

**PEDRO FERNANDO MARTÍN GÓMEZ**

**DISTRIBUIÇÃO INTELIGENTE DE ADUBOS QUÍMICOS VIA GPS  
COM TECNOLOGIA PARA PEQUENOS PRODUTORES**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**2013**

**PEDRO FERNANDO MARTÍN GÓMEZ**

**DISTRIBUIÇÃO INTELIGENTE DE ADUBOS QUÍMICOS VIA GPS  
COM TECNOLOGIA PARA PEQUENOS PRODUTORES**

**Tese** apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: Sistemas Térmicos.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Saul Hernández Mendoza.

**UBERLÂNDIA - MG**

**2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil

---

M386d    Martín Gómez, Pedro Fernando, 1970-  
2013      Distribuição inteligente de adubos químicos via GPS com tecnologia  
para pequenos produtores / Pedro Fernando Martín Gómez. - 2013.  
208 p. : il.

Orientador: Oscar Saul Hernández Mendoza.  
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.  
Inclui bibliografia.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Agricultura de precisão - Teses.  
3. Adubos e fertilizantes - Teses. I. Hernández Mendoza, Oscar Saul. II.  
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica. III. Título.

CDU: 621

---

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus pela saúde, constância, luta e empreendimento apesar da adversidade. Obrigado porque hoje eu sei: Com Deus do meu lado, tudo é possível.

A minha amada esposa Luz Marina e meus filhos: Catalina e Sebastián, pelo tempo não presente, pela distância, pelos dias difíceis em muitos momentos, mas que foram necessários para acrescentar meu amor e minha entrega por eles, na busca de um futuro melhor.

À Universidade Federal de Uberlândia (Brasil) e a Universidade De La Salle (Colômbia) pela oportunidade de fazer este Curso.

Ao Prof. Dr. Oscar Saul Hernandez Mendoza, pela sua capacidade de orientar e pela ajuda e apoio permanentes na estruturação deste trabalho.

Ao corpo docente do programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica desta Universidade, de todos aprendi muito. Especialmente ao Professor Dr. Enio Bandarra pela significativa ajuda nos momentos difíceis e ao Prof. Rogério Sales pelo apoio nos testes experimentais.

Aos colegas professores da Universidade de La Salle, que me auxiliaram nas horas mais difíceis, em especial ao Prof. Dr. e grande amigo Jorge Rangel Díaz e ao Prof Dr. Antônio Tumialán Borja.

Aos meus estudantes de graduação iniciantes em pesquisa, pela colaboração e amizade de sempre.

Aos membros da banca que disponibilizaram tempo e estudo para avaliação desta tese.

## Resumo

A presente tese trata do desenvolvimento de um sistema autônomo, capaz de se deslocar dentro de uma cultura com precisão e de forma eficaz, sendo funcional e viável economicamente para fazer dosagem de fertilizantes nas pequenas culturas, que constituem o maior percentual da área de produção agrícola na Colômbia. Nela foi desenvolvido um sistema capaz de fazer mapeamento dos limites da cultura com GPS submétrico no sinal livre, sem correção em tempo real e gerada uma metodologia própria e inovadora que integra vários sistemas diferentes, para um nível piloto de um hectare. Os dados do GPS são armazenados num arquivo e utilizados para correção dos limites com um aplicativo desenvolvido, usando métodos de interpolação e otimização com splines cúbicas, para fazer a distribuição da cultura e estabelecer os pontos de posicionamento automático do veículo dentro da cultura. Com estas coordenadas são geradas as trajetórias, com um algoritmo utilizado na robótica da agricultura, para se deslocar entre dois pontos cumprindo as tarefas da cultura e interagindo com um computador remoto através de uma rede sem fio tipo Xbee. O resultado é um sistema suportado num veículo capaz de fazer a dosagem do fertilizante líquido controlado com erro inferior a 3% em volume, com possibilidade de se deslocar numa cultura seguindo os pontos de trajetória gerados pelo algoritmo A\* com erro menor aos 10 cm, baseado no sensoriamento embarcado no veículo e supervisionado por computador remoto.

---

**Palavras Chave:** Agricultura de precisão. Veículo autônomo. Dosagem de adubos. Planejamento de trajetórias.

## Abstract

This thesis deals on the development an autonomous system, able to move within a culture accurately and effectively, being functional and economically viable in small cultures, which constitute the most percentage to agricultural production area in Colombia. A system capable to mapping the boundaries of culture it has develop with sub metric GPS in free signal without real time correction, and generate an innovative and proprietary methodology that integrates many different systems to a level pilot of one hectare. The GPS data are stored in a file and used for limits correction with software developed, using methods of interpolation and optimization with cubic splines, to make the distribution of culture and establishment the points of automatic positioning to the vehicle within the culture. With these coordinates, the trajectories are generate using A\* algorithm to move between two points fulfilling the tasks of culture, interacting with a remote computer over wireless network Xbee. The result is a vehicle capable of dispensing liquid fertilizer with an error less than 3% by volume, with the possibility of moving in a culture following the trajectory generated by A\* algorithm with error less than 10 cm, based on the embedded sensing in the vehicle and supervised by remote computer.

---

**Keywords:** *Precision farming. Autonomous vehicle. Dosage fertilizers. Path planning.*

## Lista de variáveis

$\alpha_i$ : vetores equivalentes dos coeficientes escalares algébricos.

$A$ : Área do reservatório, [m<sup>2</sup>].

$A$ : Matriz dos coeficientes algébricos de interpolação.

$A_p$ : Área ocupada por uma planta, [m<sup>2</sup>].

$A_T$ : Área do misturador, [m<sup>2</sup>].

$D$ : Diâmetro da tubulação, [m].

$D_i$ : Diâmetro interno da tubulação, [m].

$Dk_{[i,j]}$ : Matriz do Algoritmo de Dijkstra do menor caminho entre o ponto “ $i$ ” e o ponto “ $j$ ”.

$D_m$ : Diâmetro do misturador, [m].

$D_p$ : Número de plantas por unidade da área.

$E$ : Tensão, [V].

$E_{px}$ : Erro da posição na direção X, [m].

$E_{py}$ : Erro da posição na direção Y, [m].

$ET$ : Erro total da posição, [m].

$f(n)$ : Função de avaliação probabilística do nó “ $n$ ”.

$f^*(n)$ : Função estimativa da avaliação do nó “ $n$ ”.

$f$ : Coeficiente de atrito.

$F_i$ : Funções de mistura ou “*Blending*” para interpolação.

$g(n)$ : Custo atual do caminho ótimo desde a origem até o nó “ $n$ ”.

$g^*(n)$ : Custo estimativo do caminho desde a origem até o nó “ $n$ ”.

$g$ : Aceleração da gravidade, [9,81 m/s<sup>2</sup>].

$h(n)$ : Custo de um caminho ótimo desde o nó “ $n$ ” até o ponto destino.

$h^*(n)$ : Estimativa do custo do caminho ótimo desde o ponto “ $n$ ” até o destino.

$h$ : Distância de alçado desde o nível do fluido no reservatório até a linha central da entrada de sucção da bomba, [m].

$h_f$ : Perdas por atrito do sistema, [m].

$H_i$ : Altura do impulsor, [m].

$h_s$ : Altura da entrada de fertilizante no reservatório, [m].

$k$ : Ganho de sensor (sem dimensão).

$k_D$ : Constante derivativa de controle.

$k_I$ : Constante integral de controle.

$k_p$ : Constante proporcional de controle.

$l_{eq}$ : Comprimento da tubulação de sucção [m].

$\mathbf{M}$ : Matriz de transformação universal.

$N_t$ : Requerimento total de vazão da aplicação, [m<sup>3</sup>/s].

$\mathbf{p}_0, \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_0', \mathbf{p}_1'$ : Coeficientes geométricos de interpolação,

$P$ : Potência, [W].

$\mathbf{P}$ : Curva paramétrica de aproximação por interpolação.

$P_1$ : Pressão estática do nível da entrada de fertilizante, [Pa].

$P_2$ : Pressão da saída nas boquilhas, [Pa].

$P_{atm}$ : Pressão atmosférica de Bogotá, [101325 Pa].

$\mathbf{P}(u)$ : vetor posição de qualquer ponto da curva de interpolação.

$P_x$ : Coordenada X da posição de referência, [m].

$P_{xm}$ : Média da coordenada X medida, [m].

$P_y$ : Coordenada Y da posição de referência, [m].

$P_{ym}$ : Média da coordenada Y medida, [m].

$q$ : Largura das palhetes do impulsor de misturador, [m].

$q_m$ : Vazão da seção da tubulação, [m<sup>3</sup>/s].

$q_s$ : Variação de fluxo da saída, [m<sup>3</sup>/s].

$R$ : Resistência de fluxo de líquido através da solenoide (sem dimensão).

$RA$ : Necessidade de vazão, [m<sup>3</sup>/s].

$R_{AZ}$ : Força de reação no ponto A e direção Z, [N].

$R_{BZ}$ : Força de reação no ponto B e direção Z, [N].

$R_{CZ}$ : Força de reação no ponto C e direção Z, [N].

$Rx$ : Recepção de comunicação.

$s$ : Nó inicial da trajetória.

$t$ : Nó final da trajetória ou nó destino.

$T$ : Torque, [N-m].

$Tx$ : Transmissão de comunicação.

$u$ : variável independente de interpolação de dados.

$V$ : Volume, [m<sup>3</sup>].

$V_m$ : Velocidade média na tubulação, [m/s].

$\mu$ : Viscosidade cinemática do fluido, [kg/m-s].

$\eta$ : Viscosidade dinâmica do fluido, [1,139 x 10<sup>-3</sup> kg/m-s].

$v$ : Velocidade do fluido, [m/s].

$\rho$ : Densidade de fertilizante, [1460 kg/m<sup>3</sup>].

## Lista de siglas

**A\***: A estrela. Algoritmo de geração de trajetória utilizado na Agricultura.

**ANDI**: Associação Nacional de Industriais (Asociación Nacional de Industriales, Colômbia).

**API**: Plataforma autônoma e sistema de informação (*“Autonomous Platform and Information System”*).

**CAE**: Engenharia assistida por Computador (*“Computer Aided Engineering”*).

**CORR**: Correção da posição do ponto na área da cultura.

**CU**: Coeficiente de Uniformidade.

**DHT**: Dupla Transformada de Hough (*“Double Hough Transformation”*).

**DSS**: Sistemas de Suporte às Decisões (*“Decision Support System”*).

**DUE**: Aplicativo de computador para processamento de dados (*“Data Uncertainly Engine”*).

**FEDEPAPA**: Federação Nacional de produtores de batata. (Federación Nacional de productores de papa, Colômbia.)

**FENALCE**: Federação Nacional de produtores de Cereais. (Federación Nacional de productores de Cereal, Colombia.)

**FFT**: Transformação Rápida de Fourier (*“Fast Fourier Transformation”*).

**GIS**: Sistema de Informação Geográfica (*“Geographic Information Systems”*).

**GND**: Conexão comum.

**GPRS**: Serviço geral de pacotes via rádio (*“General Pocket Radio Service”*).

**GPS**: Sistemas de Posicionamento Global (*“Global Positioning System”*).

**HST**: Tele operação para robô por transmissão hidrostática.

**ICA**: Instituto Colombiano Agropecuario.

**MHz**: Mega-hertz.

**MO**: Matéria orgânica.

*MySQL*: Sistema de gestão de bases de dados relacional, multilinha e multiusuário.

*NDVI*: Índices de Refletância de Luz Ativa (*“Normalized Difference Vegetation Index”*).

*NPSH*: Expressão da sucção positiva de líquido da bomba.

*NVDI*: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*“Normalized Vegetation Diferencial Index”*).

*PID*: Controle Proporcional Integral Derivativo (*“Proporcional-Integral-Derivative”*).

*PPC*: Pocket PC.

*RDI*: Índices de Reconhecimento da Seca (*“Reconnaissance Drought Index”*).

*RF*: Frequência de rádio.

*RFID*: Identificação digital por Rádio Frequência.

*RTK*: Cinemática em Tempo Real (*“Real Time Kinematic”*).

*SAD*: Sistemas de Apoio às Decisões.

*SCPS*: Sensor de perfil da compactação do solo (*“Soil Compaction Profile Sensor”*).

*SDSS*: Sistema de Apoio à Decisão Espacial (*“Support Decission Spatial System”*).

*SMR*: Pequenos robôs móveis (*“Small Movel Robots”*).

*SMS*: Serviço de mensagens curto (*“Short Message Service”*).

*SSPD*: Sistema Suporte de Planejamento Digital (*“Digital Planning Support System”*).

*SSPS*: Sensor de perfil da Resistência do Solo (*“Soil Strenght Profile Sensor”*).

*TCP/IP*: Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet (*“Transmission Control Protocol/Internet Protocol”*).

*TIC*: Tecnologias da Informação e Comunicação.

*WIR*: Taxa de Infestação de plantas daninhas (*“Weed Infestation Rate”*).

*WSN*: Rede de sensores sem fio (*“Wireless Sensor Network”*).

## SUMÁRIO

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.INTRODUÇÃO .....                                                                                   | 1  |
| 2.ESTADO DA ARTE DA AGRICULTURA DE PRECISÃO .....                                                    | 7  |
| 2.1    Sistemas de Apoio Administrativo.....                                                         | 7  |
| 2.2    Medição de variáveis.....                                                                     | 9  |
| 2.3    Sistemas de Comunicação.....                                                                  | 12 |
| 2.4    Sistemas de Posicionamento e Controle.....                                                    | 15 |
| 2.5    Sistemas integrados ou complexos (mistos).....                                                | 20 |
| 3. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA AUTÔNOMO E SISTEMA PROPOSTO .....                                         | 27 |
| 3.1    Seleção da cultura.....                                                                       | 27 |
| 3.1.1    Soja.....                                                                                   | 28 |
| 3.1.2    Arroz.....                                                                                  | 29 |
| 3.1.3    Trigo .....                                                                                 | 30 |
| 3.1.4    Batata .....                                                                                | 31 |
| 3.1.5    Jatropha Curcas (pinhão manso) .....                                                        | 33 |
| 3.2    Escolha definitiva do tipo de plantação.....                                                  | 35 |
| 3.3    Características gerais das culturas de batata .....                                           | 36 |
| 3.4    Critérios do projeto e especificações do Sistema proposto .....                               | 37 |
| 3.4.1    Características do veículo.....                                                             | 37 |
| 4. MAPEAMENTO GPS E GERAÇÃO DOS LIMITES DA CULTURA .....                                             | 42 |
| 4.1    Descrição geral da metodologia .....                                                          | 42 |
| 4.1.1    Metodologia de Medição de coordenadas GPS e correção dos dados de contorno da cultura ..... | 45 |
| 4.1.2    Metodologia de distribuição da cultura e obtenção dos pontos de controle de posição .....   | 53 |
| 5. PLANEJAMENTO E GERAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS .....                                                      | 59 |

|       |                                                                                        |            |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.1   | Caracterização do espaço de simulação da cultura .....                                 | 59         |
| 5.2   | Simulação do sistema no cenário .....                                                  | 60         |
| 5.3   | Algoritmos de planejamento das trajetórias .....                                       | 61         |
| 5.4   | Resultados da simulação das trajetórias .....                                          | 64         |
| 5.4.1 | <i>Consumo dos recursos de computação .....</i>                                        | <i>65</i>  |
| 5.4.2 | <i>Simulação da precisão do sensor de posição.....</i>                                 | <i>66</i>  |
| 5.5   | Protótipo de robô na escala reduzida.....                                              | 67         |
| 5.5.1 | <i>Navegação.....</i>                                                                  | <i>68</i>  |
| 5.5.2 | <i>Geração da trajetória com Algoritmo A* (A estrela). .....</i>                       | <i>72</i>  |
| 5.5.3 | <i>Testes de posicionamento com robô na escala reduzida. ....</i>                      | <i>73</i>  |
| 6.    | SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SEM FIO E SISTEMA DE AQUISIÇÃO E<br>ARMAZENAMENTO DE DADOS..... | 80         |
| 6.1   | Sistema de comunicação sem fio .....                                                   | 80         |
| 6.2   | Sistema de aquisição e armazenamento de dados .....                                    | 87         |
| 6.2.1 | <i>Armazenamento na base de dados .....</i>                                            | <i>89</i>  |
| 6.2.2 | <i>Configuração da porta serial.....</i>                                               | <i>90</i>  |
| 6.2.3 | <i>Base de dados.....</i>                                                              | <i>91</i>  |
| 7.    | SISTEMA DE DOSAGEM DE ADUBOS .....                                                     | 94         |
| 7.1   | Descrição do sistema de dosagem.....                                                   | 94         |
| 7.1.1 | <i>Especificação dos tempos de dosagem.....</i>                                        | <i>95</i>  |
| 7.2   | Projeto agrônômico da rede.....                                                        | 96         |
| 7.3   | Projeto dos reservatórios de fertilizantes .....                                       | 98         |
| 7.3.1 | <i>Seleção do sensor de nível .....</i>                                                | <i>101</i> |
| 7.3.2 | <i>Sistema de mistura de fertilizante .....</i>                                        | <i>101</i> |
| 7.4   | Projeto do sistema de controle de dosagem .....                                        | 102        |
| 7.4.1 | <i>Modelamento dos sistemas hidráulicos.....</i>                                       | <i>102</i> |
| 7.4.2 | <i>Modelamento do reservatório .....</i>                                               | <i>103</i> |

|       |                                                                         |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.4.3 | <i>Modelamento da bomba</i> .....                                       | 104 |
| 7.4.4 | <i>Modelamento do sensor de fluxo</i> .....                             | 106 |
| 7.4.5 | <i>Controle de fluxo do sistema</i> .....                               | 107 |
| 7.4.6 | <i>Sistema de Controle completo</i> .....                               | 108 |
| 7.5   | Sistema de monitoramento e controle em computador .....                 | 109 |
| 7.6   | Validação funcional do sistema de dosagem.....                          | 112 |
| 7.7   | Resultados de dosagem .....                                             | 113 |
| 8.    | SISTEMA DE CONTROLE DE DESLOCAMENTO .....                               | 116 |
| 8.1   | Introdução.....                                                         | 116 |
| 8.1.1 | <i>Aquisição de dados e medição de variáveis</i> .....                  | 117 |
| 8.1.2 | <i>Sensor de cor</i> .....                                              | 119 |
| 8.1.3 | <i>Sensor de ultrassom</i> .....                                        | 119 |
| 8.1.4 | <i>Sensor tipo compasso ou bússola</i> .....                            | 120 |
| 8.1.5 | <i>Sensor tipo acelerômetro</i> .....                                   | 121 |
| 8.2   | Controle de deslocamento .....                                          | 122 |
| 8.2.1 | <i>Atuadores</i> .....                                                  | 122 |
| 8.2.2 | <i>Controladores</i> .....                                              | 122 |
| 9.    | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....                                        | 123 |
|       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                        | 127 |
| A.    | TESTES DE MEDIÇÃO DE COORDENADAS DE POSIÇIONAMENTO GEOGRAFICO GPS ..... | 141 |
| B.    | PROJETO AGRONOMICO DA REDE DE DOSAGEM .....                             | 161 |
| C.    | ESQUEMA DO VEÍCULO.....                                                 | 168 |
| D.    | CARACTERISTICAS DE EQUIPAMENTOS COMERCIAIS.....                         | 182 |
| E.    | PROGRAMAS DE APLICATIVOS DESENVOLVIDOS EM COMPUTADOR .....              | 194 |

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

A “*Agricultura de precisão*” hoje é conhecida como a gestão ou administração da variabilidade agrícola, incluindo a cultura e os solos no nível temporário, espacial e preditivo; para melhorar os benefícios econômicos e diminuir o impacto no meio ambiente (BLACKMORE, 2007). Isso tem sido desenvolvido além dos últimos avanços na tecnologia desde diferentes áreas como: a eletrônica, a computação, a mecânica e as metodologias de desenvolvimento das culturas com apoio do sensoriamento e medição das variáveis de forma pontual no solo, além das técnicas de aquisição de dados para armazenamento em computador. Além disso, a crescente demanda de produtos alimentícios no mundo faz indispensável incrementar significativamente a produção agrícola pela insuficiência alimentar, com uma maior eficiência dos processos de produção. Assim, aplicações de sistemas autônomos nas culturas têm sido desenvolvidas no mundo justificáveis nas maiores fazendas de produção pelos altos custos envolvidos. Porém, na Colômbia onde a produção agrícola é na maior percentagem no nível familiar e executada manualmente, especialmente com pequenas áreas de produção mecanizáveis mas altamente exploradas no campo, é justificável principalmente pela falta de mão de “obra” qualificada e de equipamento de alta tecnologia na área agrícola.

Em qualquer processo de produção é muito importante obter o máximo ganho com o mínimo custo e o melhor uso dos recursos para obter a máxima rentabilidade com melhor qualidade dos produtos, maior produtividade e maior competência nos mercados. Isso traz maior importância à pesquisa nos campos relacionados com o solo e com o meio ambiente para obter o menor impacto ambiental possível. Isto levou ao desenvolvimento nos últimos tempos de aplicações de alta tecnologia de planejamento, produção e gestão das culturas de forma automática. Como resultado pode-se obter o máximo potencial de produção dos solos por hectare com menor uso de adubos e também com menor influência nos solos com equipamento

automático e sistemas de sensoriamento (CHRISTY, 2008), detecção (BAKKER et al., 2008), sistemas de posicionamento geográfico (GPS) (GARCÍA-PÉREZ et al. 2008; GAN-MOR et al. 2007; DE BRUIN et al. 2008; SLAUGHTER et al. 2008; KUMHÁLA et al., 2007), sistemas de informação geográfica (GIS) (SANTÉ-RIVERA et al. 2008; RAMOS et al. 2007) e aplicações com robôs para semeadura (LEEMANS e DESTAIN, 2007; JORGENSEN et al., 2008), dosagem e/ou aplicação dos adubos (YONG et al. 2007; MARTÍN et al., 2011), coleta (VELLIDIS et al., 2008; BULANON et al., 2005) irrigação (AMIAMA et al., 2008) e a detecção e eliminação das ervas daninhas (LOGHAVI et al., 2008; ÅSTRAND e BAERVELDT, 2002).

Estes sistemas incluem tecnologias para distribuição da cultura segundo as condições físicas, químicas e geográficas do solo, calculando as trajetórias por computador (CALDAS et al. 2008; O'CONNOR et al. 1996; PAJARES et al., 2008; MARÍN et al. 2003, SILVA, 2010) para um melhor uso da terra e uma maior produtividade com dosagem variável de adubos, nos lugares pequenos e em forma local.

Os avanços em sensores, computadores e tecnologias da comunicação, contribuíram significativamente para o desenvolvimento contínuo da agricultura, até mesmo para participar na tomada de decisões com sistemas de informação, como sistemas de apoio por computador para cada aplicação. Os Sistemas têm evoluído rapidamente, graças à tecnologia informática e *Tecnologias da Informação e Comunicação* (TIC) pelo aumento da capacidade de coleta e armazenamento de dados e das informações, e sua transformação em grandes quantidades de forma rápida e confiável.

Para isso é muito importante o desenvolvimento de tecnologia útil para o usuário final, com menor complexidade e maior facilidade de uso e armazenamento de informação de processo, com sensoriamento remoto, processamento computadorizado dos dados incluindo um sistema de gestão, transparente para o administrador ou operador para a confirmação das decisões (GRIFFIN e LOWENBERG-DE BOER, 2005).

No ano 2005, desenvolveu-se um simpósio organizado pelo “*Joint Annual Meetings of the American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, e a Crop Science Society of America*” intitulado: “*Emerging Technologies for Real-time and Integrated Agricultural Decisions*”, como exemplo da pesquisa e dos produtos da fusão da engenharia e da agronomia, na agricultura de precisão dos últimos anos.

A solução destes problemas da agricultura de precisão envolve vários sistemas componentes: a) um *sistema físico específico* para a aplicação das sementes, irrigação, dosagem

dos adubos ou coleta dos produtos; b) um *sistema de controle de movimento*, para posicionamento com precisão na faixa de centímetros ou pelo menos, menor de um metro segundo a aplicação; c) um *sistema de sensoriamento*, para medição de variáveis na distância como: Ph, temperatura e composição química do solo entre outros; d) uma *rede de comunicação sem fio*, para aquisição e transmissão dos dados na distância de forma rápida e para uma grande quantidade de dados em tempo real; e) um *sistema de geração de trajetórias*, para estabelecer os pontos a seguir pelo sistema de deslocamento baseado na distribuição da cultura na fazenda e f) um *sistema de armazenamento, supervisão e controle da informação* da cultura e de gestão da informação, como *sistema de apoio na tomada de decisões (DSS-Decision Support System)* e cada um deles, gera problemas de integração das aplicações nos níveis de informação, tecnologia, comunicação e armazenamento, precisando de aplicações personalizadas.

Vários sistemas estão sendo desenvolvidos para aplicações muito diferentes na agricultura nos últimos anos como: medição de Ph e fósforo com sensor infravermelho (CHRISTY, 2008), medição de compactação do solo em profundidade (SUDDUTH, 2008), medição de movimento das oliveiras pela erosão (RAMOS et al. 2007), mapeamento e monitoramento da produção de vinhedos (RABATEL, 2008), estimativa das ervas daninhas pela análise de imagens (GEE, 2008) e muitos outros *sistemas de medição de variáveis* da plantação. No campo das *comunicações* estão sendo desenvolvidas aplicações por rádio frequência (RF) na medição de umidade de solo (VELLIDIS et al., 2008), sensoriamento remoto sem fio com sistemas Zig-Bee para gestão de energia e recarga de baterias (MORAIS et al., 2008) e redes de sensoriamento sem fio (WSN – “Wireless Sensor Network”) para medição das propriedades do solo (CAMILLI et al., 2007); *sistemas de aquisição de informação* portáteis com “Pocket –PC - PPC” (FANG e YONG, 2008) e sistemas de comunicação wireless entre muitos outros. Em *sistemas de controle* estão sendo desenvolvidas muitas aplicações para veículos e dispositivos móveis terrestres e aéreos como: reconhecimento de linhas de plantação por imagens em tempo real para robô com velocidades entre 0,5 e 1 m/s (BAKKER et al., 2008); medição de desvios laterais de um trator guiado por GPS com correção cinemática em tempo real (RTK-Real Time Kinematic) (GAN-MOR et al. 2007); verificação dos limites de campo com GPS-RTK (DE BRUIN et al., 2008); aplicação de sistemas GPS-RTK para guia automática nos cultivos, para controle das ervas daninhas e dosagem de adubos (SLAUGHTER et al., 2008); desenvolvimento de uma linguagem de controle para pequenos robôs móveis (JORGENSEN et al., 2008); controle da posição relativa dos furos na plantação por linhas, na faixa de 23 mm até 100 mm, pela análise de imagens (LEEMANS e DESTAIN,

2007); sistemas de visão estereoscópica 3D com sensoriamento remoto por satélite (KISE e ZHANG, 2008); controle remoto de um sistema robô usando GPS-RTK, fibra óptica e um giroscópio (MURAKAMI et al., 2008). Em *sistemas de gestão e apoio administrativo*, existem aplicações como: Seleção combinada de trator e ferramenta de preparo em diferentes tipos de solo e condições de operação usando um *Sistema de Apoio à Decisão (SAD)* por computador (SAHU e RAHEMAN, 2008); controle da mosca-das-frutas do Mediterrâneo (Medfly) nos cítricos em Israel (COHEN et al., 2008); avaliação adequada da terra para melhorar a utilização dos solos, e atribuição de aplicações espaciais diferentes para a utilização das terras para agricultura e arborização na Espanha (SANTÉ-RIVERA et al., 2008) entre outros; e finalmente, o desenvolvimento de *sistemas complexos* como: tecnologia de decisão e ação na coleta por medição de refletância de luz (SHANAHAN et al, 2008); aplicação de redes sem fio com dispositivos de aquisição de dados chamados de “*data-loggers*” de 900 Mhz; para medição de parâmetros como umidade do solo, temperatura do ar e velocidade do vento nos períodos críticos, com duas aplicações desenvolvidas (AgFrostnet e AgWeatherNet) para monitoramento em tempo real de cada rede (PIERCE e ELLIOT, 2008). Isto, tem uma grande importância, mas a *geração de trajetórias* é muito importante segundo a distribuição da cultura. Neste campo, estão sendo desenvolvidas aplicações com algoritmos típicos para robôs baseados em grafos gerados com as coordenadas dos pontos de controle, como algoritmos tipo Dijkstra, Floyd e A\* (A estrela) entre muitos outros; sendo o algoritmo A\* o mais utilizado nas aplicações consultadas neste trabalho.

Existem aplicações comerciais muito especializadas, de alto custo, pela tecnologia que possuem e os grupos de componentes necessários, viáveis só para grandes fazendas (>1000 hectares). Para estas aplicações geralmente se usa o trator, com sistema de condução automático ou semiautomático chamado de “*piloto automático*” onde o operador faz as manobras de condução nas cabeceiras, um GPS de precisão em centímetros, um dispositivo de luzes indicador de seguimento paralelo das linhas, uma antena base de correção de posição digital em tempo real chamada de “*base RTK*”, uma tela portátil de monitoramento mais um aplicativo de computador tipo GIS com ferramentas de administração dos mapas e das informações da cultura, além do equipamento. Estas aplicações estão em sites da web como as seguintes:

Equipamento agrícola, aplicativos e dispositivos da firma John Deere® especiais para agricultura de precisão de distribuição na Colômbia (<http://www.casatoro.com/pagina/index.php?doc=marca&marca=4>); soluções da agricultura, equipamento, aplicativos GIS e placas modulares GPS da firma Trimble®

(<http://www.trimble.com>); soluções específicas e equipamento para agricultura da firma Trimble (<http://www.trimble.com/agriculture/>); equipamento específico para agricultura de precisão incluindo sistemas de direção, telas portáteis, sistemas GPS e para correção de posicionamento, monitoramento, computadores portáteis e aplicativos de computador para administração e gestão (<http://www.trimble.com/agriculture/products.aspx>); produtos eletrônicos para aplicações agrícolas da firma Daugherty Companies®, Inc. (<http://www.ag-electronics.com>) e muitos produtos comerciais de firmas como Garmin® ([www.garmin.com](http://www.garmin.com)) para posicionamento global.

Também estão sendo desenvolvidas alguns aparelhos e veículos para aplicações da agricultura de precisão como em HAGUE e TILLET, 1996; KEICHER e SEUFERT, 2000; REID et al., 2000; HAGUE et al., 2000; MOORE e FLANN, 2000; ÅSTRAND e BAERVELDT, 2002; SOUTHALL et al., 2002; RESKE-NIELSEN et al., 2006; BAKKER et al., 2008; JORGENSEN et al., 2007; MOGENSEN et al., 2009; BLACKMORE et al., 2007; e GODOY et al., 2010, como exemplos.

Este trabalho trata do desenvolvimento de um sistema automático e autônomo para posicionamento e dosagem de adubos líquidos viáveis nas pequenas fazendas; baseado no conhecimento prévio da composição do solo, como: níveis de Fósforo, Potássio e Nitrogênio. Fornecidas as coordenadas da cultura, o veículo identifica as necessidades pontuais de produto químico e suas coordenadas de posição que servem para determinar a trajetória de deslocamento autônomo, baseado no sistema de posicionamento GPS, fazendo a dosagem correspondente dos adubos. Isso, otimiza os produtos, melhora a qualidade do solo e a produtividade em função do produto agrícola da plantação numa pequena cultura com menor custo.

O desenvolvimento do veículo proposto, tem integração das tecnologias de sensoriamento, eletrônica e comunicações, sistemas de controle de posição e deslocamento, usando tecnologia de *menor custo* e precisão similar às dos aparelhos comerciais, para uso numa cultura típica como exemplo aplicativo.

Este trabalho está dividido em nove capítulos, sendo o primeiro uma introdução sobre o trabalho desenvolvido, apresentando os principais tópicos detalhados no decorrer do trabalho. O segundo capítulo apresenta uma revisão de alguns sistemas e aplicações de agricultura de precisão. O terceiro capítulo destina-se à apresentação da configuração do sistema autônomo e o sistema proposto. Já no quarto capítulo, apresenta-se o mapeamento GPS, com software de correção e distribuição da cultura na área mapeada. O quinto capítulo apresenta a metodologia de geração das trajetórias desde os pontos de controle especificados na distribuição da cultura.

No sexto capítulo se faz uma descrição da comunicação sem fio e do sistema de armazenamento da informação no computador remoto. No sétimo capítulo é apresentado o sistema de dosagem de adubos líquidos. No oitavo capítulo, o sistema de controle de deslocamento, e no último capítulo, encontram-se as conclusões, recomendações e sugestões para futuros trabalhos.

Apresenta-se ainda cinco Anexos: o Anexo A apresenta a análise da medição de posicionamento Geográfico GPS com três equipamentos diferentes. No Anexo B, está o resumo do projeto agrônômico da rede de dosagem. No Anexo C, está o projeto do veículo. No Anexo D, são mostradas as características técnicas dos componentes comerciais. No Anexo E do CD adjunto são colocados os programas de correção do mapeamento e distribuição da cultura; o programa de simulação das trajetórias em JAVA e o programa de controle de deslocamento em C++ usado na simulação dinâmica.

## CAPÍTULO II

### ESTADO DA ARTE DA AGRICULTURA DE PRECISÃO

O estado da arte na agricultura de precisão pode ser classificado nas seguintes áreas:

- Sistemas de Apoio Administrativo;
- Sistemas de Medição de variáveis;
- Sistemas de Comunicação;
- Sistemas de Posicionamento, trajetórias e Sistemas de Controle e
- Sistemas Integrados ou Complexos (misto).

Nas seguintes páginas é apresentado um resumo de alguns dos projetos e sistemas representativos e relacionados com cada uma destas áreas:

#### 2.1 Sistemas de Apoio Administrativo

Estes sistemas são chamados também como: “*Sistemas de suporte das decisões -SAD*” ou – “*Decision Support System – DSS*” e são aplicações computadorizadas de ajuda ao processamento da informação e gestão dos recursos.

Esta área tem feito progressos em sistemas de mapeamento, medições específicas e gestão (LAMB et al.,2008), seleção de ferramentas e equipamentos e suas condições de funcionamento (SAHU, R.K.; RAHEMAN, H., 2008), controle de pragas (COHEN et al., 2008), análise, pesquisa e avaliação de terras, ótimo uso da área e alocação de uso da terra por região e aplicações usando GPS (*Global Positioning System*) e GIS (*Geographic Information Systems*) para uma melhor distribuição da cultura (SANTÉ-RIVERA et al., 2008) entre outros.

Essa tecnologia com sistemas para aquisição de dados surgiu nos anos 90 e tem aumentado nos últimos anos com melhores sistemas de gestão e de decisão, visando maior

lucratividade (BULLOCK et. al., 1998, GRIFFIN e LOWENBERG-DE BOER, 2005). Isto mostra como a agricultura de precisão oferece "aumento de valor quando a coleta de dados, processamento de informação e ações administrativas estão integrados" (KITCHEN, 2008).

Ações administrativas e processamento da informação, foram integrados aos sistemas de produção (LAMB et al. 2008) incluindo informações sobre mapeamento, medição e gestão específica, sendo desenvolvidas estratégias para articular melhor a forma de aplicar ciência e tecnologia nesta área no futuro, tentando reduzir os riscos no desenvolvimento de novos produtos e serviços.

Um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) por computador para selecionar a combinação adequada do trator e da ferramenta de preparo em diferentes tipos de solo e condições de funcionamento com tratores 2WD, foi desenvolvido para aperfeiçoar o uso dos tratores segundo os parâmetros de operação na cultura, incluindo uma base de dados de informação que inclui especificações dos tratores, para diferentes condições operacionais na Índia. Uma tela exemplo é mostrada na Fig. 2.1 (SAHU, R.K. e RAHEMAN, H., 2008).

Figura 2.1 – Tela de configuração dos parâmetros do trator no Sistema DSS para uso ótimo de tratores na Índia (SAHU, R.K. e RAHEMAN, H., 2008).

Um Sistema de Apoio à Decisão Espacial (SDSS) chamado MedCila, para controle de mosca-das-frutas de Mediterrâneo (Medfly), foi desenvolvido em Israel com um sistema especializado e uma integração com um Sistema de Informação Geográfica GIS para estabelecer mapas de tratamento. Medfly é classificada como a pior praga das frutas no mundo e, sem controle, pode causar danos de até 100% da cultura. Portanto, deve ser tratada no âmbito de medidas quarentenárias (COHEN et. al., 2008).

Um Sistema de Suporte de Planejamento Digital (SSPD) chamado “RULES” (*Rural*

*Land-Use Exploration System*) cujos componentes têm sido incorporados no “*Geographical Information System*” (GIS) para ligar modelos analíticos fora do sistema, foi feito na Espanha (SANTÉ-RIVEIRA et. al., 2008). A aplicação é suportada em três estados básicos: Avaliação adequada da terra, para aperfeiçoar a utilização dos solos e a atribuição de aplicações espaciais. Como são programas comerciais de recursos personalizados, na América do Norte e América do Sul, foi desenvolvido um sistema que pode ser facilmente utilizado na Espanha e que é suficientemente flexível para ser aplicado em diferentes locais, dirigido à utilização de terras para a agricultura. É inovador porque nenhum dos sistemas desenvolvidos na Europa em geral, tem os três elementos acima mencionados.

## 2.2 Medição de variáveis

Esta área desenvolve sensores e dispositivos de medida, segundo as necessidades específicas do solo e aplicações como: um sensor de espectroscopia no infravermelho próximo e um processo de calibração e medição dos atributos do solo (CHRISTY, C.D., 2008); vários sensores capazes de medir a compactação em várias profundidades (SUDDUTH, K.A. et al., 2008). Ramos desenvolveu um sistema para medir o movimento da terra e o eventual movimento das oliveiras produzido pela contínua erosão (RAMOS et al., 2007). Outras aplicações relacionadas são o mapeamento de preparo e acompanhamento das vinhas, com imagens aéreas (RABATEL et al., 2008); a estimativa da taxa de geração das ervas daninhas por visão em tempo real (GEÉ et al., 2008), e outras aplicações relacionadas.

Christy (2008) descreve o uso de um sensor de espectroscopia no infravermelho próximo, e um processo de medição e potencial de predição em tempo real de muitos atributos da matéria orgânica (MO) do chão como Ph e fósforo, entre outros. O projeto foi conduzido no estado de Kansas, USA, com quinze amostras para cada oito campos. O sistema poderia prever quase 66% da variação de matéria orgânica dentro do campo e permitir a análise da variabilidade nos setores ou regiões dentro do campo.

Sudduth et al. (2008) trabalharam na compactação dos solos, para melhorar a variabilidade da compactação, fizeram análise em várias profundidades de duas classes de solos desde arenosos até solos de argila. O Sensor de Perfil de Resistência do Solo (*Soil Strength Profile Sensor-SSPS*) mediu até 50 cm a cada 10 cm. O Sensor de Perfil de Compactação do Solo (*Soil Compaction Profile Sensor SCPS*) mediu compactação até 40.6 cm a cada 7.6 cm. A correlação entre SSPS e SCPS com  $r^2=0,56$  para todos os locais e profundidades foi melhor do

que entre o sensor e o “*penetrômetro*” com  $r^2=0,19 - 0,20$ .

Ramos et al., (2007) quantifica o movimento da terra e de qualquer posterior movimento das oliveiras, produzido pela erosão da terra. A análise desses movimentos de inclinação é a propriedade utilizada para relacionar a variável de deslizamento em dois planos: horizontal e vertical, levando em consideração a inclinação das árvores. As medições foram feitas com GPS, pela dificuldade da presença das árvores e os dados foram integrados num sistema Geográfico GIS para a análise espacial do fenômeno. A precisão dos valores obtidos confirma que as árvores estão sendo movidas poucos centímetros por ano.

Rabatel et. al. (2008) desenvolveram um método de mapeamento e monitoramento da produção em vinhedos, utilizando um algoritmo baseado na Transformação Rápida de Fourier ou “*Fast Fourier Transformation*” em imagens aéreas. Uma vez obtida a imagem da vinha, é desenvolvida a segmentação de polígonos e a caracterização dos limites da cultura com estimativa da distância entre as linhas e sua orientação na área. A validação foi realizada com dados dos sensores remotos padrões. Quase 80% (ou mais) dos vinhedos examinados foram bem segmentados e 11,4% dos segmentados não foram detectados pelo sistema. Uma quantidade superior a 84% da área da vinha foi bem detectada. Isto é mostrado na Fig.2.2.

