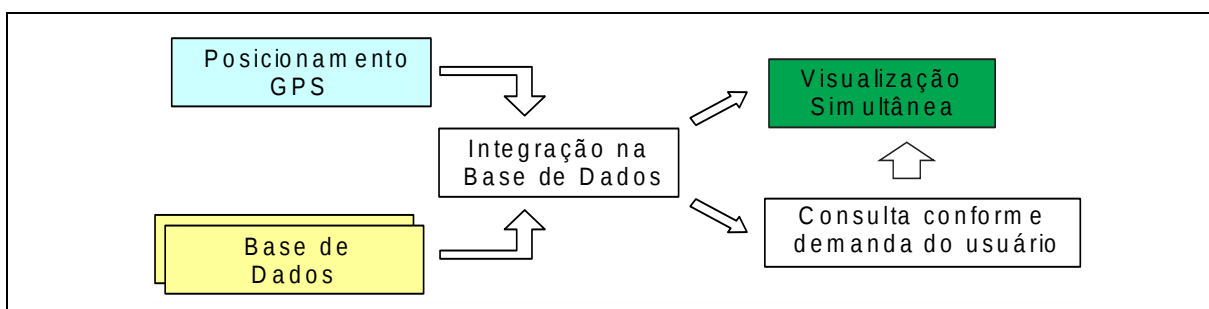


Figura 21 – Estrutura básica do sistema de navegação em tempo real (Hasegawa *et al.*, 1999).

A simplicidade e interatividade presente nos sistemas de navegação proporcionaram para a maioria das pessoas facilidade de uso através dos celulares, *smartphones* e *tablets*, para encontrar um local, um trajeto, ou conhecer a distância entre dois lugares, ou, ainda, estabelecer o melhor trajeto para ser executado no deslocamento (a pé, de bicicleta, ou motorizado); mas, a seguir, serão enfatizados

os trabalhos que utilizam sistemas de navegação para o caminhamento autônomo de veículos agrícolas.

A proposta do pesquisador Zhang *et al.* (2005) foi desenvolver um sistema robótico de pulverização autônoma guiado pela navegação eletromagnética, sendo composto por três unidades: o controlador do robô, o monitor e o dispositivo de transmissão de dados sem fio (*wireless*). O sistema de navegação autônoma do robô de pulverização foi controlado e monitorado através do dispositivo *wireless*, com resultados estáveis para o experimento em ambientes fechados.

Nos estudos desenvolvidos por Choi, Park e Kim (2005) utilizaram o GPS RTK – *Real Time Kinematics* (Figura 22 A), pela eliminação da interferência das condições climáticas no sistema de navegação, e, ainda, propõem a integração com a navegação por inércia – INS (sensores de movimento – acelerômetros e sensores de rotação – giroscópios); para o controle de posição mais detalhada, e redução no grau de erro do GPS sem a necessidade de referências externas (Figura 22 B).

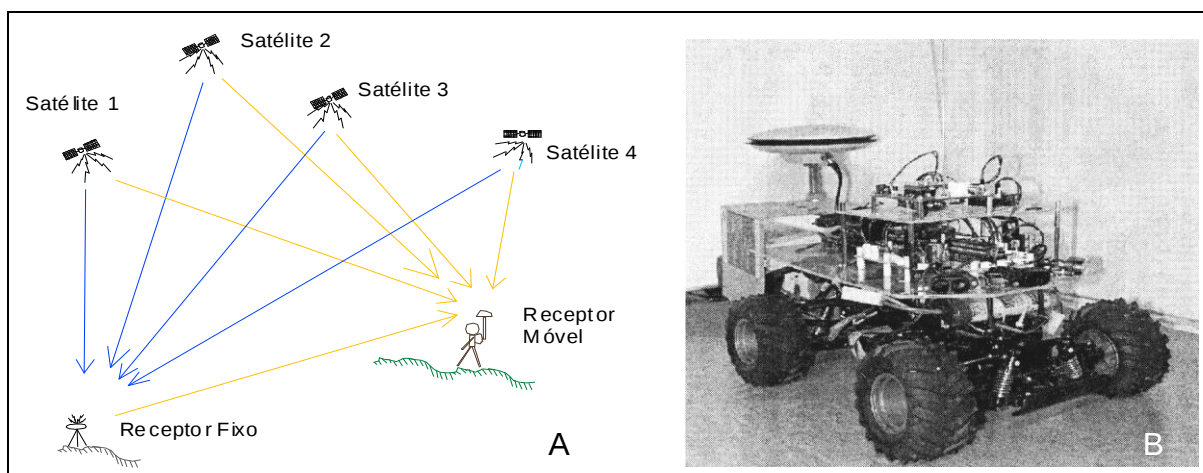


Figura 22 – A) Sistema RTK (Hasegawa *et al.*, 1999); B) robô móvel autônomo (Choi, Park e Kim, 2005).

Os pesquisadores chilenos Ortiz e Olivares (2006), e os pesquisadores chineses Zhao e Jiang (2010) apresentaram a navegação autônoma utilizando uma câmera como o principal sensor, e algoritmos de processamento aplicados às imagens. O trajeto que o robô deve seguir é composto por pontos que foram extraídos das imagens capturadas pelo sensor principal, o qual foi submetido ao processamento por reconhecimento de padrões que mapeia pontos reconhecidos nas imagens (Figuras 23 e 24).

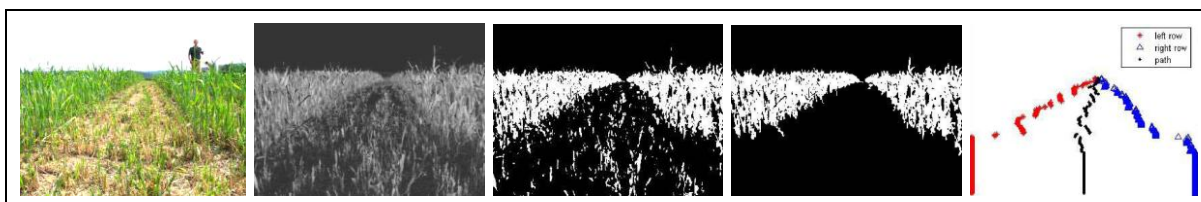


Figura 23 – Imagens resultantes de cada fase do sistema de visão (Ortiz e Olivares, 2006).

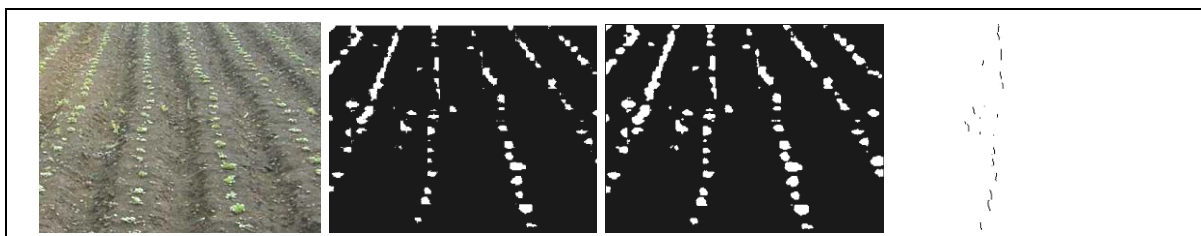


Figura 24 – Resultados da experiência de processamento de imagem (Zhao e Jiang, 2010).

O pesquisador chinês Jianjun *et al.* (2008) desenvolveu um método para navegação automática baseado num controlador *fuzzy* associado com rastreamento de trajetos. O projeto utilizou um robô agrícola com: GPS, bússola digital, e outros sensores em que o GPS forneceu a localização do robô para um computador a bordo, sendo comparadas em seguida as coordenadas atuais com as do trajeto preestabelecido no SIG, permitindo uma navegação automática. A utilização do controlador *fuzzy* para a navegação automática proporcionou resultados com desvio lateral inferior a 30 cm quando utilizou o rastreamento do trajeto preestabelecido.

Hamid *et al.* (2009) apresentou um robô móvel equipado com sistema de navegação guiado por GPS associado com sensores sonar para desviar obstáculos por meio do método comandado pelo encadeamento de laço. O robô móvel navegou de acordo com os pontos pré-localizados e configurados no sistema; durante a navegação eram acionados os quatros sensores de sonar em sequência concentrados no circuito eletrônico, ao invés de controlá-los pelo *software* causando imprecisão nas leituras de distâncias dos obstáculos devido ao cruzamento de sinais entre os sensores. Os resultados obtidos no experimento mostraram que o sistema apresentado promoveu a navegação do robô móvel através dos pontos desejados e, ao mesmo tempo, aplicando as regras de desvio de obstáculos.

No trabalho realizado por Rosa (2012), foi desenvolvido um sistema de navegação para dispositivos *Android* utilizando a lógica *fuzzy* para corrigir o trajeto georreferenciado entre dois pontos, visando à utilização do sistema de navegação em um robô agrícola autônomo do Projeto *Agrobot*; e, ainda, o sistema possibilita a escolha de pontos a serem realizadas coletas de informações e marcações de rotas.

A validação do sistema computacional foi realizada pelo autor manualmente em trajetos a pé com o computador embarcado em mãos, e os resultados obtidos foram eficazes em comparação com a simples subtração matemática, principalmente, em resposta ao erro de localização dos dispositivos GPS.

A evolução da eletrônica estimulou o desenvolvimento dos sistemas de navegação proporcionando melhores resultados para o homem na obtenção das informações digitais armazenadas, facilitando a navegação em ambientes terrestres, aéreos e marítimos. A continuação, serão abordados trabalhos relacionados com braços robóticos empregados na agricultura.

2.7 BRAÇO ROBÓTICO

O braço robótico através de atuadores, circuitos eletrônicos, eletricidade, e programação de ações podem reproduzir movimentos semelhantes aos movimentos do braço dos seres humanos; como está apresentado a seguir, cada propósito terá um projeto específico.

A proposta apresentada pelos pesquisadores Takahashi, Ogawa e Saeki (2001) foi uma interface de operação para o usuário na colheita automática de tomates, sendo realizada por um sistema robótico. A pesquisa apresentou os seguintes procedimentos: o usuário procura o tomate através do monitor (computador pessoal); em seguida, clica no tomate escolhido; o sistema computacional reconhece a cor vermelha do tomate e calcula a distância da “mão” robótica até o tomate; em seguida, o sistema coordena os movimentos da mão do robô até o tomate, pegando-o automaticamente. A validação do sistema do braço robótico foi confirmada pelos resultados experimentais.

Na Universidade de Massey, em Nova Zelândia, o pesquisador Scarfe *et al.* (2009) apresentou o desenho conceitual do robô móvel autônomo para colher kiwis. Os frutos maduros foram colhidos através do sistema de visão computacional em conjunto com quatro braços robóticos, programados para colher uma fruta por segundo; o protótipo demonstrou nos resultados capacidade de utilizar a visão artificial para navegação e o gerenciamento de caixas, sem marcadores visuais artificiais (Figura 25).



Figura 25 – Robô móvel com quatro braços robóticos baseado em visão computacional para colher kiwis (Massey et al., 2009).

Nezhad, Massh e Komleh (2011), da Universidade de Tehran, desenvolveram um robô capaz de localizar, escolher, e colher tomates em estufas sem danificá-los utilizando ferramentas inteligentes. O modelo do braço robótico utilizado possuía um grau de liberdade extra e estilo de pinça que proporcionaram manipulação das frutas mais confortável; a manipulação das diferentes intensidades luminosas colaborou para reduzir as influências da iluminação natural; e o uso do módulo de bússola auxiliou na localização da rota para determinar o grau no desvio de visão de máquina em relação ao local alvo do tomate (Figura 26).

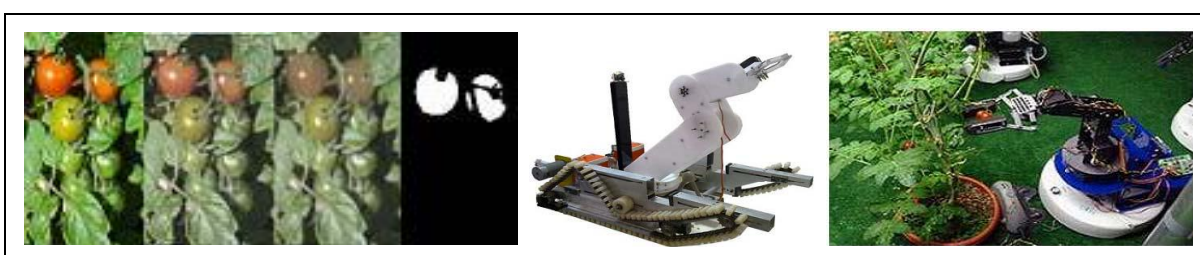


Figura 26 – Robô móvel com braço robótico baseado em visão computacional para colher tomates (Nezhad, Massh e Komleh, 2011).

No Brasil, Tangerino *et al.* (2011) apresentou uma plataforma robótica modular e multifuncional para aquisição de informações em AP. O autor sugeriu que vários módulos poderiam ser acoplados à plataforma: localização e navegação autônoma, visão computacional, a comunicação, a detecção dos parâmetros agrícolas, braço robótico e suporte de segurança. Os resultados demonstraram que

o controle distribuído foi adequado para o sistema de direção na orientação da plataforma.

O pesquisador Korpela *et al.* (2013), do Laboratório de Sistemas Autônomos da Universidade Drexel na Philadelphia – EUA, demonstrou os resultados da simulação validando o modelo desenvolvido de sistema para geração da solução cinemática e trajetória do braço robótico acoplado em um veículo aéreo. O pesquisador justifica a utilização desses recursos em que a topografia dos terrenos ou as limitações de robôs terrestres teriam dificuldades no desenvolvimento da navegação (Figura 27).

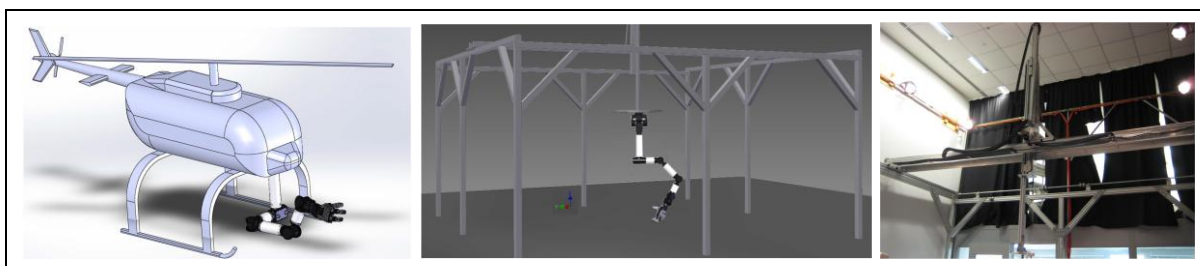


Figura 27 – Desenho conceitual do braço robótico e o primeiro teste e validação no ambiente (Korpela *et al.*, 2013).

O pesquisador indiano Gohiya *et al.* (2013) desenvolveu um sistema robótico móvel para monitoramento de parâmetros agrícolas usando protocolo sem fio *ZigBee*, computador baseado no processador ARM9 S3C2440, e sistema operacional *Linux*. O sistema de aquisição de dados monitorou as condições ambientais na fazenda, tais como: temperatura, umidade, umidade do solo, entre outros; e para isto, foi projetado um braço robótico para o recolhimento de amostras de solo e teste de vários parâmetros deste.

Os trabalhos apresentados anteriormente mostram duas situações: a primeira, com braços robóticos atuando basicamente na colheita de produtos agrícolas (morango, *kiwi*, tomate, uva); e a segunda, com possíveis atuações de braços robóticos. Isso demonstra uma carência em pesquisas para viabilizar a utilização do braço robótico em diferentes setores da atividade agrícola, podendo ser considerado como um equipamento agrícola opcional ou multifuncional.

No próximo assunto serão descritos os procedimentos executados na coleta de amostras de solos, que contribuirão para uma melhor compreensão deste trabalho.

2.8 COLETA DE AMOSTRAS DE SOLOS

Os fatores essenciais que influenciam o desenvolvimento de plantas são: - abióticos: luz, fixação mecânica, calor, ar, água, nutrientes; e – bióticos: doenças, insetos, vegetais, e micro-organismos. O interesse agrônomo neste trabalho envolve os fatores abióticos de fixação mecânica associado com os nutrientes presentes no solo. As características topográficas e nutricionais do solo fazem parte do conjunto de fatores que delimitam a escolha da cultura agrícola a ser explorada. A falta de um único elemento nutricional no solo implicaria em desenvolvimento alterado nas plantas, como expressa a Lei de Liebig em que a produtividade será limitada pelo nutriente o qual estiver em menor disponibilidade, mesmo que todos os demais estejam presentes em quantidades adequadas. O suprimento de um ou mais nutrientes deve ser em níveis para não ocasionarem desequilíbrio nutricional nas plantas, diante disto, a necessidade de se conhecer as propriedades e os nutrientes presentes no solo tornou de extrema importância. As análises químicas efetuadas em laboratórios para quantificar os nutrientes presentes neste são realizadas através de amostras, uma vez que, seria inviável examinar todo solo a ser cultivado.

Os procedimentos para a realização de coletas de amostras de solos indicados pelos órgãos de pesquisas diferem em suas recomendações ao longo dos tempos devido à incorporação de novas tecnologias: a utilização de GPS e SIG viabilizando a Agricultura de Precisão e alterou os processos que eram totalmente manuais, para os semiautomatizados.

De acordo com IAPAR (1996) e Tomé Jr. (1997), a amostragem de solos é a etapa mais crítica, em que, facilmente, causam erros nas análises de solos. A seguinte situação foi analisada: em uma área de 10ha, considerando a profundidade de 0,20 m, teria 20.000 m³ de solo, com uma densidade de 1.000 kg/m³ resultaria em 20.000.000 kg de solo; se for retirada, nessa área, uma amostra composta de apenas meio quilo, como era na prática convencional, observa-se que uma parte estaria representando um todo de 40 milhões de partes; as determinações analíticas são realizadas em uma porção de 10 g da amostra recebida no laboratório, ainda, teria que uma parte representaria um todo de 2 bilhões de partes (Figura 31C). Citou que, por melhor que seja a qualidade do serviço prestado pelos laboratórios, se a amostra não estiver refletindo a realidade da área, a análise poderá levar a recomendações errôneas.

De acordo com amostragem de solo para análise química do IAPAR (1996), as ferramentas para amostragem de solo podem ser: trado ou pá reta ou enxadão, balde plástico e saco plástico. Dos trados utilizados, os tipos mais comuns são o holandês, de rosca e tubo (Figura 29).

Os procedimentos indicados para a realização da coleta de amostras de solos no passado são descritos a seguir:

- A propriedade era dividida em áreas homogêneas de até 10 hectares (uniforme quanto à cor, topografia, textura, adubações e calagens que recebeu) (Figura 28A);
- Cada área escolhida era percorrida em zigue-zague, retirando-se amostras de 15 a 20 pontos diferentes (Figuras 28A e 30);
- Elaboração do mapa de campo para a identificação correta do local amostrado correlacionado com a identificação das amostras (Figura 28A e 31A);
- A profundidade de coleta era em virtude da cultura a ser implantada no talhão ou em função da profundidade de aração;
- Nunca retirar amostras de locais próximos a residências, galpões, estradas, formigueiros, depósitos de adubos, calcário, entre outros. Evitar a coleta de amostras quando o terreno estiver muito seco ou muito úmido;
- Identificação de cada amostra com o nome, local, propriedade, talhão ou gleba, número da amostra, profundidade e as análises desejadas (rotina, micro, enxofre, física, outras) para a amostra (Figuras 30D e 31A).

Os procedimentos adotados na coleta de amostras de solos convencional resultavam num trabalho moroso, manual, e cansativo (Figuras 28A, 29, 30A, 30B, 30C, 31A, 31B, 33A e 33B); em sua grande maioria, poderiam gerar: mistura de amostras, falta de atenção na identificação, falta de limpeza dos equipamentos manipulados, falta de anotações para elaboração dos mapas de localização das amostras, falta de comprometimento do pessoal da coleta de amostras, número elevado de pessoas envolvidas no processo, entre outras; acarretando erros grosseiros e baixa confiabilidade nos resultados.

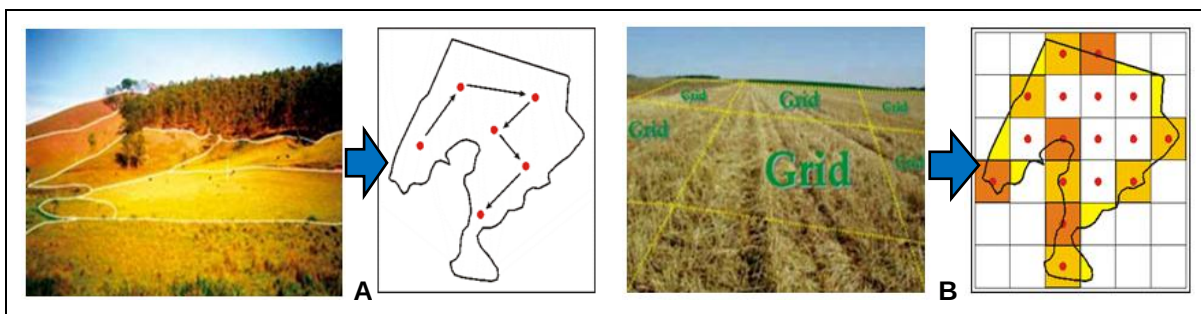


Figura 28 – A) plano de amostragem convencional; B) plano de amostragem georreferenciada (SANTI *et al.*, 2009).

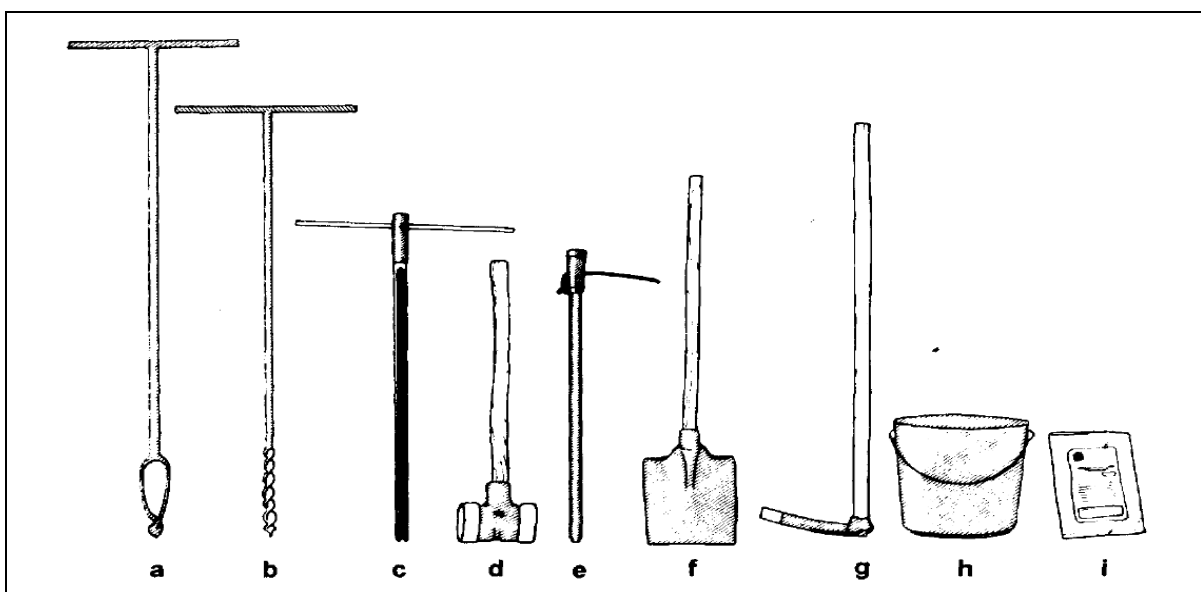


Figura 29 – Ferramentas utilizadas para coletar amostras de solos: a) trado holandês, b) trado de rosca, c) trado meia-lua, d) marreta, e) trado tubular, f) pá reta, g) enxada, h) balde, i) saco plástico (IAPAR, 1996).

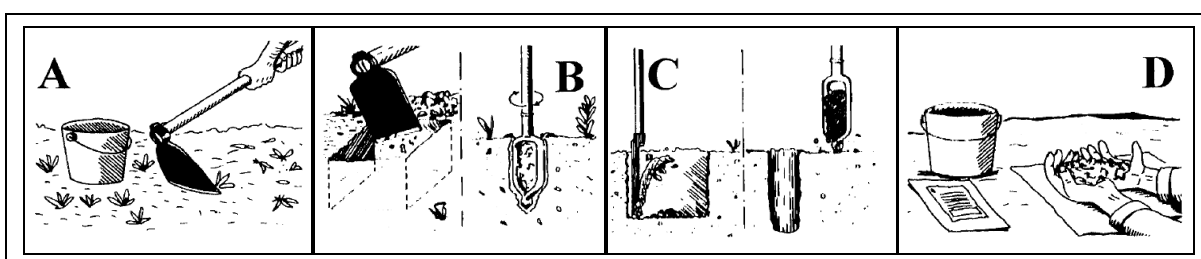


Figura 30 – Etapas da coleta. A) remover superficialmente a vegetação e resíduos, B) fazer uma cova com enxada de 20x20x20cm ou introduzir o trado com movimento circular, C) amostra simples será cada porção de solo retirada de uma fatia da parede da cova ou a porção de solo que ficar retida dentro do trado, depositar num balde D) após coletar aleatoriamente todas as amostras simples em zigue-zague, misturar bem e retirar uma parte (cerca de 500g) que será a amostra composta, identificar e enviar ao laboratório (Tomé Jr., 1997).



Figura 31 – A) identificação de cada amostra, B) homogeneização e acondicionamento no saco plástico, C) amostra sendo manipulada no laboratório (FAZU, 2011).