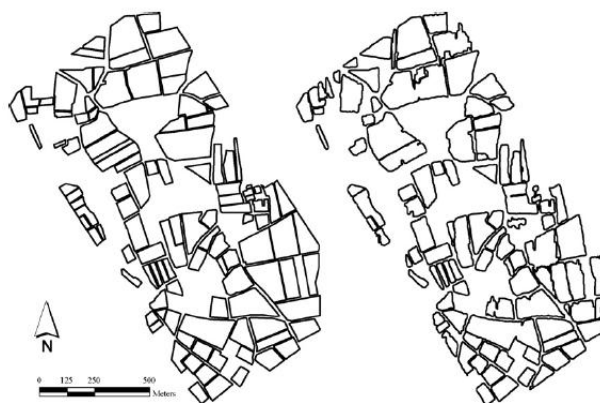


Figura 2.2 – Resultados de segmentação global pelas imagens aéreas. Na esquerda é mostrado o resultado da segmentação manual e na direita é mostrado o resultado de segmentação automática aplicando a Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transformation-FFT*). (RABATEL et al. 2008).

Geé et. al. (2008) apresentam um método geral para detectar ervas daninhas, gerando uma imagem com uma perspectiva de grande área para pulverizá-la com precisão em tempo real. Uma câmera foi posicionada nos campos para ter visão panorâmica das linhas da cultura em perspectiva. O algoritmo desenvolvido é robusto e foi testado para diferentes gerações das

ervas daninhas. Da imagem em tempo real, o método detecta primeiro as linhas da imagem em perspectiva, aplicando a “Dupla Transformada de Hough” (*Double Hough Transformation-DHT*) e depois faz uma discriminação com base na segmentação segundo as cores. As imagens são capturadas em cores e transformadas à escala de cinzas para estabelecer uma Taxa de Infestação de plantas daninhas (*Weed Infestation Rate - WIR*) como mostrado na Fig. 2.3.

Em outro trabalho foi estudada a possibilidade de uso de um sensor ótico comercial na cultura de cana-de-açúcar para identificar a resposta da cultura a diferentes doses de Nitrogênio (N). Com o sensor realizou-se a mensuração de NVDI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) aos 30, 60 e 90 dias após o corte. Só para os 90 dias após corte verificou-se que o sensor foi capaz de diferenciar as doses de Nitrogênio, correlacionando-se positivamente com a produtividade final de cana obtida (MOLIN et al. 2010).

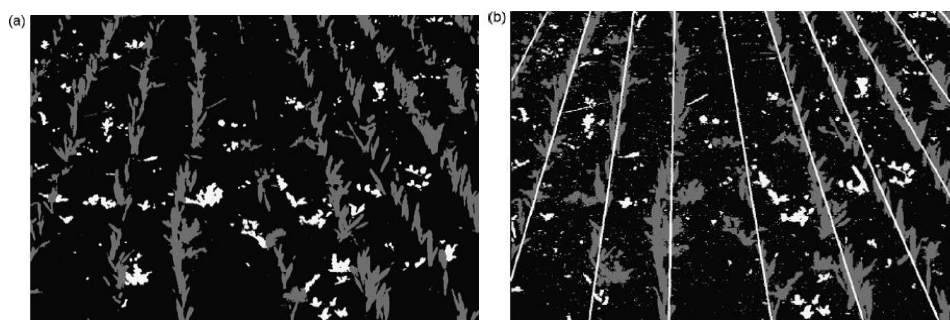


Figura 2.3 – (a) Cultura de milho com segmentação manual (Cinza: milho, branco: plantas daninhas, preto: solo). A estimativa manual da Taxa de Infestação de plantas daninhas (WIR) é de 19,10%. (b) Milho/plantas daninhas com linhas da cultura detectadas. A taxa de Infestação de Plantas daninhas entre linhas detectadas é de 18,74%. (GEÉ et al. 2008).

Marques e Melo (2011) estabeleceram um modelo para prever o teor dos atributos químicos do solo através da sua resposta espectral. O estudo foi desenvolvido numa área de 1000 ha na cidade de Uberlândia, estado de Minas Gerais; com 30 pontos de amostragem de solo em três profundidades. As amostras foram analisadas química e fisicamente e, os dados do sinal de rádio obtidos com um sensor em laboratório na faixa de 400 a 2500 nm. Foram geradas equações da regressão múltipla para saturação por Alumínio, Ph, P, K, Ca, Mg, V e H. Os coeficientes de correlação foram superiores a 50% para todos os atributos exceto P e V; e os resultados indicam que é possível determinar atributos químicos com modelos específicos para a região.

## 2.3 Sistemas de Comunicação

Os sistemas de comunicação sem fio são utilizados para obter a informação da cultura à distância em tempo real, com precisão e rapidez no ponto de monitoramento e controle. Exemplos destas aplicações estão nas aplicações ligando os sensores remotos da umidade do solo à frequência de rádio (RF) para irrigação (VELLIDIS et al. 2008), aquisição tipo Zig-Bee de sensoriamento remoto sem fio, para grandes áreas de vinhedos (MORAIS et al. 2008), redes de sensores sem fio para o cálculo das propriedades do solo em tempo real (CAMILLI et al. 2007), sistemas de informação e comunicação “*on-line*” para o desempenho de uma plantação (AMIAMA et al. 2008), ou sistemas de aquisição rápida dos dados desde um “*Pocket PC-PPC*”, para tomada e análise das informações de forma rápida e eficaz (FANG e YONG, 2008).

Vellidis et. al. (2008) desenvolveram um protótipo de arranjo de sensores para medição da umidade e temperatura do solo em tempo real, com componentes de desligado automático na irrigação de culturas de algodão. O arranjo é composto por um receptor central com computador e vários nós de sensores em campo comunicados por um sistema de Identificação por Rádio Frequência (RFID). Os dados transmitidos levam às necessidades da água nas culturas.

Morais et al (2008) desenvolveram um dispositivo para aquisição de dados Zig-Bee tipo sensoriamento remoto sem fio para grandes áreas de vinhedos numa rede malhada, que inclui hardware e software, com um subsistema de gestão de energia, para recarregar as baterias e manter a autosustentação para operação. O dispositivo de comunicação do sistema é chamado MpWiNodeZ. As medições do comportamento do sistema mostram que tanto hardware como software têm bom desempenho. A Fig.2.4 mostra a estrutura geral da rede malhada de sensores sem fio.

Camilli et al (2007) fizeram uma aplicação de simulação de redes de sensores sem fio em campo, para processamento e transporte de dados medidos. Estas redes são para fornecer os dados do campo e a transformação e transporte em tempo real a partir de sensores distribuídos no local. A rede foi simulada em simulador “ns-2”, com duas camadas de protocolo e especificação de contorno Zig-Bee, muito utilizado na área de redes de sensores sem fios (*Wireless Sensor Network-WSN*). Mostraram que a rede de sensores sem fios pode validar uma estimativa do campo, unicamente sobre dados locais com perda de precisão inferior a 3% comparada com uma aplicação centralizada.

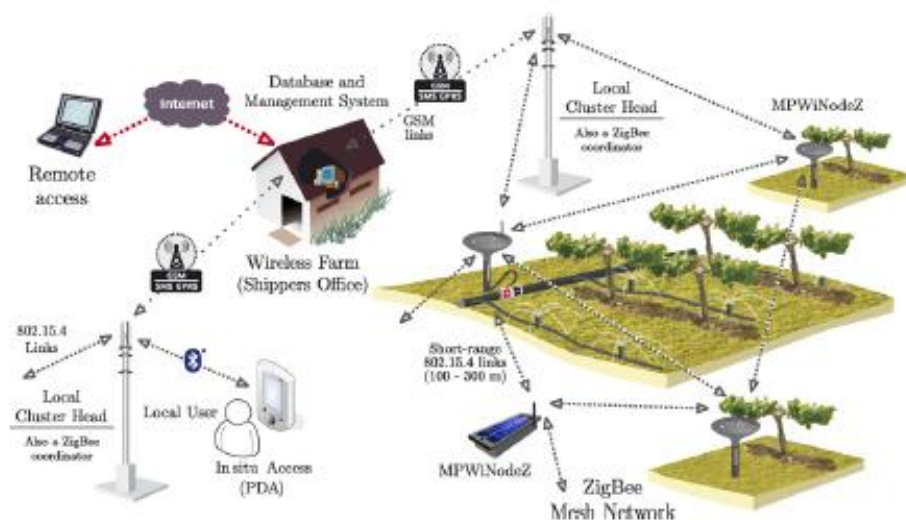


Figura 2.4 – Aplicação da rede malhada de aquisição de dados no campo baseada nos dispositivos de rede Zig-Bee numa cultura de vinhedos para o sistema com dispositivo chamado MpWiNodeZ. (MORAIS et al. 2008).

Amiama, et. al. (2008) desenvolveram um sistema de informação e documentação “*on-line*” para testar o comportamento dos dados na rede de uma máquina de corte. O sistema foi construído e testado na máquina com um sistema de módulos de posicionamento e comunicação. Os dados foram enviados pelo sistema de mensagens curtos tipo torpedo (SMS- *Short Message Service*) e manualmente com informação dos sensores na máquina. Os resultados foram satisfatórios com erros não importantes na cartografia dos dados GPS, mas 12% dos dados continham erros superiores a 10% devido à precisão do GPS utilizado. Além dos problemas das provas iniciais, eles mostraram que a utilização do sistema poderia conseguir uma economia considerável por ano. A Fig.2.5, mostra a configuração geral do sistema.

Fang e Yong (China, 2008) projetaram um sistema para uma rápida aquisição da informação do campo baseada em Pocket PC (PPC), para tomada e análise dos dados de forma rápida e eficaz. As principais tecnologias aplicadas são: sistemas de informação geográfica (SIG), métodos de acesso espacial, bases de dados em Windows CE e plano de controle de amostragem. O sistema pode ser usado com GPS e sensores para tomada e análise das informações em tempo real.

Uma aplicação de sistemas baseados em sistemas biológicos foi desenvolvida por Palafox e García (2006). Eles propuseram a adaptação de um algoritmo bio-inspirado chamado de “algoritmo infecção” para a distribuição eficiente dos dados desde os sensores no campo até o nó de envio. Fizeram experimentos com dados reais de monitoramento na agricultura para a

avaliação da eficiência das simulações. (PALAFOX e GARCIA, 2006).

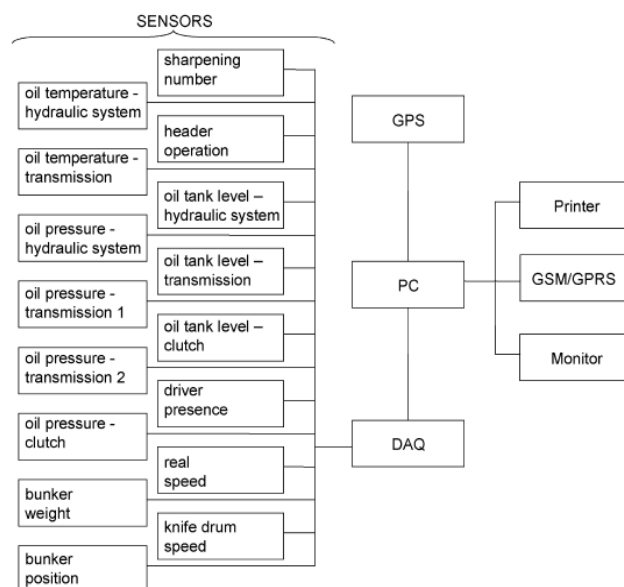


Figura 2.5 – Diagrama geral de configuração do sistema de sensoriamento, aquisição e comunicação da máquina de corte (AMIAMA et al. 2008).

Godoy et al. (2010), fizeram o projeto e a construção de uma arquitetura eletrônica para um robô móvel agrícola. Arquitetura desenvolvida no sistema de comunicação sem fio para tele operação e controle distribuído através da rede CAN e da norma ISO11783. A avaliação dos sistemas foi baseada na análise de parâmetros de desempenho como resposta dos motores e tempo de resposta da arquitetura, obtidos com a operação do robô. Os resultados mostram que a arquitetura desenvolvida é viável para tele operação e controle na distribuição de robôs agrícolas, obtendo-se uma movimentação precisa e um tempo aceitável de resposta para comandos de controle e supervisão do robô. A Fig. 2.6 mostra a arquitetura geral do robô. Neste projeto também Scorzoni et al. (2010) fizeram um estudo de um sistema distribuído para posicionamento da antena direcional do robô.

López et al. (2011), propuseram uma arquitetura geral de redes de sensores sem fio (WSN-Wireless Sensor Network) para monitoramento de horticultura que estão distribuídos em pequenas parcelas espalhadas a distâncias maiores que 10 km uma da outra. A arquitetura foi baseada no protocolo de acesso meio B-MAC (*Berkeley Medium Access Control*) para garantir um alto grau de autonomia de potência dos nós dos sensores. Foi desenvolvida uma série de nós de sensores especiais com uma porta de entrada (*gateway*) para conectá-los com o escritório central. O sistema foi simulado no simulador ns-2 (*Network Simulator-2*) e no final foi implantado numa cultura real para validação. A Fig. 2.7, mostra a arquitetura proposta.

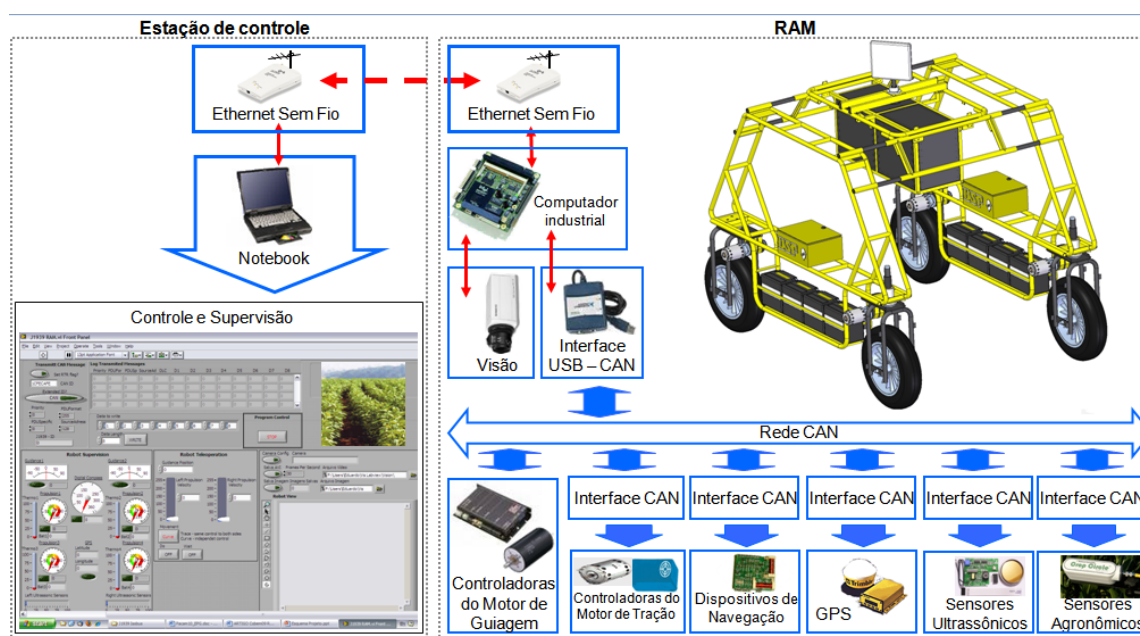


Figura 2.6 – Arquitetura eletrônica geral do robô agrícola móvel através da rede CAN e segundo a norma ISO11783 (GODOY et al. 2010).

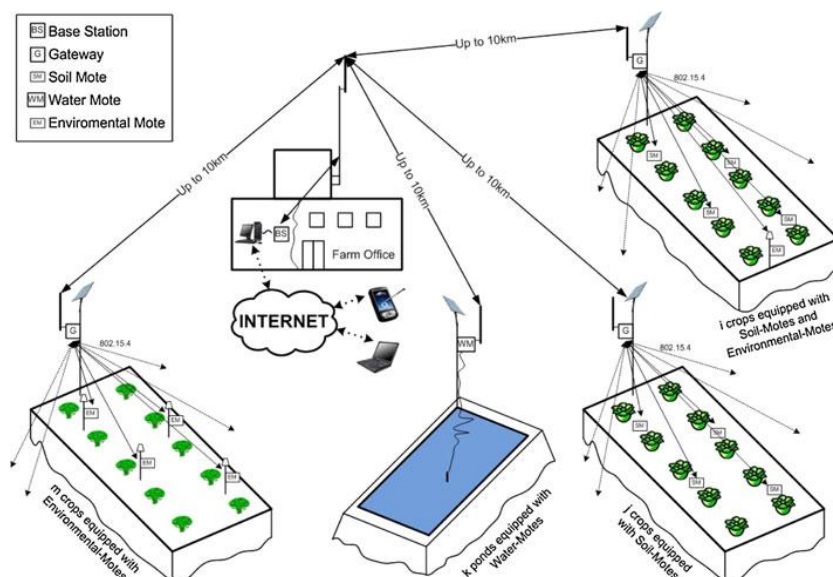


Figura 2.7 – Arquitetura proposta para monitoramento de horticultura em parcelas espalhadas a distâncias maiores do que os 10 km (LÓPEZ et al. 2011).

## 2.4 Sistemas de Posicionamento e Controle

Nesta área estão aqueles sistemas responsáveis do posicionamento e controle dos sistemas específicos da agricultura, veículos agrícolas ou robôs móveis integrados com Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e Sistemas de Informação Geográfica (GIS)

geralmente. Alguns exemplos estão nas aplicações de modificação de veículos agrícolas comerciais, os sistemas ou equipamentos comerciais, projeto e construção de novos sistemas e equipamentos com sistemas de controle para aplicações agrícolas como na adaptação de um veículo agrícola com movimento autônomo, seguindo um caminho determinado pelo operador (GARCÍA-PÉREZ et al. 2008), o reconhecimento das linhas da cultura, baseado na análise de imagens na escala de cinzas, desde imagens em cores (BAKKER et al., 2008), sistema para controlar o deslocamento lateral de movimento de um trator, baseado em GPS com cinemática em tempo real (GPS-RTK) (GAN-MOR et al., 2007), um método para testar os limites de campo com base num modelo estatístico de correlação temporal dos erros de medição (DE BRUIN et al., 2008), detecção e identificação para mapeamento de linhas, utilizando as estações de base DTK GPS automática para guia na cultura, controle de ervas daninhas e aplicação de herbicida (SLAUGHTER et al., 2008), uma linguagem de controle (CL) em tempo real, para os pequenos robôs móveis (SMR) que controlam as ervas daninhas ao redor das plantas (JORGENSEN et al., 2008), controle da posição relativa dos furos para plantas, para fazer as linhas antes da introdução das plantas, utilizando técnicas de visão (LEEMANS e DESTAIN, 2007), sistema de sensoriamento remoto satelital, adossado a um sistema de sensores na terra que fornecem a observação detalhada da plantação, para criar uma imagem 3D do panorama multiespectral (KISE e ZHANG, 2008), sistema de tele operação para um veículo robô, usando um RTK-GPS mais um giroscópio de fibra ótica para controle e supervisão, com interface de operação baseado em Google Map® (MURAKAMI et al., 2008):

Garcia-Pérez et. al. (2008) modificaram um veículo agrícola para movimento autônomo na fazenda seguindo uma trajetória específica, determinada pelo operador ou através de pontos intermediários. A Comunicação bidirecional com o operador estava usando rede LAN, para obter posicionamento permanente e de precisão com GPS. Um processador industrial para aquisição dos dados de sensores, processamento e controle de atuadores foi embarcado e a iniciação, supervisão e visualização remotas num laptop Fujitsu Stylistic 3500 com processador Intel Celeron de 500 MHz e comunicação Wi-fi.

Bakker et. al. (2008), apresentaram uma nova abordagem para o reconhecimento de linhas da cultura, baseada em imagens na escala de cinzas desde imagens em cores, para obter bom contraste entre as plantas e o solo no fundo. Eles fizeram uma aproximação à concepção de um sistema de navegação autônoma para "ervas daninhas", com a mínima informação a priori dos sensores usados em tempo real, para um robô com velocidades entre 0,5 e 1 m/s. A Fig. 2.8, mostra o veículo e algumas imagens processadas com a detecção das linhas.

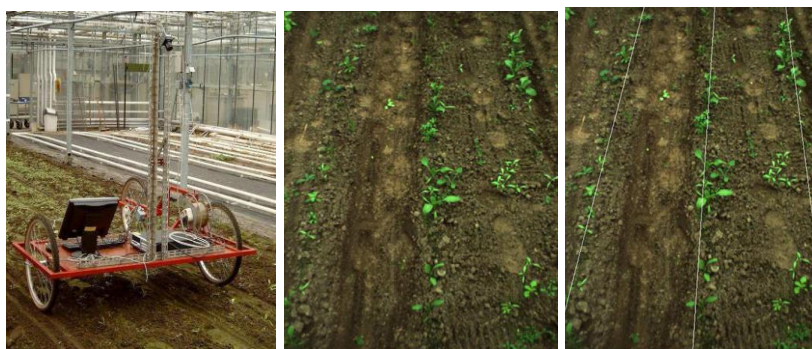


Figura 2.8 – Protótipo de veículo usado (esquerda), Imagem original capturada (centro) e imagem processada com a detecção das linhas (direita) (BAKKER et al. 2008).

Gan-Mor et. al. (2007), fizeram um sistema para comprovação da precisão de deslocamento lateral de um sistema de circulação do trator, guiado com GPS cinemática em tempo real (GPS RTK). Desenvolveram assim, a metodologia de medição para grandes desvios laterais esperados em superfícies ásperas e sugeriram um mecanismo para reduzi-los.

De Bruin et. al. (2008), desenvolveram um método para verificar os limites do campo, baseado num modelo estatístico de correlação temporário para erros de medição do terreno. Usaram software livre chamado DUE (*Data Uncertainly Engine*) para estabelecer distribuições de probabilidade de objetos espaciais com incertezas, e fazer amostras aleatórias das suas distribuições. O erro foi parametrizado em cenários medidos e representa: 1) o registro de campos de agricultura holandesa, 2) revisões de campo baseadas nos dados GPS diferencial, para verificação de declarações da área e 3) pesquisas de GPS com Cinemática em Tempo Real (RTK) para fins especiais. Eles concluíram que o agricultor que tem um mapa digitalizado manualmente, poderia se beneficiar de um estudo RTK-GPS numa cultura simples, já que esse estudo custa menos de uns 442 € euros por ano, e está baseado em mapas para aperfeiçoar as operações do campo para uma cultura de batata de 15 hectares. A Fig. 2.9, mostra um exemplo dos erros nos limites da cultura.

Slaugther et. al. (E.U.A., 2008), descreveram quatro tecnologias relacionadas com o controle de ervas daninhas: guia, identificação e detecção, precisão de controle das ervas nas linhas e mapeamento requerido para o desenvolvimento de um sistema robótico geral de controle das ervas daninhas. Das quatro tecnologias, a detecção e identificação das ervas daninhas têm o maior interesse pela grande variedade de condições comuns nos campos agrícolas. Alguns sistemas robóticos de controle das ervas daninhas demonstraram o potencial da tecnologia neste campo, porém a pesquisa e um maior desenvolvimento são necessários para

garantir um avanço maior deste potencial. Descreveram os sistemas de seguimento das linhas por visão, os Sistemas de Posicionamento Global com Cinemática em Tempo Real (*GPS-RTK*), os sistemas de reconhecimento das plantas por visão e os mecanismos de eliminação das ervas daninhas na cultura.



Figura 2.10 – Campo Holandês de batata de 15 hectares para estudo. Nos limites são estabelecidos alguns erros de medição. (DE BRUIN et al. 2008)

Jorgensen et. al. (2008), desenvolveram uma linguagem de controle (CL) em tempo real, escrita para pequenos robôs móveis (SMR) destinados ao controle individual das plantas daninhas ao redor das plantas da cultura. A base é a linguagem de controle em tempo real (CL) e foi modificado com alguns comandos de movimento e funções de supervisão e controle para a cobertura progressiva do campo. O Veículo de teste foi desenvolvido pela seção “*Orsted*” de Automação da Universidade Técnica da Dinamarca (DTU) (Andersen e Rauner, 2004), e faz a comunicação com os sensores através de comunicação RS232/RS485 e usa uma linguagem baseada em nove movimentos primitivos e aplicações que suportam expressões matemáticas e funções. Na Fig. 2.10 é mostrado o robô pequeno e a pista de teste.



Figura 2.10 – Pequeno Robô Móvel de teste – *Small Movel Robot –SMR* e pista de teste usada na avaliação do estudo (JORGENSEN et al. 2008).

Leemans e Destain (2007), fizeram um controle de posição relativa dos furos para linhas da plantação antes da semeadura. A posição foi medida por um sistema de visão usando uma realimentação. Um mecanismo garante o deslocamento lateral da furadeira sobre o trator. O desvio-padrão do erro, calculado como a diferença entre o valor observado nas linhas e o valor medido foi de 23 mm e a sua faixa menor que 100mm. As técnicas foram avaliadas para o posicionamento da ferramenta sobre as linhas da cultura ou no final da linha. Todas as técnicas são baseadas na análise e no tratamento de imagens para controlar o atuador. Fig. 2.11.

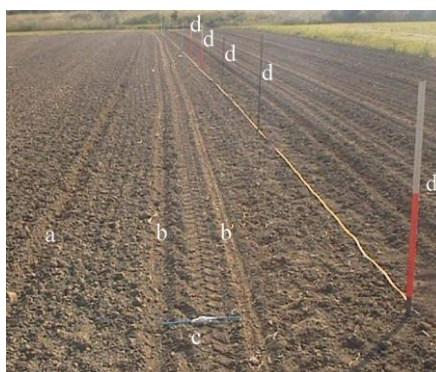


Figura 2.11 – Apresentação do campo durante os testes de Leemans e Destain.

Segundo a Fig. 2.11 estão: (a) Marca da guia procurada pelo condutor, (b) Traços procurados pela câmara, (c) Marca visual horizontal pretendida pelo pós-tratamento dos dados (d) Marcas verticais pretendidas pelo condutor para simulação do “estilo de direção senoidal” (LEEMANS e DESTAIN, 2007).

Kise e Zhang (2008), desenvolveram um sistema de visão estereoscópica, num sistema baseado em sensoriamento remoto por satélite, que mostra a vista panorâmica combinada com um sensor na terra que fornece uma observação detalhada da cultura para apoio à decisão. Após, faz-se a criação de uma imagem multiespectral imaginária 3D com duas câmeras montadas sobre um veículo, obtendo uma imagem panorâmica imaginária de uma cena 3D virtual, que é capaz de fornecer informações sobre o campo. O veículo usado como plataforma de teste e um exemplo da imagem virtual 3D obtida são mostrados na Fig. 2.12.

Murakami et al. (2008), desenvolveram um sistema de tele operação para robô por transmissão hidrostática (HST) para campos desconhecidos e várias operações agrícolas. O veículo pode viajar de forma autônoma, utilizando um GPS RTK e um giroscópio de fibra ótica durante a supervisão. A interface operadora também é baseada na tecnologia de navegador Google Map®. A posição e a direção do veículo foram capazes de atualizar a 1 Hz, utilizando

mapas de imagens desde satélite. Os resultados dos testes de campo com controle direto mostraram a dificuldade para o condutor controlar o movimento ao longo das linhas objetivo. O veículo pode viajar em linha reta com erro lateral máximo de 0,30 m com uso de controle supervisão.



Figura 2.12 – Protótipo de Veículo usado como plataforma de teste com duas câmeras para captura das imagens e um exemplo da imagem virtual 3D obtida pelo método de visão estereoscópica (KISE e ZHANG, 2008).

## 2.5 Sistemas integrados ou complexos (mistos)

Estes sistemas apresentam várias alternativas simultâneas em aplicações de maior complexidade segundo sua natureza, incluindo sub-redes de comunicação e outras aplicações como o uso de sensores de reflexão da luz na terra, para aplicações variáveis de fertilizantes de Nitrogênio; medição de dados meteorológicos e variáveis de campo, com redes sem fio e tomada de decisão aplicada em vinhas, baseados em “*data logger*” de 900MHz com configuração mestre-repetidor-escravo em topologia estrela para grande cobertura da área.

Um exemplo de tecnologia aplicada na tomada da decisão e ação numa única etapa, está na utilização da medição de refletância da luz baseado na terra, para uma velocidade variável de Nitrogênio em aplicações de fertilizante mostradas por Shanahan et. al. (2008). Os autores estudaram as causas de gestão de baixo Nitrogênio devido a: (1) sincronização entre culturas pobres de Nitrogênio e a demanda, (2) aplicações uniformes em campos espacialmente variáveis e (3) o erro na quantidade necessária pela variação temporal da cultura. Isso gera altos níveis de Nitrogênio orgânico do solo muito antes da rápida absorção da cultura. Além disso, a gestão atual não inclui a variação climática nem as quantidades de Nitrogênio ativo devido aos anos quentes e úmidos. A ideia é sincronizar a demanda diante da variabilidade espacial e temporal de Nitrogênio do solo. Há a proposta do uso de tecnologias eletrônicas de avaliação

do estado de Nitrogênio na planta e sua aplicação direta na data espacialmente variável. Um método é dado pela medição dos Índices de Refletância de Luz Ativa (*NDVI-Normalized Difference Vegetation Index*). A pesquisa inicial mostra resultados positivos, mas recomenda ligar com técnicas de gestão baseadas em áreas de solo (MZ) para melhorar a eficiência.

Pierce e Elliott (2008), descrevem como as decisões são críticas nos vinhedos de Washington (EUA) onde fizeram a medição de dados meteorológicos através de redes sem fio. O objetivo foi criar uma rede de sensores sem fio para obter supervisão e/ou controle remoto em tempo real das operações importantes da fazenda e fornecer um valor adicional às práticas administrativas com eficiência e eficácia. Outras aplicações do projeto são dirigidas para a medição de parâmetros como: umidade do solo, temperatura do ar, velocidade do vento, entre outros, durante períodos críticos meteorológicos. Desenvolveram também duas redes de sensores sem fios: uma regional em coluna e outra em topologia estrela para supervisão e/ou controle das operações importantes da fazenda. Duas aplicações foram desenvolvidas no estado de Washington e foram baseadas em “*data logger*” com 900MHz em configuração mestre-escravo-repetidor para uma ampla área de cobertura. O rádio base é responsável pela sincronização, aquisição e recondicionamento dos dados com as unidades portáteis de radiocomunicações e computadores conectados diretamente na Internet. Além disso, duas aplicações foram desenvolvidas por computador “*AgFrostnet*” e “*AgWeatherNet*” para supervisão em tempo real em cada uma das redes. Os problemas principais foram relacionados com a potência nos períodos de baixa energia solar, pelas falhas geradas por descarga eletromagnética.

Ainda não foi apresentada a área de “*projeto dos veículos e sistemas específicos*”, muito importantes pela natureza de cada uma das aplicações; precisando de desenhos à medida. Nesta área podem-se descrever algumas aplicações como: veículos com quatro ou seis rodas, com esteiras, com dois, quatro ou seis pernas, ou robôs aéreos especiais. Além disso, estão os projetos dos sistemas de dosagem, agitação, semeadura, irrigação, coleta e tudo para os processos relacionados com aplicação agrícola.

Para essas aplicações agrícolas foram desenvolvidos robôs especiais de movimento omnidirecional com pneus normais, além dos com pneus especiais como o robô MEGAN-1, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa de Mecatrônica e Robótica (*MR<sup>2</sup>G-Mechtronics and Robotics Research Group*) da Universidade de Massey (DIEGEL et al., 2002), e também os robôs OMNI-x desenvolvidos pela *University of Western, Australia* (MOHD et al., 2006). Muitos tratores e equipes agrícolas modificados (GAN-MOR et al., 2007; DA CUNHA et al.,

2011; MURAKAMI et al., 2008; ROSA et al., 2008), o robô TA-ATMR obtido da modificação da Yamaha Grizzly 700 ATV para teleoperação (BASCETTA et al., 2009). Robôs com pernas como o robô de seis pernas com anemoscópio e sensor de gás para localização de fontes de CO<sub>2</sub> mostrado na Fig. 2.13 (IIDA et al., 2008).

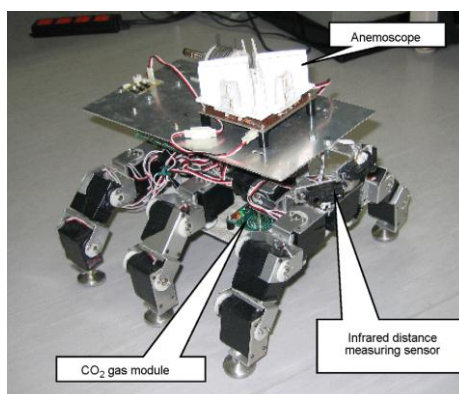


Figura 2.13 – Robô com anemoscópio e sensor de gás CO<sub>2</sub> (IIDA, M. et al., 2008).

Os robôs autônomos controlados por GPS-RTK, como o Robô API- “*Autonomous Platform and Information System*” foi projetado para aquisição de imagens automaticamente, para fazer mapas e processar imagens das ervas daninhas e culturas no campo da agricultura (SLAUGHTER et al., 2008), Fig.2.14. O robô suportado em análise de imagens de Åstrand e Baerveldt (2002) foi desenvolvido em *Halmstad University, Halmstad, Sweden*. Fig.2.15 e a plataforma robô modular INDIGO para levar cargas maiores que 80 kg (STERNFELD et al., 2005). Fig. 2.16.



Figura 2.14 –Robô autônomo guiado por GPS-RTK para mapeamento e detecção das ervas daninhas. (SLAUGHTER et al., 2008).

Robôs para múltiplas aplicações agrícolas baseados em sistemas de informação

Geográfica (GIS) como o robô desenvolvido na Universidade de São Paulo (USP), Brasil; mostrado na Fig. 2.17. (TABILE et al., 2011); o robô ATRV-jr de iROBOT usado para testes de Detecção de obstáculos pela *The Royal Veterinary and Agricultural University*, Dinamarca (BLACKMORE et al., 2004) mostrado na Fig. 2.18.



Figura 2.15 – Robô para detecção das ervas daninhas pela análise de imagens. (ÂSTRAND e BAERVELDT, 2002).



Figura 2.16 – Plataforma robô modular INDIGO para cargas maiores que 80 kg (STERNFELD et al., 2005).

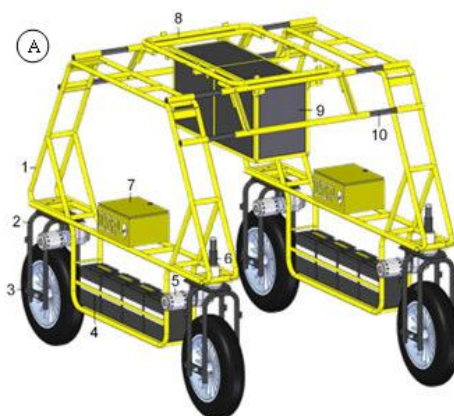


Figura 2.17 - Robô autônomo baseado em sistemas GIS da Universidade de São Paulo (USP) para aplicações agrícolas. (TABILE et al., 2011).

Os robôs cooperativos modernos para trabalhar em grupo (PAULSEN et al. 2005; MONDADA et al., 2004; PETTINARO et al., 2002) da Fig. 2.19.



Figura 2.18 - Robô autônomo ATRV-jr de iROBOT usado para testes de Detecção de obstáculos (BLACKMORE et al., 2004).

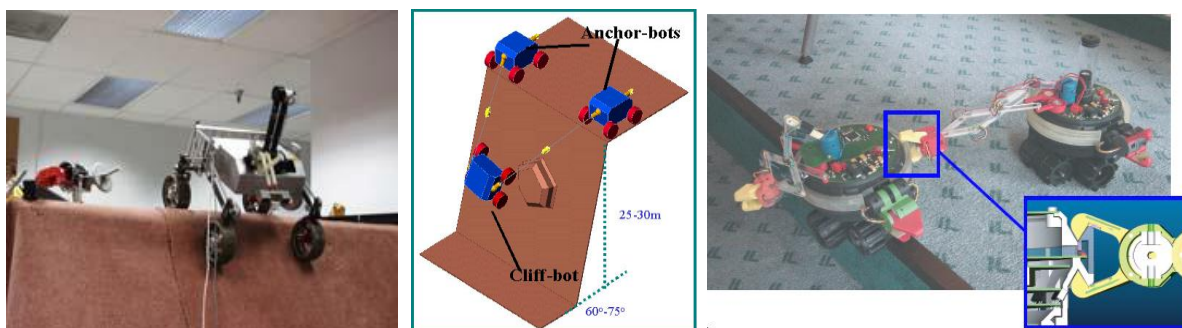


Figura 2.19 – Robôs cooperativos todo-terreno para exploração terrestre e planetária. (PAULSEN et al., 2005). Na direita é mostrada a conexão tipo pinça entre os robôs (MONDADA et al., 2004).

Finalmente, os robôs tipo Rover todo terreno desenvolvidos para aplicações aeroespaciais de exploração com uma grande quantidade de aplicações nos últimos anos na exploração de espaços desconhecidos. O Robô tipo rover DIDAJO da Universidade de San Buenaventura em Bogotá, Colômbia (ARDILA et al., 2006) da Fig. 2.20; os robôs MER (Mars Explorer Rover) da NASA, SOLERO y CRAB desenvolvidos por ASL (Autonomous System Laboratory, Zürich, Switzerland), os desenhos RCL-E, RCL-C desenvolvidos por ESA e os últimos desenhos de CRAB-S e CRAB-8 da última geração de robôs todo-terreno junto com uma grande quantidade de versões diferentes no mundo (THUEER et al., 2006) das Fig.2.21, e Fig. 2.22.



Figura 2.20 – Robô tipo rover “DIDAJÓ” desenvolvido pela Universidade San Buenaventura de Bogotá, Colombia (ARDILA et al., 2006).

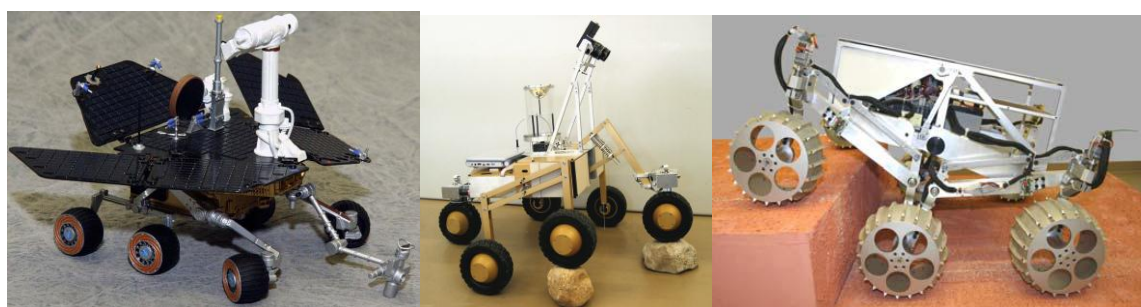


Figura 2.21 – Robôs MER (Mars Explorer Rover) da NASA na esquerda, SOLERO (no centro) e CRAB (na direita), desenvolvidos por ASL (Autonomous System Laboratory, Zürich, Switzerland) de Swiss Federal Institute of Technology Zürich (ETHZ) (THUEER et al., 2006).

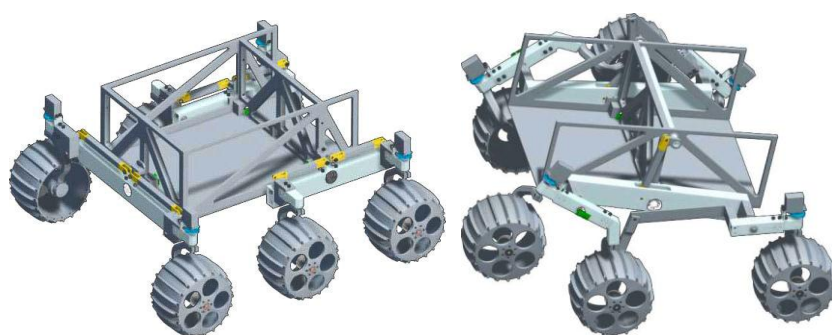


Figura 2.22 –. Desenhos de robôs tipo Rover em versões RCL-E (esquerda), RCL-C (direita) desenvolvidos pela ESA (European Space Agency) (THUEER et al., 2006).

A maioria dos projetos desenvolvidos na atualidade empregam técnicas de visão computacional, posicionamento GPS com algoritmos de geração de trajetórias sendo a maior frequência de uso do algoritmo A\* (A estrela) e têm-se a integração com sistemas de

informação Geográfica (GIS), uma base de armazenamento dos dados mais um sistema de comunicação por rede sem fio, preferivelmente tipo Wi-fi para grandes distâncias ou Zig-Bee para distâncias menores com sensoriamento remoto tipo WSN (*Wireless Sensor Network*).