De acordo com o Boletim Técnico de Agricultura de Precisão do MAPA (2013), a prática da amostragem georreferenciadas de solo tornou-se bastante popular devido à geração do mapa individual para cada indicador da fertilidade do solo, possibilitando maior detalhamento quando comparado à prática da amostragem convencional. O talhão é dividido sistematicamente em áreas menores com tamanho recomendado por um especialista, podendo configurar áreas de 1x1, 2x2, 4x4, 5x5 ha, ou maiores 10x10, 15x15, e 20x20, onde se realizam coletas de amostras de solos auxiliadas por um aparelho de GPS e com um sistema de localização dos pontos de coletas, para posterior envio ao laboratório de análises de solos (Figura 32).



Figura 32 – Exemplo do plano de amostragem georreferenciada (de pontos) de solo para geração do mapa de fertilidades e recomendações, variando ao longo do talhão (MAPA, 2013).

A adoção de coletas de amostras de solos georreferenciadas demanda: pessoas especializadas e treinadas, pois geralmente envolve uma pessoa somente na coleta. A facilidade que o sistema de informação promove para realizar as anotações de campo para cada ponto coletado, identificando e correlacionando com as amostras coletadas reduzem a incidência dos erros grosseiros, citados na página

45. As ferramentas manuais passaram por adaptações, transformando-as em equipamentos elétricos ou hidráulicos conferindo maior agilidade para a execução do serviço, diminuindo o tempo e proporcionando melhor qualidade de trabalho ao operador (Figuras 33C, 33D, e 33E).



Figura 33 – A) Utilização do trado holandês; B) utilização do trado tubular + marreta; C) utilização do trado de rosca + parafusadora elétrica; D) trado de rosca + parafusadora ligada ao veículo; E) trado de rosca + motor hidráulico conectado ao quadriciclo (FAZU, 2011; AUTOR, 2013, PLANOVALE, 2012).

As alterações nos procedimentos de coleta de amostras de solos proporcionaram melhorias para o operador, porém as condições ambientais como: radiação solar, umidade, temperatura, ausência de umidade, vento, poeira, e trabalho noturno são outros fatores que na atividade agrícola dificultam o desenvolvimento e diminuem o rendimento do trabalhador rural, e estas não são manipuladas ou eliminadas do processo.

A adequada utilização da tecnologia deve ser baseada em técnicas, pessoal treinado e/ou especializado, e em análises econômicas, para obtenção de resultados positivos. A pesquisa elaborada anteriormente foi à base da técnica para elaboração do robô autônomo agrícola, associada com pessoal especializado, e, ainda, focada na economia que poderá ser visualizada no desenvolvimento deste projeto, abordada no próximo capítulo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos apresentados anteriormente abordaram elementos que compõem projetos de robôs agrícolas. Para a conclusão deste trabalho foram considerados três fatores importantes: o primeiro, a utilização do braço robótico como equipamento agrícola; o segundo, melhorar o rendimento e o bem-estar do trabalhador rural; e o terceiro, a utilização do robô móvel no processo de coleta de amostras de solos em ambientes agrícolas. Neste capítulo serão apresentadas características dos componentes que integraram a construção do robô móvel agrícola com braço robótico para coletar amostras de solos.

3.1 ESTRUTURA MÓVEL

As características do ambiente agrícola e do processo de coleta de amostras de solos delimitaram a escolha da estrutura móvel que possibilitasse: o trânsito em terrenos agrícolas não estruturados, a fixação do braço robótico, e a instalação dos componentes eletrônicos, elétricos e mecânicos.

Foram consideradas inicialmente as seguintes questões agronômicas para a navegação do robô: principais culturas produzidas na região dos Campos Gerais, culturas de verão: soja, milho, feijão; e culturas de inverno: aveia-preta, trigo, aveia-branca, centeio, triticale, azevém; possíveis movimentações em solos mal drenados; transposição de buracos escavados por animais silvestres (presença marcante da fauna em toda a área agrícola brasileira, principalmente, perto de vegetação nativa).

Para atender as necessidades agronômicas iniciais foram consideradas as seguintes características mecânicas do robô móvel:

- Chassis e eixos com resistência e robustez para suportar aumento de carga a ser transportada, e ainda, proporcionar fixação adequada dos componentes extras;
- Motor elétrico com potência para tolerar aumento de carga a ser transportada;
- Pneus com características *Off Road* (fora de estrada) e capaz de tolerar aumento de carga a ser transportada;

- Tração com capacidade de ação no mínimo em quatro rodas;
- Escala compatível com os testes de campo para reduzir custos;
- Ação comportamental: manobra e transposição de obstáculos.

3.1.1 Chassi

Foram analisadas as plataformas para robôs móveis pesquisadas anteriormente e considerando as características deste projeto iniciaram as buscas por possíveis soluções estruturais e comportamentais; tais características foram encontradas no automodelo elétrico, escala 1:10, com chassi confeccionado em alumínio, tipo *Crawler* (copia as deformações do terreno), rádio controlado (R/C), modelo RCF-1 da marca Himoto (Figuras 34 e 35).

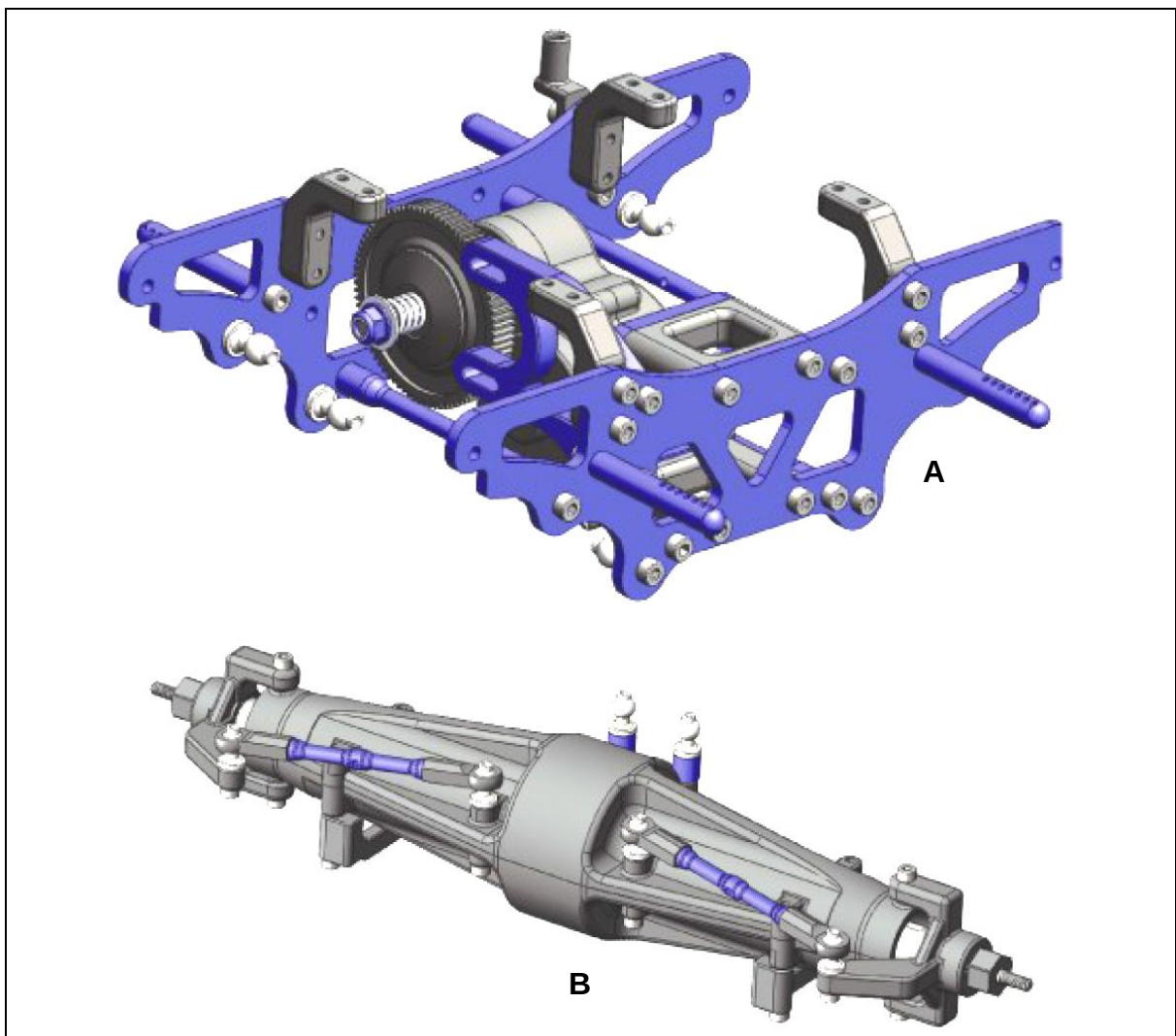


Figura 34 – A) chassi; B) eixo (HIMOTO, 2010).

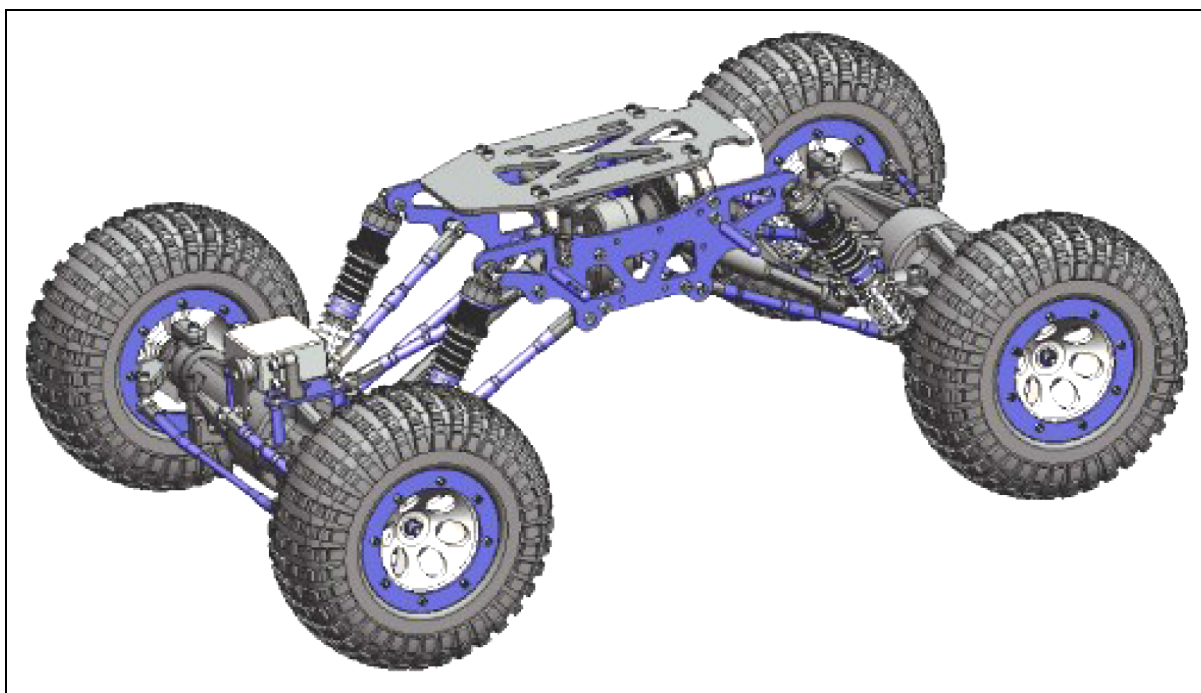


Figura 35 – Perspectiva do automodelo elétrico R/C modelo RCF-1 (HIMOTO, 2010).

3.1.2 Sistema Elétrico

A definição do chassi delimitou a questão elétrica do robô móvel, que utilizou a bateria fornecida juntamente com o automodelo, possuindo as seguintes características: conjunto de seis unidades de baterias de hidreto metálico de níquel (NiMH) fechadas em uma embalagem única configurando 7.2 volts com 3.000 mAh (miliampéres hora), e pesando 340 gramas (g).

A utilização da bateria fixou a tensão máxima para o projeto em 7.2 volts, tornando-se uma característica importante na escolha do sistema computacional com baixa tensão.

Na Figura 36 está representado o esboço do sistema elétrico utilizado no robô móvel Navigo.

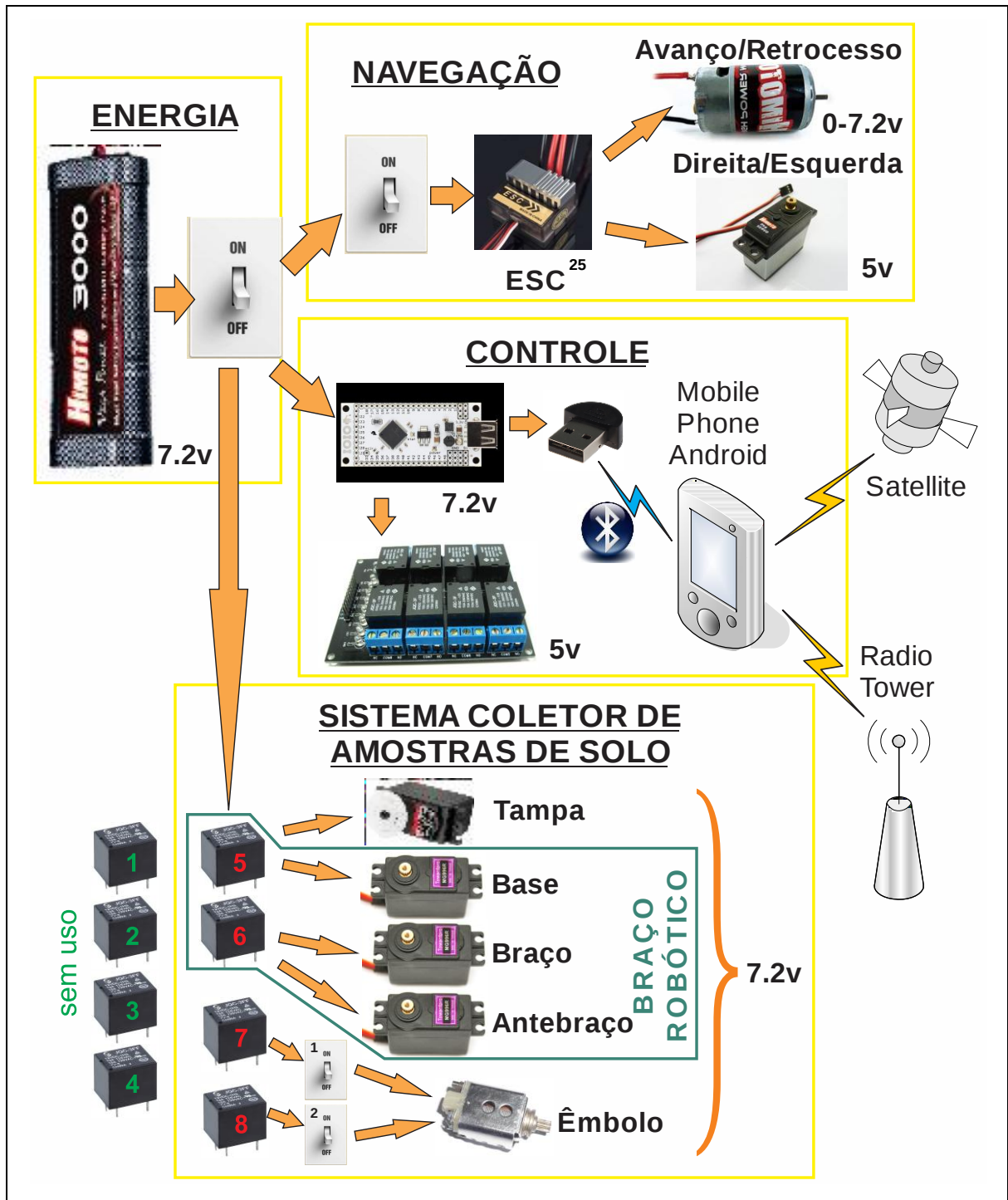


Figura 36 – Esboço do sistema elétrico utilizado no NAVIGO (ESC²⁵) (Autor, 2013).

3.1.3 Sistema Computacional Embarcado

Os movimentos do robô móvel e do braço robótico são controlados pelo sistema computacional embarcado, necessitando dos seguintes componentes

²⁵ O termo ESC - *Eletronic Speed Control* descreve o controle eletrônico de velocidade utilizado em modelismo rádio controlado R/C.

eletrônicos: unidade de processamento, módulo de armazenamento interno e externo, módulo de GPS, comunicação sem fio, interface de controle dos atuadores (motores), e energia (consumo, tensão e economia).

Na análise do sistema computacional foram consideradas três características importantes: a primeira, com relação à tensão máxima de operação configurada em 7.2 volts; a segunda, com relação ao espaço reduzido para fixação dos componentes eletrônicos; e a terceira, à possibilidade de alterações e/ou adições de funcionalidades. De acordo com estes parâmetros, iniciaram as pesquisas por possíveis soluções de equipamentos, sistemas operacionais, e fornecedores; tais características foram encontradas em um conjunto de componentes, descritos a seguir:

- aparelho telefone celular móvel modelo GT-I9100 da marca SAMSUNG, agregou a unidade de processamento com o processador *Arm Cortex A9 Dual Core* de 1.2GHz baseado no sistema operacional *Android*, a unidade de armazenamento interna de 16GB e externa de até 32GB, o GPS, a bateria para suprir o próprio consumo de energia, e a comunicação sem fio 3G, *wifi* 802.11 a/b/g/n, e *bluetooth*²⁶ (Figura 37A);
- placa de circuito impresso baseada no processador PIC família 24FJ modelo IOIO atuou como um *host* USB²⁷ que interpreta comandos do aplicativo *Android* para controlar os atuadores de navegação e movimento do braço robótico, e, ainda, possui 48 pinos de I/O (entrada/saída), tensão de operação entre 5 a 15 volts, e conexão *bluetooth* (Figura 37B);
- adaptador *bluetooth* USB (classe 1, pois proporciona alcance de até 100 m) (Figura 37D);
- placa de circuito impresso baseada no controle de relês para a ativação/desativação dos motores do braço robótico, utilizando 5 volts de tensão e podendo acionar até 8 dispositivos (Figura 37C);

²⁶ O termo *Bluetooth* descreve a comunicação entre dispositivos utilizando uma frequência de rádio de onda curta, com baixo alcance e com baixo consumo de energia.

²⁷ O termo *host* USB descreve a conexão usada para a transferência/comunicação de dados do dispositivo para a unidade de processamento ou da unidade de processamento para o dispositivo.

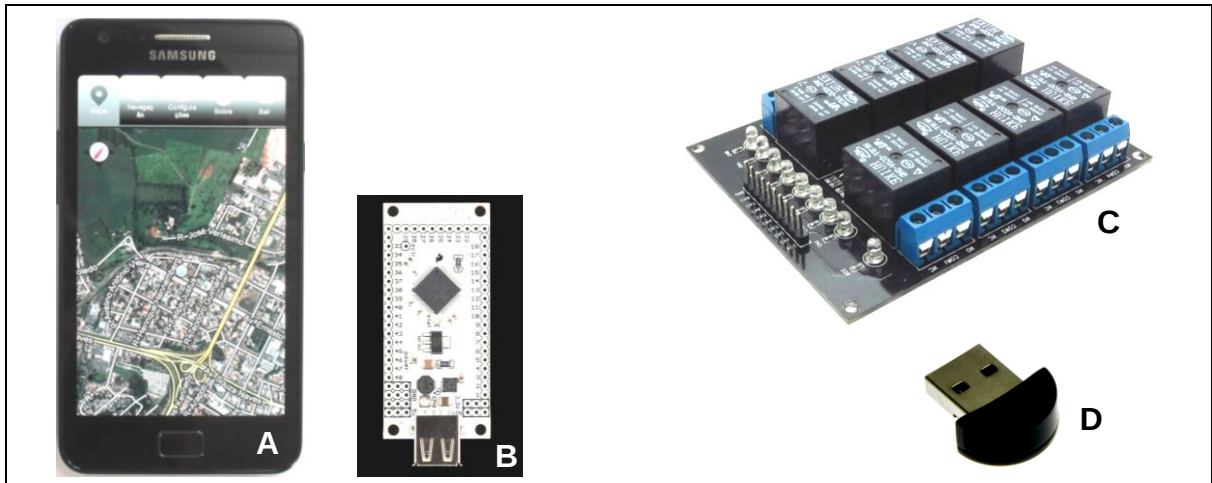


Figura 37 – A) Celular móvel Samsung GT-I9100; B) placa de controle IOIO; C) placa de relês; D) adaptador *bluetooth* USB (SAMSUNG, SPARKFUN, DX, 2013).

O acoplamento do sistema computacional ao robô móvel foi projetado sobre a plataforma em cima do chassi do protótipo, onde foram fixados dois suportes: o primeiro para alojar a placa de controle IOIO em conjunto com a placa de relês, e o segundo para receber o telefone celular móvel (Figura 38), para isto, foi necessária a utilização de programa CAD (*Computer aided design*) para projetar as peças, e posterior confecção em acrílico utilizando máquina de corte a *laser* (Figura 39). Após esses procedimentos foi executada a montagem do sistema com as ligações elétricas.

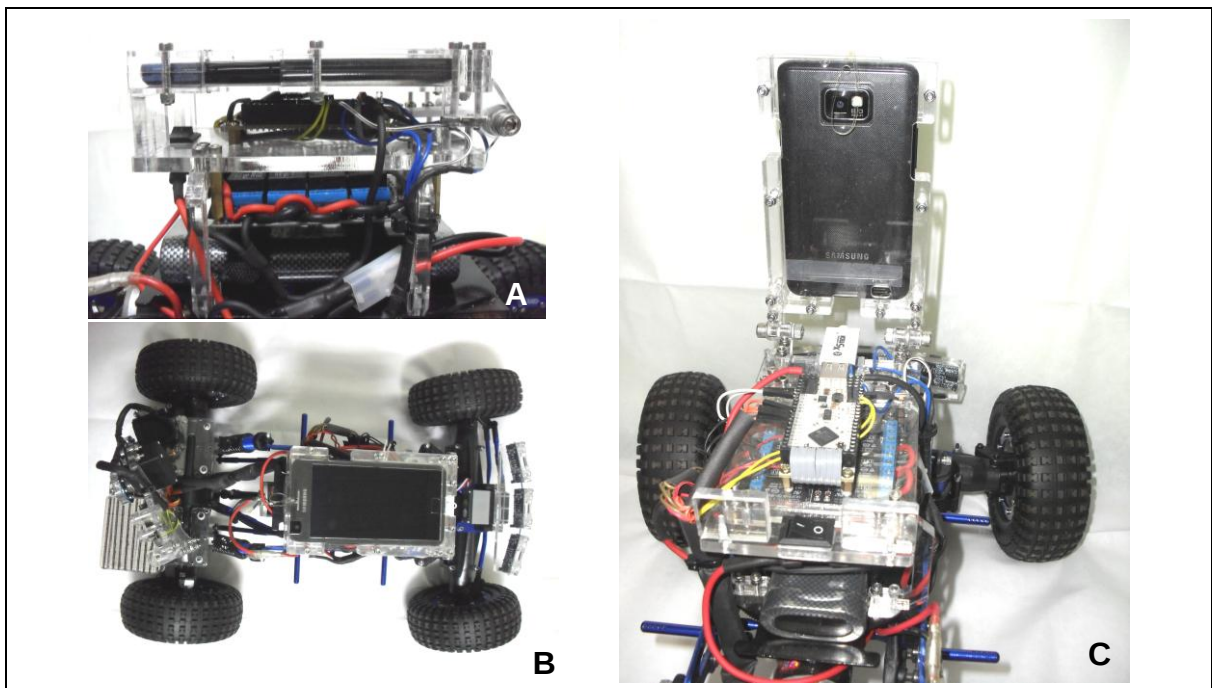


Figura 38 – Sistema computacional A) vista lateral B) vista superior C) vista posterior (Autor, 2013).

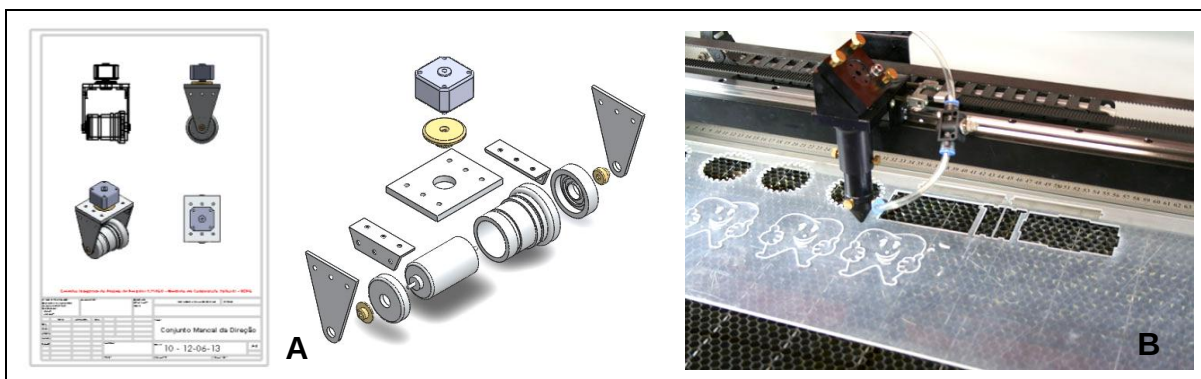


Figura 39 – A) Desenhos em programa CAD; B) corte laser de acrílico (Autor, 2013; Lima, 2013).

3.1.4 Braço Robótico

A função do braço robótico para coletar amostras de solos devem seguir os mesmos procedimentos adotados numa coleta de amostras de solos manual ou semiautomatizada, ou seja, extrair do solo a profundidade indicada e o volume suficiente, para armazenar, identificar, e posterior envio ao laboratório para análise dos componentes químicos da amostra, evitando a troca, a mistura e/ou a contaminação entre elas. O projeto do braço robótico considerou os procedimentos envolvidos no processo de coleta e foi fixado sobre o eixo traseiro do robô móvel (Figura 40D); recebeu ainda o suporte para armazenamento das amostras coletadas, para isto, foram realizados os mesmos passos anteriormente descritos: projetar, confeccionar e montar (Figura 39).