No capítulo a seguir, será apresentado o desenvolvimento de um veículo protótipo para agricultura de precisão com estrutura mecânica tipo Rover de seis rodas; cujo sistema de posicionamento é a partir do mapeamento automático das coordenadas dos limites da cultura, por Sistema de Posicionamento Geográfico (GPS). Com as coordenadas obtidas por mapeamento, um sistema computacional foi desenvolvido, estabelecendo a malha da cultura, segundo as distâncias entre as linhas e entre as plantas, dependendo do tipo de produto e gerando os pontos de controle principais para o posicionamento automático do veículo na cultura. A partir dos pontos de controle gerados pela malha, o veículo pode atingir qualquer ponto da cultura para fazer uma dosagem estratégica de adubos de Nitrogênio, Potássio e Fósforo; independentemente para cada uma delas, segundo as recomendações da literatura especializada. Para o deslocamento do veículo dentro da cultura é aplicado um algoritmo de geração de trajetórias por computador e, todo o sistema estabelece comunicação remota por rede sem fio tipo Zig-Bee.

## CAPÍTULO III

### CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA AUTÔNOMO E SISTEMA PROPOSTO

As aplicações da Agricultura de Precisão (*Precision Farming*) são muito dependentes das características da cultura, das condições de produção e manutenção, além das características próprias da cultura como: período de semeadura, irrigação, preparação, coleta e número de vezes da aplicação de adubos nos momentos apropriados, entre muitos outros. Isso faz necessário estabelecer um tipo de cultura específica, ao redor da qual é desenvolvido o sistema completo de agricultura de precisão, pela quantidade de sistemas componentes junto com as características de cada um deles, além dos requerimentos de integração para o funcionamento integrado.

Vai ser estabelecida primeiro uma cultura específica como exemplo piloto de aplicação para o desenvolvimento, junto com as suas características de produção; para a partir delas estabelecer as características principais de cada um dos sistemas componentes, incluindo um sistema de dosagem de adubo líquido embarcado no veículo autônomo.

#### 3.1 Seleção da cultura.

Para estabelecer as condições iniciais de dimensionamento do veículo e dos sistemas componentes, além das características de funcionamento do veículo; foi preciso fazer um estudo e uma análise das possíveis culturas onde se precisa do veículo e sua possibilidade de aplicação em pequenas culturas de produção, a fim de determinar melhor a cultura piloto, segundo as características específicas, disponibilidade, tempo de produção e uma disponibilidade perto da Cidade de Bogotá, Colômbia; onde pretende-se aplicar. Na seleção, foram levadas em consideração várias plantas típicas da Colômbia desenvolvidas em maior escala, junto com as características de demanda nos últimos anos na Colômbia:

- Soja
- Arroz
- Trigo
- Batata
- Jatropha curca (pelo interesse que há nos últimos anos no óleo e seus produtos derivados)

De cada um deles foi feito um resumo das características principais:

### 3.1.1 Soja

A Soja é um legume usado como matéria-prima, importante na fabricação de ração para animais, como aves e porcos e uma excelente opção de rotação das culturas tropicais na Colômbia (OLIVEROS, et al., 2005). Contudo, a produção nacional é inferior a 10% da demanda nacional estabelecida ao redor das 900.000 tons anuais (VALENCIA, et al., 2005). Além dessas propriedades, tem outras como:

- É usada para alimentos de animais e humanos.
- Contém 40% proteína e tem até 20% de óleo.
- Rotação obrigatória com milho (Valle), arroz (Llanos orientales) e sorgo (Tolima e Valle).
- Somente a produção da agricultura mecanizada viável e racional, sustentada ao longo do tempo.
- Precisa da absorção de 50% do seu peso em água para boa produção.
- Produz aproximadamente umas 400.000 plantas/he com umas 23-34 sementes/m linear e 45 a 60 cm entre linhas da cultura.
- Possui perda estimada em 10% aproximadamente.
- Apresenta a colheita com desfolha por secagem de 90-95%, de cor amarela ou marrom pálido e 14-15% de umidade.
- Fornece Nitrogênio para a próxima cultura sem precisar aplicação de ureia.
- Possui ciclo vegetativo curto (110 dias desde a semeadura até coleta).
- A produção na Colômbia é de 2,5 até 3 tons/he.
- A Colômbia precisa de 820.000 tons/ano aproximadamente.
- A Produção fundamental seria na região Orinoquia.
- Precisa de Nitrogênio durante todo o ciclo (aprox. 30 kg/he inicialmente); Fósforo

ao longo do ciclo, mas aumenta desde antes da formação das vagens até 10 dias antes do pleno desenvolvimento do grão. O Potássio na estação de crescimento é vital para altos rendimentos e muito necessário durante o início de enchimento da vagem.

- Na sua maturidade, o grão tem aproximadamente 75% de Nitrogênio e o Fósforo e Potássio 60% absorvidos pela planta, seguido por Ca, Mg e S.
- Pode-se melhorar com sistemas GPS/GIS ou outros.
- O Nitrogênio é necessário para as proteínas das sementes, enquanto a energia de suprimento de Fósforo é necessária para a formação de sementes. O Potássio não é uma parte estrutural e está distribuída uniformemente dentro da planta.

### 3.1.2 Arroz

O arroz é um alimento básico para mais de 50% da população mundial, sendo um dos mais importantes do mundo, segundo a superfície da cultura e a quantidade da população de consumo. A nível mundial, o arroz ocupa o segundo lugar depois do trigo, considerando a superfície semeada. O grão fornece maior quantidade de calorias por hectare do que qualquer outro tipo de cereal. É típico da Ásia meridional e oriental, embora também amplamente semeado na África e na América, e intensivamente em alguns países da Europa meridional (INFOAGRO, 2013). Algumas características importantes são (MINAGRICULTURA, 2008):

- Alimento diário para o almoço e jantar na Colômbia.
- Absorve apenas o Nitrogênio da solução inorgânica.
- O Nitrogênio aumenta a percentagem de espiguetas cheias, aumenta a superfície foliar e a qualidade do grão.
- Requer Nitrogênio nos dois momentos (aprox. 150 kg/he).
- O estágio de perfilhamento (30-45 dias após plantio) apresenta 75% de Nitrogênio no fundo.
- Desde início do alongamento dos entrenós até atingir os 1,5 a 2 cm tem 25% de Nitrogênio da iniciação da panícula.
- O Fósforo estimula o desenvolvimento radicular, ajuda o perfilhamento, florescimento, maturidade e melhoria da qualidade dos grãos. (50-80 kg de  $P_2O_5$  de terra argilosa).
- O Potássio aumenta a resistência e diminui as doenças e condições climáticas adversas. ( $K_2O$  80-150 lib.).

- Há perda de nitrogênio por desnitrificação, devido à volatilização de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e pode chegar até 60-80% do Nitrogênio aplicado.
- O Nitrogênio pode ser aplicado a seco, com 3-4 aplicações em solo úmido em pré-plantio, ou antes, da lâmina de inundação permanente e iniciação da panícula.

### 3.1.3 Trigo

O trigo é um cereal com diminuição progressiva da cultura na Colômbia a partir da década de sessenta, devido ao grande aumento das importações com menor custo (MÉNDEZ, 2007; FENALCE, 2006). Depois de ter 160 mil hectares de cultura com participação de 62% de consumo; no ano 2005 chegou a 22 mil hectares com participação dos 3,4% da demanda; mas aumentou um pouco nos anos 2006 e 2007 pelas secas na Austrália e na Ucrânia, e hoje em dia tem comportamento similar devido às importações com menor preço (MÉNDEZ, 2007). Apresenta as seguintes características:

- O consumo interno na Colômbia é inferior a 3,4%.
- As secas a partir do ano 2006 levaram ao aumento dos preços.
- Seu principal uso é na indústria de moagem.
- São vendidos com 14% de umidade, 3% de impurezas e pontuação de 75.
- Desde 2005, o Ministério da Agricultura e a Câmara da ANDI assinaram contrato de compra com preço fixo.
- É vendido principalmente nas cidades de Pasto (Nariño) e Tunja (Boyacá).
- Ocorrem em Boyacá (48%), Cundinamarca (7%) e Nariño (45%), mas em Boyacá as plantações são pequenas (menos de 0,5 hectares).
- No inventário global o preço é crítico e não incentiva o plantio, o que faz variar muito o preço de acordo com a oferta e a procura.
- O plantio é entre Março e Abril e entre Agosto e Outubro, segundo o clima e o relevo das fazendas, mas é possível encontrar plantações o ano todo em Cundinamarca e Boyacá.
- Em Nariño, as Semeaduras são de Fevereiro a Março e colheita entre Setembro e Outubro ou as semeadas de Agosto a Novembro e a colheita entre Fevereiro e Abril.
- 93% da área semeada em 2005, foi fertilizada, e 89% da área semeada, não foi irrigada.
- Predominam as pequenas propriedades de terra nos três estados (com menos de três

hectares da cultura).

- Há rotação da cultura com o milho, a batata ou a cevada.
- Usa-se maquinaria para preparação e processo da colheita, porém a tração animal é muito comum usando trabalho manual.
- Mais de 50% das pessoas que plantam são maiores de 45 anos.

#### 3.1.4 Batata

A batata é o quarto alimento básico dos anos noventa, depois do trigo, do arroz e do milho, e um dos dez alimentos de maior importância nos países em desenvolvimento, principalmente pela adaptação aos diferentes climas e sistemas de produção; além do seu grande valor pelas proteínas, carboidratos, Vitamina C e outras vitaminas e minerais. Contudo, tem diminuído a produção e competência, especialmente com os países andinos; devido às práticas de produção e tratamentos pós-colheita, produção em pequena escala e aumento dos custos junto à substituição de produtos agrícolas, e o aumento das importações de outros produtos (FEDEPAPA, 2004; MARTINEZ, H.J. et al., 2005).

É um produto transitório com duas colheitas por ano e produção para comércio entre os 2000 e 4000 m.s.n.m. (metros sobre o nível do mar). A produção ótima é entre os 2500 e os 3000 m.s.n.m. com duas zonas de produção marginal: doenças e pragas entre os 1500 e 2000 m.s.n.m. com climas quentes e as geladas nas zonas altas entre 3500 e 4000 m. 90% da produção comercial é nas ladeiras e 10% em planos mecanizáveis. Porém, são regiões altamente exploradas.

*Os pequenos produtores* produzem no máximo 3 hectares com tecnologias simples, entre os 2700 e 3500 m.s.n.m., constituem quase 90% dos produtores e produzem ao redor de 45% da produção total da Colômbia. Só nos estados de Cundinamarca e Boyacá são 95,4% do total e ocupam 56,2% da área na região.

*Os produtores médios* produzem entre três e dez hectares; constituem 7% dos produtores e produzem quase 35% do total. Nos dois estados de maior produção eles são 4,1% e ocupam 24% da área semeada.

*Os grandes produtores* produzem em áreas maiores a dez hectares, representam mais ou menos 3% dos produtores com aproximadamente 20% do total da colheita. Nestes mesmos dois estados, representam 0,8% dos agricultores e ocupam 19,7% da área total semeada.

*As etapas da semeadura* são:

1 - Estabelecimento de mudas: alta aplicação de Fósforo e Nitrogênio, e as doses iniciais de Potássio.

2 - O crescimento da população: (os primeiros 40 a 45 dias). Precisa de alta quantidade de Nitrogênio.

3 - Formação dos tubérculos: começa de 35-50 dias, após emergir durante aproximadamente 40 dias. A demanda de Potássio é elevada nesta etapa.

4 - Maturidade e Colheita: Depois dos 80-110 dias segundo as condições meteorológicas.

Outras propriedades são:

- A cultura tem 100 cm entre linhas e 40 cm entre plantas. Inclinação moderada ou menor aos 25 graus ou nivelada para sua mecanização.
- Os estados produtores são: Cundinamarca (45%), Boyacá (22), Nariño (13%), Antioquia (8%), Cauca e Santander (12%).
- São aplicados adubos, no início de cada rotação para a preparação da terra.
- Nas inclinações de menos de 25% é usada a mecanização e arado.
- A aplicação de fertilizantes é recomendada a cada 15 dias e de duas até três vezes para cada formulação indicada.
- A umidade do solo deve ser mantida alta (500 - 700 mm H<sub>2</sub>O)
- A colheita é grande com sistema de irrigação (15 - 25 tons/he)
- O pH é de 5,2 até 6,4.
- Há mais de 30 variedades, mas apenas umas 10 são comercializadas.
- Apenas com a utilização de 1% das sementes certificadas, a produção muda de 16 até 20 tons/he para 35-40 tons/he.
- A quantidade estimada para produzir 1 tonelada de batatas é 6 kg de Nitrogênio, 0,8 de Fósforo (1,8 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 9 kg Potássio (10,8 kg de K<sub>2</sub>O).
- 33% de Nitrogênio, 25% de Fósforo e 33% de Potássio do total consumido pela plântula é removido pela colheita.
- Para cada 100 unidades de Nitrogênio, o Fósforo deve fornecer 13 e o Potássio 150 unidades.
- A produção de alto rendimento exige 60 kg de Cálcio, 17 kg de Magnésio, e 15 kg de Enxofre.
- É sensível à geada e cresce bem nos climas temperados entre os 15 e 27 ° C, com

temperaturas não acima dos 30 ° C ou não abaixo dos 5°C.

### 3.1.5 *Jatropha Curcas* (pinhão manso)

É um arbusto grande, de crescimento rápido, cuja altura normal é dois a três metros, porém, pode alcançar até cinco metros em condições especiais. O diâmetro do tronco é de aproximadamente 20 cm; possui raízes curtas e pouco ramificadas. O tronco ou fuste é dividido desde a base, em ramos compridos, com numerosas cicatrizes produzidas pela queda das folhas na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas.

A semente é relativamente grande; quando seca mede de 1,5 a 2 cm de comprimento e 1,0 a 1,3 cm de largura; pesa de 0,551 a 0,797 g; pode ter, segundo a variedade, de 33,7% até 45% de casca e de 55% até 66% de amêndoa. Nessas sementes, segundo a literatura, são encontradas ainda, 7,2% de água, 37,5% de óleo e 55,3% de açúcar, amido, albuminóides e materiais minerais, sendo 4,8% de cinzas e 4,2% de nitrogênio. Cada semente pode conter 27,90 até 37,33% de óleo e na amêndoa se encontra de 5,5 até 7% de umidade e 52,54% até 61,72% de óleo sem cheiro, fácil de extrair por pressão. Este óleo, com peso específico a +19°R = 0,9094 e poder calorífico superior a 9,350 kcal/kg (Brasil, 1985), é incolor, muito fluido, porém deixa precipitar-se ao frio e congela-se a alguns graus acima de zero; é solúvel na benzina e seus homólogos, insolúvel no álcool a 96 °C e solúvel na água. Destrói-se a toxidez se aquecido aos 100 °C, em solução aquosa com apenas 15 min. de calor. (BIODIESELbr, 2011)

Características (OFI-CATIE, 2010):

- É uma fonte de energia renovável (substituto de gasolina, querosene e outros).
- Possui baixo custo.
- Usado na substituição de óleos industriais.
- Usado para fios de lã e fabricação de têxteis.
- Usado na fabricação de sabão.
- Tem propriedades anticancerígenas.
- Contém toxinas ou venenos (algumas bebidas alcoólicas são o antídoto).
- Produz irritação na pele.
- O barbasco é usado para a pesca e controle de pragas.
- Sementes misturadas com óleo de palma são usadas para matar ratos.
- Cascas e sementes são usados em biocombustíveis.
- Se usa as sementes secas ou o óleo de palma como uma tocha.

- Casca, frutas, folhas, raízes e madeira têm cianeto (taninos, 10% em látex).
- Usado na fabricação de corantes: vermelho, preto e azul escuro (37% de tanino na casca).
- Usado como laxante.
- Possui uso médico e veterinário: diurético, edema, constipação, febre e reumatismo.
- Tem de 55% até 58% de proteínas. O colar é usado para alimentar porcos, vacas e aves.
- Serve como fertilizante orgânico por seu alto teor de nitrogênio (3-4%).
- As folhas são usadas como adubo das palmeiras sendo fixadoras de nitrogênio.
- Substituição das áreas desmatadas, terras marginais, ociosas e terras baldias de grandes proporções (período de 30 a 50 anos).
- Nos trópicos são usados como cercos e arbustos.
- A planta cresce sem proteção.
- Pode ser usado como sombra e planta ornamental nos parques e jardins.
- Na Guatemala, se usa para hospedar inseto que produz spray verniz.
- Em Madagascar, se usa como suporte para a baunilha.
- Em Cabo Verde e na Bolívia, se usa para controle da erosão.
- Produz de 6 até 8 ton/he de sementes com 37% de óleo, o que constitui cerca de 2100-2800 litros de combustível/he.
- São espécies dos trópicos e da Amazônia.
- Nasce em baixas altitudes de 1200 m acima do nível do mar.
- A produção pode ser no solo molhado ou seco, nas montanhas ou planícies.
- Requerem chuvas dos 300 - 1800 mm de água.
- As temperaturas devem estar entre os 18 e 28 ° C e até 34 ° C.
- É resistente à seca.
- É adaptável a uma variedade de solos.
- É preferível nos solos bem drenados.
- É nativo da América tropical.
- Existe no México, Caribe, Guatemala, Argentina e África. Na Colômbia foi importado para a produção de óleo.
- 1 kg contém entre 1000 e 2370 sementes (2-3 por fruto).

- Germinam aproximadamente 80% das sementes frescas, entre os dias 10 e 30 após semeadura.
- A Semente pode ser armazenada em canteiros ou sacos de areia ou diretamente em sacolas.
- As árvores levam de cinco até sete semanas para chegar à altura apropriada.
- Espaçamento de 2 m em relação à cobertura como posta ou 3m entre linhas e 1,5 a 2 m entre as árvores como um guardião de culturas.

### 3.2 Escolha definitiva do tipo de plantação

Finalmente, depois da análise das características fundamentais dos cinco produtos, ficou decidido desenvolver um sistema para a cultura da **batata** com base nas seguintes justificativas:

A **Jartropha** é um arbusto grande, que implica um protótipo robusto e, portanto caro. É uma cultura que exige irrigação mínima de nutrientes, sendo esse o principal objetivo do projeto. Também é usado como fonte de adubo e fixação de nitrogênio, entre outros. Na Colômbia, o governo fez um estudo recente do crescente interesse nos óleos e biocombustíveis, mas não existem referências da cultura relativamente grande para justificá-la.

A **Soja** é daquelas de maiores condições favoráveis para o plantio, irrigação, crescimento das plantas e caracterização em grande escala. Um tipo de cultivo de um bom crescimento na Colômbia nos últimos anos. Ele tem um ótimo desempenho com a automação (2,5 a 3 tons/he) e demanda (820 mil tons/ano); mas é um produto que está sendo desenvolvido principalmente na região de Orinoco, na Colômbia, lugar muito longe para testes de campo e menos acessível do que outros.

O **Arroz** é um produto que não está numa região tão distante (Tolima), tem boas condições de aplicação de nutrientes ao longo do período de desenvolvimento (3 a 4 vezes), tem uma grande produção na Colômbia para uso diário, mas tem desvantagens no período de inundações que afetam a assimilação e a perda de nutrientes. A complexidade exigida pelo veículo seria maior, sobretudo se pensamos no possível uso no período de inundação. O veículo usado durante a enchente pode significar um custo maior para sua função.

O **Trigo** é um produto que tem diminuído rapidamente a produção nos últimos anos na Colômbia e depois de uma grande produção, os custos de produção em relação às importações dos produtos transformados, tornaram-se muito desfavoráveis. As maiores colheitas são no Sul

(estado de Nariño) inconvenientes devido à distância e as culturas mais próximas (Boyacá), são relativamente pequenas para estes propósitos (menos de 0,5 he).

A planta de **Batata** é relativamente pequena (30 - 40 cm de altura), com culturas distribuídas a 1 m entre linhas e 40 cm entre plantas, quase permanente disponibilidade na savana de Bogotá, com grandes culturas no estado de Boyacá (a 1,5 horas de Bogotá). O produto de interesse é o tubérculo, com aplicação frequente de nutrientes e de culturas em grande escala (15 a 25 tons/he). Variedades comerciais são de consumo diário, tornando-o fácil de encontrar, apesar de ser muito sensível às geadas, que geralmente ocorrem nas mudanças de clima no começo do verão. Esta situação é melhorada pela facilidade de encontrar as terras para testes em campo, incluindo a população da Calera, localidade perto da cidade de Bogotá.

### 3.3 Características gerais das culturas de batata

Os solos onde a batata é cultivada têm características variáveis: alta percentagem de matéria orgânica, com valores de pH inferiores a 5,5 baixo conteúdo de Fósforo disponível e uma alta capacidade de fixação de fosfatos. Para obter altas produções, devem ser aplicadas quantidades suficientes de fosfatos, com quantidades apropriadas de Nitrogênio e Potássio. Geralmente, os solos aumentam seu conteúdo de matéria orgânica, com a altitude, encontrando-se altos níveis de matéria orgânica, acima dos 2.900 metros de altura em clima frio; com algumas diferenças nas populações de Tota e Pesca em Boyacá, onde são baixos os níveis de matéria orgânica acima dos 3.000 metros de altura. Os solos têm alta capacidade de fixação de Fósforo, por causa dos altos requerimentos de produtos fosfóricos na plantação de batata.

As características dos solos em clima frio originam uma ampla diferença das características, dependendo da altitude e da posição geográfica. O Instituto Colombiano Agropecuário (ICA) fez análises químicas de amostras dos solos de diferentes regiões de plantação de batata em 1980. Isso determinou as características gerais dos solos de Cundinamarca e Boyacá para plantação de batata. Na Tabela 1, estão os níveis críticos de percentagem de pH, matéria orgânica (M.O.), Fósforo (P), Potássio (K) e a relação de Ca/Mg.

Estudos mais recentes de Corpoica, baseados em 50 amostras dos solos de Cundinamarca e Boyacá, mostraram diferenças na composição de alguns solos nas populações de Siachoque, Belén, Toca, Tota, Ventaquemada, Villapinzón, Chocontá e Tausa:

- Valores baixos de pH;
- Valores médios ou baixos de matéria orgânica;

- Altos valores de Fósforo, possivelmente por acumulação de Fósforo no tempo;
- Valores médios ou altos de Potássio (K) e altos de Enxofre (S);
- Na população de Motavita (Boyacá) há pH inferiores a 5,5 e valores baixos de Fósforo.

Tabela 1. Níveis críticos de pH, P, K e da relação Ca/Mg nas culturas de clima frio (GUERRERO, R., 1998).

| Parâmetro                    | Baixo (B) | Meio (M) | Altura (A) |
|------------------------------|-----------|----------|------------|
| pH                           | < 5,5     | 5,6-7,3  | >7,3       |
| P (ppm) Cordilheira Oriental | <40       | 40-60    | >60        |
| K (me/100g solo)             | <0,3      | 0,3-0,6  | >0,6       |
| Ca/Mg                        | <1,0      | 1,1-3,0  | >3,0       |

Os requerimentos nutricionais derivados desse estudo em CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria) são apresentados na tabela 2.

### 3.4 Critérios do projeto e especificações do Sistema proposto

Uma vez escolhida a cultura da batata como a cultura piloto com as suas características fundamentais, foram estabelecidos os requisitos básicos do veículo e de cada um dos sistemas componentes derivados dela.

#### 3.4.1 Características do veículo

Hoje, devido ao alto custo dos fertilizantes químicos na agricultura, e a busca da redução dos custos de preparo do solo para produtos específicos (soja, arroz, algodão, sorgo, trigo, e grãos como feijão, milho, cevada e lentilhas), é necessário encontrar metodologias e aplicar tecnologia com aplicativos por computador para a preparação da terra e desenvolver culturas "inteligentes"; como se diz nos últimos anos: "Agricultura Inteligente".

Esta tecnologia da agricultura de precisão é aplicada em países com alto desenvolvimento tecnológico como: Estados Unidos, Europa, e Brasil, mas nas grandes extensões de terra, a tecnologia de maior custo torna-se econômica. A economia se vê preferivelmente nas grandes extensões de terra com uma elevada percentagem de geografia plana. O veículo proposto, além da possibilidade de dosagem dos nutrientes deve-se deslocar de forma autônoma pela cultura, sem estragar as plantas, numa cultura semeada por linhas de

acordo com as especificações dadas. Este sistema de deslocamento é baseado no sistema de medição de posicionamento global (GPS) iniciando pelo mapeamento dos limites da cultura, para estabelecer a distribuição das plantas e os pontos de controle pelo posicionamento ao interior da cultura. O sistema de controle é suportado no sistema de sensoriamento embarcado pela detecção de obstáculos em movimento.

Tabela 2. Recomendações dos nutrientes da batata (*Solanum tuberosum*) em populações de Cundinamarca e Boyacá, Colômbia segundo ICA (GUERRERO, R., 1998).

| Recomendações para nutrientes da batata (Solanum tuberosum) em Cundinamarca e Boyacá (segundo ICA 1992) |                   |                                       |                          |                     |                                        |                                        |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--|
| 1 Opção                                                                                                 | Cultura da batata |                                       |                          |                     |                                        |                                        |  |
|                                                                                                         | Dosagem           |                                       |                          |                     |                                        |                                        |  |
| Macro Nutriente                                                                                         | Nitrogênio        | Fósforo                               | Potássio                 |                     |                                        |                                        |  |
| Fórmula                                                                                                 | N (kg/ha)         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha) | K <sub>2</sub> O (kg/ha) | Altura (msnm-aprox) | Região                                 |                                        |  |
| Quando<br>semeado                                                                                       | 100-150           | 375 - 450                             | 125 - 150                | 2900                | Paramos de<br>Cundinamarca<br>e Boyacá |                                        |  |
|                                                                                                         |                   | 300 - 375                             | 100 - 125                | 2800                |                                        |                                        |  |
|                                                                                                         |                   | 250 - 300                             | 50 - 75                  | 2700                |                                        |                                        |  |
|                                                                                                         | 50 - 100          | 300 - 375                             | 75 - 100                 | 2600                | Altiplano<br>Boyacense                 |                                        |  |
|                                                                                                         |                   | 250 - 375                             | 50 - 75                  | 2500                |                                        |                                        |  |
|                                                                                                         |                   | 175 - 250                             | 25 - 50                  | 2400                |                                        |                                        |  |
| Aplicação de nutriente                                                                                  |                   |                                       |                          |                     |                                        |                                        |  |
| 2 Opção                                                                                                 | Cultura da batata |                                       |                          |                     |                                        |                                        |  |
|                                                                                                         | Dosagem           |                                       |                          |                     |                                        |                                        |  |
| Macro Nutriente                                                                                         | Nitrogênio        | Fósforo                               | Potássio                 | Altura (msnm-aprox) | Região                                 |                                        |  |
| Fórmula                                                                                                 | N (kg/he)         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha) | K <sub>2</sub> O (kg/ha) |                     |                                        |                                        |  |
| Aplicação<br>de nutriente                                                                               | 50-75             | 187,5-225                             | 62,5-75                  | 2900                | Paramos de<br>Cundinamarca<br>e Boyaca |                                        |  |
|                                                                                                         |                   | 150-187,5                             | 50-62,5                  | 2800                |                                        |                                        |  |
|                                                                                                         |                   | 125-150                               | 25-37,5                  | 2700                |                                        |                                        |  |
|                                                                                                         | 25-50             | 150-187,5                             | 37,5-50                  | 2600                | Altiplano<br>Boyacense                 |                                        |  |
|                                                                                                         |                   | 125-187,5                             | 25-37,5                  | 2500                |                                        |                                        |  |
|                                                                                                         |                   | 87,5-125                              | 12,5-25                  | 2400                |                                        |                                        |  |
|                                                                                                         | Quando<br>Capina  | 50-75                                 | 187,5-225                | 62,5-75             | 2900                                   | Paramos de<br>Cundinamarca<br>e Boyacá |  |
|                                                                                                         |                   |                                       | 150-187,5                | 50-62,5             | 2800                                   |                                        |  |
|                                                                                                         |                   |                                       | 125-150                  | 25-37,5             | 2700                                   |                                        |  |
|                                                                                                         | 25-50             | 150-187,5                             | 37,5-50                  | 2600                | Altiplano<br>Boyacense                 |                                        |  |
|                                                                                                         |                   | 125-187,5                             | 25-37,5                  | 2500                |                                        |                                        |  |
|                                                                                                         |                   | 87,5-125                              | 12,5-25                  | 2400                |                                        |                                        |  |

O funcionamento geral do veículo pretendido tem a seguinte base: segundo a composição química do solo *anteriormente conhecida* em um ponto específico da cultura, o

sistema recebe o sinal enviado pela rede de comunicação sem fio ao servidor central. Após o recebimento das informações, o veículo estabelece a posição atual e a posição do ponto de destino; com estes dados determina o caminho de navegação a seguir através da cultura. No caminho é auxiliado pelo sistema de sensoriamento para controlar o deslocamento do veículo nas trilhas da cultura ou pelos sulcos. O veículo é deslocado até o local solicitado e faz a dosagem calculada segundo a composição medida, e depois, espera uma nova posição para onde se dirigir novamente. Estas condições fazem necessário estabelecer uma distribuição do projeto em vários *sistemas componentes*:

Especificamente, tratava-se de desenvolver um *protótipo de veículo* completo ou modificar um veículo específico tipo trator dotado dos outros sistemas complementares. Dois exemplos de veículo possíveis são mostrados na Fig. 3.1.



Figura 3.1 – Esquerda: Desenho específico de veículo protótipo (SLAUGHTER et al., 2008); Direita: Veículo comercial tipo trator modificado (GAN-MOR et al., 2007).

- a. Um *Sistema de navegação* autônoma baseado em coordenadas de posição geográfica (GPS) dos limites da cultura piloto como na Fig. 3.2.



Figura 3.2 – Mapeamento dos limites da cultura baseado em um Sistema de posição Geográfica (DE BRUIN et al., 2008).

- b. Um sistema de *geração das trajetórias* de movimento baseado em software com coordenadas atuais e coordenadas do ponto de destino; baseado na distribuição da cultura, segundo as distâncias entre linhas e entre plantas, além do mapeamento GPS, como mostrado na Fig. 3.3.

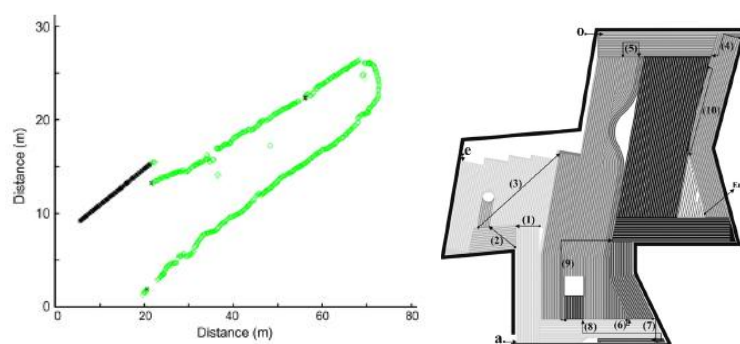


Figura 3.3. Esquerda: simulação de trajetórias pelo computador. Direita: geração das trajetórias segundo o campo (JORGENSEN, R.N., et. al. 2008).

- c. Um *sistema de dosagem* de adubos químicos, para melhorar a composição de Nitrogênio, Potássio e Fósforo do solo em uma cultura piloto, por pulverização ou outros meios, como mostrado na Fig. 3.4.
- d. Uma *rede de comunicação* sem fio para transmitir as informações ao veículo, como mostrado na Fig. 3.5. Todos estes sistemas serão detalhados com maior especificação, nos capítulos seguintes.



Figura 3.4. - Exemplo de Sistema de dosagem comercial de injeção direta para adubos (INTA, 2011).



## **CAPÍTULO IV**

### **MAPEAMENTO GPS E GERAÇÃO DOS LIMITES DA CULTURA**

O desenvolvimento do veículo e seu deslocamento pela cultura sem danificar as plantas depende da precisão das coordenadas de posicionamento obtidas pelo sistema de posição geográfica GPS, por se tratar de culturas de uma hectare ou até três com curtas distâncias de separação dos pontos. Isso influi diretamente no espaço mapeado e tem grande importância tanto no controle de deslocamento do veículo, quanto no sistema de geração das trajetórias ao interior da cultura.

Neste capítulo será apresentada a metodologia aplicada para a mensuração das coordenadas dos limites da cultura e seu processamento computacional para gerar as coordenadas dos pontos de contorno, com um aplicativo de computador desenvolvido em Matlab® para gerar os pontos de controle e a distribuição das plantas da cultura, como informação básica e fundamental para fazer a geração das trajetórias de deslocamento entre os pontos que compõem a malha.

#### **4.1 Descrição geral da metodologia**

Segundo os resultados dos testes de mensuração de coordenadas GPS com equipamentos de diferentes características, foi selecionado um GPS de precisão submétrica para fazer o mapeamento dos limites da cultura. Estas coordenadas GPS são utilizadas para fazer a correção digital da posição num aplicativo de computador e tomar estes dados corrigidos dos limites, como informação básica inicial para a geração das trajetórias de deslocamento do veículo ao interior da cultura. Se os dados têm grande precisão, o tratamento dos dados no interior da cultura é rápido e a precisão é maior. Nesta precisão está suportada, em grande parte, a efetividade do sistema proposto com uma inovação sem precisar do GPS o tempo inteiro, nem

do serviço de correção Cinemática em Tempo Real (RTK), diminuindo com esta inovação custos. No Anexo A é apresentado o resumo explicativo das provas realizadas com três GPS diferentes: um GPS GARMIN® GPSMAP 60CSx de precisão métrica (oito a dez metros), um GPS TRIMBLE® GEO Explorer 3 de precisão submétrica (menor do que um metro) e um GPS para controlador tipo NXT de precisão métrica (cinco a quinze metros) pela conexão direta ao controlador para armazenamento dos dados de mapeamento num arquivo. Essa seleção fez possível a determinação da metodologia de mensuração das coordenadas dos limites da cultura, para depois fazer uma distribuição dos espaços obtidos, segundo as características da cultura.

O sistema é configurado para fazer a medição de coordenadas de posição geográfica (GPS) de forma automática para estabelecer os limites da plantação. Para isso, foi programada em Labview® uma aplicação para o robô se deslocar seguindo uma trajetória determinada, especificada com linha colorida, com o GPS no veículo e conectado diretamente ao controlador. A aplicação foi programada para fazer seguimento de linha com sensor de cor suportado na facilidade de fazer marcação dos limites da cultura no campo com uma fita plástica de polietileno de cor de baixo custo; disponível comercialmente nas cores branca, preta ou amarela em rolos de 25 e 50 metros de comprimento com custo menor e disponível na área rural. A linha também pode ser estabelecida no chão com cal como nos limites do campo de futebol, ou mesmo com um material que possa diferenciar o solo da cultura, de forma a fazer a calibração de leitura do sensor de cor. Além disso, foram usados dois sensores de ultrassom (um de cada lado do veículo) para a detecção de obstáculos não conhecidos no caminho. A posição dos sensores é ajustada para detecção de um obstáculo maior aos 15 cm de altura e a distância de detecção mínima de 20 cm. Quando o objeto é menor, pode ser contornado, no caso de ser maior, o veículo vai parar para enviar um sinal de alarme. As coordenadas de mapeamento GPS são gravadas num arquivo de extensão “\*.dat”, após aberto numa aplicação desenvolvida em “software” Matlab® para fazer a correção do perfil gerado com os dados GPS. Todo este processo é desenvolvido “*off-line*” após o veículo finalizar o mapeamento dos limites por GPS; para obter os dados apropriados para o posicionamento automático posterior, como mostrado na Fig. 4.1. Depois, segundo o perfil básico inicial da cultura, o usuário pode selecionar o tipo de forma básica dos limites para fazer a distribuição das plantas, segundo as seguintes possibilidades:

1. Forma retangular simples.
2. Polígono regular de quatro lados retos.

3. Polígono regular de quatro lados curvos.
4. Polígono irregular (nesta opção só para melhor aproximação do contorno segundo a distância entre as plantas).

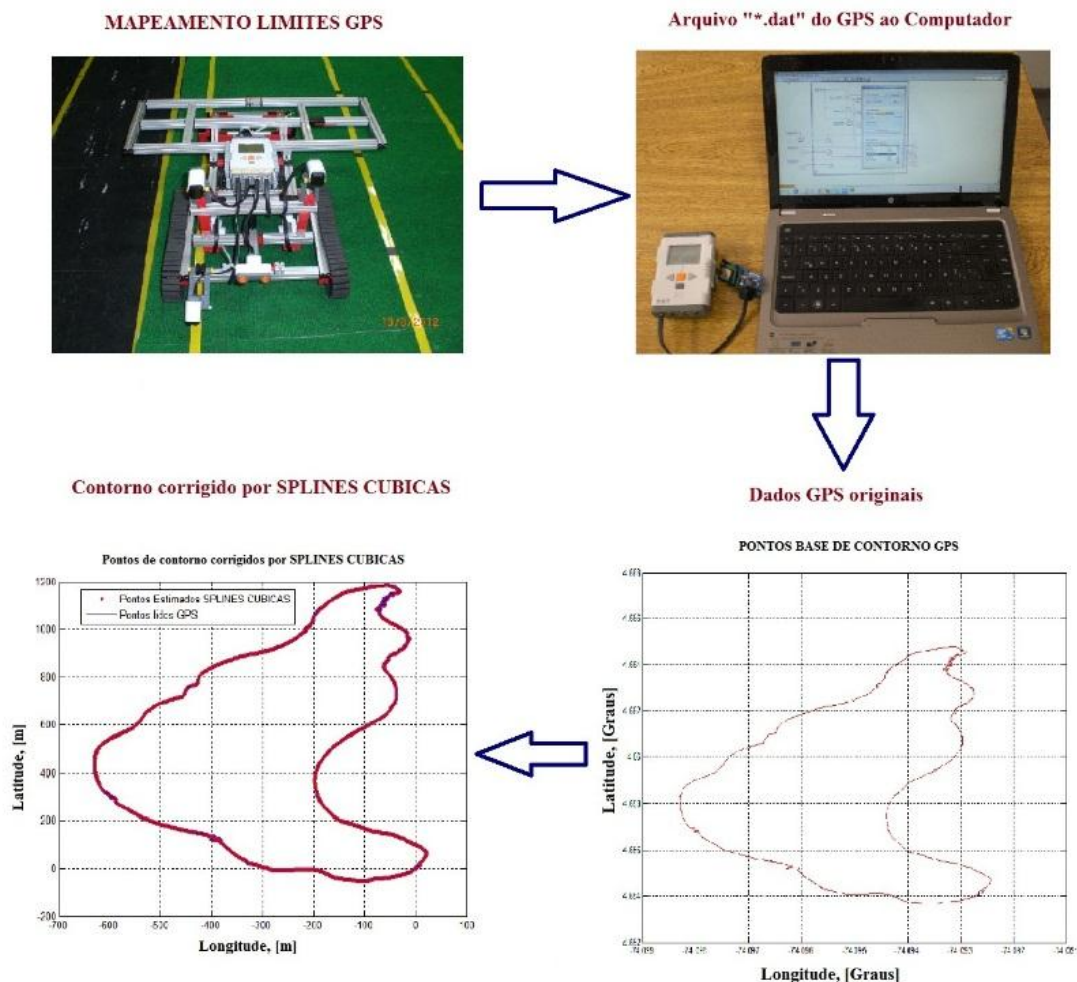


Figura 4.1. – Metodologia de correção do contorno mapeado pelo GPS no computador desde o arquivo de dados GPS com aproximação do contorno por Splines cúbicas.

Em cada uma destas opções, o programa faz a distribuição interior da área segundo a distância entre as plantas e a distância entre as linhas da cultura, desde o ponto inicial de mapeamento GPS, sendo que no início e no final das linhas fica o espaço das estradas para deslocamento do veículo em direção transversal. Ao final, é gerada a matriz das coordenadas de distribuição das plantas e a matriz de posições de controle para o deslocamento automático do veículo ao interior da cultura. Estas matrizes têm os dados fundamentais para a geração das

trajetórias de deslocamento aplicando o algoritmo A\*. Mesmo assim, as coordenadas de mapeamento GPS podem ser levadas ao *software Google Earth®* para olhar a distribuição da cultura em uma imagem.

A metodologia fundamental deste procedimento vai ser detalhada nas seguintes páginas.

#### 4.1.1 Metodologia de Medição de coordenadas GPS e correção dos dados de contorno da cultura

O primeiro passo a seguir no aplicativo programado em Matlab® é abrir e representar os dados do GPS em coordenadas geográficas, mas para o processamento e mudança das coordenadas o sistema local precisa converter as distâncias em metros. Isso é mostrado nas Figuras 4.2 e 4.3.