O sistema mecânico para movimentar o braço robótico utilizou três servos motores modelo MG996R marca *Tower Pro* com engrenagens de metal e torque de 11 kgf•cm a 6 volts (Figura 40B); sendo projetada uma base com o primeiro servo que movimenta o braço para a direita e para a esquerda; sobre o eixo do primeiro servo, foi acoplado o segundo servo que movimentou o braço propriamente dito, para frente e para trás; e ainda, na ponta do braço foi instalado o terceiro servo que movimentou o antebraço, para cima e para baixo; configurando o braço robótico com 3 graus de liberdade.

A estrutura acoplada no antebraço contou com os seguintes itens: tubo coletor de inox com um êmbolo para descarga das amostras; para isto, foi instalado um motor de corrente contínua com tensão de operação de até 12 volts, desenvolvendo até 19.000 rpm e torque de até 0,16kgf•cm a 12 volts (Figura 40C), para movimentar o êmbolo; e, também, foram instaladas duas chaves de contato no

final de curso do êmbolo para interromperem o funcionamento do motor (Figura 40F). O sistema armazenador ficou alocado ao lado do braço robótico com 20 tubos *ependorf*²⁸ (Figura 40A) sem as tampas, por ter sido elaborado com uma única tampa para abrir e/ou fechar todos os tubos em uma só vez, acionado por um servo modelo HS-322HD marca HITEC com engrenagens de carbonite e torque de 3,7 kgf•cm a 6volts (Figura 40E).

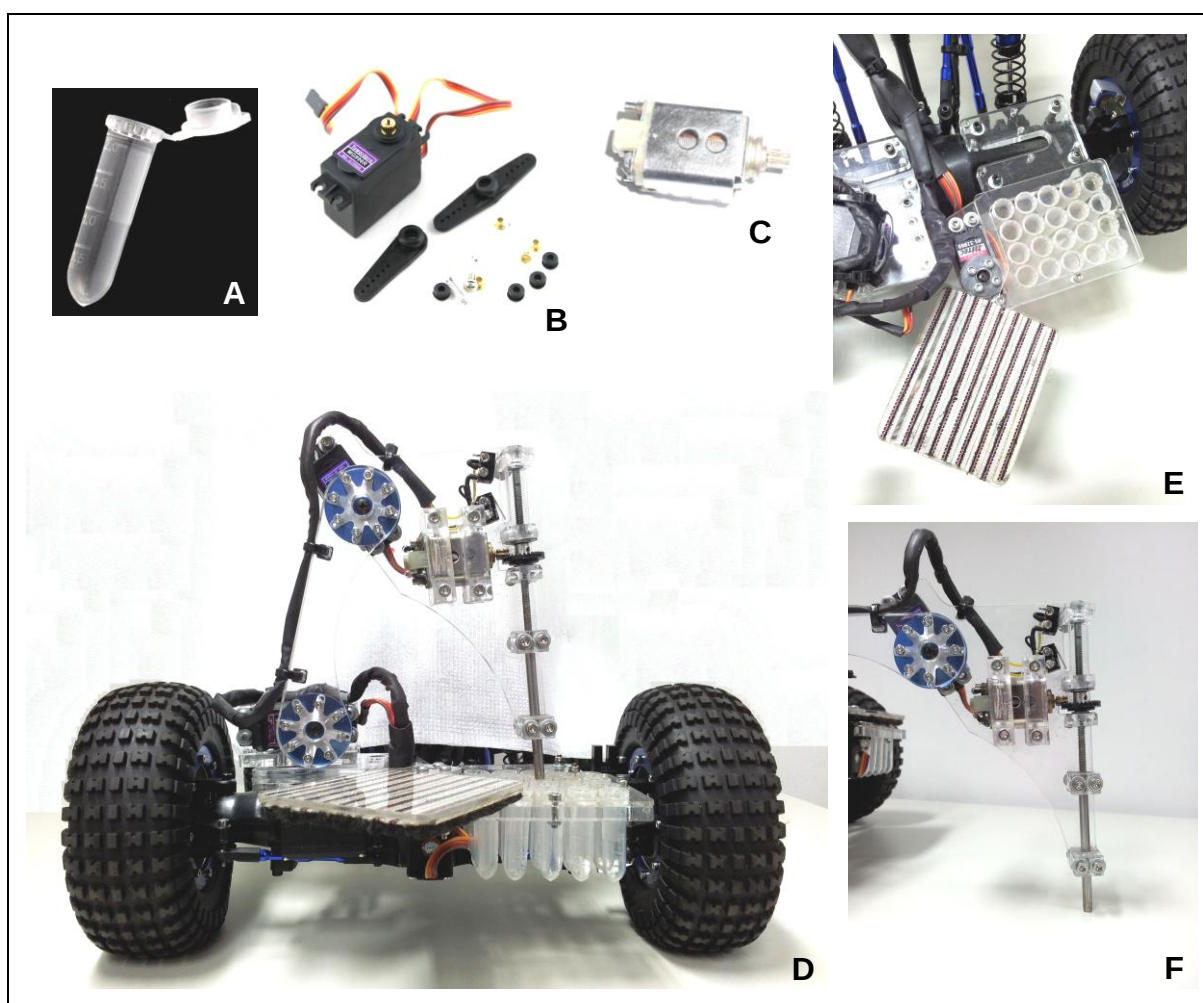


Figura 40 – A) *ependorf*; B) motor servo com 180° de rotação; C) motor de corrente contínua; D) braço robótico para coleta de amostras de solos; E) armazenamento das amostras de solos; F) antebraço tubo coletor com êmbolo (Autor, 2013).

3.2 DESENVOLVIMENTO DAS APLICAÇÕES

A escolha do sistema computacional embarcado definiu o sistema operacional *Android* que gerencia todos os processos do telefone celular móvel Samsung GT-I9100 e a integração com a placa de controle IOIO. Foram

²⁸ O termo *ependorf* descreve um pequeno recipiente cilíndrico com tampa e com o fundo cônico.

desenvolvidas aplicações modulares para testar as funcionalidades instaladas no robô móvel, através de ferramentas para programação de aplicativos para o sistema operacional *Android*. Após conclusão dos testes de cada módulo foram iniciadas as integrações necessárias com o Sistema de Navegação desenvolvido por Rosa (2012) citado na Revisão de Literatura deste trabalho.

Para alcançar o desenvolvimento dos módulos de testes e a integração entre os sistemas, foram realizados os seguintes procedimentos:

- Instalação e configuração da *IDE* de desenvolvimento Eclipse, junto com o conjunto de ferramentas para programação de aplicativos para o sistema operacional *Android*;
- Utilização da biblioteca *Google Maps* e autenticação para utilização do serviço *Google Maps* da empresa *Google* a fim de integrar o Sistema de Navegação desenvolvida por Rosa (2012) com o módulo de navegação, coleta e armazenamento de amostras de solos do robô móvel;
- Modelagem dos procedimentos de navegação, movimentos do braço robótico, e ação de descarga do tubo coletor de amostras;
- Desenvolvimento das aplicações de testes: navegação, ações do braço robótico para coleta de solos, ações no deslocamento do êmbolo, abertura e fechamento do armazenador de amostras;
- Instalação das aplicações testes no telefone celular móvel;
- Realização de saídas em campo para o desenvolvimento de testes com os módulos da navegação, da coleta de amostras de solos, comunicação entre os dispositivos via *bluetooth*; mapeamento das posições de cada amostra no armazenamento; e o consumo de energia;
- Validação dos resultados obtidos pelos testes em campo para a verificação do desempenho próximo ou semelhante aos procedimentos desenvolvidos pelo processo manual de coleta de amostras de solos.

Na Figura 41, está representado o esboço do fluxo da informação do controle dos dispositivos atuadores para a realização da navegação, coleta de amostras de solos, comunicação entre dispositivos, e armazenamento das amostras empregadas no robô móvel.

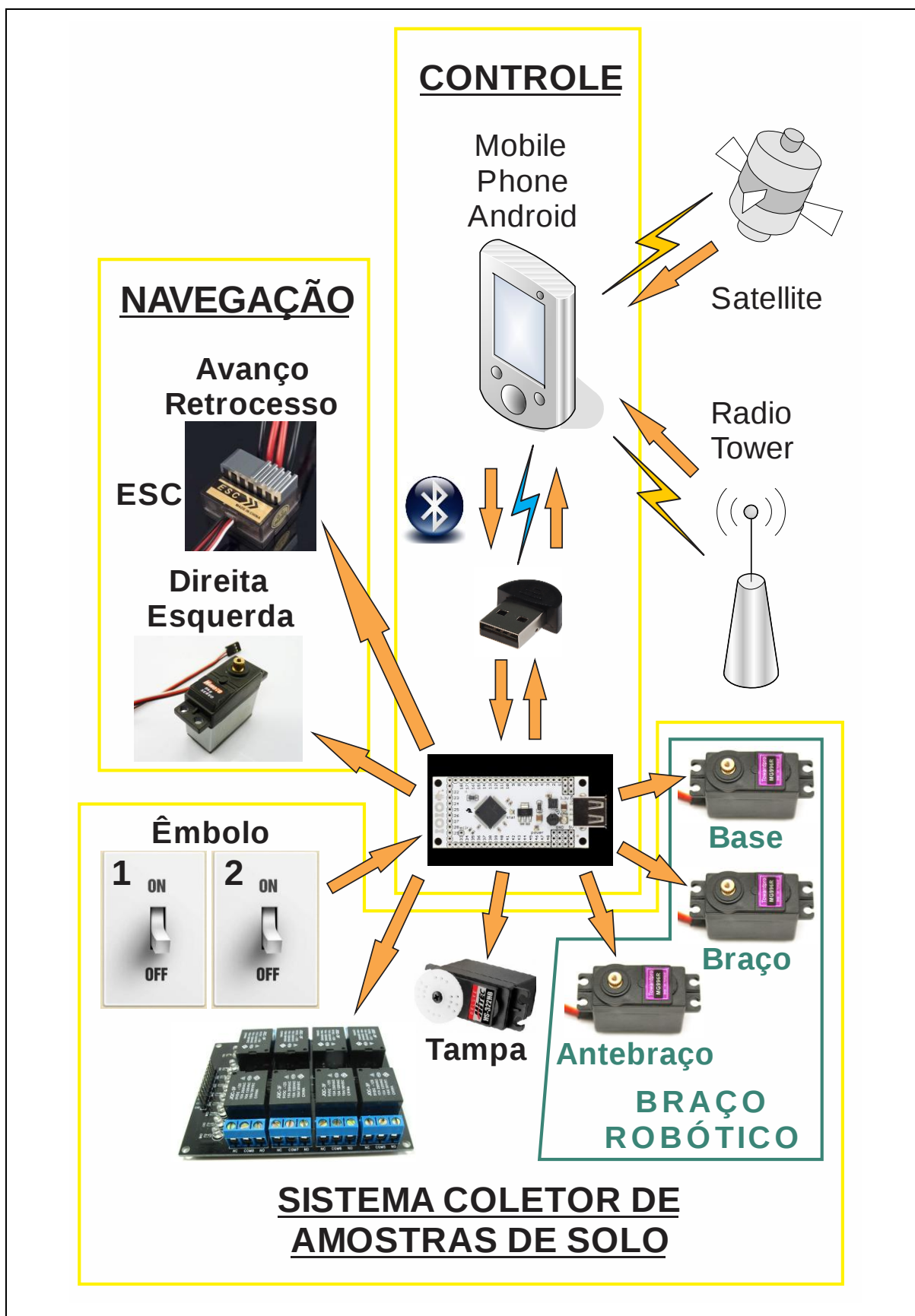


Figura 41 – Esboço do fluxo da informação utilizado no NAVIGO (Autor, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização do robô no meio agrícola será resultado de pequenos esforços conectados na simplicidade de operação, e para avaliar os esforços contidos no presente trabalho, a seguir serão abordados: os resultados obtidos, as observações das ações robóticas (programação e execução), e os fatores desejados e/ou indesejados nas atividades da estrutura robóticas deste projeto, assim como descrições de como foram conduzidos.

4.1 CHASSI

A escolha e definição pelo chassi utilizado neste projeto foi resultado de várias características, como: chassi confeccionado em chapa de alumínio conferindo ganhos no desempenho para ambientes não padronizados, pois o modelo *crawler* tem por objetivo copiar as irregularidades do terreno efetuando a transposição de obstáculos; os conjuntos de eixos confeccionados em plástico resistente sem falhas de material com parafusos de fixação permitiram a fixação do braço robótico e da estrutura de armazenamento de amostras coletadas; a plataforma na parte superior do chassi possibilitou a fixação do sistema computacional.

Os dados apresentados na Tabela 2, permitem estabelecer alguns comparativos entre a escala do robô móvel 1:10 com a escala natural 1:1.

Tabela 2 – Especificações obtidas a partir do robô móvel na escala 1:10, e correlacionadas com escala natural 1:1 (Autor, 2013).

	Dimensões (A)		unidade de medida	(A) x 10 e conversão de unidade métrica		unidade de medida
Escala	1:10			1:1		
Comprimento total	485	501	mm	4,85	5,01	metro (m)
Largura total	339		mm	3,39		m
Altura total (sem carenagem “bolha”)	180		mm	1,80		m
Dimensões dos Pneus	142	57	mm	1,42	0,57	m
Peso dos Pneus	900		g	9,00		quilograma (kg)
Peso da estrutura	1820		g	18,20		kg
Peso da bateria	340		g	3,40		kg

Analisando os valores da escala natural, permite estabelecer uma comparação relativamente semelhante entre o protótipo utilizado e uma camionete

4x4, ou, ainda, um trator pequeno 4x2, desconsiderando o item peso, pois foi desproporcional. Após o término da montagem dos componentes no chassi, realizou-se nova pesagem do robô completo, e apresentou o peso de 4.200 g, realizando as conversões propostas anteriormente, resulta no peso de 42 kg demonstrando sem proporção em relação ao peso do trator pequeno como apresentou Schlosser *et al.* (2005), em que o peso do trator 4x2 variou entre 2.390 a 7.336 kg.

A altura livre do eixo até o solo apresenta a medida de 40 mm no protótipo (Figura 42), considerando esta medida na escala 1:1 seria de 0,40 m, permitindo a execução normalmente da coleta de amostras de solos, pois são realizadas entre as safras, período sem cultivo nas áreas monitoradas; mas em caso de alteração na tarefa a realizar, esta altura poderá ser um limitante na execução do trajeto sobre a cultura a ser monitorada, causando amassamento e/ou quebramento nas plantas de maior porte; uma solução seria apenas realizar a portabilidade do sistema computacional para outro modelo do protótipo com altura livre maior.

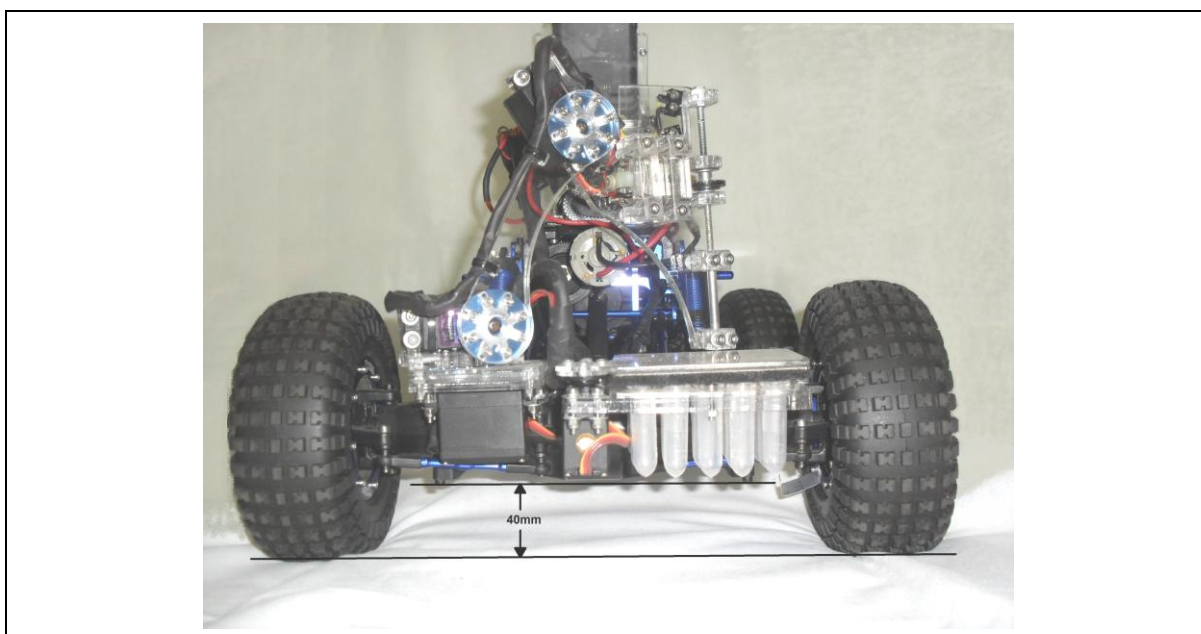


Figura 42 – Altura livre do eixo até o solo (Autor, 2013).

4.2 NAVEGAÇÃO

A aplicação utilizada para realização dos testes de navegação foi um controlador de movimentos para avançar, retroceder, virar à direita e a esquerda. A navegação inicial foi com arrancadas bruscas e conversões rápidas, resultando em

controle impreciso do robô, devido às diferenças de escalas utilizadas entre a tela do celular móvel, o controlador do motor de tração, e o servo da direção. Foram realizados monitoramentos do sinal enviado ao controlador para o reconhecimento dos valores máximos e mínimos, procedeu em seguida à alteração da escala com os valores encontrados e a variação necessária para o controle da navegação suave e precisa. Na Figura 43 está representada a tela da aplicação que possibilitou os testes dos movimentos na navegação do robô, e para este módulo conclui que a aplicação permitiu os testes necessários para as definições dos parâmetros a serem adotados na movimentação autônoma do robô agrícola.

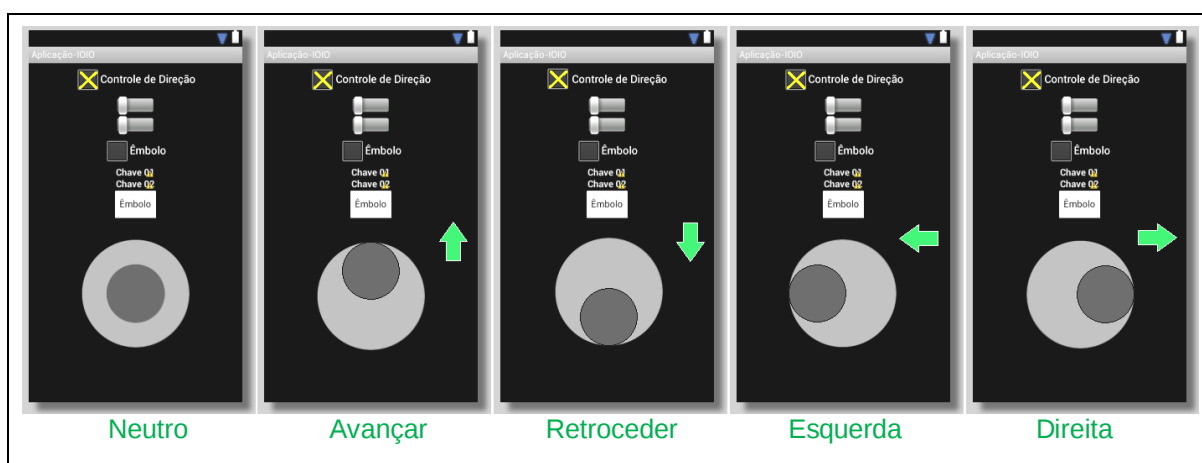


Figura 43 – Aplicação de Controle da Navegação para o robô (Duda, 2013).

A aplicação foi instalada sem alterações em outro aparelho celular móvel modelo GT-S5360B, da marca SAMSUNG, processador de 800Mhz e sistema operacional *Android*; com o objetivo de estabelecer comparações na compatibilidade e portabilidade da aplicação, visto que, os dois celulares possuem tamanhos de telas diferentes. A escala de variação permaneceu a mesma para os dois celulares, mas a movimentação do controle (circunferência cinza escuro) sofreu a interferência dos parâmetros de rolagem da tela impossibilitando o controle no celular móvel com tela menor, mas quando desabilitado a rolagem de tela possibilitou o controle igualmente nos dois celulares.

4.3 BRAÇO ROBÓTICO

Os movimentos do braço robótico foram avaliados com outro módulo de aplicação que possui teclas de ativação/desativação, macro controle, micro controle

e monitor de sinal, para encontrar os parâmetros de cada posição a ser realizada; cada parâmetro é composto por três valores obtidos através do monitor de sinal.

O primeiro passo para a movimentação do braço robótico é necessário ativação dos relês 5 e 6 que fornecem energia aos motores servos através de 8 teclas na parte superior da aplicação, sendo uma tecla para cada relê. Depois de ativar os relês, faz necessário ativar o movimento de cada servo nas teclas (*on/off*) abaixo dos motores 1, 2, e 3, permitindo a manipulação de um servo de cada vez, através do conjunto de teclas (-) e (+) para o micro avanço e da barra de rolagem para o macro avanço. O mapeamento de cada posição foi obtido com a movimentação do braço robótico até a posição desejada através do conjunto de teclas de manipulação para cada motor 1, 2, e 3 resultando três valores no monitor de sinal situado entre as teclas (-/+) e as teclas (*on/off*). As posições de coleta, repouso, ação e descarga nas 20 amostras armazenadoras foram anotadas gerando uma matriz de trabalho, para informar o banco de dados na organização das informações.

Os movimentos da tampa de amostras armazenadas e os parâmetros para o funcionamento do êmbolo foram locados em teclas específicas na parte inferior da tela de aplicação.

Após a elaboração da matriz de trabalho foi possível executar a sequência completa nos movimentos do braço robótico totalmente controlado pelo sistema, ou seja, saindo da posição de repouso, movendo-se para a posição de ação, depois se deslocando para a posição de coleta, retornando para a posição de ação, abrindo a tampa do armazenador, movendo-se para a descarga na primeira amostra do armazenador, acionando o êmbolo de descarga, retornando para a posição de ação, fechando a tampa do armazenador, e finalmente retornando para a posição de repouso. A sequência completa de movimentos foi atribuída à última tecla da tela da aplicação.

Na Figura 44 está representada a tela da aplicação que permitiu os testes dos movimentos do braço robótico acoplado no robô móvel NAVIGO.

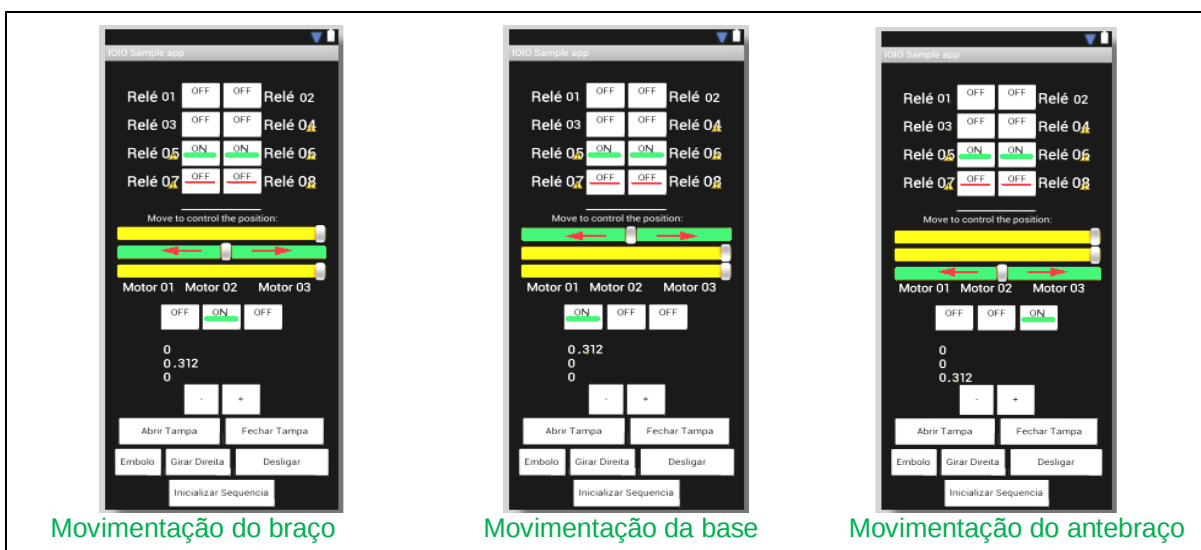


Figura 44 – Aplicação de Controle do Braço Robótico para o robô (Duda, 2013).

Na Figura 45 estão registradas três posições executadas pelo braço robótico acoplado no robô móvel.

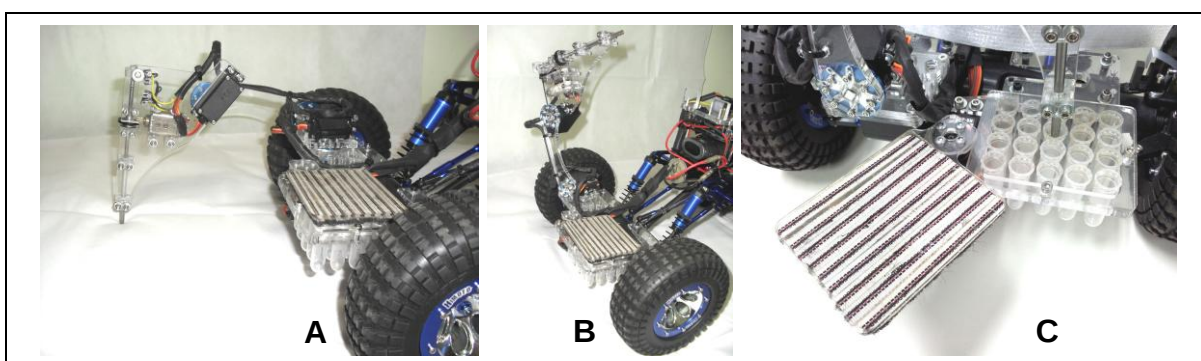


Figura 45 – Movimentação do Braço Robótico: A) posição coleta, B) posição ação, C) posição descarga na 8ª amostra armazenadora (Autor, 2013).