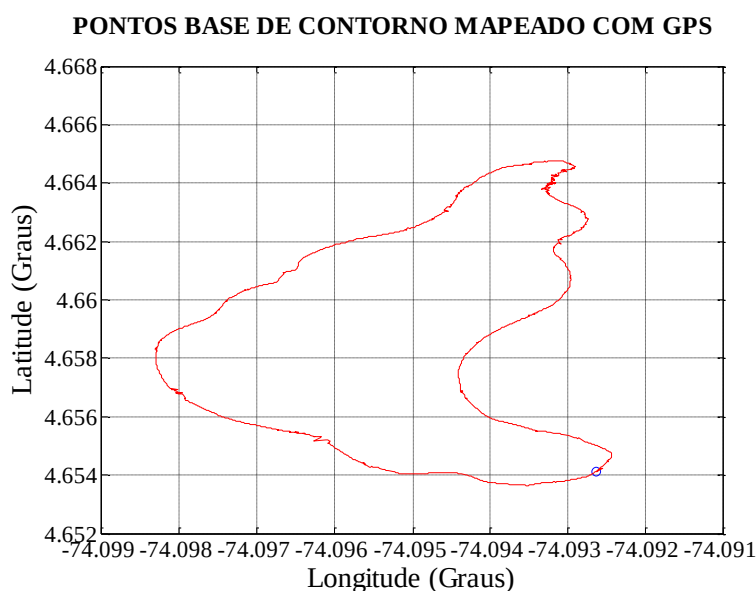


Figura 4.2. – Representação gráfica dos dados de contorno em coordenadas geográficas mapeados pelo GPS.

O problema fundamental das coordenadas absolutas em metros é que são distâncias muito grandes, o que faz necessário mudar para um sistema de coordenadas local com distâncias relativas ao ponto inicial e o sistema é padronizado se o ponto inicial de mapeamento do contorno é a origem do sistema local como mostrado na Fig. 4.4. Além disso, são eliminados os pontos de coordenadas repetidas para fazer a correção após a filtração dos dados.

### PONTOS DOS LIMITES DA CULTURA MAPEADOS PELO GPS

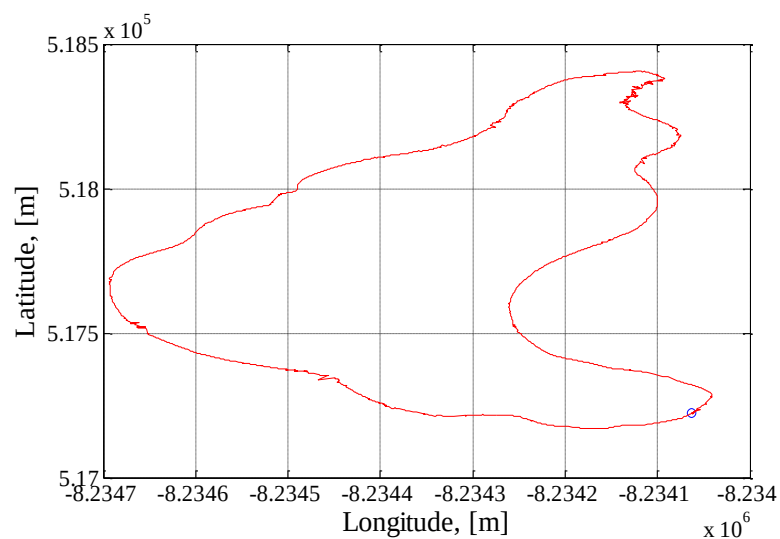


Figura 4.3. – Representação gráfica dos dados de contorno GPS passados a metros.

### CONTORNO MAPEADO CON ORIGEM EM PONTO INICIAL

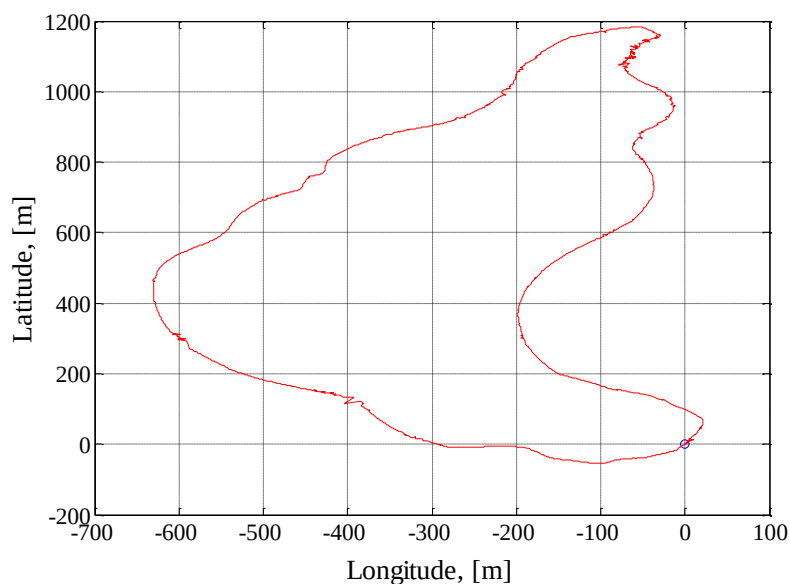


Figura 4.4. – Representação gráfica dos dados de contorno mapeados mudados para o sistema de coordenadas local com origem no ponto inicial.

Na Fig. 4.5 são mostrados os erros na medição do contorno num detalhe amplificado.

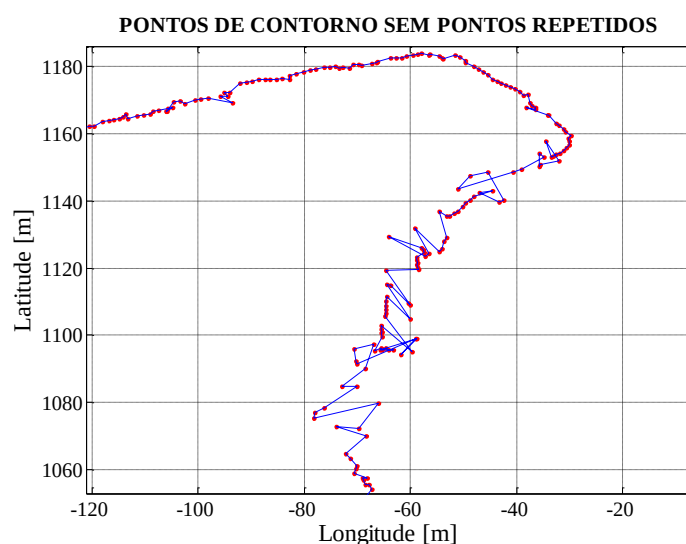


Figura 4.5. – Detalhe amplificado dos dados medidos pelo GPS.

Para melhorar a precisão das medições do GPS, foi aplicado um método de aproximação com *Splines cúbicas* suportado na possibilidade de gerar uma quantidade de pontos específicos entre cada um dos pontos obtidos pelo GPS e o ponto seguinte. Isso contribui na geração de uma curva de contorno dos limites da cultura de maior continuidade como mostrado na Fig. 4.6.

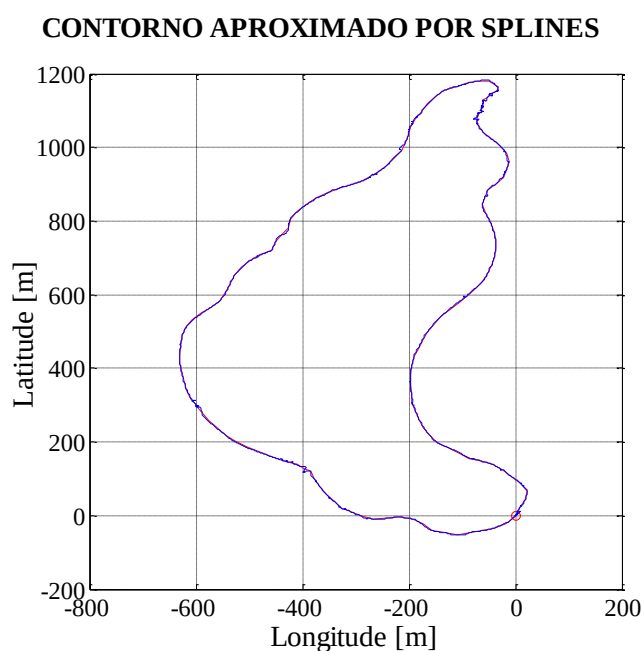


Figura 4.6. – Representação gráfica dos dados de contorno corrigidos pela técnica de aproximação com “*Splines cúbicas*”.

Esta metodologia foi baseada na metodologia de leitura de contornos tridimensionais de Rangel (2011) para aumentar a precisão da leitura das coordenadas GPS dos pontos e diminuir os erros dos contornos. A metodologia empregada é suportada no seguinte: lidos os quatro primeiros pontos utiliza-se um polinômio de interpolação cúbico para criar pontos intermediários que servem de suportes para fazer uma extrapolação e estimar o próximo ponto. Dependendo do incremento  $\Delta X$  ou  $\Delta Y$  das posições, tem-se dois dados: um determinado pelo polinômio de interpolação e outro dado pelas coordenadas GPS. Os dados são comparados e as coordenadas de posição são obtidas. Depois de serem feitos os ajustes da posição, se dá como válida a coordenada do ponto. O procedimento é empregado até percorrer o contorno desejado.

Conhecidos o ponto inicial e final da curva pode-se definir uma curva paramétrica segundo Monterson (1985) como:

$$\mathbf{P} = [x(u) \ y(u) \ z(u)] \quad (4.1)$$

Da Equação (4.1) o parâmetro “ $u$ ” é a variável independente e pode ser uma medida tomada pelo sistema de deslocamento relacionado com a posição. O segmento de curva paramétrica é dado por três polinômios da forma:

$$\begin{aligned} x(u) &= a_{3x} \cdot u^3 + a_{2x} \cdot u^2 + a_{1x} \cdot u + a_{0x} \\ y(u) &= a_{3y} \cdot u^3 + a_{2y} \cdot u^2 + a_{1y} \cdot u + a_{0y} \\ z(u) &= a_{3z} \cdot u^3 + a_{2z} \cdot u^2 + a_{1z} \cdot u + a_{0z} \end{aligned} \quad (4.2)$$

A Equação (4.2) em forma vetorial pode ser escrita como:

$$\mathbf{P}(u) = \mathbf{a}_3 \cdot u^3 + \mathbf{a}_2 \cdot u^2 + \mathbf{a}_1 \cdot u + \mathbf{a}_0 \quad (4.3)$$

Na Equação (4.3),  $\mathbf{P}(u)$  é vetor posição de qualquer ponto da curva;  $\mathbf{a}_0$ ,  $\mathbf{a}_1$ ,  $\mathbf{a}_2$ ,  $\mathbf{a}_3$ , são os vetores equivalentes dos coeficientes escalares algébricos.

A curva se define em termos de algumas condições como: ponto final (coordenadas), limites (fronteiras), tangente, curvatura, torção e outras condições que dependem da ordem das derivadas.

Usando o ponto inicial e final  $\mathbf{p}(0)$  e  $\mathbf{p}(1)$  e suas correspondentes tangentes e  $d\mathbf{p}(1)/d(u) = \mathbf{p}'(1)$ , da Eq. (4.3) encontra-se que:

$$\begin{aligned}\mathbf{p}(0) &= \mathbf{a}_0 \\ \mathbf{p}(1) &= \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2 + \mathbf{a}_3 \\ \mathbf{p}'(0) &= \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{p}'(1) &= \mathbf{a}_1 + 2 \cdot \mathbf{a}_2 + 3 \cdot \mathbf{a}_3\end{aligned}\tag{4.4}$$

Reorganizando as expressões da Eq. (4.4) obtém-se:

$$\begin{aligned}\mathbf{a}_0 &= \mathbf{p}(0) \\ \mathbf{a}_1 &= \mathbf{p}'(0) \\ \mathbf{a}_2 &= -3 \cdot \mathbf{p}(0) + 3 \cdot \mathbf{p}(1) - 2 \cdot \mathbf{p}'(0) - \mathbf{p}'(1) \\ \mathbf{a}_3 &= 2 \cdot \mathbf{p}(0) - 2 \cdot \mathbf{p}(1) + \mathbf{p}'(0) + \mathbf{p}'(1)\end{aligned}\tag{4.5}$$

Substituindo a Equação (4.5) na Eq. (4.3) e rearranjando encontra-se:

$$\begin{aligned}\mathbf{P}(u) &= (2 \cdot u^3 - 3 \cdot u^2 + 1) \cdot \mathbf{p}(0) + (-2 \cdot u^3 + 3 \cdot u^2) \cdot \mathbf{p}(1) + \dots \\ &\quad (u^3 - 2 \cdot u^2 + u) \cdot \mathbf{p}'(0) + (u^3 - u^2) \cdot \mathbf{p}'(1)\end{aligned}\tag{4.6}$$

Reescrevendo a Equação (4.6) tem-se:

$$\mathbf{P} = F_1 \cdot \mathbf{p}_0 + F_2 \cdot \mathbf{p}_1 + F_3 \cdot \mathbf{p}_0' + F_4 \cdot \mathbf{p}_1'\tag{4.7}$$

A Equação (4.7) é conhecida como forma geométrica do polinômio, onde,  $\mathbf{p}_1$ ,  $\mathbf{p}_0'$  e  $\mathbf{p}_1'$  são chamados os coeficientes geométricos; os termos  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  e  $F_4$  são as funções de mistura (Blending). Então, a Eq. (4.7) pode ser escrita como:

$$\mathbf{P} = [F_1 \ F_2 \ F_3 \ F_4] [\mathbf{p}_0 \ \mathbf{p}_1 \ \mathbf{p}_0' \ \mathbf{p}_1']^T; \quad \mathbf{P} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{B}\tag{4.8}$$

De forma similar, a Equação (4.3) pode ser escrita como:

$$\mathbf{P} = [u^3 \ u^2 \ u \ 1][\mathbf{a}_3 \ \mathbf{a}_2 \ \mathbf{a}_1 \ \mathbf{a}_0]^T; \quad \mathbf{P} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{A} \quad (4.9)$$

A Equação (4.9) é conhecida como forma geométrica do polinômio, onde  $\mathbf{A}$  é a matriz dos coeficientes algébricos.

Segundo Monterson (1985), quando é necessário controlar a forma de uma curva, é melhor empregar os coeficientes geométricos.

Da Equação (4.6) tem se:

$$\mathbf{F} = [(2 \cdot u^3 - 3 \cdot u^2 + 1) \quad (-2 \cdot u^3 + 3 \cdot u^2) \quad (u^3 - 2 \cdot u^2 + u) \quad (u^3 - u^2)] \quad (4.10)$$

$$\mathbf{F} = [u^3 \ u^2 \ u \ 1] \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{F} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{M} \quad (4.11)$$

A matriz 4x4 da Equação (4.11) é denominada matriz de transformação universal  $\mathbf{M}$ .

Substituindo a Equação (4.11) na Eq. (4.8) obtém-se:

$$\mathbf{P} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{B} \Rightarrow \mathbf{P}(u) = \mathbf{u} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{B} \quad u \in [0,1] \quad (4.12)$$

Da Equação (4.12) e a Eq. (4.9) observa se que:

$$\mathbf{A} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{B}; \quad \mathbf{B} = \mathbf{M}^{-1} \cdot \mathbf{A} \quad (4.13)$$

Onde:

$$\mathbf{M}^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

Das equações anteriores  $U$ ,  $F$  e  $M$  são semelhantes para todas as curvas paramétricas cúbicas, e somente as matrizes  $\mathbf{A}$  e  $\mathbf{B}$  mudam de acordo com a curva e a posição dos pontos.

Dependendo do tipo de controle (quantidade de pontos que definem a curva), as condições geométricas e métrica para estabelecer na curva, os parâmetros  $F$ ,  $M$  e  $\mathbf{B}$  devem ser ajustados. Nas modelagens geométricas por computador, nos sistemas CAD e nos sistemas de visão, pela facilidade computacional, se empregam curvas paramétricas cúbicas do tipo Bézier ou Spline (BISWAS; LOVELL, 2008) e (MONTERSON, 1985).

Na metodologia foi utilizado um polinômio de tipo Spline que tem quatro pontos de controle (neste caso os primeiros quatro pontos lidos), as funções de mistura re-parametrizadas no intervalo definido são as seguintes (BISWAS; LOVELL, 2008):

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \frac{1}{6}(-u^3 + 3 \cdot u^2 + 3 \cdot u + 1) \\
 F_2 &= \frac{1}{6}(3 \cdot u^3 - 6 \cdot u^2 + 3 \cdot u) \\
 F_3 &= \frac{1}{6}(-3 \cdot u^3 + 3 \cdot u) \\
 F_4 &= \frac{1}{6}(u^3 + 4 \cdot u^2 + u)
 \end{aligned}
 \tag{4.15}$$

Empregando a Equação (4.15) nas definições das Eqs. (4.11) e (4.12), e empregando as duas primeiras derivadas do polinômio podem-se determinar: vetores tangentes aos pontos, curvatura e torção da curva. Os dados foram empregados na aproximação do contorno e os resultados encontrados na simulação numérica são apresentados no detalhe amplificado da Fig. 4.7, onde a linha vermelha representa os valores estimados pelo polinômio de interpolação cúbica.

Para melhorar o contorno, se fez uma segunda interpolação das “*Splines*” segundo a distância entre as plantas, obtendo-se maior precisão no contorno como mostrado na Fig. 4.8. Quando o contorno é muito variável ou irregular, se pode fazer uma melhor aproximação. Existe no programa uma opção para aproximação de contorno irregular, usando uma segunda

aproximação por técnica “*Splines cúbicas*” segundo a distância entre as plantas e ela contribui grandemente para melhorar a forma final do contorno mapeado.

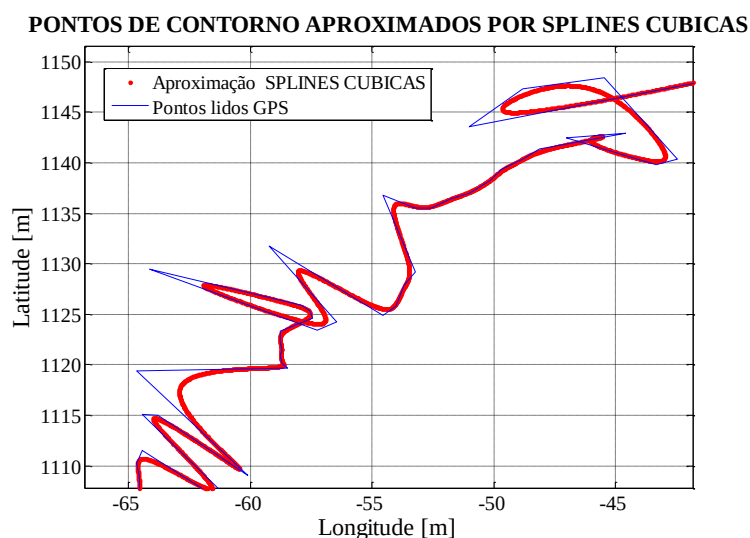


Figura 4.7. – Detalhe amplificado da aproximação com “*Splines cúbicas*” onde é possível olhar melhor o comportamento dos dados no contorno, mas ainda é insuficiente.

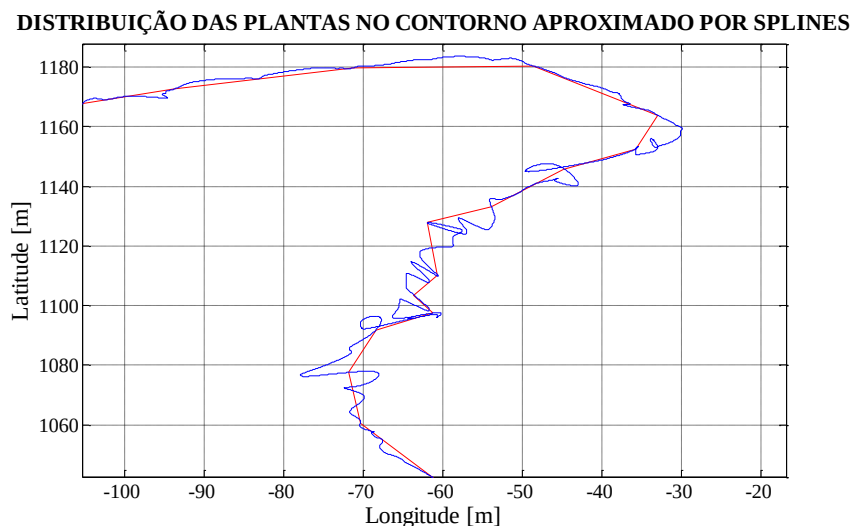


Figura 4.8. – Detalhe de contorno de aproximação com “*Splines cúbicas*” melhorado pela interpolação segundo a distância entre as plantas, obtendo-se uma forma de contorno melhor segundo a linha vermelha.

A Fig. 4.9 mostra a forma geral do contorno obtido com maior definição na cor azul e na superposição da linha vermelha original de coordenadas GPS.

Na Fig. 4.10 detalhe amplificado mostra o contorno final dos pontos da cor azul. Uma vez corrigido o contorno mapeado pelo GPS, os dados estão prontos para fazer a distribuição das plantas ao interior da área mapeada.

#### 4.1.2 Metodologia de distribuição da cultura e obtenção dos pontos de controle de posição

Quando o sistema corrige o contorno mapeado, precisa fazer a distribuição da área segundo as dimensões da cultura. Essa área tem três tipos de formas possíveis mesmo que seja um polígono de quatro lados, segundo as formas comuns das culturas em geral: 1) Um retângulo regular, 2) um polígono regular de lados retos e 3) um polígono regular de lados curvos. Além disso, foi utilizado o método de aproximação para fazer uma segunda aproximação do contorno por *Splines cúbicas* nos contornos irregulares segundo a distância entre as plantas para melhorar a aproximação. Por enquanto a aplicação foi desenvolvida para aplicações em duas dimensões; ainda não são consideradas as medições das alturas pelo GPS, mas o sistema pode ser suplementado para isso.

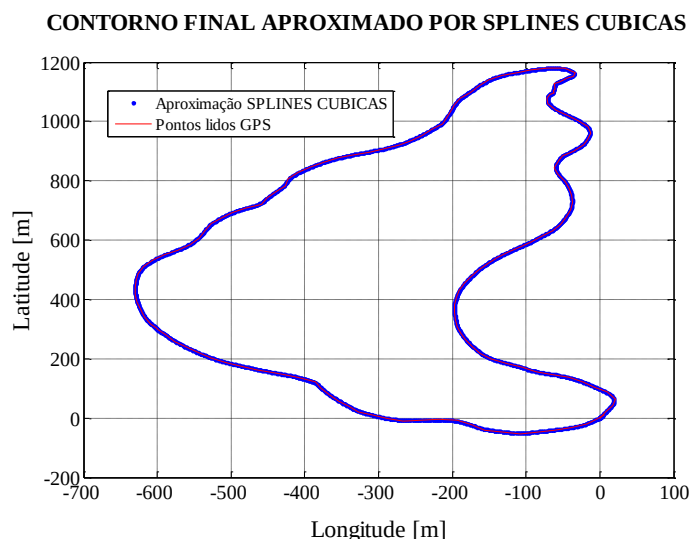


Figura 4.9. – Contorno de aproximação com “*SPLINES CÚBICAS*” melhorado pela interpolação segundo a distância entre as plantas.

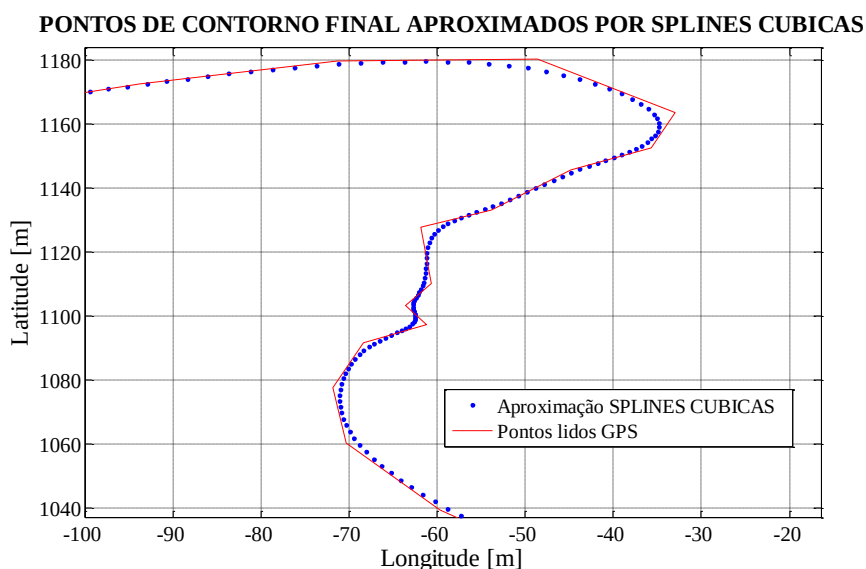


Figura 4.10. – Detalhe amplificado do contorno de aproximação com “*Splines cúbicas*” melhorado pela interpolação segundo a distância entre as plantas.

A seguir é apresentada a metodologia utilizada, para fazer a distribuição da cultura na área mapeada.

*Descrição geral da metodologia.* Inicialmente, pela comparação das longitudes dos lados o aplicativo faz a seleção otimizada dos dois lados maiores para estabelecer a direção das linhas segundo a longitude maior. Isso otimiza a área da cultura, gerando a menor quantidade de linhas e melhora o tempo de deslocamento do robô. Identificado isto, se faz a divisão do lado maior pela distância entre as plantas como o comprimento da cultura, e o segundo lado de maior longitude é dividido pela distância entre linhas como largura da cultura. Após, é gerada a matriz dos pontos que compõem o paralelogramo desses lados padrões como mostrado na Fig. 4.11, onde os lados padrões são o lado direito como comprimento e o lado inferior como largura.

Segundo essa distribuição dos pontos é gerada uma nuvem de pontos num paralelogramo maior do que a área mapeada representando as possíveis plantas semeadas como mostrado na Fig. 4.12. Os pontos da divisão dos lados padrões são representados pelos círculos vermelhos.

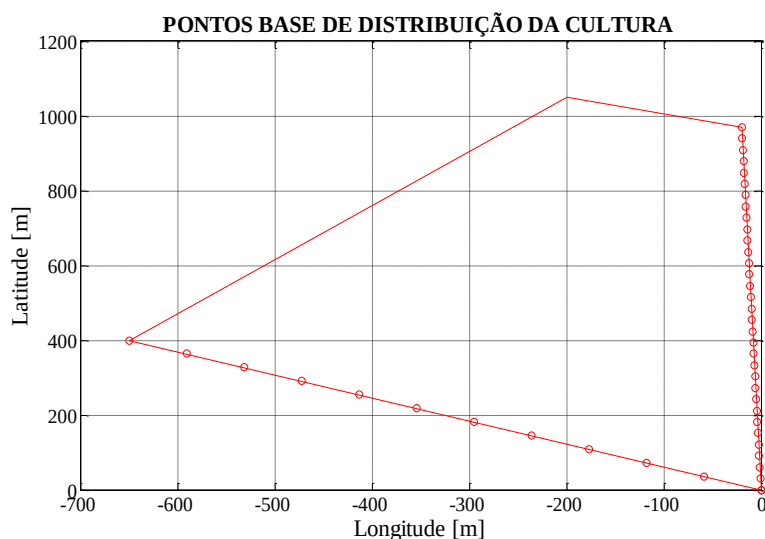


Figura 4.11. Pontos base dos dois lados padrões divididos pela distância entre as plantas e a distância entre as linhas da cultura.

Após a nuvem de pontos gerada no paralelogramo é cortada no cruzamento com os outros dois lados do polígono mapeado como mostrado na Fig. 4.13 diminuindo no espaço interior a largura da estrada ao final das linhas da cultura.

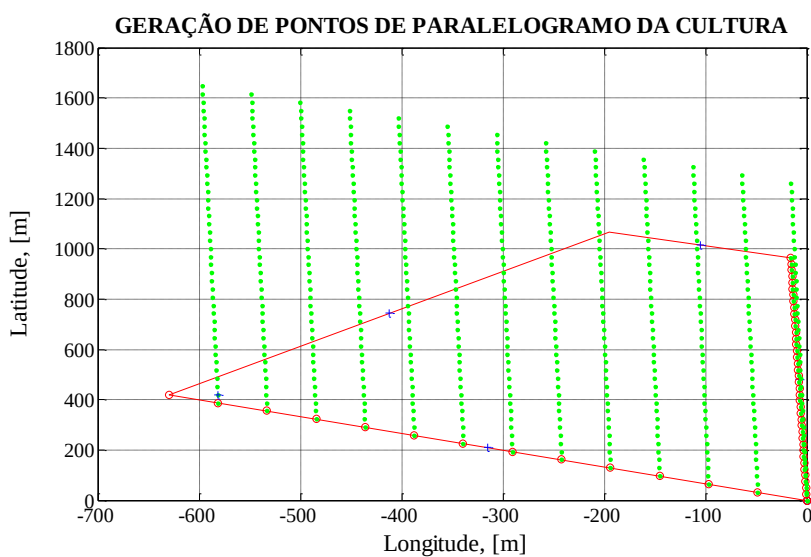


Figura 4.12. Paralelogramo de pontos da cultura gerado segundo as linhas base do contorno.

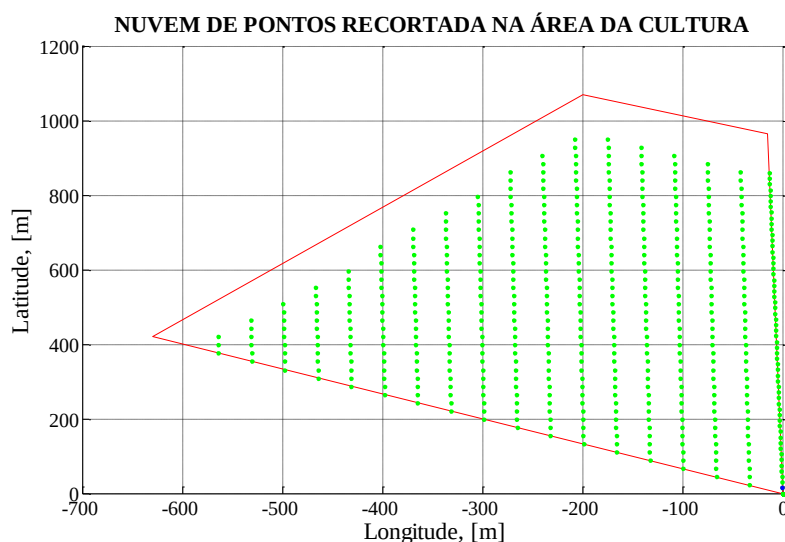


Figura 4.13. Paralelogramo de nuvem de pontos cortado ao interior da área da cultura.

Depois é repetido o mesmo procedimento na geração da estrada ao início das linhas e tirando a linha inicial sob os limites da cultura como na Fig. 4.14. Finalmente, é gerada a matriz dos pontos das plantas com estes pontos finais e gerada também a matriz dos pontos de controle de posição a cada nove plantas, segundo o projeto do sistema de dosagem. Essa matriz de pontos de controle é correspondente à matriz de distribuição das estações de dosagem na cultura. A Fig. 4.15 mostra a nuvem de pontos de distribuição das plantas na cor vermelha e a nuvem de pontos de controle para a distribuição das estações de dosagem na cor azul.

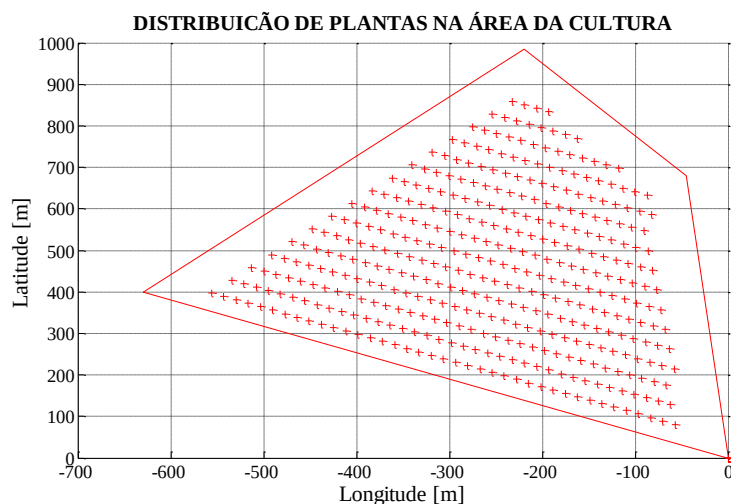


Figura 4.14. Distribuição final das plantas ao interior da área mapeada deixando a estrada no contorno da cultura para deslocamento do robô.

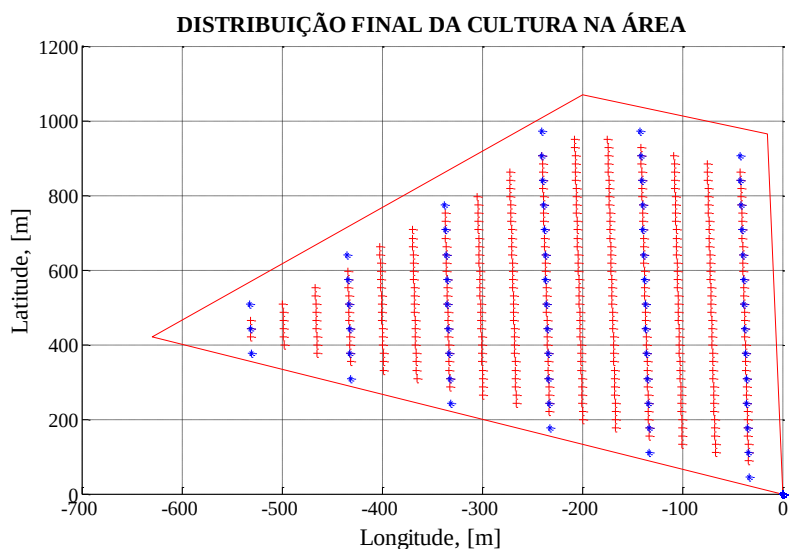


Figura 4.15. Superposição dos pontos de controle de posição das estações de dosagem a cada nove plantas na cor azul.

Estas duas matrizes são depois utilizadas pelo algoritmo de geração das trajetórias ao interior da cultura. Este processo é independente da área e da cultura escolhida. As Figs.4.16 até 4.18 mostram outros exemplos de geração das nuvens de pontos tanto das plantas quanto das estações de dosagem utilizando o aplicativo desenvolvido neste projeto com diferentes tamanhos da área ou distâncias de distribuição da cultura.

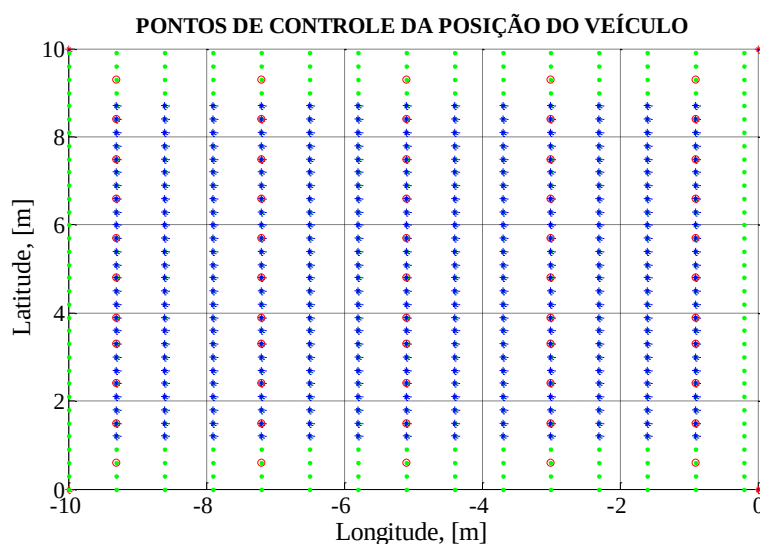


Figura 4.16. Exemplo de distribuição das plantas em área retangular com o aplicativo desenvolvido no Matlab®.

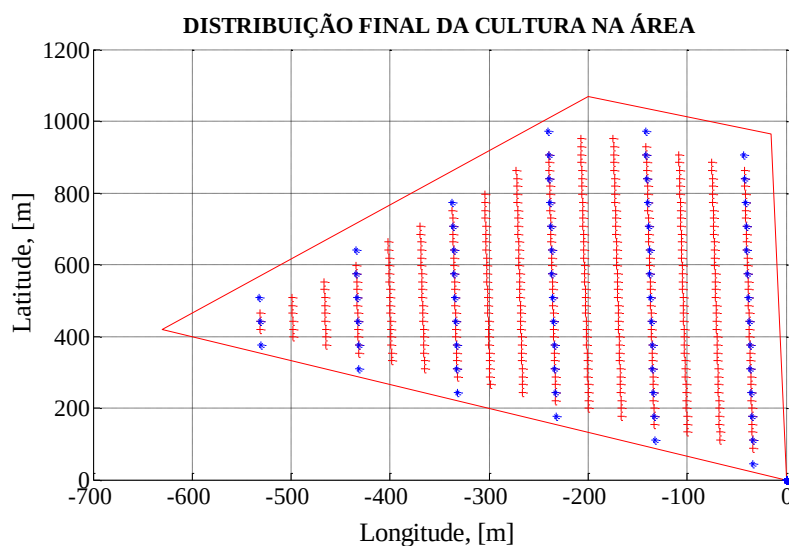


Figura 4.17. Exemplo de distribuição das plantas em área da forma de polígono regular de lados retos desenvolvido com o aplicativo em Matlab®.

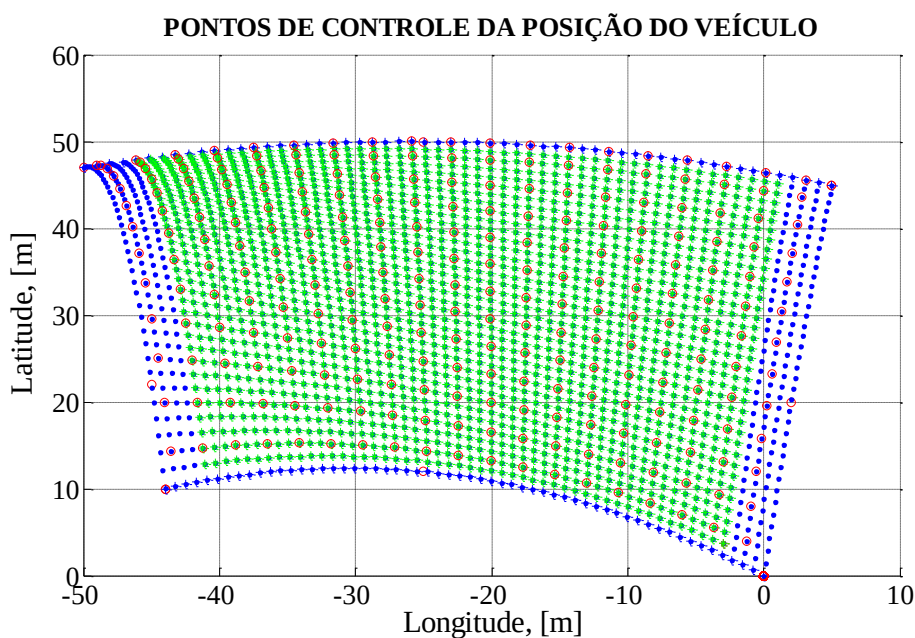


Figura 4.14. Exemplo de distribuição das plantas em área da forma de polígono irregular curvo desenvolvido com o aplicativo em Matlab®.

O programa completo em Matlab® é mostrado no Anexo E.1 do CD.

## CAPÍTULO V

### PLANEJAMENTO E GERAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS

#### 5.1 Caracterização do espaço de simulação da cultura

Uma vez determinados os pontos de distribuição da cultura e os pontos de controle de posição do robô no espaço, as matrizes dos pontos são utilizadas para a geração das trajetórias de deslocamento aplicando um algoritmo previamente definido. Para validar este método, foi utilizado como espaço de trabalho um ambiente simulado de uma cultura de batata, construído em madeira, com dimensões de 2,00 m x 2,00 metros segundo a Fig. 5.1:

Os marcadores foram adotados para ajudar na locomoção do robô pelo cenário. Os marcadores e as supostas plantas foram posicionados numa matriz espaçada com distância padrão de 109 milímetros. Este cenário é uma representação de uma cultura real de batata na escala reduzida. Além dos marcadores de plantas de batata, existe um cenário local destinado para a estação de recarga da bateria e outras operações como: recarga de fertilizantes. Neste cenário podem existir obstáculos para o deslocamento do robô como mostrado na Fig. 5.1.

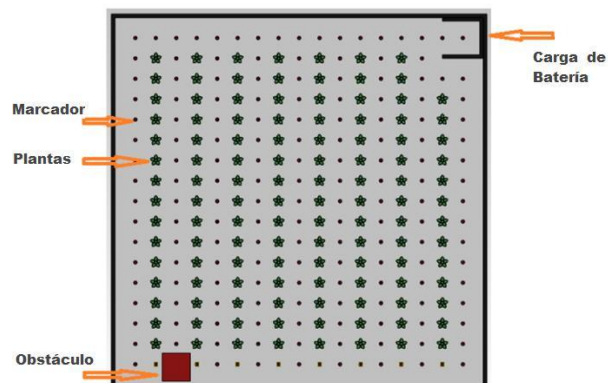


Figura 5.1. Distribuição das plantas no espaço virtual com os marcadores e obstáculos para simulação na escala reduzida.