Nesta aplicação foram realizados testes de compatibilidade e portabilidade, sem alterações na aplicação simplesmente instalando em modelos diferentes de aparelhos celulares móveis, destacados, anteriormente, o que permitiu visualizar a aplicação com 100% de funcionalidade nos dois aparelhos.

Os movimentos iniciais do braço robótico foram deslocamentos rápidos ocasionando balanços na estrutura como um todo, mas com a repetição dos movimentos várias vezes seguidas, foram observadas folgas principalmente entre o servo da base e o servo do braço, fixado logo acima da base; esse tipo de problema, já havia sido observado em trabalhos relacionados com braços robóticos, e para este projeto foram colocadas molas auxiliares para reduzir o balanço, sem contribuição para a redução das folgas encontradas.

Na tentativa de reduzir o balanço, foram retiradas as molas auxiliares e projetada uma plataforma de apoio mais alta eliminando o espaço livre existente; fazendo com que o suporte do servo do braço gire apoiado sobre a nova plataforma; com esta alteração e a nova série de repetições dos movimentos foi observado que houve redução no balanço da estrutura como um todo, sendo adequado para a utilização do braço robótico; outro fator de contribuição para a redução do balanço no braço robótico foi reduzir a velocidade no deslocamento, executando movimentos mais suaves, o que melhorou a precisão no posicionamento do tubo coletor para descarregar das amostras nas 20 posições de armazenamento.

Considerando que o robô móvel foi projetado para coletar amostras de solos, e que existem diferentes tipos de solos no ambiente agrícola, foram estabelecidos inicialmente dois tipos de solos para avaliar o desempenho da tarefa; para isto, o protótipo foi testado em solos de textura arenosa e argilosa; onde foram executados os movimentos programados na aplicação para as duas situações. Os resultados obtidos nos solos de textura arenosa foram superiores em comparação ao solo de textura argilosa, mas com a repetição dos movimentos, foram observados que nos solos de textura argilosa e/ou compactados apresentaram amostras com menor volume coletado; portanto, haverá necessidade na alteração do projeto do tubo coletor, com a troca por um tubo com maior diâmetro, ou substituir por um trado de rosca; buscando melhorar a eficiência na obtenção do volume correto de amostra, mas cabe salientar que o sistema computacional não sofreria tais alterações possibilitando a portabilidade para outro sistema mecânico de coleta.

O módulo de teste do braço robótico validou os movimentos e a funcionalidade do braço robótico, portanto a aplicação promoveu o reconhecimento dos parâmetros necessários para serem utilizados na integração com o sistema de movimentação autônoma do robô agrícola.

4.4 AVALIAÇÕES EXTRAS

As avaliações com aparelho celular móvel modelo GT-S5360B, marca SAMSUNG, processador de 800Mhz, sistema operacional *Android* proporcionaram contribuição extra para o projeto, demonstrando na maioria dos testes que a portabilidade das aplicações sem alterações foi funcional nos dois aparelhos, revelando que o sistema computacional utilizado tem potencial de trabalho

principalmente na portabilidade de aparelhos celulares móveis, podendo ser substituídos com facilidade.

No início dos trabalhos a energia da bateria do robô era transferida para a bateria do celular móvel através do cabo da conexão USB entre a placa de controle IOIO e o celular móvel. O trabalho e o aprofundamento do conhecimento com o dispositivo de controle (placa IOIO) permitiu a substituição do cabo da conexão USB por um adaptador *bluetooth* USB classe 1 o qual interrompeu a transferência de energia entre os dois equipamentos. A partir desse momento, iniciaram os testes com quatro modelos de adaptadores *bluetooth* USB diferentes, em que um dos modelos estabeleceu a comunicação entre os dispositivos com distância de até 80 m, e os demais modelos estabeleceram comunicação na distância de até 20 m. Os resultados mostraram que o sistema computacional acompanhando a estrutura móvel permite o uso de qualquer um dos adaptadores *bluetooth* USB testados, e, também, com a utilização destes adaptadores houve melhor aproveitamento da energia consumida pelo robô móvel.

Os testes desenvolvidos com a estrutura móvel permitiram o uso contínuo da energia fornecida pela bateria do robô por até 3 horas seguidas utilizando quatro servos, um motor de corrente contínua, a placa de controle IOIO, adaptador *bluetooth* USB, e a placa de relês; sem a necessidade de substituição ou recarga da energia da bateria; o que demonstrou um consumo adequado. A utilização da placa de relês proporcionou a economia de energia, pois no momento da navegação os motores do sistema de coleta são desligados; todavia no momento da navegação apresentou aumento no consumo de energia, podendo ser atribuído a dois fatores: o primeiro, relacionado com o motor de tração por consumir maior quantidade de energia no deslocamento, e o segundo, com aumento na carga alocada na estrutura móvel inicialmente possuindo 2.720 g e passou para 3.785 g, um ganho de 39% no peso total, influenciando o consumo de energia em virtude do aumento da carga transportada.

Em resumo, a estrutura robótica executou de forma adequada e precisa os testes aplicados para as atividades de locomoção, movimentos do braço robótico e armazenamento das amostras, necessitando unificar as aplicações para desempenhar de forma autônoma as tarefas; e na coleta de amostras de solos há necessidade na alteração do projeto para obter o desempenho adequado.

5 CONCLUSÃO

O ambiente da robótica e da automação em conjunto com as tecnologias atuais permite produzir projetos que antes eram somente ideias ou conceitos. A estrutura robótica projetada neste trabalho contribui para o conhecimento de acertos e falhas direcionando a pesquisa de tecnologias de automação agrícola.

Esta pesquisa apresentou condições para o desenvolvimento de equipamentos agrícolas atuando no lugar adequado, no momento apropriado e no caminho programado. No presente trabalho foi possível construir uma estrutura móvel para o deslocamento em superfícies irregulares, acondicionando os componentes eletrônicos, elétricos e mecânicos, necessários ao funcionamento da navegação e da coleta de informações agrícolas.

Os resultados obtidos no desenvolvimento do robô agrícola permitiram as seguintes conclusões:

- o projeto demonstrou estabilidade na execução e repetições das ações preestabelecidas, o que permitirá o seu uso como ferramenta útil na execução de coletas de amostras de solos para áreas agrícolas de pequeno e médio porte;
- o protótipo possibilitou as ações de navegação a distância mostrando ser necessário adequação na integração do sistema de navegação desenvolvida por Rosa (2012) com o módulo de controle de navegação, a fim de torná-lo autônomo;
- o braço robótico possibilitou as ações de coletas de amostras de solos mostrando ser necessário adequação no projeto mecânico do tubo coletor para solos com maior resistência a penetração;
- em relação aos robôs agrícolas móveis já existentes no mercado, o NAVIGO possui um diferencial particular que é a utilização de um aparelho de celular móvel utilizando o sistema operacional *Android* com código aberto voltado para sistemas móveis desempenhando uma importante função que é a busca por coleta de informações no ambiente agrícola.

6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Os testes aplicados para avaliar a estrutura robótica projetada neste trabalho permitiram observar e indicar os seguintes trabalhos futuros, dando continuidade para este projeto:

- Monitorar o consumo de energia da bateria do robô;
- Empregar os princípios de *Automatic Meter Reading – AMR* (telemetria);
- Utilizar sensores de obstáculos e de inércia auxiliando a navegação;
- Substituir o motor de acionamento do êmbolo aumentando o torque;
- Substituir o servo do braço robótico por outro com maior torque;
- Utilizar aparelho de celular móvel com os módulos GPS e AGPS;
- Alterar o tubo coletor por outro com maior diâmetro;
- Reduzir a ação de poeira e umidade sobre o sistema computacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAHAKONE, A.U.; RAGAVAN, V., **Geospatial Information System for tracking and navigation of mobile objects**. Advanced Intelligent Mechatronics, 2009. AIM 2009. IEEE/ASME International Conference on , pp. 875-880, 14-17 July, 2009.

ALBA, J. M. F.; FLORES, C. A.; MIELE, A.. **Modelagem espacial do solo para apoio à viticultura de precisão: Vale dos Vinhedos, Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil**. Rev. Bras. Vitic. Enol., n. 4, p. 8-17, 2012.

ASTRAND, B.; BAERVELDT, A.. **An Agricultural Mobile Robot with Vision-Based Perception for Mechanical Weed Control**. Autonomous Robots. Halmstad, Suécia. v. 13, n. 1, p. 21-35, 2002.

BARROS, L. C. de. **Teoria fuzzy x Biomatemática**. IMECC- UNICAMP, 2002.

BISGAARD, M.; VINTHER, D.; ØSTERGAARD, K. Z.. **Modelling and Fault-Tolerant Control of an Autonomous Wheeled Robot**. Report project, 2004, 260p, Aalborg, 2004.

BLACKMORE, B. S.; et al.. **Robotic agriculture – the future of agricultural mechanisation?** 5th European Conference on Precision Agriculture. ed. J. Stafford, V. The Netherlands, Wageningen Academic Publishers. p. 621-628, 2005.

BLACKMORE, B. S.. **New concepts in agricultural automation**. HGCA conference – Stoneleigh Park, Kenilworth, Warwickshire, UK, 28 and 29 October, 2009.

BLACKMORE, B. S.; HAVE, H.; FOUNTAS, S.. **A specification of behavioural requirements for an autonomous tractor**. 6th International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering conference. eds. M. Zude, B. Herold, and M. Guyer. Potsdam - Bornim, Germany, Institute für Agrartechnik Bornim e.V. p. 25-36, 2001.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Agricultura de precisão / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília : Mapa/ACS, 2013.

CHEN, X.; et al.. **Research of real-time agriculture information collection system base on mobile GIS**. Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), 2012 First International Conference on, pp. 1-4, 2-4 Aug., 2012.

CHOI, H.; PARK, O.; KIM, H.. **Autonomous mobile robot using GPS**. Control and Automation, 2005. ICCA '05. International Conference on , v. 2, pp. 858-862, 26-29 June, 2005.

CLAY, S.; JOHNSON, G.. **Scouting for weeds**. Online. Crop Management. 2002. Disponível em: < <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/management/weeds/>>. Acesso em 17 julho 2011.

COELHO, A. M.. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas** / Antônio Marcos Coelho. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005.

DIAS, A. H.; et al.. **Navigo – A Field Robot for Small Farms**. AFITA 2012, 8th Asian Conference for Information Technology in Agriculture, Taipei, Taiwan, 2012. Disponível em: <[http://www.afita.org/graph/web_structure/files/Seminar%20\(03\)-01\(1\).pdf](http://www.afita.org/graph/web_structure/files/Seminar%20(03)-01(1).pdf)>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2013.

DIAS, A. H.. **Sistema especialista para automação do processo de aeração de grãos de milho em pequenas propriedades**. Tese de Doutorado, 2007, 70p., Botucatu, 2007.

DUDA, R. F.. **Aplicações**. Ponta Grossa: UEPG, 2013. Plataforma Android.

DX. **8 Channel Relay Module Extension Board for Arduino**. 2013. Disponível em: <<http://dx.com/pt/p/8-channel-relay-module-extension-board-for-arduino-avr-arm-51-141670>>. Acesso em: 02 de julho 2013.

DX. **Adapter Bluetooth USB**. 2013. Disponível em: <<http://dx.com/p/orico-bta-201-usb-2-0-bluetooth-v2-0-adaptor-for-pc-tablet-pc-smart-phone-black-217363>>. Acesso em: 02 de julho 2013.

EVANS, J., STEVENS, A.. **Measures of graphical complexity for navigation and route guidance displays**. Displays, v. 17, n. 2, p. 89-93. 1997.

FAZU – FACULDADES ASSOCIADAS DE UBERABA – 23-03-2011. Disponível em: < <http://www.flickr.com/photos/fazuonline/>>. Acesso em: 9 de maio de 2013.

FREITAS, R. R.. **Estudo de uma estrutura em pórtico para utilização em um veículo autônomo agrícola**. Dissertação Mestrado, 2008, 93p, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

GARCÍA, A.; BARRIENTOS, A.; ROSSI, C.. **MoonHound**. Universidad Politécnica de Madrid. ESPANHA. 2011. Disponível em: <http://robotics.estec.esa.int/ASTRA/Astra2011/Presentations/session%202b/03_garcia.pdf>. Acesso em 23 de julho de 2011.

GEMTOS, T.; BLACKMORE, S.; FOUNTAS, S.. **About: What is ZEUS?** University of Thessaly. GREECE. 2006. Disponível em: <<http://users.forthnet.gr/ath/startrek/about.html>>. Acesso em: 23 de setembro de 2011.

GODOY, et al. **Design and implementation of an electronic architecture for an agricultural mobile robot**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 11, p. 1240-1247, 2010.