## 5.2 Simulação do sistema no cenário

Cada um dos pontos da cultura (os pontos de posicionamento e das plantas) é um objeto com informação armazenada na base de dados incluindo a composição do solo, coordenadas de posição e as quantidades de fertilizante a serem dosadas. O sistema inicia lendo as coordenadas de posição dos pontos e segundo a posição do ponto atual e do ponto de destino é aplicado um algoritmo de geração das trajetórias, para determinação do caminho mínimo a percorrer. Nesta tese foram provados três algoritmos diferentes para escolher o de melhor comportamento: Dijkstra, Floyd ou A\* (A estrela). Segundo estas características foi programado em JAVA um aplicativo, para simulação da locomoção do robô no cenário. Os obstáculos podem ser colocados em quaisquer pontos do cenário dentro da área de simulação usando o mouse do computador. Na Fig. 5.2 foi gravada uma imagem da janela do computador mostrando a área de simulação na parte esquerda, com a estação de recarga (*home*) na parte superior esquerda e na cor verde. Na parte inferior esquerda está a área de simulação cujas linhas da cultura estão na cor marrom, os pontos de posicionamento na cor vermelha e um obstáculo representado pelo cubo vermelho. O veículo é mostrado na cor laranja, com a descrição entre parênteses das coordenadas do ponto selecionado. Na caixa azul estão em destaque a porta de comunicação usada e os controles de botão para conexão e desconexão. Ao lado direito na janela está a área de transmissão da informação para verificar as condições da simulação. A caixa da cor vermelha mostra a posição atual, as coordenadas da estação de repouso (*home*), as coordenadas do ponto de destino procurado e uma guia de seleção do algoritmo que vai ser usado. Na caixa de cor verde é mostrada na parte superior a sequência de pontos que compõem a trajetória a seguir (fundo cinza) obtidos quando aplicado o algoritmo correspondente. Na parte inferior da caixa verde com cor laranja, estão os pontos atingidos durante o deslocamento do veículo na simulação ou as solicitações de nova trajetória de deslocamento. Na caixa de cor laranja, são mostradas as condições de simulação dos arcos e o histórico das posições, tamanho do arranjo dos dados na aplicação e tipo de comunicação para enviar os dados obtidos. O programa desenvolvido em JAVA é mostrado no Anexo E.2 do CD.

A capacidade de simulação do aplicativo foi testada medindo o consumo dos recursos de computação, segundo o tempo de processamento da informação e seu volume respectivo: primeiro, foi medido o tempo de recarga e armazenamento dos dados para todos os pontos de

uma hectare de cultura de batata (47619 pontos correspondentes à mesma quantidade de plantas) segundo a distribuição da cultura e medindo o consumo dos recursos de computação em porcentagem. Depois, foi testada a influência da precisão de posicionamento entre zero (0) e vinte e cinco (25) centímetros de erro radial ao redor de cada um dos pontos da trajetória. Finalmente, foram desenvolvidos testes usando os três algoritmos, com obstáculos e sem obstáculos, para análise de comportamento do sistema completo.

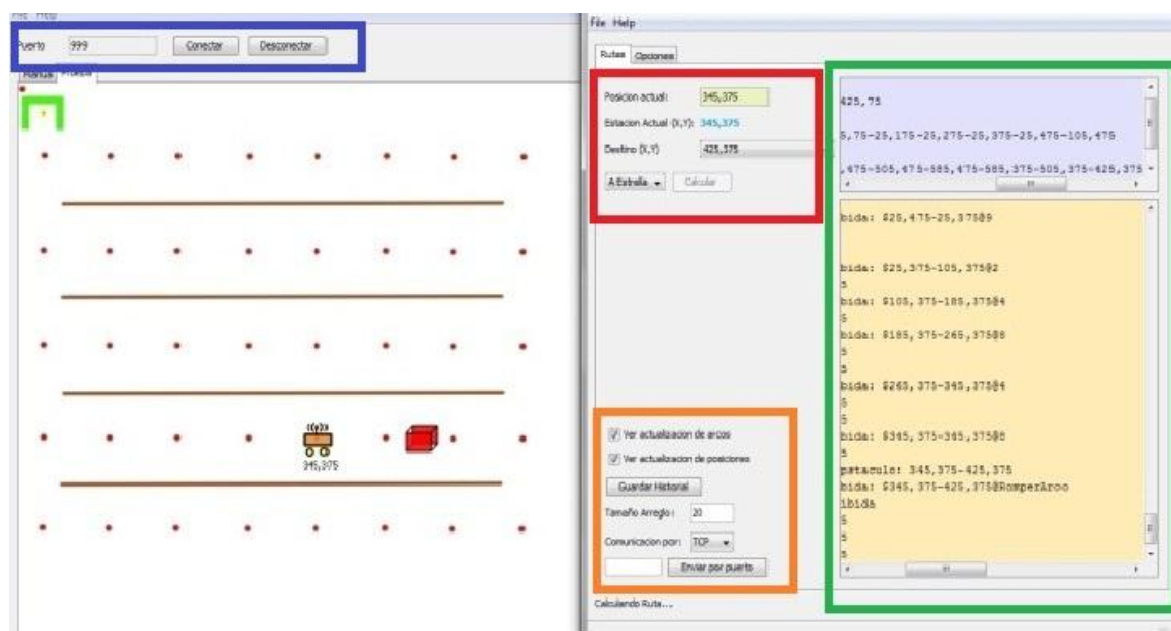


Figura 5.2. Área de simulação das trajetórias (lado esquerdo) e área da transferência dos dados e de informação (lado direito) na janela do aplicativo desenvolvido para simulação no computador.

### 5.3 Algoritmos de planejamento das trajetórias

O **algoritmo A\*** (lê-se A estrela) (MARIN et. al., 2003) é baseado em um mapa de pontos ou nós classificados em atingíveis ou não atingíveis e calcula os pontos ou nós consecutivos que compõem a trajetória para se deslocar desde o ponto atual até o ponto de destino, procurando a rota de menor custo (menor distância neste caso) entre todas as possíveis rotas entre os nós. A Fig. 5.3, mostra um exemplo onde os nós livres são os pontos da cor vermelha, os nós não atingíveis são representados pelas plantas e o obstáculo é o quadrado vermelho. O ponto inicial da trajetória está no círculo amarelo (A) e o ponto final no círculo

vermelho (B) onde foi calculada a trajetória de menor distância percorrida mostrada com setas de cor laranja.

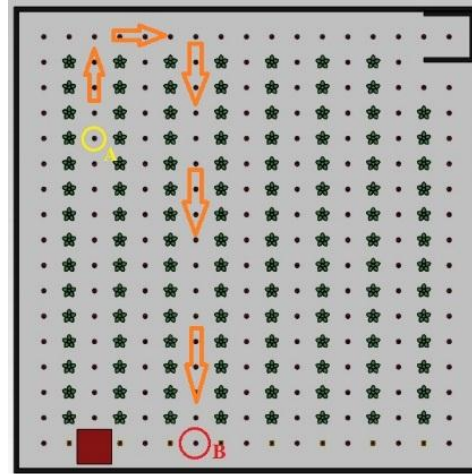


Figura 5.3. Exemplo de cálculo de trajetória utilizando o algoritmo A\*.

Para gerar a trajetória é necessário estabelecer duas listas: uma aberta e uma fechada mais uma função heurística de estimação das vantagens de cada nó gerado. Este algoritmo trabalha segundo a estrutura de árvore de expansão mínima, gerando a lista aberta com os nós gerados sem seus nós de conexões imediatas chamados sucessores ou filhos, mas a lista fechada contém os nós já analisados.

O veículo inicia em um nó “s” e vai até um nó destino “t”. Aplicando uma função de avaliação “f(n)” se decide heurísticamente a probabilidade do nó “n” de se expandir adiante. O algoritmo A\* realiza as seguintes operações:

Paso 1. É marcado e aberto o nó inicial “s, e “f(s)”, sendo introduzido na lista abertos.

Paso 2. É selecionado o nó “n” da lista cuja função de avaliação “f(n)” seja menor.

Paso 3. Se  $n = t$ , é marcado “n” como nó fechado e termina o algoritmo.

Paso 4. Em outro caso, é marcado “s” como nó fechado. É calculado o novo custo para cada um dos filhos “m” e a função de avaliação “f(m)”. Se f(m) é menor do que f(n) é atualizado o custo e é adicionado na lista. Depois é repetido o passo 2 para continuar a sequência de pontos da trajetória.

É estabelecida a função de avaliação f(n) como a soma de duas funções:

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (5.1)$$

Onde: g(n) é o custo atual do caminho ótimo desde a origem até o nó “n” e h(n) é o custo de um caminho ótimo desde o nó “n” até o ponto destino. Como f(n) não é conhecida

“anteriormente”, é utilizada uma função estimada  $f^*(n)$  que pode ser representada pela Eq. 5.1 tendo em conta os custos estimados segundo a Eq. 5.2.

$$f^*(n) = g^*(n) + h^*(n) \quad (5.2)$$

Onde:  $g^*(n)$  é o custo estimado do caminho desde a origem até o nó “n” com a mínima distância calculada até agora e  $h^*(n)$  é uma estimacão do custo do caminho ótimo desde o ponto “n” até o destino. A função estimada  $g^*(n)$  deve cumprir a condição da Eq. 5.3:

$$g^*(n) \geq g(n) \geq 0 \quad (5.3)$$

Ou seja, a estimacão da função de custo deve ser maior ou igual ao custo real. A rota  $A^*$  é admissível quando consegue sempre uma solução ótima. Para isso, é necessário que a função heurística  $h^*(n)$  não sobrestime o custo real  $h(n)$ , ou seja que o custo estimado deve ser menor como na Eq. 5.4:

$$0 \leq h^*(n) \leq h(n) \quad (5.4)$$

Além disso, a função heurística  $h^*(n)$  é considerada localmente consistente se, para duas caixas consecutivas (a, b) é conseguida a condição da Eq. 5.5:

$$0 \leq h^*(a) \leq h^*(b) + c(a, b) \quad (5.5)$$

Onde:  $c(a, b)$  é o custo do arco entre as caixas a e b. A seleção da função heurística  $h^*(n) = 0$  é a solução trivialmente admissível e localmente consistente, mas executaria uma busca sem informação equivalente a uma busca em largura.

O **algoritmo de Dijkstra** primeiro marca os vértices como não utilizados. Começa por um vértice de origem avaliando seus pontos próximos e procurando o mais próximo da origem, que é tomado como ponto médio e analisado se é possível chegar mais rápido até os outros pontos passando por este vértice. Depois, é selecionado o seguinte ponto mais perto (incluindo as distâncias atualizadas) e é repetido o processo até quando o vértice não utilizado mais perto seja o ponto de destino. O processo de atualização das distâncias tomando o novo vértice como ponto médio é chamado de relaxação. Este algoritmo usa uma fila por prioridade ou “*heap*” de valor mínimo ou “*min-heap*” devido a que quando um valor é extraído do *heap* deve-se voltar

ao de menor valor, neste caso, o peso cumulativo dos nós.

O **algoritmo de Floyd** calcula o menor caminho entre todos os pares de vértices do grafo ponderado positivo, usando técnicas de programação dinâmica. Para isso, são calculadas umas matrizes  $D_k[i, j]$  que devem obedecer os seguintes critérios:

$$D_k[i, j] = D_{k-1}[i, k] + D_{k-1}[k, j] \quad (\text{Passando pelo ponto } k) \quad (5.6)$$

$$\text{Ou } D_k[i, j] = D_{k-1}[i, j] \quad (\text{não passando pelo ponto } k) \quad (5.7)$$

Onde:

$$D_k[i, j] = (\text{mínimo}(D_{k-1}[i, k] + D_{k-1}[k, j]), D_{k-1}[i, j]) \quad (5.8)$$

É a longitude do caminho menor para ir desde o vértice “i” até o vértice “j” podendo passar pelos vértices 1, 2, ..., até o k. A Eq. 5.8 diz que “se para ir desde o vértice “i” até o “j” é melhor passar pelo “k”, o ponto “k” é somado ao caminho”. Além disso, para refazer o caminho se faz uma matriz de trajetórias onde, se para cada iteração é melhorado o caminho incluindo o ponto “k”, este é adicionado à matriz de trajetórias.

#### 5.4 Resultados da simulação das trajetórias

Os resultados da geração das trajetórias na simulação dos três algoritmos: Dijkstra, Floyd e A\* são mostrados nas Fig. 5.4 até 5.6. A Fig. 5.4 mostra o resultado da simulação do algoritmo de Dijkstra sem obstáculos do lado esquerdo com a trajetória na cor azul e com este algoritmo mesmo com obstáculos (cubos vermelhos) do lado direito. É mostrada na cor azul a trajetória obtida, incluindo a geração da nova rota complementar quando apresentado um obstáculo desconhecido no caminho obtido inicialmente.

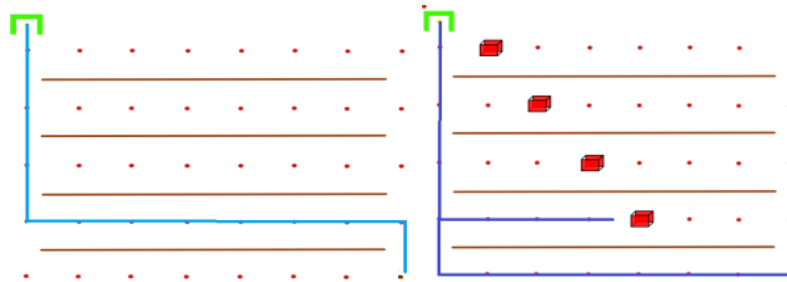


Figura 5.4. Rota obtida e simulada com o algoritmo de Dijkstra, seguindo as linhas da cultura

na cor marrom e eludindo obstáculos representados pelos cubos vermelhos.

A Fig. 5.5, do lado esquerdo mostra a rota simulada com o algoritmo de Floyd sem obstáculos na cor azul e do lado direito com obstáculos na cor azul escuro. Quando aparecem os obstáculos, o sistema pede uma nova rota e exclui o ponto da lista de pontos atingíveis e na Fig. 5.6 é mostrada a simulação do algoritmo A\* com a rota resultante na cor laranja.

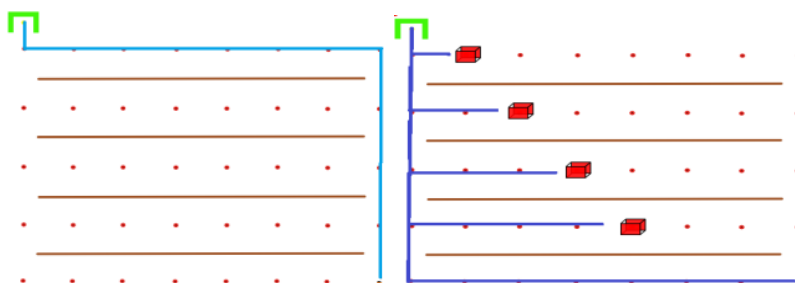


Figura 5.5. Rota obtida com o algoritmo de Floyd sem obstáculos na cor azul do lado esquerdo e com obstáculos desconhecidos representados pelos cubos vermelhos na cor azul escuro do lado direito.



Figura 5.6. Rota obtida com o algoritmo A\* sem obstáculos (esquerda) e com obstáculos (direita).

#### 5.4.1 Consumo dos recursos de computação

As provas de carga dos dados no computador, foram feitas para todos os pontos gerados em uma hectare de cultura de batata (47619 segundo as distâncias entre as plantas e entre linhas) em dois computadores diferentes: o primeiro computador com processador INTEL® XEON 2,67 GHz e o segundo com processador ATHLON X3 2.9 GHz, os dois com sistema operativo WINDOWS®. Para todas as provas foram medidos os tempos de execução com o relógio de computador utilizando os recursos do sistema.

A Tabela 5.1 mostra os resultados obtidos na carga dos dados com os três algoritmos no primeiro ensaio computacional. Pode-se ver que a carga do algoritmo A\* consome uma menor quantidade de recursos computacionais e um menor tempo de carga. O algoritmo de

Floyd apresentou interrupções pela grande quantidade de dados e não chegou à convergência.

Os resultados obtidos com o segundo ensaio computacional, são mostrados na Tabela 5.2. Foram medidos os tempos de carregamento e de armazenamento dos dados e das linhas independentemente. Pode-se ver que os algoritmos têm um rendimento da mesmas características, mas o algoritmo A\* tem tempo de execução menor.

Tabela 5.1. Provas de carregamento de dados no primeiro ensaio computacional com os três algoritmos.

| <b>Parâmetro</b>    | <b>Dijkstra</b> | <b>A*</b> | <b>Floyd</b> |
|---------------------|-----------------|-----------|--------------|
| Uso de CPU (%)      | 26              | 26        | 98           |
| Uso de Memória (Mb) | 970             | 949       | 977          |
| Tempo (s)           | 75              | 50        | --           |

Tabela 5.2. Resultados de consumo de recursos no segundo ensaio computacional, para os dois algoritmos: A\* e Dijkstra.

| <b>Etapas da ensaio</b>     | <b>A*</b>        |                       | <b>Dijkstra</b>  |                       |
|-----------------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
|                             | <b>Tempo (s)</b> | <b>Uso de CPU (%)</b> | <b>Tempo (s)</b> | <b>Uso de CPU (%)</b> |
| Parte 1: obtenção de dados  | 29               | 60                    | 25               | 57                    |
| Parte 2: obtenção de linhas | 120              | 32.5                  | 124              | 34,5                  |
| Duração da operação (s)     | 145              | 28.5                  | 155              | 28,5                  |

#### 5.4.2 Simulação da precisão do sensor de posição

Foram feitas provas de posicionamento aplicando uma função aleatória para mudar a posição real do robô gerando um erro entre 0-25 cm ao redor de cada ponto de posicionamento, e foi calculada a percentagem de erro na comparação com o erro zero para a posição ideal. O objetivo foi medir o tempo do atraso para atingir o ponto, segundo a magnitude do erro. A Tabela 5.3 mostra a média dos resultados com cinco medições para cada ensaio.

Na Tabela 5.3 é mostrado o atraso em tempo para atingir o ponto de destino segundo a oscilação, ao redor do mesmo ponto, dependendo do erro radial de posicionamento. Além da

oscilação na simulação, é mostrado que o tempo aumenta consideravelmente para um erro superior a 10 cm. Ou seja, entre 0-10 cm de erro de posicionamento o tempo de atraso para atingir o ponto procurado precisa só de uns sete segundos adicionais no máximo; entretanto para os erros de posição entre 10-25 cm, o atraso está entre 8 e 40 s, o que é um erro considerável para cada parada na estação de dosagem. Isso permite estabelecer que o erro aceitável na prática deve ser menor aos dez centímetros para fazer uma correção usando sensores de posição suficientemente confiáveis. A Tabela 5.3, mostra o rendimento em cada um dos casos, baseado em 100% quando o erro é zero.

Tabela 5.3. Tempos de execução e rendimento dos algoritmos variando o erro radial de posicionamento em centímetros na simulação dos tempos de atraso para atingir o ponto procurado.

| <b>Erro<br/>(cm)</b> | <b>Dijkstra<br/>(s)</b> | <b>Rendimento<br/>(%)</b> | <b>Floyd<br/>(s)</b> | <b>Rendimento<br/>(%)</b> | <b>A*<br/>(s)</b> | <b>Rendimento<br/>(%)</b> |
|----------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
| 0                    | 27,56                   | 100                       | 27,51                | 100                       | 27,44             | 100                       |
| 5                    | 27,93                   | 98,67                     | 27,88                | 98,67                     | 27,83             | 98,59                     |
| 10                   | 35,36                   | 77,94                     | 33,75                | 81,51                     | 34,48             | 79,58                     |
| 15                   | 51,8                    | 53,20                     | 44,47                | 61,86                     | 38,23             | 71,77                     |
| 20                   | 52,28                   | 52,71                     | 55,46                | 49,60                     | 50,23             | 54,62                     |
| 25                   | 73,85                   | 37,31                     | 79,37                | 34,66                     | 77,89             | 35,22                     |

## 5.5 Protótipo de robô na escala reduzida

Para validação de funcionamento foi construído um robô em escala reduzida com recursos comerciais próprios procurando que fosse compacto, eficiente e precisasse da menor quantidade de sensores possível. Foi construído com componentes do kit educacional Mindstorm NXT® 2.0 com uma bússola (sensor de compasso magnético) e uma câmera NXT Cam-v3.

A Fig. 5.7 mostra o sensor tipo bússola que mede o campo magnético da terra e entrega um valor entre 0 e 359 graus (esquerda) e a câmera NXT Cam-v3, que possui um sistema de visão com processamento da imagem em tempo real com a capacidade de detecção e seguimento das linhas ou dos objetos de até oito cores diferentes.



Figura 5.7. Sensor comercial tipo bússola (esquerda) e Câmera NXT Cam-v3 (direita).

### 5.5.1 Navegação

Para navegação pelo cenário, foram utilizados dois sensores para orientação do robô: um sensor bússola utilizado para fazer giros de 90 graus. Quando é conhecida a posição inicial, giram-se os motores até quando a leitura instantânea for igual a leitura final desejada. Para isso, foi utilizado um controle Proporcional (P) para minimizar os erros de posição. A Fig. 5.8 mostra o robô completo incluindo um sistema de roda livre utilizado como terceiro e quarto ponto de apoios do robô.

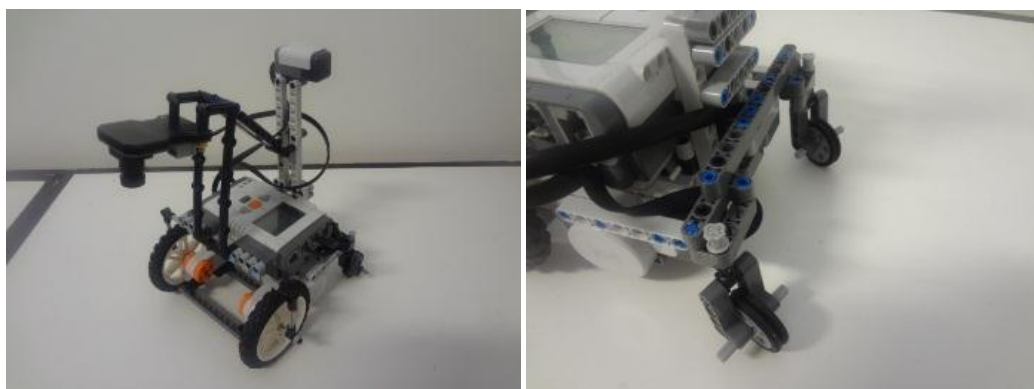


Figura 5.8. Robô utilizado com um sistema de roda livre na parte traseira.

Este controlador foi desenvolvido usando a leitura de um sensor compasso ou bússola. O erro é a diferença entre a posição procurada e a leitura atual; estabelecendo a fórmula de correção do controlador como mostra a Eq. 5.9:

$$CORR = K_P * ERRO \quad (5.9)$$

O valor da correção é somado ou restado da potência dos motores para corrigir o posicionamento, com uma constante  $k_p$  de 0.3333 obtida da caracterização dos motores utilizados. Os motores giram em sentidos opostos para que o robô realize a curva girando sobre seu próprio centroide. A câmera é usada para guiar o robô usando os marcadores existentes no cenário. A câmera diferencia o marcador como uma caixa retangular e retorna as coordenadas A, B, C, D desde os limites da cultura em direções de comprimento e largura, para dimensionar a caixa de posicionamento da câmera conforme mostrado na Fig. 5.9.

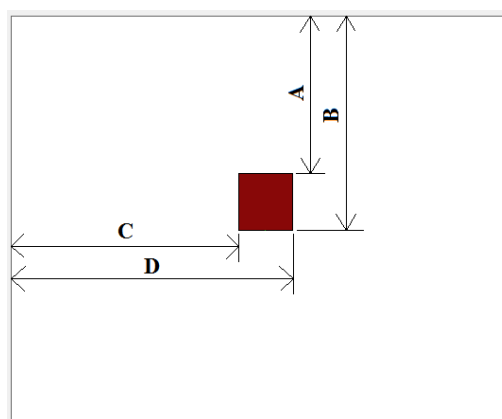


Figura 5.9. Coordenadas de posicionamento do marcador vermelho pela câmera no retângulo básico.

Por meio das distâncias mostradas pela câmera, é possível calcular as distâncias do centro do retângulo até o borde de referência da esquerda. Sendo assim, é possível comparar a posição instantânea do centro do retângulo com a posição ideal desse quadrado. A posição ideal é quando o robô é posicionado perfeitamente alinhado com a linha da cultura, ou seja, deslocando-se em linha reta. Neste código foi usado um controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para minimizar os erros da trajetória, que foi desenvolvido usando a leitura da câmera “NXT Cam”. A câmera retorna os valores das distâncias “A”, “B”, “C” e “D” mostradas na Fig. 6.9, com as quais é calculado o centro do quadrado vermelho da Fig. 5.9. O erro no eixo X é a diferença entre a posição procurada ou centro do quadrado vermelho e a posição atual do quadrado dentro do retângulo aplicando a correção pela equação mostrada abaixo:

$$CORR = K_p * ERRO + K_i * INTEGRAL + K_d * DERIVATIVO \quad 5.10)$$

Onde:

$$INTEGRAL = INTEGRAL + ERRO \quad (5.11)$$

e:

$$DERIVATIVO = ERRO - LASTERRO \quad (5.12)$$

O valor da correção é adicionado ou subtraído da potência dos motores com as seguintes constantes:  $k_p=5.0$ ;  $k_I= 0.1$  e  $k_D= 10.0$ . Além de guiar o robô pelo cenário, a câmera também é utilizada para contar o número de marcadores que foram percorridos durante o deslocamento.

Para o robô seguir uma trajetória específica, foi desenvolvido um código que faz o robô se deslocar por quantos marcadores sejam necessários, a quantidade de curvas estabelecidas pela rota a seguir no cenário, e suas posições e orientações inicial e final até atingir o destino procurado. Desta forma, para a aplicação real é representado o “layout” da cultura, os pontos inicial e final e a presença de obstáculos. Com estas informações é calculada a rota a seguir pelo robô. As Figuras. 5.11 até 5.13 mostram passo por passo as etapas da prova experimental que o robô seguiu para se deslocar desde a posição inicial até o destino como mostrado na Fig. 5.10.

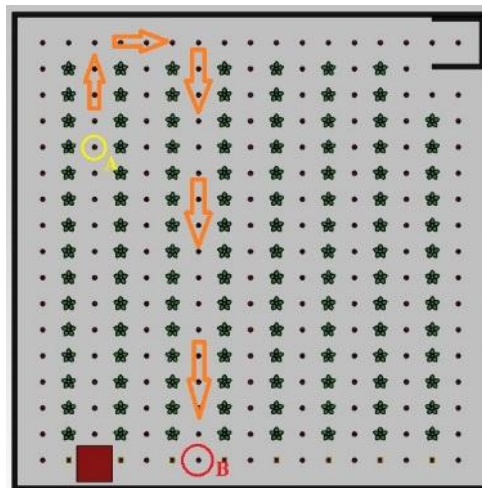


Figura 5.10. Exemplo de trajetória do robô no deslocamento das provas no cenário. (A) Ponto inicial (amarelo), (B) ponto final (vermelho), rota a seguir (setas laranja) e obstáculo (quadrado vermelho).

Para seguir a rota da Fig. 5.10, o robô deve avançar desde a posição inicial, quatro marcadores em linha reta, girar 90 graus à direita, seguir outros quatro marcadores em linha reta, girar novamente 90 graus à direita e seguir os dezesseis marcadores faltantes em linha reta para atingir o destino. Na aplicação real em culturas de batata ao invés dos marcadores estarão

as plantas de batata.

Para o desenvolvimento do código, foi dividido o cenário em uma matriz onde cada posição tem duas coordenadas e o robô pode estar orientado de quatro formas: Norte, Sul, Leste e Oeste. Sabendo as coordenadas e orientações onde está o robô e do ponto de destino, só precisa seguir as etapas conforme na seção 5.4.2

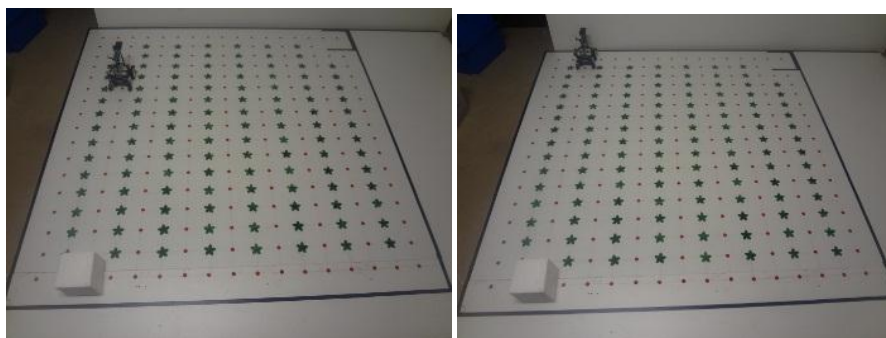


Figura 5.11. Robô na posição inicial ou ponto A (esquerda) e avança quatro marcadores (direita).

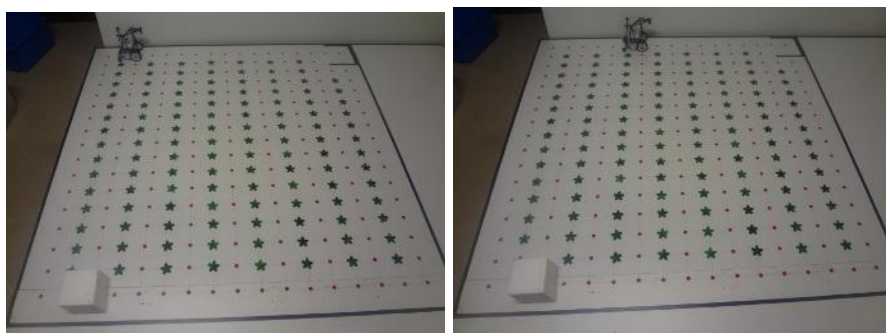


Figura 5.12. O robô gira 90 graus à direita (lado esquerdo) e avança quatro marcadores novamente (lado direito).

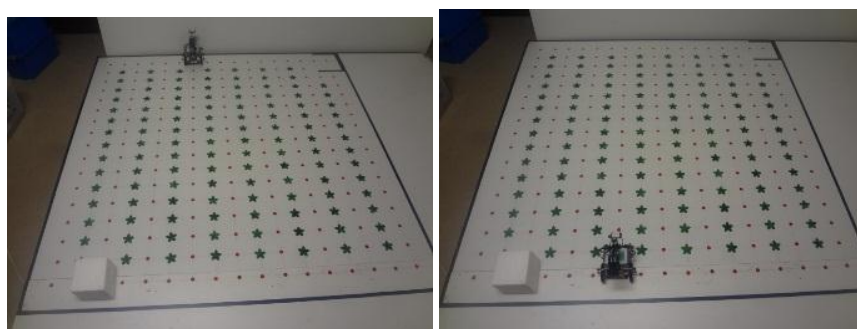


Figura 5.13 O robô gira 90 graus novamente na direção horária (lado esquerdo) e avança os outros dezesseis marcadores para atingir seu destino (lado direito).

### 5.5.2 Geração da trajetória com Algoritmo A\* (A estrela).

Nas Figuras. 5.11 até 5.13, foi mostrado como o robô faz para atingir um destino seguindo uma rota. Porém, deve-se estabelecer como é calculada a rota desde o ponto inicial até o ponto de destino. Para calcular o caminho ótimo, ou seja o melhor caminho entre os dois pontos, foi utilizada uma adaptação do algoritmo A\* (LESTER, 2005).

O algoritmo A\* foi desenvolvido baseado no algoritmo de Dijkstra. Está suportado no uso de um gráfico ponderado, onde mediante o uso de etiquetas ou “frames” é possível calcular a rota mínima entre dois pontos. Além disso, incorpora informação heurística para obter de forma eficiente o caminho desejado. A Fig. 5.14 mostra um fluxograma de funcionamento do algoritmo A\*.

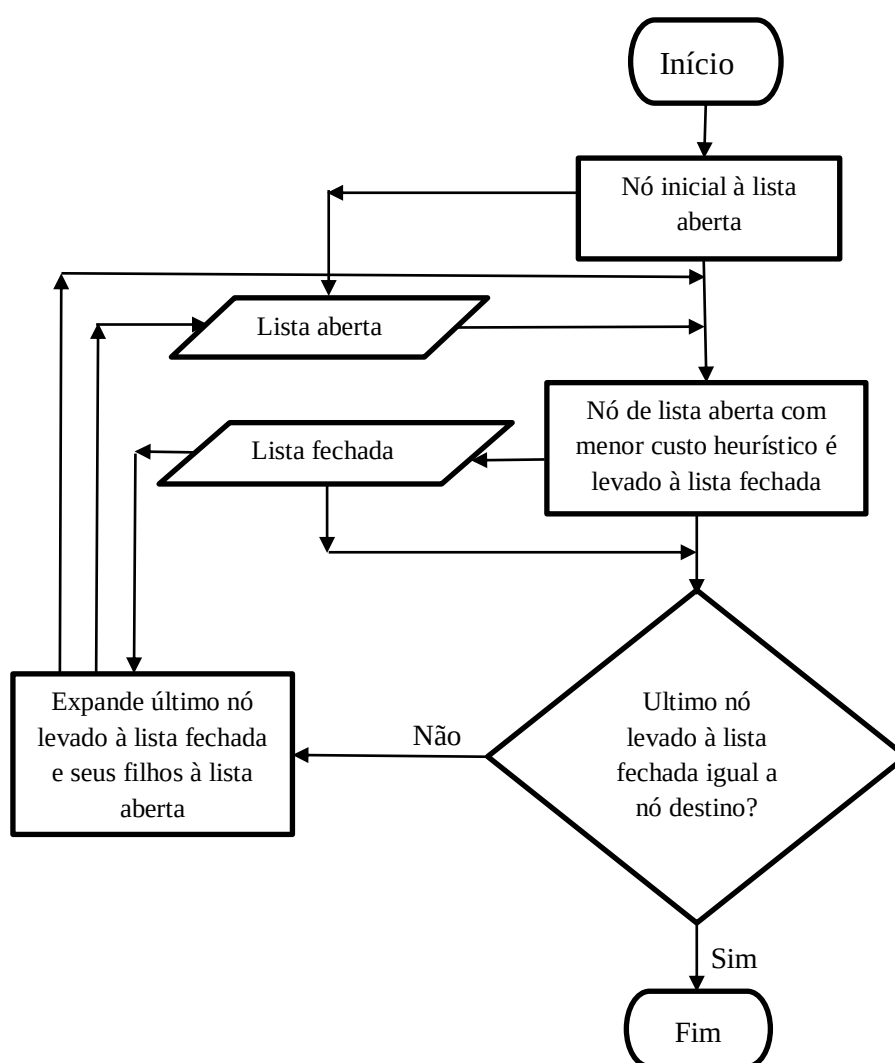


Figura 5.14. Fluxograma de funcionamento do algoritmo A\*.

Para o caso da plantação de batata, o cenário foi tratado como uma matriz de dezessete linhas por dezessete colunas, segundo a Fig. 5.15. Na matriz da Fig. 5.15, o número um (1) representa um ponto onde se localiza uma planta de batata, o número zero (0), representa os marcadores do caminho transitável, o número seis (6) representa o obstáculo que pode se colocar em quaisquer posição desejada, apenas alterando sua posição no programa. O número dois (2) representa a parede do local de recarga da bateria do robô, o número quatro (4) indica a posição inicial do robô e o número cinco (5) o ponto de destino.

Quando o algoritmo é executado, é obtida uma sequência de pontos ou caminho de mínimo custo para ir de quatro (4) até cinco (5), como mostrado na Fig. 5.16. Nesta mesma figura, o número três (3) representa os marcadores das posições sucessivas de passo pelo robô. Ou seja, o caminho ótimo. A figura mostra que se não tivesse obstáculo (ponto 6), a menor rota seria indo pela parte inferior da matriz, mas como o caminho está fechado, a rota de menor custo é a representada na Fig. 5.16.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.15. Matriz exemplo de representação do cenário da cultura de batata.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 |
| 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 5.16. Matriz exemplo do cenário com a rota calculada entre os pontos 4 e 5 representada pelo número três (3).

### 5.5.3 Testes de posicionamento com robô na escala reduzida.

Para fazer validação de posicionamento do robô em campo, segundo a distribuição dos pontos de controle de deslocamento gerados pela aplicação programada em Matlab®, se decidiu

construir um robô na escala reduzida de 1:3, seguindo a geometria dos veículos tipo ROVER desenvolvidos na Europa (THUEER, 2006), para operação no espaço. Este veículo com características de projeto para se deslocar em qualquer tipo de terreno é apropriado para fazer testes e a validação, para depois construir o protótipo em escala real.

Para a construção desse protótipo, foi estabelecido o seu deslocamento com roda de esteira para terreno irregular, mais duas rodas livres atrás, podendo se deslocar pela cultura sem estragar as plantas. Sua estrutura principal foi desenhada em alumínio pelas propriedades mecânicas e a resistência à corrosão. O protótipo foi construído num perfil comercial deste material pela importância da rigidez como mostrado na Fig. 5.17.



Figura 5.17. Protótipo de veículo construído na escala de 1:3 para validação do sistema de deslocamento e controle.

Para o sistema de controle foram usados sensores de ultrassom, sensor de cor, GPS digital, uma bússola eletromagnética ou compasso, e um acelerômetro usado como sensor da inclinação com dois motores para movimentar as esteiras e um controlador NXT® programável também com software Labview®. Estas características vão ser detalhadas num capítulo posterior. A pista inicial de testes construída tem 1,66 m de largura por 4 m de comprimento em piso rígido, e depois foi reproduzida em esteira sintética, com a representação das linhas da cultura e as posições das plantas diferenciadas das estações de dosagem como mostrado na Fig. 5.18. Isto para medir os pontos de controle de deslocamento e fazer os testes de posicionamento com estradas de 0,34 m de largura.

Na pista, o marco geral é a representação dos limites da cultura usada para testes do programa de seguimento da linha, desenvolvido para fazer o mapeamento dos limites da cultura

usando o equipamento dGPS para gerar arquivos de dados no controlador NXT®. As linhas amarelas internas representam as linhas da cultura com pontos brancos que representam as plantas e pontos pretos que representam as estações de dosagem segundo a imagem direita da Fig. 5.18.

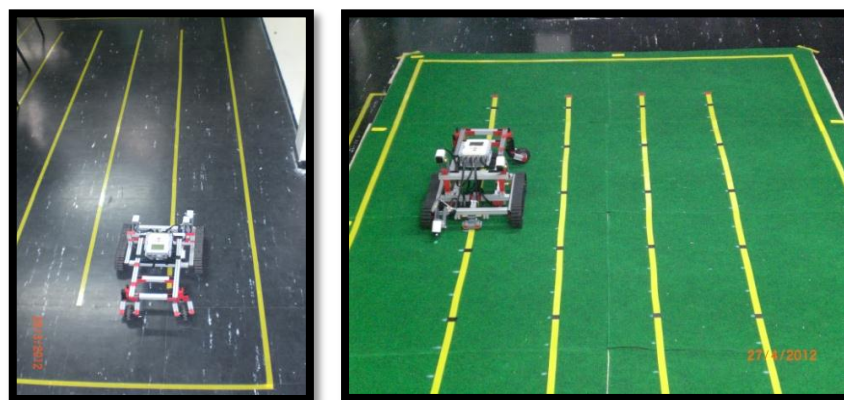


Figura 5.18. À esquerda está uma fotografia da pista em piso rígido e à direita a pista reproduzida na esteira sintética para testes de controle de deslocamento e posicionamento dentro da área da cultura.

**Mapeamento dos limites da cultura.** Este processo como foi dito no capítulo anterior, se faz com o robô seguindo uma linha de cor. Para testar o programa desenvolvido em Matlab®, foi construída uma pista em escala reduzida de 1:3 nos laboratórios da Universidade de La Salle na Colômbia, onde foram realizados testes de funcionamento e calibração dos sensores de cor (primeiro um e ao final com dois) até se garantir o funcionamento apropriado. Após do seguimento da linha, foram colocados dois sensores de ultrassom na frente do veículo, um de cada lado, para detecção dos obstáculos desconhecidos. Os sensores foram provados e calibrados para uma distância mínima de 20 cm entre o veículo e o objeto. Quando o objeto é detectado por um sensor, pode se eludir, mas quando é detectado pelos dois sensores ele envia um sinal de alarme por se encontrar na exploração de um ambiente desconhecido. A Fig. 5.19, mostra duas imagens deste processo.

**Posicionamento do robô segundo a trajetória.** Após a calibração dos sensores e do funcionamento do programa de mapeamento dos limites, foi programada em Labview® outra aplicação para desenvolver o seguimento das trajetórias ao interior da área da cultura. O programa faz o deslocamento do robô para se posicionar seguindo as trajetórias estabelecidas. Para isso, foram mapeadas as vinte posições possíveis na pista de teste do laboratório e com o

sensor de bússola ou compasso e os encoders dos motores foi provado o sistema de posicionamento suportado em orientação (graus) e posição X, Y.



Figura 5.19. Imagens do processo de seguimento da linha de cor. Do lado esquerdo é mostrada a calibração do sensor de cor, no centro, testes com um sensor de cor e na direita os testes com dois sensores de cor.

O programa lê a direção inicial onde está dirigida a bússola e compara com o vetor de dados recebido do sistema de geração de trajetórias. Segundo o signo da comparação não diferença, gira em sentido horário ou anti-horário procurando o menor. Fazendo testes iniciais foi estabelecido funcionamento do motor com potência média (50%) e com uma constante proporcional à diferença em graus de 0,33 para maior precisão de posicionamento segundo a caracterização dos motores. Essa constante proporcional foi obtida da correção do erro medido inicialmente. Após desenvolvido o programa aplicativo, foram realizados vários ensaios para medir a precisão de posicionamento na pista. Os dados da trajetória foram provados no laboratório com rede Bluetooth pelo tamanho do laboratório, mas na prática vão ser enviados por rede Zig-bee.

A Fig. 5.20 mostra uma parte da janela de computador em Labview® das coordenadas dos pontos de trajetória e dos indicadores de posição para as provas. As posições são digitadas no computador para os testes pela capacidade do controlador NXT® que não pode receber o arranjo de dados e continuar o deslocamento. Os dados são digitados na janela e o computador vai enviando cada posição ao controlador pela rede de comunicação sem fio quando alcançar a última posição. Na aplicação real, isso pode ser trocado pela leitura das matrizes de dados de trajetória e seu armazenamento em um arranjo de dados no Labview®. O controle ON/OFF do canto superior direito da janela é para simulação do sinal de início e fim do processo de deslocamento que, vai ser dada pela recepção da trajetória e mais tarde a solicitação de uma

nova trajetória quando acabar. Na esquerda da figura é mostrada a tabela de coordenadas X, Y e a orientação dos pontos de trajetória e na direita os indicadores da janela quando alcançar os pontos. Na aplicação, também foram incluídos indicadores da posição, de orientação e da inclinação medida com o acelerômetro (inclinômetro) para incrementar a potência dos motores quando a inclinação é maior a 10 graus na direção de deslocamento.

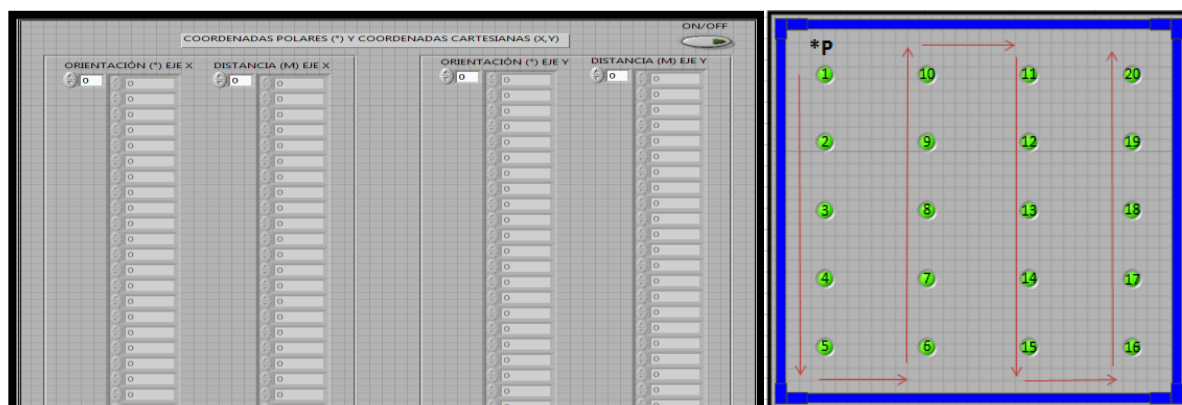


Figura 5.20. Imagens de parte da janela em Labview da aplicação para ensaios de posicionamento do robô.

Após a programação e calibração do programa segundo a pista de testes do laboratório, fizeram-se provas de medição da precisão de posicionamento e foi calculado o erro para esses vinte pontos da pista. Essas provas foram desenvolvidas segundo o planejamento estatístico com cinco repetições de cada medida, no mínimo, e calculando a média para fazer uma estimativa dos erros de posicionamento. Na Tabela 5.4 é mostrado o resumo de cálculo dos erros de posicionamento e na Fig. 5.21 são apresentados os resultados do erro parcial de posicionamento para cada uma das direções e do erro total (ET).

Os erros foram calculados com uma média de cinco repetições em cada ponto segundo a Eq. 5.13:

$$ET = \sqrt{Epx^2 + Epy^2} \quad (5.13)$$

Onde:

$ET$  = Erro total da posição [m].

$Epx$  = Erro na direção X [m]

$Epy$  = Erro na direção Y [m]

E os erros em cada uma das direções são calculados pelas Eq. 5.14 e 5.15:

$$E_{px} = P_x - P_{xm} \quad (5.14)$$

$$E_{py} = P_y - P_{ym} \quad (5.15)$$

Onde:

$P_x$  = Coordenada X da posição de referência

$P_y$  = Coordenada Y da posição de referência

$P_{xm}$  = Média da coordenada X medida

$P_{ym}$  = Média da coordenada Y medida.

Tabela 5.4. Estimativa dos erros de posicionamento do robô seguindo uma trajetória na pista do laboratório.

| Ponto  | Ponto de      | Prova           |                 | Prova           |                 | Prova           |             | Prova           |  | Prova          |  | Média |  | Erro |  | Erro       |
|--------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|--|----------------|--|-------|--|------|--|------------|
| Numero | (m)           | Experimental 1  |                 | Experimental 2  |                 | Experimental 3  |             | Experimental 4  |  | Experimental 5 |  |       |  |      |  | Total - ET |
|        | Px [m] Py [m] | Px1 [m] Py1 [m] | Px2 [m] Py2 [m] | Px3 [m] Py3 [m] | Px4 [m] Py4 [m] | Px5 [m] Py5 [m] | Pxm Pym     | Epx [m] Epy [m] |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 1      | 0,620 0,320   | 0,620 0,300     | 0,600 0,330     | 0,620 0,320     | 0,620 0,330     | 0,620 0,320     | 0,616 0,320 | 0,004 0,000     |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 2      | 1,220 0,320   | 1,220 0,300     | 1,220 0,325     | 1,220 0,330     | 1,220 0,320     | 1,220 0,321     | 1,220 0,319 | 0,000 0,001     |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 3      | 1,820 0,320   | 1,820 0,310     | 1,820 0,320     | 1,820 0,325     | 1,810 0,320     | 1,810 0,330     | 1,816 0,321 | 0,004 -0,001    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 4      | 2,420 0,320   | 2,400 0,315     | 2,410 0,305     | 2,410 0,310     | 2,410 0,310     | 2,410 0,335     | 2,408 0,315 | 0,012 0,005     |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 5      | 3,020 0,320   | 3,000 0,300     | 3,000 0,300     | 3,000 0,315     | 3,020 0,305     | 3,020 0,340     | 3,008 0,312 | 0,012 0,008     |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 6      | 3,020 0,620   | 3,010 0,620     | 3,020 0,620     | 3,020 0,610     | 3,020 0,620     | 3,020 0,640     | 3,018 0,622 | 0,002 -0,002    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 7      | 2,420 0,620   | 2,420 0,650     | 2,420 0,650     | 2,420 0,640     | 2,420 0,660     | 2,420 0,630     | 2,420 0,646 | 0,000 -0,026    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 8      | 1,820 0,620   | 1,810 0,640     | 1,820 0,650     | 1,810 0,640     | 1,810 0,650     | 1,810 0,620     | 1,812 0,640 | 0,008 -0,020    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 9      | 1,220 0,620   | 1,200 0,630     | 1,200 0,640     | 1,220 0,660     | 1,220 0,650     | 1,220 0,610     | 1,212 0,638 | 0,008 -0,018    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 10     | 0,620 0,620   | 0,600 0,630     | 0,600 0,650     | 0,600 0,680     | 0,600 0,640     | 0,600 0,600     | 0,600 0,640 | 0,020 -0,020    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 11     | 0,620 0,920   | 0,620 0,950     | 0,620 0,925     | 0,620 0,930     | 0,620 0,940     | 0,620 0,920     | 0,620 0,933 | 0,000 -0,013    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 12     | 1,220 0,920   | 1,220 0,935     | 1,220 0,920     | 1,220 0,920     | 1,220 0,930     | 1,220 0,915     | 1,220 0,924 | 0,000 -0,004    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 13     | 1,820 0,920   | 1,810 0,925     | 1,810 0,910     | 1,810 0,925     | 1,820 0,920     | 1,820 0,910     | 1,814 0,918 | 0,006 0,002     |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 14     | 2,420 0,920   | 2,410 0,890     | 2,410 0,920     | 2,410 0,930     | 2,420 0,925     | 2,420 0,920     | 2,414 0,917 | 0,006 0,003     |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 15     | 3,020 0,920   | 3,040 0,900     | 3,040 0,890     | 3,020 0,880     | 3,020 0,910     | 3,020 0,930     | 3,028 0,902 | -0,008 0,018    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 16     | 3,020 1,220   | 3,000 1,220     | 3,000 1,210     | 3,010 1,220     | 3,020 1,220     | 3,020 1,230     | 3,010 1,220 | 0,010 0,000     |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 17     | 2,420 1,220   | 2,410 1,230     | 2,410 1,220     | 2,420 1,240     | 2,410 1,240     | 2,410 1,220     | 2,412 1,230 | 0,008 -0,010    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 18     | 1,820 1,220   | 1,810 1,260     | 1,810 1,240     | 1,820 1,230     | 1,820 1,260     | 1,820 1,240     | 1,816 1,246 | 0,004 -0,026    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 19     | 1,220 1,220   | 1,220 1,270     | 1,220 1,260     | 1,220 1,270     | 1,220 1,260     | 1,220 1,260     | 1,220 1,264 | 0,000 -0,044    |  |                |  |       |  |      |  |            |
| 20     | 0,620 1,220   | 0,600 1,280     | 0,600 1,280     | 0,610 1,280     | 0,620 1,270     | 0,620 1,280     | 0,610 1,278 | 0,010 -0,058    |  |                |  |       |  |      |  |            |

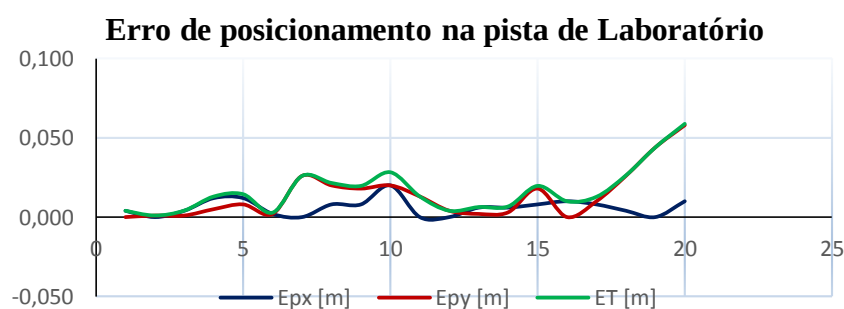


Figura 5.21. Resultados do erro parcial de posicionamento para cada uma das direções ( $E_{px}$ ,  $E_{py}$ ) e do erro total (ET).

O comportamento geral do robô nos testes foi além da rigidez apropriada da estrutura em alumínio utilizado, mas foram identificados alguns problemas que influem na precisão final, como a calibração dos sensores, necessária antes do processo, e com frequência além da calibração dos sensores de cor antes de fazer o mapeamento dos limites. Os sensores de ultrassom, às vezes, apresentam erros na leitura pelos chamados sinais fantasmas de reflexão em superfícies no fundo.

A comunicação sem fio não apresentou nenhum problema na transmissão dos dados entre o computador e o controlador, mas a distância foi inferior a dez metros, porém o sistema é viável para aplicar outro sistema de comunicação e fazer a integração com os outros sistemas do veículo através da programação.

O maior erro de deslocamento foi de 0.059 m de distância no último ponto. Os últimos pontos mostram um aumento do erro, o que sugere um novo ajuste do sistema de controle possivelmente por um erro cumulativo, mas ainda pode ser corrigido. Isso mostra que o sistema tem precisão de 0 até 6 centímetros para o posicionamento na cultura.

## CAPÍTULO VI

### SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SEM FIO E SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS

#### 6.1 Sistema de comunicação sem fio

Para a validação de funcionamento foi construído um robô em escala reduzida, e por se tratar de uma aplicação móvel em campo aberto, é necessária a comunicação sem fio usando frequências livres para diminuir custos. Os sistemas, segundo as normas da Resolução 689 de 2004 do “*Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia*” estão as seguintes frequências:

902-928 MHz

2400-2483,5 MHz

5150-5250 MHz

5250-5350MHz

5470-5725MHz

5725-5850MHz

O sistema aberto é útil na faixa de frequências de 2400-2483,5 MHz que é de maior uso na indústria. O sistema de planejamento de trajetórias deve ser compatível com o equipamento usado. Neste caso, para culturas de tamanho entre uma e três hectares é necessário a comunicação apropriada para uma distância mínima de 300 m em linha de visão. Em geral, a comunicação serial e a comunicação TCP/IP são arquiteturas compatíveis com as tecnologias sem fio comerciais e também são as de maior uso; o que faz com que seja recomendável trabalhar com elas, devido à compatibilidade, além do baixo custo e da facilidade de aplicação. A Fig. 6.1, mostra a estrutura geral do sistema de comunicação. Um computador principal remoto para o processamento da informação e do veículo, ambos ligados a um dispositivo de

transmissão-recepção sem fio; para garantir a distância de separação que requer a aplicação na cultura, além da transmissão da mínima quantidade de informação possível. Isso confere maior autonomia ao veículo e precisa de um controlador menor.



Figura 6.1. Arquitetura de comunicação sem fio utilizada: um dispositivo transmissor-receptor ligado ao computador, além de um dispositivo ligado ao veículo.

Por se tratar de uma aplicação móvel, as características de comunicação devem levar em consideração as condições de distribuição da cultura, as distâncias de comunicação segundo a rede, a potência e o consumo de energia, entre outros fatores. As redes sem fio de maior aplicação são de tipo Rádio Frequência (RF), comunicação celular GPRS, comunicação Zig-bee de última geração e comunicação wi-fi de muita aplicação na agricultura de precisão pelas grandes distâncias suportadas.

O sistema de comunicação foi escolhido procurando as características destes sistemas comerciais, levando em consideração que um sistema móvel, deve ter baixo consumo de energia, com máxima distância de transmissão, para frequência de 2,4 Mhz com máxima potência de transmissão e o menor custo possível. Depois da análise de diferentes sistemas mostrados na Tabela 6.1, foi selecionada a transmissão por rádio frequência, especificada a seguir:

A conexão do equipamento pode ser pela porta serial ou RS-232 ou USB com transmissão por rádio frequência (RF), Wi-fi, ou Zig-Bee. Foi escolhida a configuração tipo Módulo RF Xbee pro de configuração onidirecional, com alcance máximo de até 4 km na linha de visão, viável nas culturas de até 10 hectares ou mais, sendo seu funcionamento nas frequências livres na banda de 2,4 GHz e seu gasto energético baixo, além de menor custo comercial. Na prática, é necessário fazer teste de operação no campo já que a literatura reporta bom funcionamento em espaços fechados e pequenos, mas grandes perdas nos espaços abertos.

Tabela 6.1. Características dos dispositivos de comunicação comerciais sem fio.

| <b>Classe</b>                  | <b>Módulos RF</b> | <b>Modems GPRS</b> | <b>Raio modems</b>                  | <b>Routers sem fio</b> |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|------------------------|
| <b>Banda</b>                   | 2,4 Ghz           | 900-1800 Mhz       | 902-928 Mhz                         | 2,4 GHz                |
| <b>Largura de banda Max.</b>   | 40-250 Kbps       | 115-180 kbps       | 57,6 -115.2 kbps                    | 450 Mbps               |
| <b>Taxa de dados seriais</b>   | 115.5 kbps        | 0.3 - 115kbps      | 1.2 -115.2 kbps                     | Ethernet               |
| <b>Distância Max</b>           | 4 Km              | Global             | Até 32km                            | Segundo a antena       |
| <b>Potência de saída</b>       | 60 - 100mW        | 1W - 2W            | 100 mW - 1W                         | 100 mW                 |
| <b>Ganho</b>                   | 18 - 20 dBm       | -                  | 3 - 27dBm                           | 11 - 17dBm             |
| <b>Interfase</b>               | Serial /RS232     | RS232/RS422/R S485 | RS232/RS 422/RS485                  | Ethernet               |
| <b>Sensibilidade receptora</b> | 100 dBm           | ---                | 60 -120 dBm                         | 84 - 87 dBm            |
| <b>Tensão de operação</b>      | 2,2-3,6 VDC       | 3.22 – 26 VDC      | 4,5 – 48 VDC                        | 5 - 12 VDC             |
| <b>Corrente pico</b>           | 82,5-340 mA       | 140 - 200 mA       | 80 mA / 350 mA (12V) / 250 mA (24V) | 450 - 500 mA           |
| <b>Corrente de recepção</b>    | 37/40/55 mA       | 30 mA              | 50mA (24V), 70mA (12V), 105mA       | 450- 500 mA            |
| <b>Preço</b>                   | 32 - 95 USD       | -----              | 600USD                              | 190 USD                |

Para comunicação sem fio foi escolhido um sistema de comunicação tipo Xbee com placas de referência Xbee pro S2B mostradas na Fig. 6.2 e cujas características estão na Tabela 6.2:



Figura 6.2. Placa de comunicação sem fio tipo Zig-bee da referência Xbee pro S2B.

Tabela 6.2. Características das placas Xbee ZB e Xbee pro S2B.

| REFERÊNCIA                       | XBEE ZB                | XBEE PRO S2B          |
|----------------------------------|------------------------|-----------------------|
| <b>RF data rate</b>              | 250Kbps                | 250Kbps               |
| <b>Indoor / ambiente fechado</b> | 40 m                   | 90 m                  |
| <b>Outdoor / ambiente aberto</b> | 120 m                  | 1600 m                |
| <b>Poder de transmissão</b>      | 1.25mW (+ 1dBm)        | 63mW (+ 8dBm)         |
| <b>Sensibilidade de receptor</b> | -96 dBm                | -102 dBm              |
| <b>Potencia ajustável</b>        | Sim                    | Sim                   |
| <b>Interfase E/S</b>             | 3.3V CMOS UART         | 3.3V CMOS UART        |
| <b>Método de configuração</b>    | Comandos API o AT      | Comandos API o AT     |
| <b>Banda de frequência</b>       | 2.4GH                  | Comandos API o AT     |
| <b>Interferência</b>             | DSSS                   | DSSS                  |
| <b>Rapidez de dato serial</b>    | 1200bps – 1 Mbps       | 1200bps – 1 Mbps      |
| <b>Entradas ADC</b>              | (4) 10 bit ADC         | (4) 10 bit ADC        |
| <b>Digital E/S</b>               | 10                     | 10                    |
| <b>Opções de antena</b>          | Chip, Wire, Whip, U.FL | PCB em antena         |
| <b>Temperatura de operação</b>   | -40°C a 85°C, 95% Hum  | -40°C a 85°C, 95% Hum |

Neste projeto levamos em consideração a compatibilidade, tanto do controlador industrial quanto do controlador NXT do robô protótipo. A programação da aplicação compatível foi realizada com software Labview® usando as portas VISA para conexão física com o controlador e com a base de dados. Para o controlador industrial usado, foi usado cabo de comunicação RS232.

A comunicação foi testada inicialmente entre dois computadores e com o aplicativo de computador dado pelo fornecedor comercial. Com ele, foram feitos testes tanto em ambiente fechado dentro de um prédio quanto em ambiente totalmente aberto, medindo a distância real de comunicação e de controle. A Fig. 6.3 mostra tanto a conexão do controlador NXT com a placa quanto a conexão do computador com a placa companheira.

Para provar o sistema em ambiente fechado, foram ligadas as duas placas em computadores diferentes e eles foram se separando ao interior do prédio e medindo a distância ao enviar pacotes de informação no software dado pelo fornecedor. No processo foi obtida perda parcial de informação de 32 bytes ao aumentar a distância entre os computadores. Esses dados são mostrados na Tabela 6.3. A informação começa a se perder significativamente quando é atingida uma distância de 90 metros, devido à presença das paredes, do teto e dos objetos presentes, diminuindo a comunicação até 55% de eficiência.

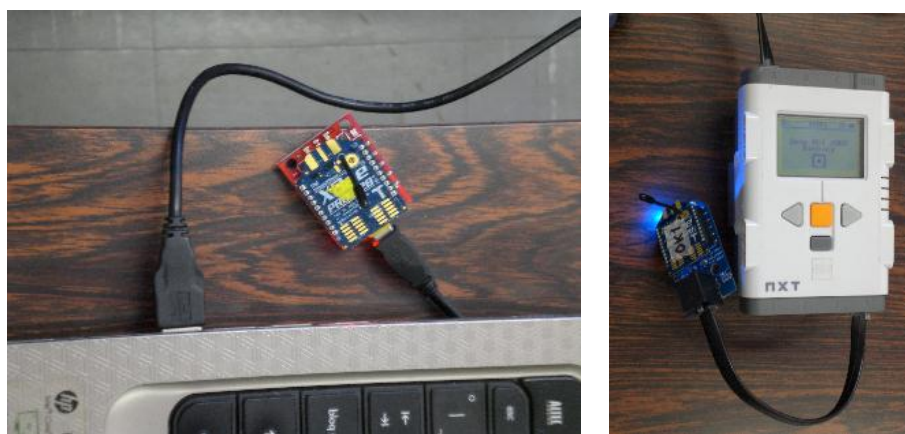


Figura 6.3. Conexão USB da placa de comunicação Xbee ao computador do lado esquerdo e a conexão com o controlador NXT®. O sistema é de aplicação simples.

Os dados das colunas da tabela correspondem aos dados mostrados pelo software na área de teste de comunicação segundo a Fig. 6.4. Os pacotes com sucesso são as mensagens representadas como boas (*Good*) na cor verde da figura, os pacotes sem sucesso são os valores representados como maus (*Bad*) na cor vermelha na figura e a percentagem é o valor calculado pelo software e representado na imagem de cor azul. O programa foi configurado para parar após o envio de 100 mensagens.

As placas trabalham muito melhor no ambiente aberto que no fechado, podendo ser separadas até uns 140 metros de distância sem perda significativa da comunicação e com

eficiência perto de 96%. O procedimento das provas foi o mesmo do ambiente fechado e os resultados são mostrados na Tabela 6.4.

Tabela 6.3. Dados dos testes de transmissão de dados no ambiente fechado com placas Xbee.

| <b>Distância<br/>(m)</b> | <b>Pacotes com<br/>Sucesso</b> | <b>Pacotes sem<br/>Sucesso</b> | <b>Eficiência<br/>(%)</b> |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 1                        | 100,0                          | 0,0                            | 100,0                     |
| 10                       | 99,0                           | 1,0                            | 99,0                      |
| 20                       | 97,0                           | 3,0                            | 97,0                      |
| 30                       | 95,7                           | 4,3                            | 95,7                      |
| 40                       | 94,2                           | 5,8                            | 94,2                      |
| 50                       | 92,7                           | 7,3                            | 92,7                      |
| 60                       | 91,2                           | 8,8                            | 91,2                      |
| 70                       | 89,7                           | 10,3                           | 89,7                      |
| 80                       | 70,5                           | 29,5                           | 70,5                      |
| 90                       | 55,0                           | 45,0                           | 55,0                      |
| 100                      | 43,0                           | 57,0                           | 43,0                      |
| 110                      | 15,3                           | 85,7                           | 15,3                      |
| 120                      | 2,0                            | 98,0                           | 2,0                       |
| 130                      | 0,7                            | 99,3                           | 0,7                       |
| 140                      | 0,2                            | 99,8                           | 0,2                       |

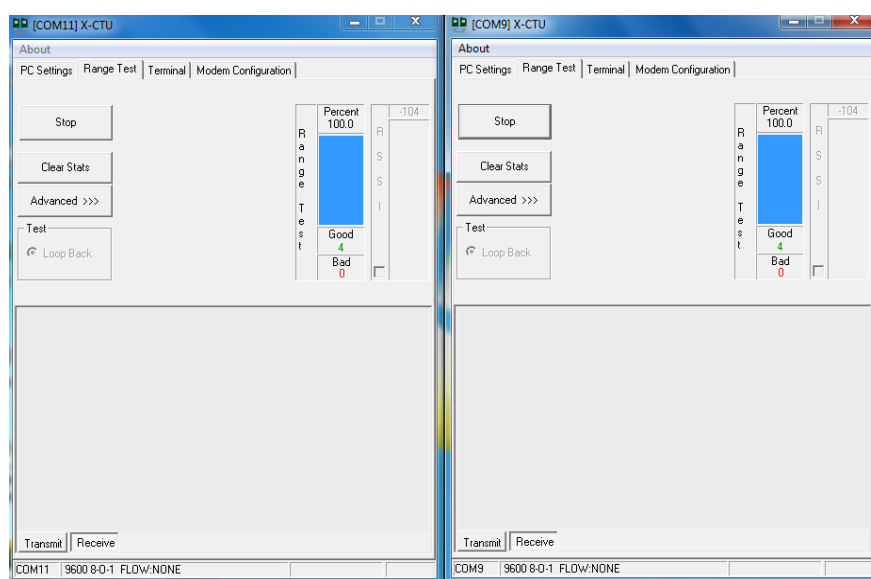


Figura 6.4. Representação dos resultados dos testes de comunicação em computador com aplicativo X-CTU®.

Outra prova fácil e rápida realizada inicialmente com este aplicativo de computador foi a de enviar mensagens de texto entre os dois computadores como mostra a Fig.6.5. Na parte esquerda é mostrada a imagem da janela de um computador com a placa Xbee ligada ao porto COM11 sendo a mensagem enviada na cor azul, e a recebida na cor vermelha. À direita é mostrada a mesma janela para outro computador ligado ao porto COM9 com a mensagem recebida na cor vermelha e a mensagem enviada na cor azul.

Tabela 6.4. Testes de transmissão de dados no ambiente aberto com placas Xbee.

| <b>Distância<br/>(m)</b> | <b>Pacotes com<br/>Sucesso</b> | <b>Pacotes sem<br/>Sucesso</b> | <b>Eficiência<br/>(%)</b> |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 1                        | 100,00                         | 0,00                           | 100,0                     |
| 10                       | 99,70                          | 0,30                           | 99,70                     |
| 20                       | 99,30                          | 0,70                           | 99,30                     |
| 30                       | 99,01                          | 0,99                           | 99,01                     |
| 40                       | 98,96                          | 1,04                           | 98,96                     |
| 50                       | 98,62                          | 1,38                           | 98,62                     |
| 60                       | 98,27                          | 1,73                           | 98,27                     |
| 70                       | 99,02                          | 0,98                           | 99,02                     |
| 80                       | 97,92                          | 2,08                           | 97,92                     |
| 90                       | 97,57                          | 2,43                           | 97,57                     |
| 100                      | 96,44                          | 3,56                           | 96,44                     |
| 110                      | 96,03                          | 3,97                           | 96,03                     |
| 120                      | 95,62                          | 4,38                           | 95,62                     |
| 130                      | 95,21                          | 4,79                           | 95,21                     |
| 140                      | 94,80                          | 5,20                           | 94,80                     |

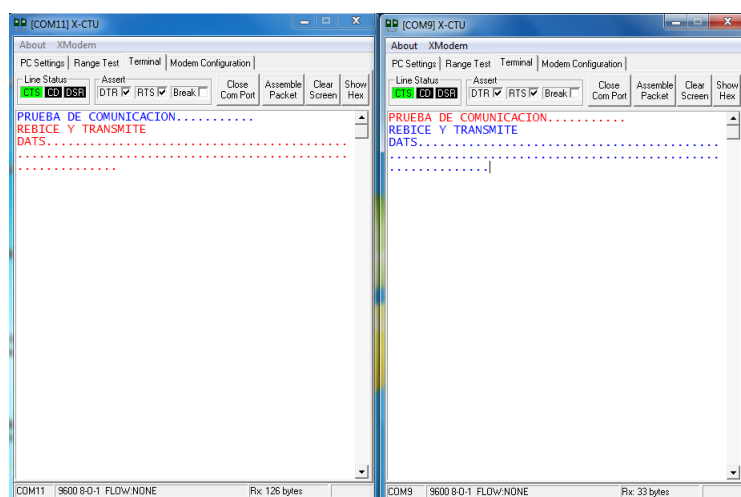


Figura 6.5. Exemplo de testes de comunicação realizados entre dois computadores com as placas de comunicação Xbee no envio e recepção de mensagens.

Após os testes com dois computadores e com o aplicativo de computador, foi verificada a máxima distância de comunicação e controle possível, ligando e desligando o motor ativado pelo controlador NXT® na distância, utilizando as placas Xbee como mostrado na Fig. 6.3, e foi medida pelo odômetro digital de um carro a máxima distância de acionamento obtida. O liga/desliga do motor foi possível até uma distância de 600 metros, mostrado na Fig. 6.6.



Figura 6.6. Testes de comunicação Xbee com acionamento remoto do motor pelo controlador NXT® no ambiente aberto.

A Fig.6.6, mostra do lado esquerdo o programa de comunicação em Labview®, no centro o controlador NXT® com a placa Xbee e o motor, e à direita a medida inicial do odômetro do carro em cima e a medida final do odômetro embaixo. A diferença marca uma distância de acionamento remoto do motor de 0,6 km.

O motor também pode ser ligado e desligado desde o computador com o programa X-CTU usando as teclas “a”, “b”, e “c” para ativar em uma direção, desligar e ligar na outra direção respectivamente, já que o programa no controlador NXT® foi criado em Labview® incluindo essas funções.

## 6.2 Sistema de aquisição e armazenamento de dados

As aplicações de aquisição e armazenamento de dados foram programadas em Labview® incluindo as variáveis mínimas do sistema de dosagem e os dados de composição base para calcular as quantidades de dosagem. Os dois sistemas de envio e recepção da informação têm comunicação RS232 tanto com o computador quanto com o controlador e não



Para a conexão da comunicação com o controlador industrial usado, foi construído o cabo de conexão RS232 segundo as conexões mostradas na tabela 6.5.

Tabela 6.5. Configuração das conexões para cabo de comunicação pelo RS232 no controlador industrial.

| TERMINAL DO CONTROLADOR |        | TERMINAL DA PLACA Xbee |        |
|-------------------------|--------|------------------------|--------|
| Conexão                 | Função | Conexão                | Função |
| 2                       | Rx     | 2                      | DOUT   |
| 3                       | Tx     | 3                      | DIN    |
| 5                       | GND    | 10                     | GND    |

### 6.2.1 Armazenamento na base de dados

Para introduzir e consultar informação na base de dados é necessária a conexão com os outros sistemas nos chamados canais de entrada, onde é identificada a natureza da variável de aquisição e após identificadas, as variáveis são encaminhadas até a base de dados. A Fig. 6.9, mostra no programa em Labview® o processo de identificação das variáveis de entrada, neste caso variáveis de tensão e o direcionamento até a base de dados após a aquisição. Estes dados armazenados podem ser solicitados para visualização em janelas, ou para criar tabelas de informação em software compatível como ACCESS ou EXCELL.

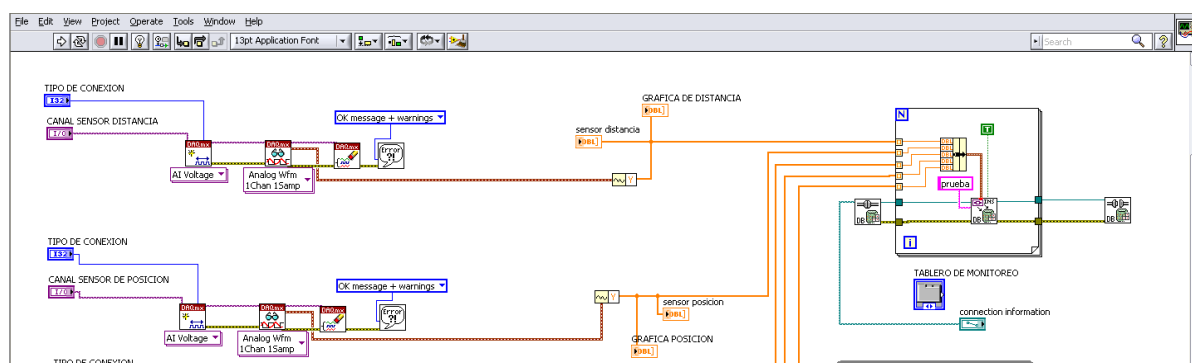


Figura. 6.9. Processo de identificação das variáveis de entrada na aquisição; e o direcionamento até a base de dados no programa Labview®.

Este processo foi testado inicialmente gerando sinais diferentes para cada sensor em um computador e enviando até a base de dados em outro computador, logo foram incluídos os

sensores. A Fig. 6.10 mostra o painel de controle em Labview® utilizado para testar os sensores de nível.

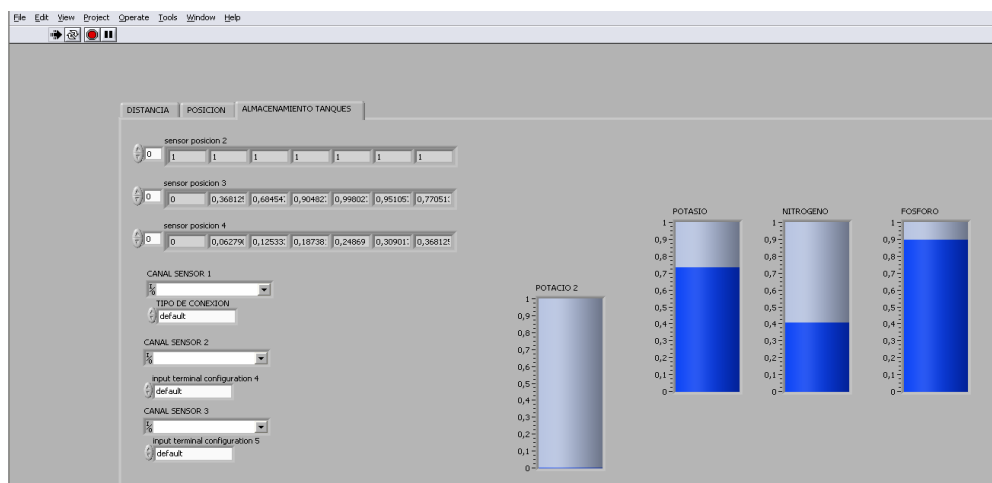


Figura 6.10. Painel de controle em Labview® utilizado para provar aquisição do sinal dos sensores de nível e seu acesso à base de dados.

### 6.2.2 Configuração da porta serial

Este programa é da maior importância já que recebe os sinais dos sensores do veículo e representa o valor da variável no sistema de monitoramento remoto. Para isso, deve ser configurada a porta de comunicação no Labview®, da mesma forma que no sistema de comunicação Xbee usando os mesmos parâmetros. Para garantir que sejam entendidos pelo Labview® se usa o bloco VISA SERIAL para conectar os programas de monitoramento e armazenamento, como mostrado na Fig. 6.11. Após sincronizados os dados pela porta serial, estes são encaminhados como arranjo por segmentos temporizados a cada 100ms, um segmento por cada sensor mais um segmento para o estado do sistema. Quando existe erro ou perda de dados, ele faz a filtração e desliga a porta até quando a comunicação voltar.

Todos os sinais são agrupados num arranjo e levados até a base de dados, saindo pela outra porta serial VISA, como mostrado na Fig. 6.12.

Finalmente, Para a simulação das trajetórias foi programada a janela de simulação de trajetórias para uma hectare, suportada na simulação realizada anteriormente. Essa janela mostra permanentemente a posição do veículo e descreve a trajetória em uma linha de cor azul, guardando na base de dados os pontos atingidos pelo veículo quando se deslocar como mostrado na Fig. 6.13.

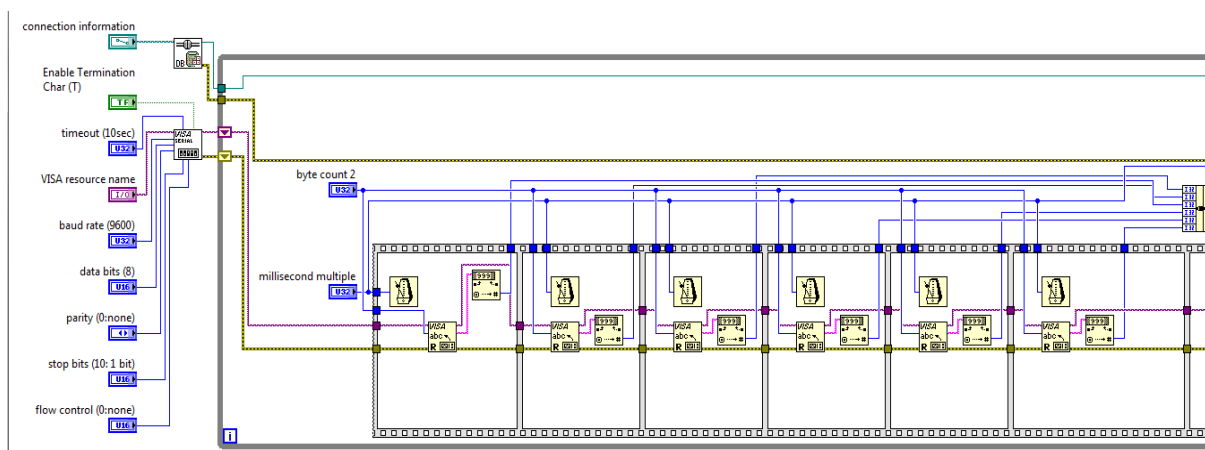


Figura 6.11. Configuração da porta VISA SERIAL no Labview® para entrada a base de dados.

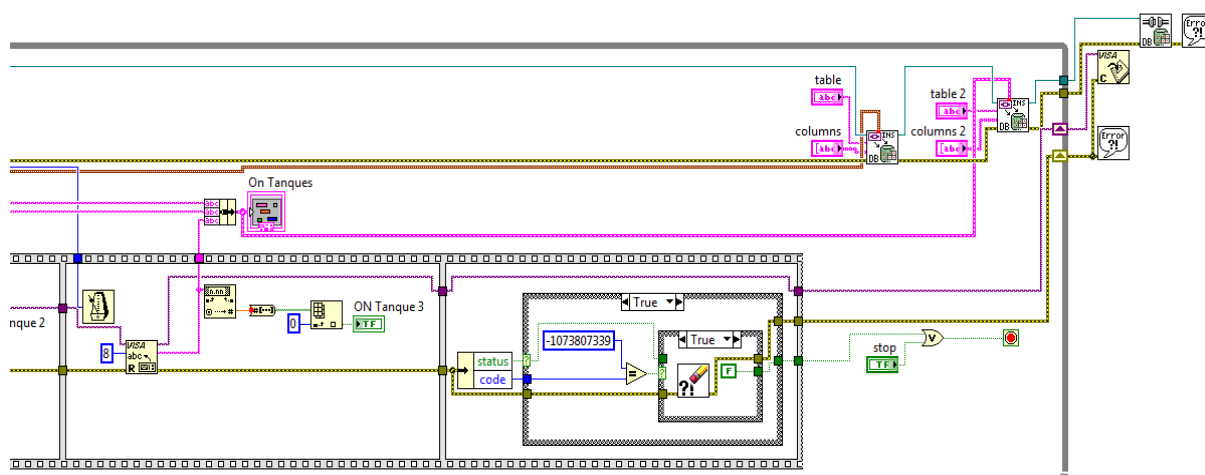


Figura 6.12. Organização da informação num arranjo de dados nas tabelas para enviar a base de dados pela porta serial VISA.

### 6.2.3 Base de dados

A base de dados é comandada pela plataforma XAMPP que significa: X para qualquer sistema operativo, A para o servidor web Apache, M com motor de base de dados MySQL, P de PHP ou linguagem de programação dirigido a web, e P de Perl ou “Practical Extracting and Reporting Language” para extração da informação de arquivos de texto e para gerar relatórios de comportamento histórico desde os arquivos na base de dados. Foi desenvolvida nessa plataforma por se tratar de aplicação GNU, ou seja, livre e para uma aplicação pequena inicialmente de instalação fácil e rápida.