GOHIYA, C.S.; et al. **Design and development of digital PID controller for DC motor drive system using embedded platform for mobile robot.** Advance Computing Conference (IACC), 2013 IEEE 3rd International, pp. 52-55, 22-23 Feb., 2013.

GOJIC, M.; BREZAK, M.; PETROVIC, I., **Embedded computer control system for service mobile robots.** MIPRO, 2011 Proceedings of the 34th International Convention, pp. 711-716, 23-27 May 2011.

GUIMARÃES, A. A.; SARAIVA, A. M.. **A Norma ISO 11783 como padrão internacional e a sua utilização na agricultura.** In: Congresso da Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria. Porto Seguro - Brasil. Anais... Lavras: Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria, p. 439-442, 2003.

HAMID, M.H.A.; et al.. **Navigation of mobile robot using Global Positioning System (GPS) and obstacle avoidance system with commanded loop daisy chaining application method.** Signal Processing & Its Applications, 2009. CSPA 2009. 5th International Colloquium on, pp. 176-181, 6-8 March, 2009.

HASEGAWA, et al.. **Sistema de localização e navegação apoiado por GPS;** In: XX Congresso Brasileiro de Cartografia. Recife, 1999.

HIMOTO – **Instruction manual.** 2010. Disponível em: <http://www.himotoracing.com/product/rock/electric/rock_e001/details.php?information=4>. Acesso em: 17 de dezembro de 2012.

HORTIBOT, 2007 Disponível em: < <http://www.hortibot.dk/index.html>>. Acesso em: 03 de agosto de 2013.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, Londrina, PR. Amostragem de solo para análise química: plantio direto e convencional, culturas perenes, várzeas, pastagens e capineiras. (IAPAR. Circular, 90), Londrina, 28p., 1996.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 11783-5. 2011. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50578>. Acesso em: 19 de setembro de 2011.

JIANJUN, Z.; et al.. **Fuzzy Control for Automatic Steering and Line Tracking of Agricultural Robot.** Computer Science and Software Engineering, 2008 International Conference on, v. 1, pp. 1094-1097, 12-14 Dec., 2008.

JIN, X.; et al.. **Based on embedded intelligent vehicle system.** Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering (CCTAE), 2010 International Conference On, v. 2, pp. 49-52, 12-13 June, 2010.

JØRGENSEN, R. N.; et al.. **HortiBot: A System Design of a Robotic Tool Carrier for High-tech Plant Nursing.** Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, Manuscript ATOE 07 006, V. IX, July, 2007.

KORPELA, C.; et al.. **Towards the realization of mobile manipulating unmanned aerial vehicles (MM-UAV): Peg-in-hole insertion tasks**. Technologies for Practical Robot Applications (TePRA), 2013 IEEE International Conference on, pp. 1-6, 22-23 April, 2013.

Kranenburg-de Lange, D. J. B. A. **Dutch Robotics Strategic Agenda - Analysis, Roadmap & Outlook**, ISBN 978-94-6191-322-7, June, 2012.

LIMA, F.. **Máquina de corte a laser**. 2013. Disponível em: <http://1.bp.blogspot.com/_4nV04TqUltc/TK9NQiLagbl/AAAAAAAAA4g/770qNerL5go/s1600/maquina+laser3.jpg>. Acesso em: 29 de julho de 2013.

LUDWIG, M. P.; MAIA, M. de S.; CORREA, M. F.. **Banco de sementes de aveia preta no solo sob dois sistemas de manejo**. Ciência Rural, v. 41, n. 1, p. 25-32, 2011.

MEHL, E. L. de M.. **Sistemas Eletrônicos Embarcados**. 2011, 18p., Departamento de Eng. Elétrica – UFPR, Curitiba, 2011. . Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te200/aulas/embarcados.pdf>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2013.

MOLIN, J. P.. **Agricultura de precisão** / MAPA. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília : Mapa/ACS, pp. 5, 2013.

MONTA, M. N.; KONDO, Y.; SHIBANO Y.. **Agricultural Robot in Grape Production System**. In Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation. Nagoya, Japan. p. 2504-2509, May, 1995.

MORITA, T., **Grading of the Map Functions in Navigation System**. In: 16TH International Cartographic Conference - 1993. Cologne, Germany, v. 2, n. 2, p. 1109-1118, 3-9 May 1993.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Mars Exploration Rover Landings. 2004. Disponível em: <<http://marsrovers.jpl.nasa.gov/newsroom/merlandings.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2011.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Scarecrow Descends Hill. 2007. Disponível em: <<http://mars.jpl.nasa.gov/images/PIA10014-br2.jpg>>. Acesso em: 10 de abril de 2011.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Scarecrow. 2007. Disponível em: <<http://mars.jpl.nasa.gov/images/PIA10016-br2.jpg>>. Acesso em: 10 de abril de 2011.

NEZHAD, M.A.K.B.; MASSH, J.; KOMLEH, H.E.. **Tomato Picking Machine Vision Using with the Open CV's Library**. Machine Vision and Image Processing (MVIP), 2011 7th Iranian, pp. 1-5, 16-17 Nov., 2011.

NORREMARK, M.; et al.. **Evaluation of an autonomous GPS-based system for intra-row weed control by assessing the tilled área**. Precision Agriculture. Springer Netherlands. Tjele, Dinamarca. pp. 1-14, Published online: 10 June, 2011.

ORTIZ, J.M.; OLIVARES, M.. **A Vision Based Navigation System for an Agricultural Field Robot**. Robotics Symposium, 2006. LARS '06. IEEE 3rd Latin American, pp. 106-114, 26-27 Oct., 2006.

PAZUL, K.. **Controller Area Network (CAN) Basics**. AN713. Microchip Technology Inc.. 1999. Disponível em: <http://multiaxismotion.com/docs/engineering_topics/can/an713_basics_00713a.pdf>. Acesso em: 17 de setembro de 2011.

PLANOVALE – ASSESSORIA AGRÍCOLA E CORRETORA DE SEGUROS – 11-05-2012. Disponível em: < <http://www.planovale.com/galerias/25/Coleta-de-solo/4/0>>. Acesso em: 13 de junho de 2013.

REID, J. F.; et al.. **Agricultural automatic guidance research in North America**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 25, p. 155–167, 2000.

REIS, F. de O.; CAMPOSTRINI, E.; SOUSA, E. F. de. **Fluxo de seiva xilemática em mamoeiro 'Golden' cultivado por microaspersão sobre copa: relações com as variáveis ambientais**. Bragantia, v.68, n.2, p. 285-294, 2009.

ROSA, A. E. da. **Sistemas de navegação por georreferenciamento com correção de rota por lógica Fuzzy aplicado à robótica agrícola**. Dissertação de Mestrado, 2012, 82p., Ponta Grossa, 2012.

SAMSUNG. **GT-I9100**. 2013. Disponível em: <<http://www.samsung.com/br/consumer/cellular-phone/cellular-phone-tablets/smartphones/GT-I9100LKLZTO>>. Acesso em: 02 de julho 2013.

SANTI A. L.; et al.. **É chegada a hora da integração do conhecimento**. Agricultura de Precisão. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, RS. n. 109, jan/fev, 2009.

SCARFE, A. J.; et al.. **Development of an autonomous kiwifruit picking robot**. Autonomous Robots and Agents, 2009. ICARA 2009. 4th International Conference on, pp. 380-384, 10-12 Feb., 2009.

SCHLOSSER, J. F.; et al.. **Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso**. Ciência Rural, Santa Maria, v.35, n. 1, p. 92-97, jan-fev, 2005.

SLAUGHTER, D. C.; GILES, D. K.; DOWNEY, D.. **Autonomous robotic weed control systems: A review**. Computers and Electronics in Agriculture, Daves, United State. v. 61, n. 1, p. 63-78, Apr 2008.

SOUSA, R. V.. **Robô Agrícola Móvel (RAM): uma arquitetura baseada em comportamentos hierárquicos e difusos para sistemas autônomos de guiagem e navegação**. Tese Doutorado, 2007, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SPARKFUN. **IOIO for Android DEV-10748**. 2013. Disponível em: < <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net//images/products/1/0/7/4/8/10748-04b.jpg>>. Acesso em: 02 de julho 2013.

SYED S.; CANNON, M. E.. **Fuzzy Logic Based-Map Matching Algorithm for Vehicle Navigation System in Urban Canyons**. ION National Technical Meeting, San Diego, CA, January 26-28, 2004.

TABARRACCI, J.; CURRIER, P. **A blueprint for a fixed-wing autopilot on an Android smartphone**. Southeastcon, 2013 Proceedings of IEEE , pp. 1-6, 4-7 April 2013.

TABILE, et al.. **Design and development of the architecture of an agricultural mobile robot**. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.31, n.1, p.130-142, jan./fev. 2011.

TAKAHASHI, Y.; OGAWA, J.; SAEKI, K.. **Automatic tomato picking robot system with human interface using image processing**. Industrial Electronics Society, 2001. IECON '01. The 27th Annual Conference of the IEEE , v.1, pp. 433-438, 2001.

TANGERINO, et al.. **Estado da Arte em robótica agrícola móvel no Brasil e no Mundo**. CONBEA 2011, XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Cuiabá, Brasil, 2011.

TANGERINO, G. T.. **Sistemas de sensoriamento embarcado para uso em controle de aplicações de insumos agrícolas à taxa variável**. Dissertação de Mestrado, 2009, 123p, São Carlos, 2009.

TANGERINO, G.T.; et al.. **Hydraulic networked control of four wheel steering agricultural robot**. Control and Automation (ICCA), 2011 9th IEEE International Conference on, pp. 142-147, 19-21 Dec., 2011.

TENG, et al. **An Implementation for Connecting Android Powered Device to External World**. Innovations in Bio-inspired Computing and Applications (IBICA), 2011 Second International Conference on , vol., no., pp.303,305, 16-18 Dec. 2011.

THE STEAM MAN. Disponível em: < <http://www.bigredhair.com/steamman/index.html>>. Acesso em: 21 outubro 2011.

TOMÉ JR., J. B.. **Manual para interpretação de análise de solo**. Gaíba : Agropecuária, 247p. 1997.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. Division of Technology, Industry and Economics. **Phytotechnologies: A Technical Approach in Environmental Management**. IETC Freshwater Management Series 7. 2003. Disponível em: <<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/freshwater/fms7/4.asp>>. Acesso em: 19 julho 2011.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID – UPM. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Centro de Automática y Robótica (CAR). Grupo de Percepción Artificial (GPA). **Robots móviles en exterior**. Disponível em: <<http://www.car.upm-csic.es/gpa/index.php>>. Acesso em: 02 de outubro de 2011.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Escola de Engenharia de São Carlos. Núcleo de Ensino e Pesquisa em Automação e Simulação. **Projeto SKINNY**. 1999. Disponível em: <<http://www.nepas.eesc.usp.br/roboticaagricola/index.php/robos-agricolas/skinny>>. Acesso em: 01 de outubro de 2011.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Escola de Engenharia de São Carlos. Núcleo de Ensino e Pesquisa em Automação e Simulação. **Projeto RAM - fase 3**. 2008. Disponível em: <<http://www.nepas.eesc.usp.br/roboticaagricola/index.php/robos-agricolas/ram>>. Acesso em: 01 de outubro de 2011.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Escola de Engenharia de São Carlos. Núcleo de Ensino e Pesquisa em Automação e Simulação. **Projeto Agribot**. 2010. Disponível em: <<http://www.nepas.eesc.usp.br/roboticaagricola/index.php/robos-agricolas/agribot>>. Acesso em: 01 de outubro de 2011.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA – UEPG. Biblioteca Central Prof. Faris Michael. **Manual de normalização bibliográfica para trabalhos científicos**. 3. ed. rev. atual. Ponta Grossa: UEPG, 2011.

VEIGA, L. A. K., ZANETTI, M. A. Z., FAGGION, P. L., **Fundamentos de topografia. Apostila Disciplina de Topografia**, 2007, 205p, Departamento de Geomática - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

WEIDONG, Z.; CHUN, W.; JING, H. **Development of agriculture machinery aided guidance system based on GPS and GIS**. World Automation Congress (WAC), 2010, pp. 313-317, 19-23 Sept. 2010.

XUE, J.; XU, L.. **Autonomous Agricultural Robot and its Row Guidance**. International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA). IEEE Computer Society, v. 1, p. 725-729, 2010.

YADAV, S.N.; KULKARNI, V.A.; GHOLAP, S.G., **Design of milk analysis embedded system for dairy farmers**. Advances in Technology and Engineering (ICATE), 2013 International Conference on , vol., no., pp.1,5, 23-25 Jan., 2013.

ZHANG, B.; et al.. **A Mobile Robot System Based on Electromagnetic Navigation**. Electrical Machines and Systems, 2005. ICEMS 2005. Proceedings of the Eighth International Conference on , vol.2, no., pp. 1559-1562, 29-29 Sept. 2005.

ZHANG, Q.. **Design of a Generic Fuzzy Controller for Electrohydraulic Steering**. Proceedings of the American Control Conference. Arlington, VA, 25-27 June, 2001.

ZHAO, C.; JIANG, G.. **Baseline detection and matching to vision-based navigation of agricultural robot**. Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR), 2010 International Conference on, pp. 44-48, 11-14 July, 2010.