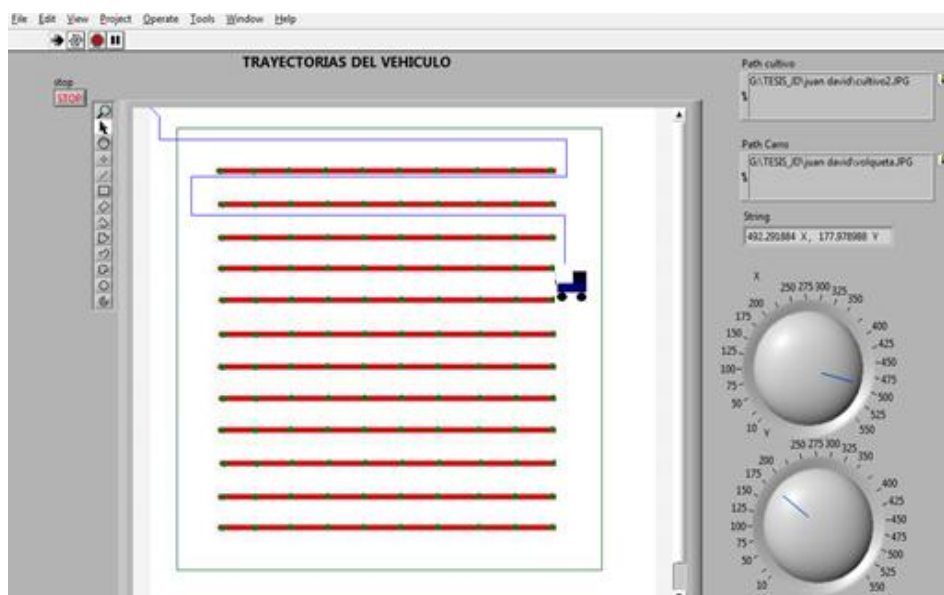


Figura 6.13. Janela de simulação de deslocamento do veículo programada em Labview para uma hectare.

A base de dados final chamada “proyecto” foi deixada aberta para modificação posterior e nas Figuras 6.14 e 6.15, são mostradas duas tabelas programadas no motor da base de dados de MySQL para posição e sistema de dosagem como exemplo.

localhost ► proyecto ► posicion

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar Exportar Importar Operaciones Vaciar Eliminar

✓ MySQL ha devuelto un valor vacío (i.e., cero columnas). ( La consulta tardó 0.0004 seg )

```
SELECT *
FROM `posicion`
LIMIT 0 , 30
```

Perfil/Perfilamiento [ Editar ] [ Explicar el SQL ] [ C...

|                          | Campo         | Tipo         | Cotejamiento | Atributos         | Nulo | Predeterminado | Extra | Acción |
|--------------------------|---------------|--------------|--------------|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| <input type="checkbox"/> | Coordenadas X | decimal(4,0) |              | UNSIGNED ZEROFILL | No   | None           |       |        |
| <input type="checkbox"/> | Coordenadas Y | decimal(4,0) |              | UNSIGNED ZEROFILL | No   | None           |       |        |

↑ Marcar todos/as / Desmarcar todos Para los elementos que están marcados:

Vista de impresión Vista de relaciones Planteamiento de la estructura de tabla ?

Añadir 1 campo(s) ☒ Al final de la tabla ☐ Al comienzo de la tabla ☐ Después de Coordenadas X Continuar

Figura 6.14. Tabelas de coordenadas de deslocamento programadas na base de dados.

localhost ▶ proyecto ▶ tanques

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar Exportar Importar Operaciones Vaciar Eliminar

✓ MySQL ha devuelto un valor vacío (i.e., cero columnas). ( La consulta tardó 0.0222 seg )

```
SELECT *
FROM `tanques`
LIMIT 0 , 30
```

☐ Perfil/Perfilamiento [ Editar ] [ Explicar el SQL ] [ Crear código PHP ]

|                          | Campo        | Tipo         | Cotejamiento | Atributos         | Nulo | Predeterminado | Extra | Acción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|------|----------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Nitrogeno(N) | decimal(2,0) |              | UNSIGNED ZEROFILL | No   | None           |       |        |
| <input type="checkbox"/> | Fosforo(P)   | decimal(2,0) |              | UNSIGNED ZEROFILL | No   | None           |       |        |
| <input type="checkbox"/> | Potasio(K)   | decimal(2,0) |              | UNSIGNED ZEROFILL | No   | None           |       |        |

⬆ Marcar todos/as / Desmarcar todos Para los elementos que están marcados:       

Figura 6.15. Tablas de sistema de dosagem programadas na base de dados.

## CAPÍTULO VII

### SISTEMA DE DOSAGEM DE ADUBOS

Neste capítulo é mostrado como foi projetado o sistema automático de dosagem para fertilizantes; para fazer dosagem simultânea de nove plantas por estação com autonomia calculada para uma hectare (he). Ao final, foi construído um protótipo na escala 1:3 para testes de funcionamento. Para isso, foram dosadas as quantidades diferentes de adubo segundo as recomendações técnicas para a cultura selecionada e para cada um dos adubos: N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ .

#### 7.1 Descrição do sistema de dosagem

Este sistema foi projetado para aplicação automática formado pelos seguintes subsistemas: um *Sistema de Informação*, um *Sistema de monitorização* e um *sistema de acionamento*. O *sistema de informação* tem como função os cálculos das doses desde as bases de dados, segundo as recomendações de dosagem. O sistema está no computador remoto onde a informação é processada e armazenada. Esta informação é enviada pela rede sem fio ao controlador do robô para executar as ações de controle de dosagem, segundo os dados armazenados na memória. Este sistema é flexível processando somente a informação fundamental do robô. O *Sistema de Acionamento* é formado pelos tanques de armazenamento, tubulações, bombas, solenoides e as boquilhas de aspersão. Para sua validação funcional foi construído um protótipo na escala 1:3. Os componentes são mostrados na Fig. 7.1

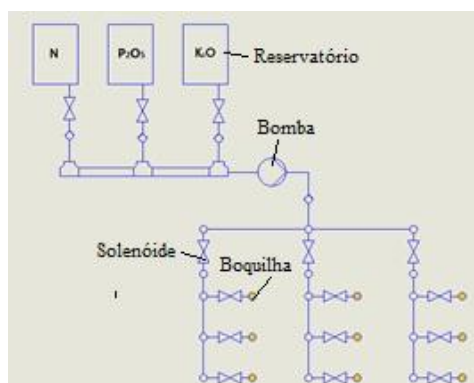


Figura 7.1. Diagrama geral de componentes do sistema de dosagem de fertilizantes.

A Fig. 7.1 mostra os tanques independentes dos fertilizantes de nitrogênio (N), fósforo ( $P_2O_5$ ) e potássio ( $K_2O$ ) para dosagem com solenóides controlando o fluxo de fertilizante desde a linha principal de aspersão. São nove solenóides com as suas boquilhas de aspersão e a bomba de dosagem.

#### 7.1.1 Especificação dos tempos de dosagem

O diagrama de fluxo que calcula a dosagem é mostrado na Fig. 7.2, incluindo a possibilidade de fazer a dosagem numa aplicação (semeadura) ou duas aplicações (semeadura e capina). No primeiro caso, é dosada a quantidade total de fertilizante; no segundo caso é dosada a metade de fertilizante a cada etapa, segundo o procedimento recomendado para agricultores na Colômbia. Este diagrama também inclui a existência da análise de composição química dos solos. Neste trabalho, esta informação é dada pelas recomendações de fertilização e pode-se trocar depois por um sistema de sensores de medição em tempo real, ou também por um sistema de mapas de composição ou um sistema de informação geográfica.

De outro lado, é necessário calcular a quantidade de pontos para dosar numa hectare, segundo a densidade de plantas ( $Dp$ ) ou número de plantas por unidade da área obtida pela Eq.7.1; porém a aplicação de distribuição da cultura gera as coordenadas desses pontos:

$$Dp = \frac{\text{Area da cultura [m}^2\text{]}}{A_p \text{ [m}^2\text{]}} \quad (7.1)$$

Onde:

$A_p$ = Área ocupada por uma planta ( $m^2$ ) calculada pela Eq. 7.2:

$$Ap = \text{Distancia entre plantas(m)} \times \text{Distancia entre linhas (m)} \quad (7.2)$$

Aplicando as equações 7.1 e 7.2 são calculadas a densidade das plantas e a área de uma planta:

$$Ap = 0.21 \text{ m}^2$$

$$Dp = 47619,05$$

Decidiu-se dosar fertilizante em nove (9) plantas por estação, especificando que esta metodologia pode ser ampliada para maior quantidade de plantas por estação. A quantidade de pontos de parada ou número de estações numa hectare é a seguinte:

$$\text{Pontos de parada} = 47619/9 = 5291 \text{ estações.}$$

## 7.2 Projeto agrônômico da rede

A continuação, é apresentado um resumo. Os cálculos detalhados do sistema estão no Anexo B, junto com as especificações técnicas comerciais dos componentes no Anexo D:

Uma vês estabelecido o sistema geral, foram calculadas as características de seleção da bomba, para atender o esquema de montagem mostrado na Fig. 7.3 e as dimensões específicas do veículo. Para isso foi considerada uma tensão de 24 VDC que é a mesma do controlador industrial. A bomba tem capacidade de dosagem para nove plantas, com vazão de  $83,33 \text{ m}^3/\text{s}$  para uma tubulação de 20 mm.

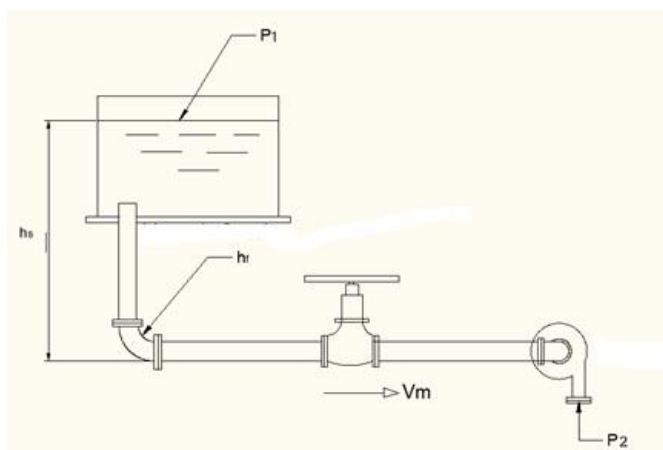


Figura 7.3. Diagrama da linha de sucção da bomba de dosagem.

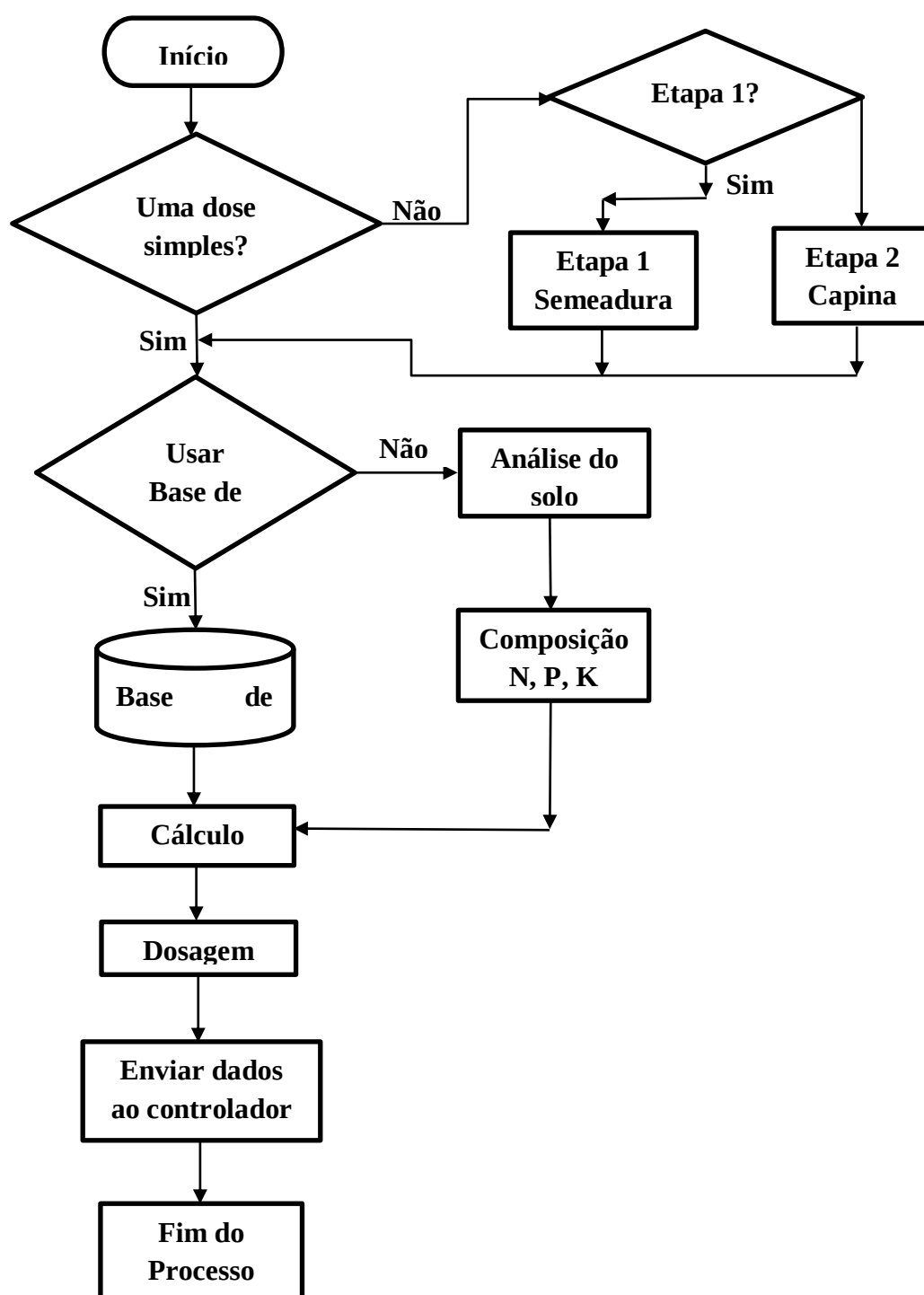


Figura 7.2. Diagrama de fluxo de processamento dos dados no sistema de dosagem.

O fertilizante líquido é diluído na água, com propriedades físicas mostradas na Tabela 7.1 a uma temperatura de 15°C e com a densidade do fertilizante de maior valor, ou seja o potássico.

Foram selecionadas boquilhas de micro aspersão com descarga dirigida e alta uniformidade de irrigação, segundo a Tabela 7.2.

Tabela 7.1 Propriedades Físicas da água (MATAIX, 2006).

| PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA |                                      |                                |                                             |                                            |                                            |                          |                                       |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Temp. (°C)                   | Peso específico (kN/m <sup>3</sup> ) | Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) | Módulo de elasticidade (kN/m <sup>2</sup> ) | Viscosidade dinâmica (N·s/m <sup>2</sup> ) | Viscosidade cinemática (m <sup>2</sup> /s) | Tensão superficial (N/m) | Pressão de vapor (kN/m <sup>2</sup> ) |
| 0                            | 9,805                                | 999,8                          | 1,98x10 <sup>6</sup>                        | 1,781x10 <sup>-3</sup>                     | 1,785x10 <sup>-6</sup>                     | 0,0765                   | 0,61                                  |
| 5                            | 9,807                                | 1000                           | 2,05x10 <sup>6</sup>                        | 1,518x10 <sup>-3</sup>                     | 1,519x10 <sup>-6</sup>                     | 0,0749                   | 0,87                                  |
| 10                           | 9,804                                | 999,7                          | 2,10x10 <sup>6</sup>                        | 1,307x10 <sup>-3</sup>                     | 1,306x10 <sup>-6</sup>                     | 0,0742                   | 1,23                                  |
| 15                           | 9,798                                | 999,1                          | 2,15x10 <sup>6</sup>                        | 1,139x10 <sup>-3</sup>                     | 1,139x10 <sup>-6</sup>                     | 0,0735                   | 1,7                                   |

Tabela 7.2. Características de micro aspersões comerciais para irrigação.

| Referência | Pressão (psi) | Vazão (l/h) | Rádio de molhado (pie) |
|------------|---------------|-------------|------------------------|
| 30         | 20            | 27          | 1                      |
|            | 25            | 30          | 1,05                   |
|            | 30            | 34          | 1,05                   |
| 45         | 20            | 42          | 1,1                    |
|            | 25            | 45          | 1,1                    |
|            | 30            | 51          | 1,15                   |

<http://www.agrifim.net/hojas%20tecnicas/monojet.pdf>

Segundo a Fig. 7.1 cada reservatório tem um fertilizante diferente (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) diluído na água e cada um deles descarga pelo acionamento de um solenoide. A potência do motor da bomba selecionada segundo os catálogos é de 35 W.

### 7.3 Projeto dos reservatórios de fertilizantes

Os reservatórios vão fixos na plataforma superior do veículo num espaço de 70 cm por 70 cm. Os três reservatórios terão iguais dimensões sem defletores com volume inferior a 1m<sup>3</sup> para uma autonomia de uma hectare segundo a Tabela 7.3. Foram dimensionados para fabricação em aço AISI/SAE 304 inoxidável, com propriedades mostradas na Tabela 7.4 para estabelecer se

precisavam de defletores pelo deslocamento do veículo; porém é recomendado usar reservatórios plásticos de melhor resistência aos produtos químicos e disponíveis no mercado com menor custo.

Tabela 7.3. Dimensões de construção dos reservatórios de fertilizantes.

| Fertilizante                                        | Comprimento (m) | Largura(m) | Altura (m) | Volume (m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------------------------|-----------------|------------|------------|--------------------------|
| N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O | 1               | 0.25       | 0.4        | 0.1                      |

Tabela 7.4. Propriedades do aço inoxidável austenítico AISI/SAE 304 da Companhia “General de Aceros”.

| Grau Aço | Resistência à tração (MPa) | Limite de fluência (MPa) | Alongamento (% em 50 mm) | Dureza Brinell Max | Módulo de Poisson | Densidade kg/dm <sup>3</sup> |
|----------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|
| AISI 304 | 515                        | 205                      | 40                       | 202                | 193               | 7.9                          |

Foi selecionada uma chapa de calibre 11 e se fez análise de engenharia por Elementos Finitos (CAE) usando software “Solidworks®”. A pressão interna é gerada pelo peso da quantidade da água e sua distribuição nas paredes do reservatório. Os resultados da análise são mostrados na Fig. 7.4:

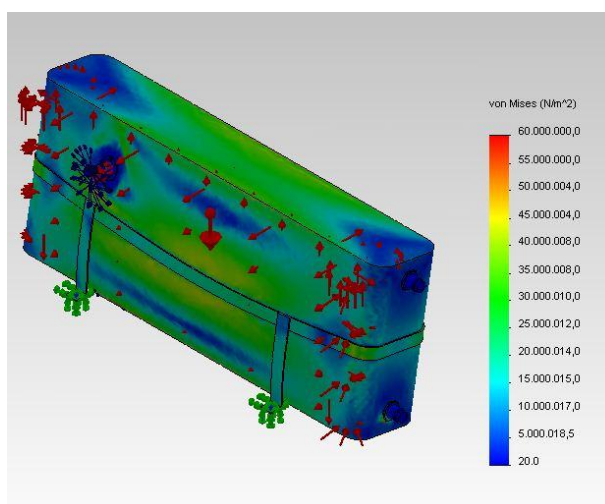


Figura 7.4. Resultados dos esforços de Von Misses obtidos pelo software Solidworks para o reservatório.

Segundo a Fig. 7.4 o máximo esforço experimentado é de aproximadamente uns 45 MPa e o limite de fluência do aço 304 é de 205 MPa, mostrando que o material não vai se deformar plasticamente, com fator de segurança de projeto de 4,56, mas é importante esse fator de segurança pela construção sem defletores oferecendo maior rigidez.

A Fig.7.5 mostra os elementos de acoplamento ao reservatório: os sensores de nível (1), os pontos de entrada (2) e de saída (3) para o fertilizante e a válvula de drenagem (4) para manutenção.

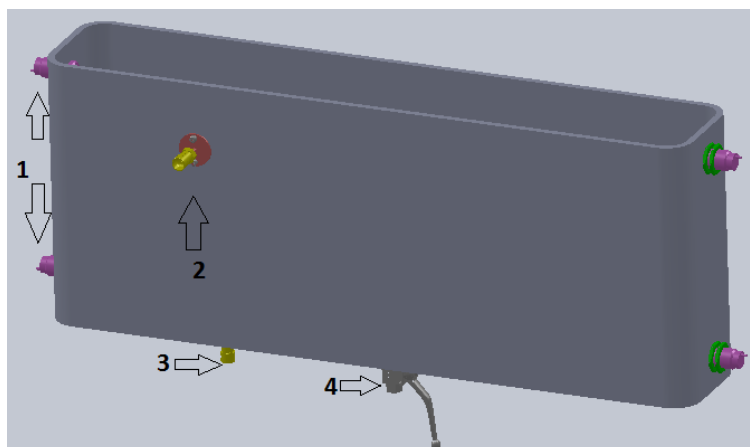


Figura 7.5. Elementos de acoplamento ao reservatório.

Para os acoplamentos das tubulações ao reservatório nos pontos de recarga foram selecionadas uniões rápidas comerciais para pressão máxima de 1,5 bar, com resistência à corrosão dos fertilizantes e tipo “Non-spill” de fechamento à desconexão sem causar vazamento. Foi selecionada uma base comercial passa muro da referência 1/2-SS-QC8-B1-810 para montagem no reservatório em aço inoxidável 316 com capacidade de até 37 l/min de entrada ao reservatório, para tubulação de 20 mm; além de uma união espigo de referência 1/2-SS-QC8-S-8PF, com rosca interior para tubulação. A especificação técnica está no Anexo D e a conexão ao reservatório é mostrada na Fig. 7.6

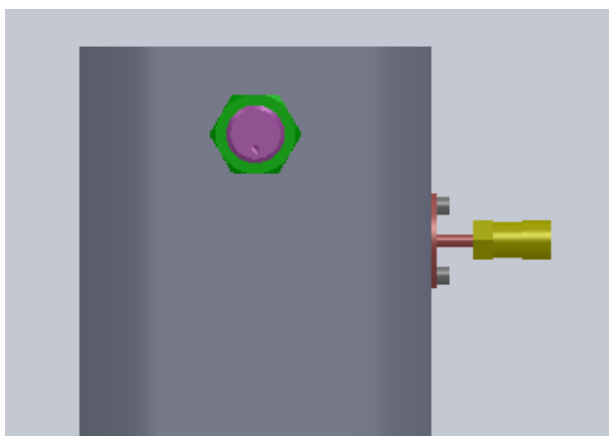


Figura 7.6. Conexão do acoplamento rápido no reservatório

### 7.3.1 Seleção do sensor de nível

A seleção do sensor foi baseada numa distância de operação curta, já que depende da altura de fluido de uns 0,4 m, ativação tipo ON-OFF para detecção de nível mínimo e máximo de fertilizante, para quando o nível estiver no mínimo ativar o sistema de deslocamento para ir ao ponto de recarga antes de dosar. Para uma aplicação simples de tipo ON-OFF foi selecionado o sensor de proximidade de tipo capacitivo (SIGMA, 2012). As características técnicas do sensor selecionado estão no Anexo D.

### 7.3.2 Sistema de mistura de fertilizante

A aplicação dos fertilizantes requer a homogeneização frequente do produto, sendo importante a instalação de um sistema de mistura. Foi especificado o acionamento a cada três paradas ou estações. Pelas considerações de projeto, custo, manutenção e montagem, a seleção de misturadores de tipo palhete é o de maior uso. A Fig. 7.7 mostra um exemplo do sistema de misturador projetado.

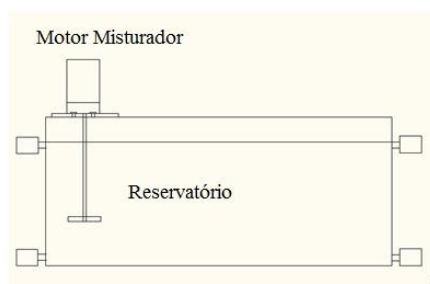


Figura 7.8. Sistema misturador ou de agitação dos fertilizantes no reservatório.

Segundo as dimensões dos reservatórios e as condições dos fertilizantes, foi projetado o sistema misturador rotatório, para manter homogeneizados os fertilizantes com diâmetro segundo a largura dos reservatórios de 0,25 m. Os resultados estão na Tabela 7.5 aproximadas ao seguinte valor inteiro:

Tabla 7.5. Dimensionamento do misturador dos reservatórios de fertilizante.

| Reservatório         | $D_i(\text{cm})$ | $H_i(\text{cm})$ | $q(\text{cm})$ | $s_m(\text{cm})$ |
|----------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| N, $P_2O_5$ , $K_2O$ | 9                | 9                | 2              | 2                |

O motor para misturador calculado é de 7.3 Watts de potência, porém não tem um valor comercial disponível, então foi selecionado um motor de potência maior, além de um fator de segurança adicional. As especificações do motor selecionado estão na Tabela 7.6 e as especificações técnicas detalhadas no Anexo D.

Tabela 7.6. Especificações técnicas do motor para o sistema misturador de fertilizantes.

| Especificações | Marca - referência | DC | Potência (W) | RPM  | Potência útil (W) |
|----------------|--------------------|----|--------------|------|-------------------|
| <b>Motor</b>   | Crouzet-82740002   | 24 | 16           | 3900 | 11                |

[Crouzet. (2012). Produtos motores síncronos. <http://www.crouzet.es/catalogo/motores-sincronos-motores-sincronos-2-sentidos-de-marcha-con->

## 7.4 Projeto do sistema de controle de dosagem

### 7.4.1 Modelamento dos sistemas hidráulicos

A Fig. 7.9, mostra o esquema geral do sistema de dosagem usado para desenvolver o modelamento. Neste modelo vai ser considerada unicamente a vazão da saída sem controle de nível, por se tratar de um veículo em deslocamento, e a variação da altura do fluido no reservatório depende só da abertura do solenoide e da bomba porque o reservatório não conserva o nível constante.

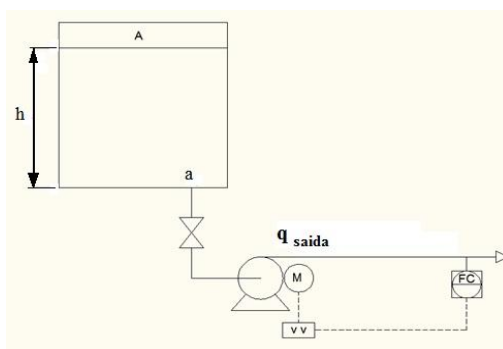


Figura 7.9. Modelo reservatório-solenoide-bomba

#### 7.4.2 Modelamento do reservatório

Segundo a análise do comportamento do sistema não existe controle de nível, portanto, o modelamento é feito segundo a condição da relação entre a vazão de saída e a mudança de altura de fluido, além de uma vazão de entrada zero pela Eq.7.3 (OGATA, 1987).

$$A \frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{R} h(t) - q_s(t) \quad (7.3)$$

Onde:

R= Resistência de fluxo de líquido a través do solenoide (sem dimensão)

$q_s$ = Variação de fluxo da saída ( $m^3/s$ )

h = Altura de líquido (m)

A = Área do reservatório ( $m^2$ )

Pela aplicação de um integrador nos dois lados da equação obtém-se a Eq. 7.4 para simulação em “*Simulink®*”:

$$h(t) = \int \frac{\frac{1}{R} h(t) - q_s(t)}{A} \quad (7.4)$$

Em “*simulink®*” é usado um integrador de valor inicial igual ao valor quando o reservatório está cheio com altura de 0.4 m e a área de 0,25  $m^2$ . Na Tabela 7.7 estão os coeficientes de perda em solenoides com valor típico de 2 (MATAIX, 2006). Na Fig. 7.10 é mostrado o diagrama dos blocos em “*simulink®*”.

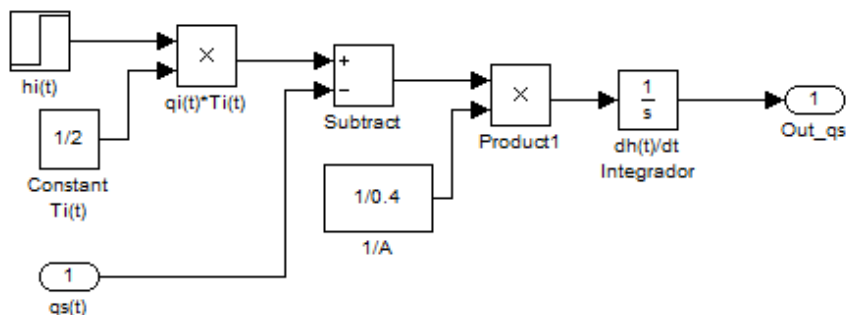


Figura 7.10. Diagrama de blocos de simulink para o modelo de reservatório.

### 7.4.3 Modelamento da bomba

Foi selecionada uma bomba peristáltica pela precisão e facilidade da dosagem, com sua vazão proporcional a velocidade e eficiência entre 85% e 94% (KENNETH, 1978).

A bomba de tipo peristáltica foi caracterizada para estabelecer a relação de volume dosado segundo o tempo de acionamento da bomba, para especificação do controle dos tempos com fluxo e tensão (24VDC) constantes. Os dados de caracterização estão na Tabela 7.7 e são mostrados na Fig.7.11.

Tabela 7.7. Caracterização das bombas peristálticas atuando em paralelo.

| Volume<br>(ml) | Tempo (s) |       |       |       |       |                    |
|----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
|                | t1        | t2    | t3    | t4    | t5    | t <sub>média</sub> |
| 20             | 4.77      | 4.73  | 5.03  | 5.41  | 5.35  | 5.058              |
| 40             | 10.72     | 10.43 | 10.81 | 10.26 | 10.49 | 10.542             |
| 60             | 15.92     | 16    | 15.6  | 16.26 | 15.69 | 15.894             |
| 80             | 20.95     | 20.86 | 21.28 | 21.2  | 20.89 | 21.036             |
| 100            | 26.05     | 26.11 | 25.66 | 25.65 | 25.77 | 25.848             |

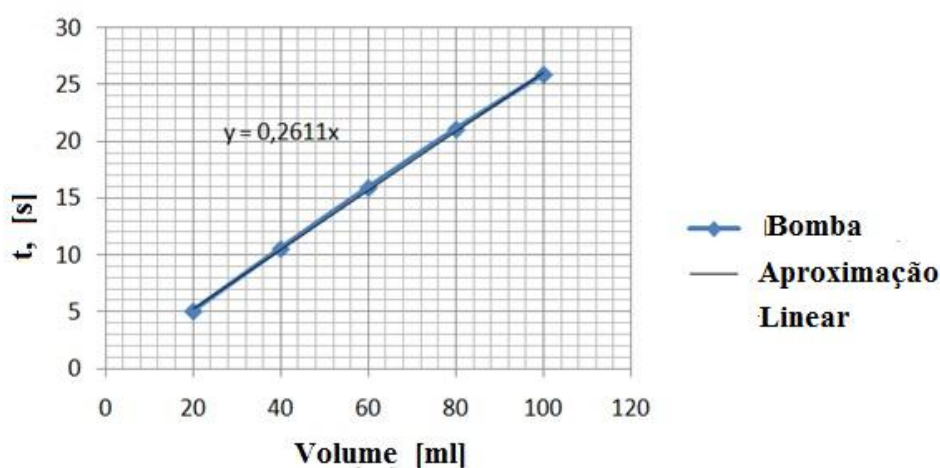


Figura 7.11. Relação de calibração da bomba peristáltica aos 24VDC.

A equação característica da bomba foi programada no sistema de controle para a geração das ações de controle em cada ponto da dosagem com as doses especificadas, além da atuação das solenoides para cada ponto de dosagem independente.

Na prática, foram usadas duas bombas disponíveis de menor capacidade que foram instaladas em paralelo. Para estabelecer a equação de operação das bombas, a tensão na entrada foi mudada, obtendo-se diferentes vazões na saída e foram medidos os tempos de dosagem até 300 ml ministrados entre 4 V e 24 VDC e medidas as médias dos volumes dosados numa proveta de 500 ml. Este procedimento foi repetido no mínimo três vezes.

Os dados obtidos são mostrados na Tabela 7.8. A Fig. 7.12 mostra o comportamento das bombas em paralelo e sua equação de calibração. Com estes dados da Tabela 7.8 foi usado “*simulink®*” de Matlab® para estabelecer o comportamento na malha aberta e determinar o controle.

Tabela 7.8. Dados das bombas peristálticas em paralelo.

| Parâmetros de caracterização |             |             |             |                             |               |                |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|---------------|----------------|
| Voltagem<br>(V)              | t1<br>(min) | t2<br>(min) | t3<br>(min) | t <sub>média</sub><br>(min) | q<br>(ml/min) | Volume<br>(ml) |
| 6                            | 10,50       | 10,45       | 10,48       | 10,47667                    | 28,63506      | 300            |
| 10                           | 40,17       | 40,14       | 40,12       | 4,14333                     | 72,40547      | 300            |
| 12                           | 30,16       | 30,15       | 30,13       | 3,14667                     | 95,33898      | 300            |
| 14                           | 20,42       | 20,42       | 20,43       | 2,42333                     | 123,7964      | 300            |
| 16                           | 20,12       | 20,13       | 20,14       | 2,13000                     | 140,84507     | 300            |
| 18                           | 10,54       | 10,53       | 10,52       | 1,53000                     | 196,07843     | 300            |
| 20                           | 10,41       | 10,41       | 10,42       | 1,41333                     | 212,26415     | 300            |
| 22                           | 10,28       | 10,27       | 10,28       | 1,27667                     | 234,98695     | 300            |
| 24                           | 10,18       | 10,17       | 10,19       | 1,18000                     | 254,23729     | 300            |

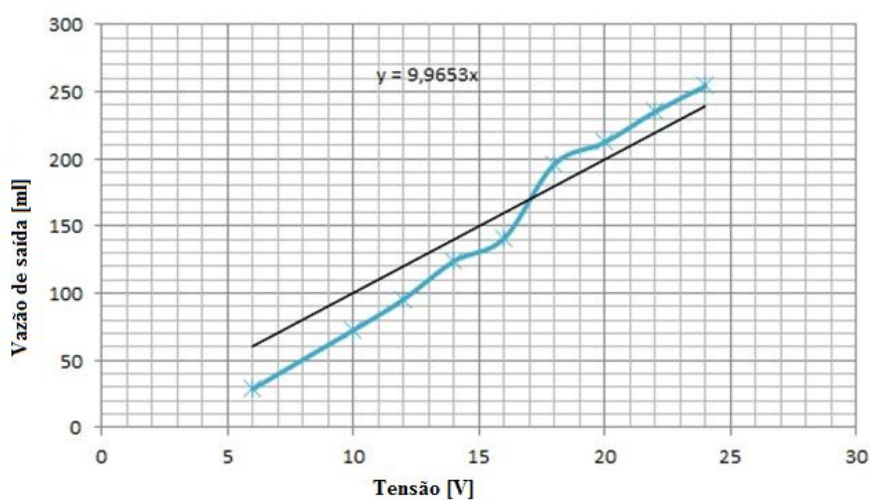


Figura 7.12. Comportamento das bombas peristálticas em paralelo.

Segundo a Fig. 7.11 as bombas não têm comportamento lineal entre 14V e 20V porém foi obtida uma equação de comportamento e verificado o seu comportamento usando “*simulink®*”.

$$q_s(t) = 9.9653V_i(t) \quad (7.5)$$

A Eq. 7.5 representa o comportamento de análise das bombas em “*simulink®*” segundo o diagrama de blocos da Fig. 7.13.

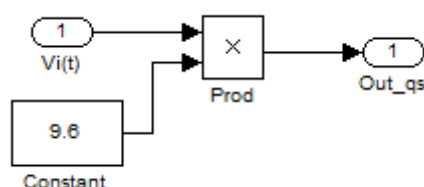


Figura 7.13. Diagrama de blocos de funcionamento das bombas em *simulink®*.

#### 7.4.4 Modelamento do sensor de fluxo.

Para medição das vazões foi selecionado um sensor de fluxo magnético de relação proporcional entre a tensão e a vazão gerando um sinal de processo (PV) que representa a quantidade de fertilizante, passando através de um ponto na tubulação. Seguindo a curva característica de bomba para ajustar uma faixa de vazões, e admitindo que o sensor trabalha pelo princípio da Lei de Faraday, que estabelece: *um condutor em movimento dentro de um campo magnético gera uma tensão proporcional à média da velocidade do fluido*, essa tensão é medida entre dois eletrodos em contato com o fluido. Na saída do conversor se têm vários sinais com impulsos proporcionais à vazão, corrente de 20 mA, saída de contatos min/máx. para controle de vazão. Para simulação da variável de funcionamento baseada na Lei de Faraday é representada pela Eq. 7.6:

$$q_m = ke \quad (7.6)$$

Onde:

e = Tensão entre os eletrodos do sensor (V);

$q_m$  = Vazão da seção da tubulação (l/min);

k=Ganho de sensor (sem dimensão);

A Tabela 7.9 mostra a faixa de medição do sensor ABB.

O ganho do sensor é ajustado segundo a Tabela 7.9 e a saída de tensão das referências técnicas do sensor entre 0V e 20V ou 4mA e 20 mA. Calculando o ganho se tem:

$$k = \frac{(5 \text{ l/min} - 0 \text{ l/min})}{(20 \text{ v} - 0 \text{ v})} = 0.25$$

Tabela 7.9. Faixa de funcionamento do sensor **ABB FXL5000**(miniflow) (ABB, 2012).

| Faixa de medição (l/min) ajustável no modo contínuo |          |
|-----------------------------------------------------|----------|
| Mínimo                                              | Máximo   |
| 0 - 2,5                                             | 0 - 50   |
| 0 - 5,0                                             | 0 - 100  |
| 0 - 15                                              | 0 - 300  |
| 0 - 60                                              | 0 - 1200 |

O diagrama de blocos de “*simulink®*” para o sensor de vazão é mostrado na Fig.7.14:

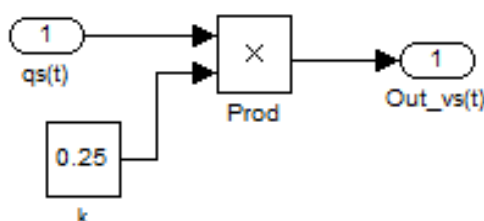


Figura 7.14. Diagrama de blocos do sensor de vazão em “*simulink®*”.

#### 7.4.5 Controle de fluxo do sistema

Desde o funcionamento do sistema de controle é necessário estabelecer os valores de referência para a vazão, segundo a tensão ministrada, a fim de estabelecer o volume de fertilizante líquido que a cultura precisa. O diagrama de blocos de “*simulink®*” da Fig. 7.15 mostra o controle PID para simulação em tempo real, dado pela variação dos tempos de ligação:

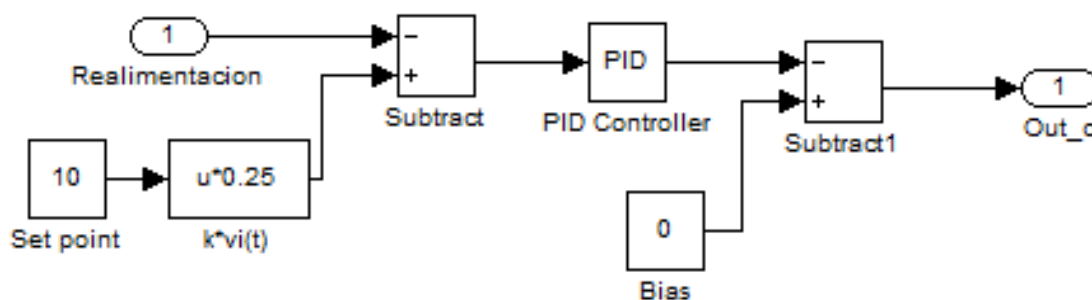


Figura 7.15. Controlador PID com acessórios de calibração.

#### 7.4.6 Sistema de Controle completo

Ao unir todos os blocos do sistema de controle de dosagem anteriores é obtido o diagrama de blocos de controle completo. Esse diagrama de blocos completo em “*simulink®*” é mostrado na Fig. 7.16.

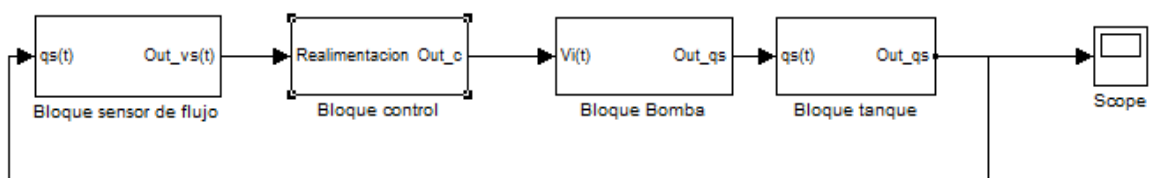


Figura 7.16. Diagrama de blocos em “*simulink®*” do Sistema de controle completo.

Da simulação de funcionamento em “*simulink®*” é obtida a Fig. 7.17 onde a tensão aplicada (neste caso 10V), alcança seu valor num tempo aproximado de 1 segundo sem picos nem sub-amortecimento do sinal com instabilidade no tempo. Não foi considerado o tempo morto do sistema entre o sensor e a boquilha de aspersão, devido principalmente à instalação do sensor ao lado da bomba e o tamanho do sistema.

O controle anterior na simulação, mostrou sua possibilidade de aplicação e bom comportamento, porém, segundo o comportamento das bombas e a possibilidade de aplicar um controle mais simples e de menor custo, decidiu-se aplicar um controle ON-OFF para controle dos tempos de dosagem a cada solenoide de forma sequencial de cada estação; por se tratar de um sistema para pequenos e médios produtores, além de obter assim, maior facilidade de calibração dos tempos no campo segundo a cultura específica.

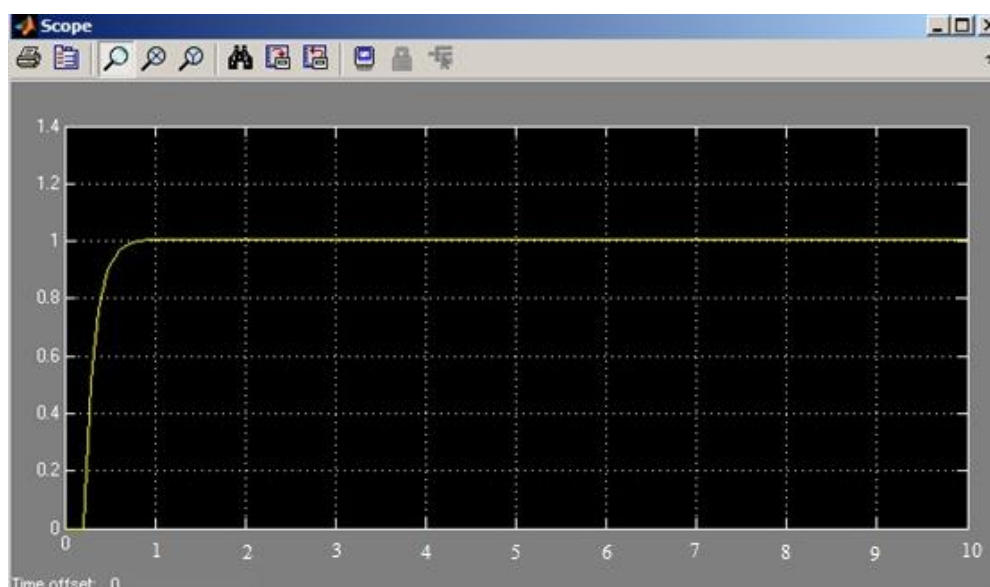


Figura 7.17. Resposta do sistema de dosagem ao controle PID desenvolvido.

### 7.5 Sistema de monitoramento e controle em computador

Para o Sistema de *Monitoramento e Controle de Dosagem*, foi programado no programa Labview® um controlador industrial mostrado na Fig. 7.18. O sistema de dosagem estabelece comunicação com a base de dados do computador central remoto, para fornecer as necessidades nutricionais de cada estação. Para a dosagem de cada ponto, o sistema faz ativação da bomba e dos solenoides na ordem especificada, obtendo a aspersão sequencial de fertilizante de cada ponto de forma independente, e de acordo com o fertilizante necessário. Esta dose é calculada anteriormente a partir dos dados da base de informação no computador remoto.



Figura 7.18. Controlador industrial utilizado.

Os tempos de dosagem são calculados segundo a base de dados no software Matlab® com doses recomendadas, como mostrado na parte inferior da Fig. 7.19, e também podem ser digitados na parte superior da tela para acrescentar os produtos disponíveis. Deles, são calculados as concentrações dos fertilizantes e suas condições de aplicação.

Quando estabelecidas as doses recomendadas, o software calcula a quantidade de fertilizante comercial por hectare no volume que se necessita, e o fluxo volumétrico estimado de cada nutriente (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y K<sub>2</sub>O) para um produto comercial escolhido da base de dados inferior, como mostrado na Fig. 7.19. Com estes fluxos volumétricos estimados e para a distribuição da cultura especificada, são calculados os tempos de dosagem de cada fertilizante e a densidade de plantas na cultura, como mostrado na Fig. 7.20.

Sistema de Dosificación de distribución de fertilizantes químicos

Cantidad de fertilizante requerida para 1 hectarea

Recomendación de Dosis para el terreno

N(kg/ha) P2O5(kg/ha) K2O(kg/ha)

insertar dosis

N(kg/ha) P2O5(kg/ha) K2O(kg/ha)

información dosis

|   | N(kg/ha) | P2O5(kg/ha) | K2O(kg/ha) |
|---|----------|-------------|------------|
| 1 | 100      | 375         | 125        |
| 2 | 50       | 300         | 75         |

Enviar

Figura 7.19. Programa de aplicação em Matlab® para cálculo de doses de nutrientes segundo as recomendações de ICA interagindo com a base de dados.

Esta aplicação foi testada para verificar a geração de dados de dosagem apropriados com diferentes produtos comerciais da base de dados. Depois, foi integrada à base de dados com a aplicação em Labview® da Fig. 7.21 para testar a dosagem em tempo real.

**Sistema de Dosificación de distribución de fertilizantes químicos**

Cantidad de Fertilizante: 150, 450, 150

Concentración del Fertilizante:

| Nitrógeno |                      | Fosforo  |                      | Potasio  |                      |
|-----------|----------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|
| N%        | <input type="text"/> | N%       | <input type="text"/> | N%       | <input type="text"/> |
| P2O5%     | <input type="text"/> | P2O5%    | <input type="text"/> | P2O5%    | <input type="text"/> |
| K2O%      | <input type="text"/> | K2O%     | <input type="text"/> | K2O%     | <input type="text"/> |
| Densidad  | <input type="text"/> | Densidad | <input type="text"/> | Densidad | <input type="text"/> |

Enviar datos

Horas de trabajo por día en una semana del vehículo:

Calcular

Volumen del fertilizante comercial requerido:

VN(l) VP2O5(l) VK2O(l)

Caudales estimados para la dosificación de fertilizantes químicos:

Q1 (ml/min) Q2 (ml/min) Q3 (ml/min)

Información base de datos:

| Nombre            | N% | P% | K% | Densidad |
|-------------------|----|----|----|----------|
| 1                 | 2  | 3  | 4  | 5        |
| 1 Solmix          | 28 | 0  | 0  | 1.32     |
| 2 Sulfato de A... | 21 | 0  | 0  | 1.25     |

Fertilizantes líquidos comerciales:

Información 1 N 1 P 2 K 3

Conexion Base de Datos

Modificar Datos

continuar atras

Figura 7.20. Cálculo dos fluxos volumétricos estimados, volume de fertilizante que se necessita e concentração para os fertilizantes comerciais da base de dados.

**Sistema de Dosificación de distribución de fertilizantes químicos**

Caudales Estimados (ml/min):

Caudal B. Nitrógeno: 140.918 Caudal B. Fosforo: 299.502 Caudal B. Potasio: 127.405

Calcular

Datos entrada:

Area del terreno en m2:

Distancia entre plantas en (m):

Distancia entre surcos en (m):

Caudal de la Bomba N (ml/min):

Caudal de la Bomba P (ml/min):

Caudal de la Bomba K (ml/min):

Cantidad de Puntos a dosificar:

Densidad de Plantas:

Datos de salida de tiempo:

Tiempo total por hectarea (h):

Tiempo párada por planta en (seg):

N

P

K

atras salir

Figura 7.21. Cálculo dos tempos de dosagem segundo a distribuição da cultura e os fluxos calculados.

Na Fig. 7.22 é mostrada a tela da aplicação desenvolvida em Labview® fazendo ensaios de dosagem.

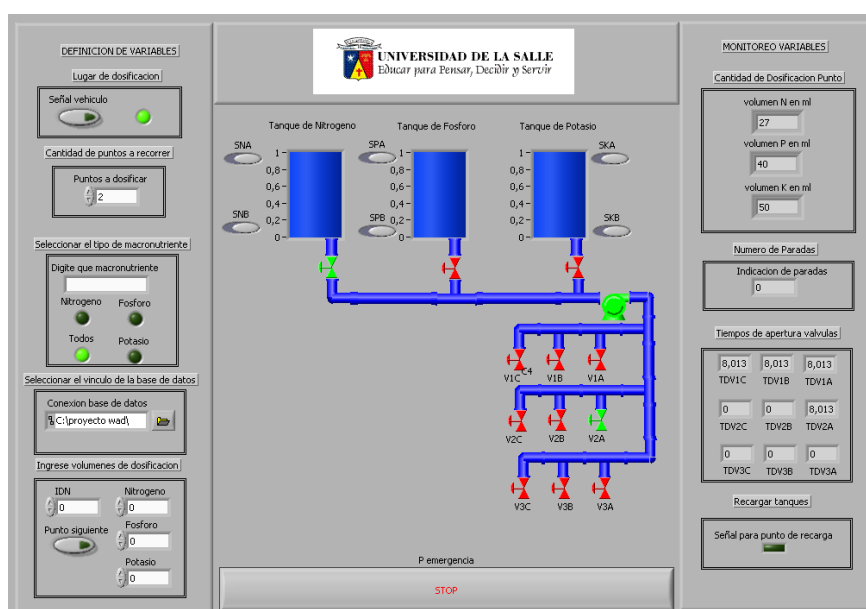


Figura 7.22. Tela de computador em Labview® do sistema de dosagem desenvolvido.

## 7.6 Validação funcional do sistema de dosagem

Construiu-se um protótipo na escala 1:3 da estrutura de dosagem mostrada na Fig. 7.23, para verificação do seu funcionamento com o controlador; aplicando água em substituição dos fertilizantes.



Figura 7.23. Estrutura de dosagem construída na escala 1:3 para validação funcional.

O procedimento de execução dos ensaios foi o seguinte: foram estabelecidos os volumes de fertilizantes para cada um dos pontos de dosagem e seus dados foram carregados na base de dados, segundo a Fig. 7.24 para quatro paradas de dosagem de nove plantas cada. Esses dados foram carregados no sistema de informação central e depois processados pelo controlador, para geração

dos tempos de ativação da bomba e dos solenoides segundo o volume de cada fertilizante aplicado. As quantidades dosadas foram medidas em uma proveta de vidro de 50 ml ou 100 ml. Com essas quantidades, foi feito o cálculo e a comparação da precisão de dosagem do sistema, incluindo os erros de dosagem para as médias de cinco testes cada.

| <div><div><div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div></div></div></div> |                                                         |        |                                                         |                                                         |                 |                                                         |                                                         |        | IDNdosis                                                | Nitrogeno                                               | Fosforo | Potasio |    |    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------|---------|----|----|----|
| <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>                                                                                                    | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Editar | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Editar en línea | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Copiar | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Borrar  | 1       | 40 | 30 | 15 |
| <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>                                                                                                    | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Editar | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Editar en línea | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Copiar | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Borrar  | 2       | 30 | 50 | 40 |
| <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>                                                                                                    | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Editar | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Editar en línea | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Copiar | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Borrar  | 3       | 50 | 15 | 60 |
| <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>                                                                                                    | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Editar | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Editar en línea | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Copiar | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | <div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> | Borrar  | 4       | 25 | 40 | 20 |

Figura 7.24. Quatro exemplos de doses carregadas da base dos dados em MySQL.

## 7.7 Resultados de dosagem

Da execução do programa em software Matlab®, foram obtidos dados para estabelecer o volume de fertilizante e o tempo de acionamento das bombas, segundo as doses recomendadas de fertilizante, para diferentes produtos comerciais. Estes dados para doses recomendadas, produto comercial selecionado e tempos de dosagem obtidos estão na Tabela 7.10 para quantidades de 150 kg/he de N, 450 kg/he de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 150 kg/he de K<sub>2</sub>O do fertilizante recomendado para batata.

Tabela 7.10. Cálculo dos tempos de dosagem estimados no aplicativo de Matlab® com fertilizantes comerciais para cada 100 kg.

| Fertilizante Comercial                  | Solmix  | Solfos  | Solks   |
|-----------------------------------------|---------|---------|---------|
| N comercial                             | 28      | 11      | 0       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> comercial | 0       | 37      | 0       |
| K <sub>2</sub> O comercial              | 0       | 0       | 25      |
| Volume<br>(L_calculado/hectáre)         | 405.844 | 856.490 | 410.959 |
| Fluxo calculado<br>(ml/min)             | 140.918 | 297.392 | 142.694 |
| t calculado<br>(h/he<br>continuas)      | 48.000  | 48.000  | 47.925  |
| t calculado<br>(s/estação)              | 32.660  | 32.660  | 32.610  |

Os dados de fertilizante carregados e volumes medidos são apresentados na Tabela 7.11 além do erro em percentagem. A Tabela 7.11 contém os volumes dosados para cinco testes de cada fertilizante. A segunda coluna da tabela tem o tipo de fertilizante, a terceira coluna o volume a dosar de cada um e a quarta, o tempo de dosagem calculado. As seguintes colunas apresentam os volumes dosados pelos solenoides segundo os códigos da Fig. 7.22 e nas duas colunas finais, as médias de volume dosado e o erro de dosagem volumétrico em percentagem.

A Fig. 7.25 apresenta o histograma dos dados de desvio na dosagem com respeito ao volume de dosagem calculado. Nas Fig. 7.25 até 7.27, são mostradas as quantidades de fertilizante dosado nos diferentes testes em volume (ml). Segundo as figuras o erro máximo é de 2,6667% em volume, quantidade que pode ser corrigida na calibração do sistema no campo.

Tabela 7.11. Testes de dosagem com controlador industrial.

| Tests | Fert. | Vol.<br>(ml) | t (ms) | Volume dispensed by the solenoid (ml) |     |     |     |     |     |     |     |     |                      | Error<br>(%) |
|-------|-------|--------------|--------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|--------------|
|       |       |              |        | V1A                                   | V1B | V1C | V2A | V2B | V2C | V3A | V3B | V3C | V <sub>average</sub> |              |
| 1     | N     | 40           | 10444  | 41                                    | 41  | 41  | 41  | 41  | 40  | 41  | 40  | 40  | 40,67                | 1,67         |
|       | P     | 30           | 7833   | 31                                    | 31  | 30  | 31  | 31  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30,44                | 1,48         |
|       | K     | 15           | 3916   | 15                                    | 15  | 15  | 15  | 15  | 15  | 15  | 15  | 15  | 15,00                | 0,00         |
| 2     | N     | 30           | 7833   | 31                                    | 31  | 30  | 31  | 31  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30,44                | 1,48         |
|       | P     | 50           | 13055  | 52                                    | 52  | 51  | 51  | 53  | 51  | 51  | 51  | 50  | 51,33                | 2,67         |
|       | K     | 40           | 10444  | 41                                    | 40  | 40  | 40  | 41  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40,22                | 0,56         |
| 3     | N     | 50           | 13055  | 52                                    | 51  | 51  | 51  | 51  | 50  | 52  | 51  | 51  | 51,11                | 2,22         |
|       | P     | 15           | 3916   | 15                                    | 15  | 15  | 16  | 15  | 15  | 15  | 15  | 15  | 15,11                | 0,74         |
|       | K     | 60           | 15666  | 62                                    | 61  | 61  | 61  | 62  | 60  | 61  | 60  | 60  | 60,89                | 1,48         |
| 4     | N     | 25           | 6527   | 25                                    | 26  | 25  | 26  | 26  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25,33                | 1,33         |
|       | P     | 40           | 10444  | 41                                    | 41  | 40  | 40  | 41  | 40  | 41  | 40  | 40  | 40,44                | 1,11         |
|       | K     | 20           | 5222   | 20                                    | 20  | 20  | 21  | 21  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20,22                | 1,11         |
| 5     | N     | 30           | 7833   | 30                                    | 30  | 31  | 30  | 31  | 30  | 29  | 30  | 30  | 30,11                | 0,37         |
|       | P     | 15           | 3916   | 15                                    | 16  | 15  | 15  | 16  | 14  | 15  | 15  | 14  | 15,00                | 0,00         |
|       | K     | 30           | 7833   | 31                                    | 31  | 31  | 30  | 31  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30,44                | 1,48         |

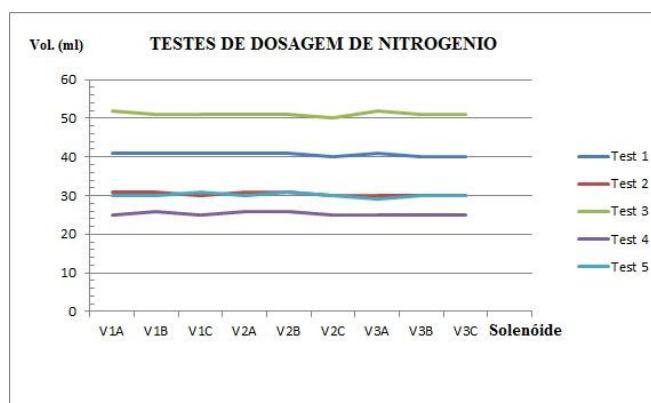


Figura 7.25. Volume de Nitrogênio dosado pelos solenoides.

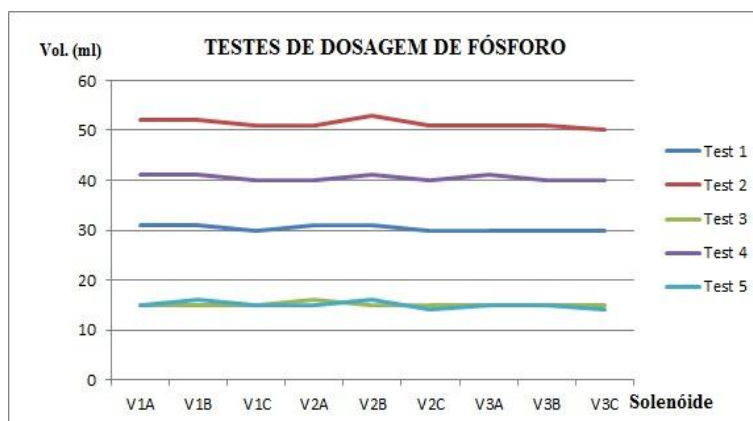


Figura 7.26. Volume de Fósforo dosado pelos solenoides.

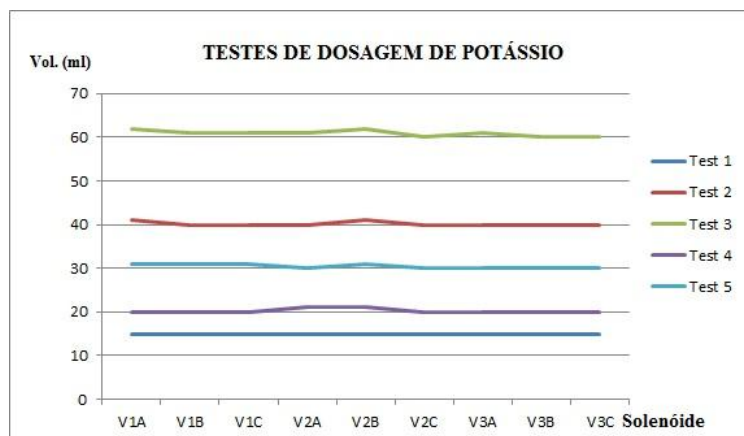


Figura 7.27. Volume de Potássio dosado pelos solenoides.

## **CAPÍTULO VIII**

### **SISTEMA DE CONTROLE DE DESLOCAMENTO**

#### **8.1 Introdução**

Um sistema móvel deve ter deslocamento com velocidade e precisão segundo a trajetória planejada e a aplicação necessária, neste caso, a velocidade proposta é de 0,2 m/s que é a média dos valores relatados na literatura referenciada nesta tese, mas o veículo pode se deslocar a uma velocidade superior, se necessário. O controle de deslocamento do veículo, faz a estrutura mecânica atingir as posições estabelecidas pelo sistema de geração das trajetórias no deslocamento pela cultura sem estragar as plantas. Para isso e por se tratar de uma aplicação para culturas pequenas, além de uma construção estrutural simples, foi escolhido um sistema de controle simples, porém eficiente, de acordo com a necessidade de precisão exigida. Para isso foram utilizados sensores de baixo custo e fácil utilização, além da procura de facilidade de manutenção no campo e nas cidades pequenas da Colômbia. Neste caso, o controle autônomo do veículo é feito pelo controlador embarcado, acionado de acordo com o controle de dosagem, mas o funcionamento dos dois sistemas é independente e relacionado somente pelo sinal de início e fim de dosagem. Pelas condições de distribuição da cultura o deslocamento vai ser em linha reta, geralmente com trajetórias ponto a ponto, facilitando o controle de movimento. O sistema pode ser supervisionado do computador remoto pelo aplicativo programado em Labview® através da comunicação sem fio. A Fig. 8.1, mostra a estrutura do sistema de controle.

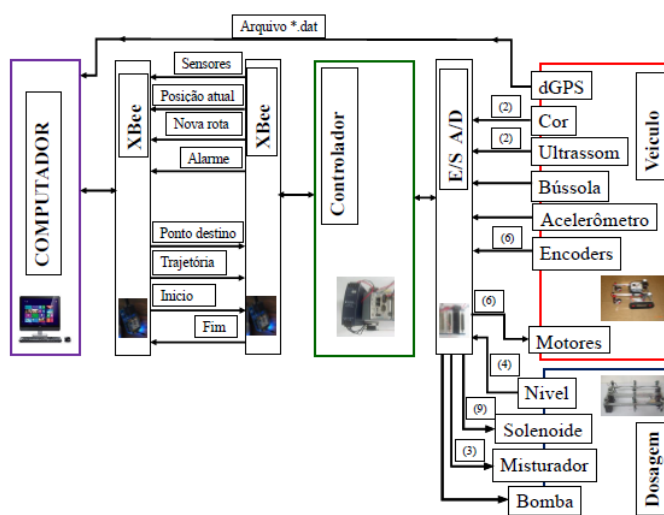


Figura 8.1. Sistema de controle de deslocamento do veículo.

#### 8.1.1 Aquisição de dados e medição de variáveis.

Todas as aplicações foram desenvolvidas em Labview® (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) pela programação orientada à aquisição de dados, à manipulação dos dados, à aquisição e ao controle automático, e à facilidade de integração com outros dispositivos e equipamentos, além da compatibilidade com o controlador industrial disponível e sua capacidade de controle em tempo real. A Fig. 8.2, mostra a descrição dos módulos de aquisição utilizados: entradas análogas (AI-NI-9207), entradas digitais (DI-NI-9425) e saídas digitais (DO-NI-9477) com sinais de 0 – 24 VDC.

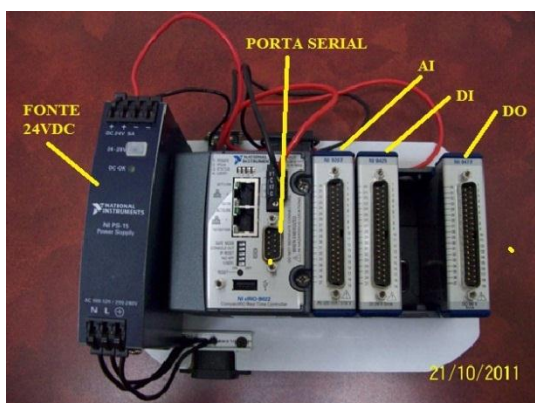


Figura 8.2. Descrição dos módulos de aquisição do sinais utilizados no controlador industrial.

No veículo de teste, os sinais vão diretamente conectados ao controlador NXT®, sem módulos de aquisição já que os sensores foram selecionados para atuar com este controlador.

A aquisição de informação no veículo é função dos módulos de entrada e saída (E/S) do controlador desde os sensores, e uma vez processada pelo controlador, é enviada ao computador pela rede sem fio como mostrado na Fig.8.3.

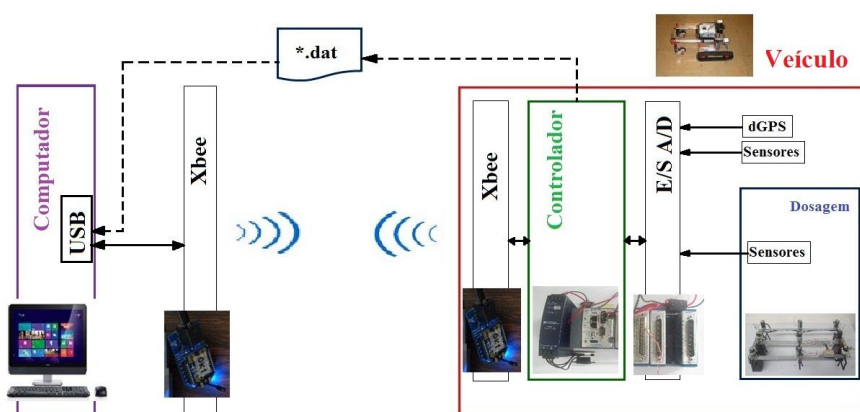


Figura 8.3. Aquisição do sinais utilizados no controlador industrial embarcado no veículo.

A aquisição de informação no computador após recebimento pela rede sem fio é introduzida ao computador pela porta USB e gerenciada pelo aplicativo de comunicação encarregado da interação da informação entre os aplicativos de Matlab e Labview com a base de dados de armazenamento. Esse processo é mostrado na Fig.8.4.

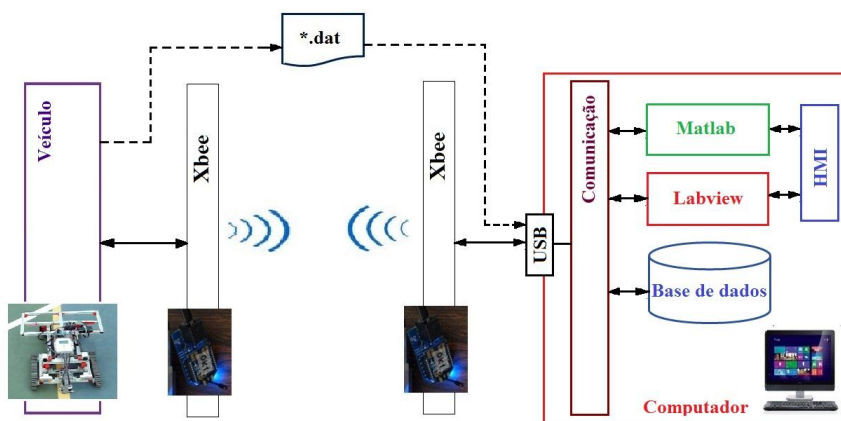


Figura 8.4. Aquisição do sinais utilizados no computador e gerenciada pelo aplicativo de comunicação.

### 8.1.2 Sensor de cor.

Usado para seguimento das linhas da trajetória, é de baixo custo e de fácil aplicação. Identifica uma grande escala de cores, mas na aplicação foi graduado para ler a cor amarela. A recomendação do fabricante é ajustá-lo numa distância de 0,02m para leitura correta, mas apresenta problemas de iluminação pela sensibilidade e foi necessário colocá-lo muito perto do solo e isolá-lo ao máximo possível da luz para melhor funcionamento. A Fig. 8.5, mostra a escala de cores de leitura e a imagem do sensor com a fita de isolamento da luz.

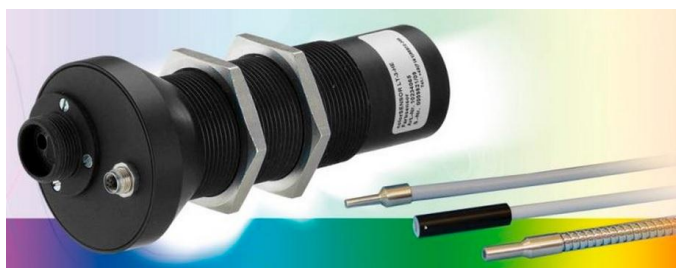


Figura 8.5. Sensor de cor LT-3-HE selecionado para o seguidor da linha no mapeamento dos limites com dGPS. (<http://pdf.directindustry.com/pdf/micro-epsilon/colorsensor-color-measurement-sensors/5788-268239.html#open>)

Este sensor foi selecionado pela identificação de trinta e uma cores com avaliação em cor ou na escala de cinzas e sua possibilidade de programação pela porta RS232 ou USB. Além disso, tem luz LED branca com frequência máxima de 30kHz e compensação de Temperatura  $<0,01\%K$ . As dimensões são mostradas na Fig.8.6.

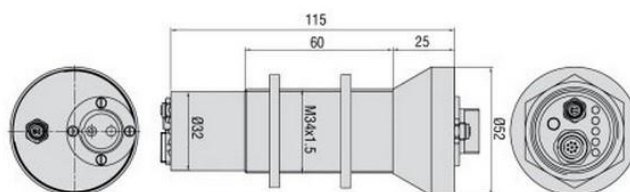


Figura 8.6. Dimensões de sensor de cor LT-3-HE.

### 8.1.3 Sensor de ultrassom

Usado para detecção dos objetos não conhecidos quando o veículo se desloca. É ajustado no veículo para detectar objetos a uma distância mínima de 20 a 25 cm e para uma

altura superior a 10cm dos obstáculos ultrapassáveis. São colocados dois: um de cada lado na parte da frente do veículo; para saber qual é o lado de presença do obstáculo, e assim poder iludi-lo. Quando o obstáculo é detectado pelos dois sensores ao mesmo tempo, o veículo para e envia um alarme ao sistema remoto. O sensor detecta objetos entre 0 e 2,55 m de distância com erro de  $\pm 0,03\text{m}$ . A Fig. 8.7 mostra o sensor selecionado e as características técnicas são mostradas no Anexo D.



Figura 8.7. Sensor de ultrassom 873PCC usado para detecção dos obstáculos desconhecidos. ([http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ca/c116-ca503\\_-esp.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ca/c116-ca503_-esp.pdf), 16/08/2013)

#### 8.1.4 Sensor tipo compasso ou bússola

Usado para medição do ângulo da orientação do robô em graus na direção frontal do robô referido ao Norte magnético. A precisão é de 1 grau e registra valores entre 0 graus e 359 graus ou entre -180 graus e 180 graus. Esta característica é oferecida também pelo acelerômetro selecionado. No primeiro caso, a Tabela 8.1 mostra informação da interpretação geográfica dos dados. No anexo D estão as características principais da bússola utilizada.

Tabela 8.1. Interpretação da informação do sensor tipo bússola ou compasso.

| Orientação [graus] | Direção |
|--------------------|---------|
| 0°                 | Norte   |
| 90°                | Leste   |
| 180°               | Sul     |
| 270°               | Oeste   |

### 8.1.5 Sensor tipo acelerômetro

Usado unicamente para estabelecer o ângulo de inclinação na direção de deslocamento para fazer uma compensação de potência quando o declive é maior dos 15 graus, mas é um acelerômetro que mede aceleração e inclinação nos três eixos: X, Y e Z e poderia ser utilizado depois para medição e controle destas variáveis. A aceleração pode ser medida entre  $-2g$  e  $+2g$  com escala de 200 contas aproximadamente por cada  $g$ . A Fig. 8.8 mostra a direção dos eixos estabelecida para o sensor e foi colocado no veículo com o eixo X na direção longitudinal frontal do veículo.

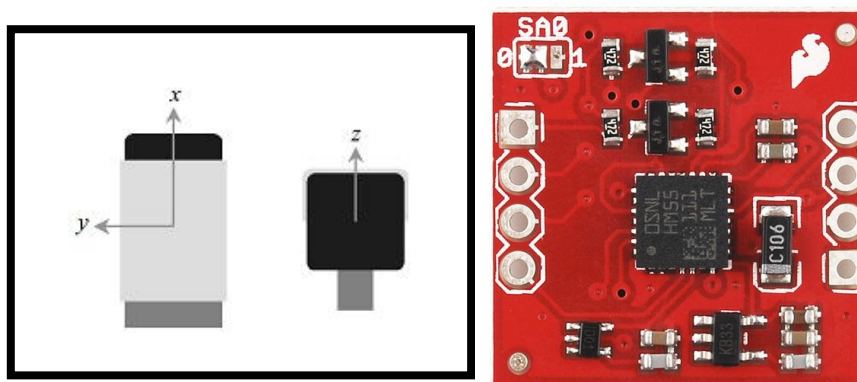


Figura 8.8. Direção normalizada dos eixos e sensor acelerômetro LSM303DLH selecionado. (<http://www.st.com>).

Além disso são utilizados os “encoders” como sensores de posição angular que geram sinais elétricos mediante a rotação de seu eixo, indicando de maneira precisa a posição angular. Conectado ao eixo do motor, quando gira, faz com que um disco perfurado gire, interrompendo o feixe de luz que chega até um sensor ótico. Ele é ligado a uma placa eletrônica que transforma o sinal do sensor em pulsos (encoder incremental) ou em código binário (encoder absoluto) conforme o tipo de encoder. Neste projeto foram utilizados os encoders que vão embutidos dentro dos motores.

## 8.2 Controle de deslocamento

### 8.2.1 Atuadores.

Para o deslocamento foram selecionados motores da firma TRANSTECNO ref. ECP350/1053 com redutor embutido devido ao tamanho pequeno, alto torque e grande capacidade de transmissão de potência. O Motor é mostrado na Fig.8.8 e as características técnicas estão na Tabela 8.2.

A tabela de características técnicas dadas pelo fornecedor é mostrada no ANEXO D.



Figura 8.8. Motor-reductor TRANSTECNO ref. ECP350/1053. (<http://www.transtecno.com/es/aplicacion/motorreductores/>, 23/10/13).

Tabela 8.2. Características específicas de motores TRANSTECNO ref. ECP350/1053.

| Tensão<br>[VDC] | Torque<br>[N-m] | Velocidade<br>[m/s] | Redução | Temperatura de<br>operação<br>[°C] | Potência<br>[W] |
|-----------------|-----------------|---------------------|---------|------------------------------------|-----------------|
| 24              | 186             | 0.21                | 1:168   | -30 - 140                          | 500             |

### 8.2.2 Controladores

Como explicado anteriormente, foram usados um controlador industrial (Compact rio) para o sistema de dosagem e o controlador NXT para validação dos sistemas relacionados com o veículo. As características técnicas dos mesmos estão no Anexo D.

## **CAPÍTULO IX**

### **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Nesta tese foi desenvolvido um sistema robótico autônomo, capaz de se deslocar dentro de uma cultura, com precisão e de forma eficaz, para fazer dosagem de fertilizantes, e que faz viável economicamente em pequenas culturas. Para projetar o veículo foi necessário desenvolver um sistema capaz de fazer mapeamento dos limites da cultura com GPS, com tecnologia própria e que também fosse do alcance dos pequenos agricultores. Foi desenvolvido um software aplicativo, usando métodos de interpolação e otimização com Splines Cúbicos, para fazer a distribuição da cultura, e outro software para acionar o mecanismo de posicionamento automático do veículo por coordenadas dentro da cultura. Foi desenvolvida uma metodologia para gerar as trajetórias que o veículo deve seguir dentro da cultura, utilizando um algoritmo convencional usado na robótica, para ir de um ponto conhecido até o ponto de destino solicitado, sob a supervisão e administração de um computador remoto usando uma rede sem fio. O sistema foi complementado por um sistema de dosagem feito a título de exemplo, capaz de distribuir fertilizante líquido de forma controlada, em pontos específicos desejados. O projeto do veículo foi desenvolvido usando ferramentas computacionais modernas que facilitam a concepção, a simulação e a futura modificação dos dados, permitindo fazer testes virtuais e/ou reais em protótipos de pequeno ou grande tamanho.

Como resultado deste trabalho verificamos que a medição de dados de posicionamento geográfico via GPS, mostra que é possível fazer mapeamento de limites das culturas pequenas com GPS sub-métricos, sem precisar da correção digital de dados em tempo real (DTK), ou da correção Cinemática em tempo real (RTK), ocasionando com isto redução de custos.

A simulação do sistema de geração de trajetórias foi desenvolvida usando três algoritmos úteis na área da robótica, sendo que este trabalho efetuou uma seleção dos algoritmos mais apropriados, e mostrou que os algoritmos de Dijkstra e A\* são viáveis e eficientes na busca de trajetórias otimizadas em um espaço agrícola pequeno e conhecido.

A programação do aplicativo desenvolvido no computador serve para melhorar o contorno da cultura usando arquivos de mapeamento via GPS, permitindo fazer a distribuição da cultura, sendo este resultado inovador para pequenas culturas; além de ajudar na distribuição otimizada da mesma.

A aplicação da rede de comunicação sem fio tipo Xbee, mostrou flexibilidade, eficiência e facilidade de configuração, para aplicação nas pequenas culturas com baixo custo; permitindo sua expansão para áreas maiores, ou para configurar uma rede tipo malha quando houver problemas de comunicação.

As simulações dinâmicas realizadas, sobre posicionamento automático do veículo, mostraram que o sistema pode atingir posicionamentos com erros entre 0,05 m com correção da posição, os ensaios reais realizados indicam erros de posicionamento entre 0,05 e 0,10 m oferecendo uma precisão acertada e viável para uma aplicação proposta.

Foi constatado que o sistema de dosagem desenvolvido é confiável, acertado e inovador como sistema de dosagem de fertilizantes líquidos, com erro máximo de 3%, sendo capaz de aplicar volume e quantidades diferentes a cada planta; além de permitir mudar a base de dados atual, por um sistema de informação geográfica ou um mapa de dados da cultura. Além do mais, é um sistema que pode até ser utilizado para irrigação orientada nas culturas.

O projeto do veículo mostrou potencialidade, flexibilidade e vantagens do uso de softwares tipo “*solidworks*” para projetar sistemas e simular processos, antes da construção dos protótipos reais.

O projeto mostrou que a metodologia proposta de mapear os limites da cultura com GPS de precisão apropriada, usando frequências com sinal livre; é acertada, inovadora e viável com tecnologia e custo bem menor do que as aplicações das grandes áreas de produção; abrindo-se

o caminho para o melhoramento de culturas tradicionais e o crescimento econômico dos pequenos agricultores.

O sistema pode ser melhorado de muitas formas, mas são propostas algumas sugestões para futuros trabalhos:

O comportamento do sistema na escala reduzida mostrou que é interessante e viável a construção de um protótipo na escala real, para fazer ensaios em plantações reais, não possíveis nesta tese, devido à difícil consecução dos recursos econômicos e a ausência de uma cultura disponível para testes programados, além dos problemas climáticos dos últimos seis meses com muitas chuvas.

O sistema programado em Matlab® para distribuição da cultura na área mapeada, pode ser melhorado ainda mais, com a conexão aos sistemas de informação geográfica especializados ou públicos, para visualização da distribuição da cultura nas imagens de tipo satélite, e o traçado das trajetórias em tempo real sobre elas.

O comportamento do sistema de dosagem sugere a abordagem da etapa de medição de propriedades do solo e da planta em tempo real; para integração dos sinais da cultura para substituição da base de dados e/ou a utilização de um sistema de informação geográfica da cultura; para o começo da gestão da cultura de forma eficiente e otimizada.

A presente tese surgiu pelo interesse de desenvolver aplicativos úteis para o crescimento tecnológico da agricultura na Colômbia, onde a produção é feita pelos pequenos agricultores numa alta percentagem precisando de equipamentos e tecnologia apropriados para desenvolver as tarefas de produção com uma maior eficiência e rendimento. Isto oferece produtos de melhor qualidade e em maior quantidade, fazendo a vida diária do agricultor mais fácil e mais rentável economicamente. A esperança destes resultados é oferecer uma primeira contribuição ao desenvolvimento de tecnologia própria para o crescimento da área agrícola, na busca de melhores condições de vida para o nosso produtor mais carente na Colômbia. O primeiro passo para o crescimento da agricultura é acreditar no nosso próprio esforço e no nosso conhecimento para criar produtos tecnológicos eficientes e adaptáveis às características geográficas específicas desta bela e produtiva terra. Isso só se pode atingir quando for possível garantir um

orçamento alto e apropriado para desenvolver uma pesquisa significativa, com prioridade para a agricultura na Colômbia...

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB. Productos y servicios.

(<http://www.abb.com.co/product/es/9AAC100400.aspx?country=CO>). 2012.

ACEROS. Compañía General de Aceros de Colombia. Biblioteca del acero.

(<http://www.cga.com.co>). 2012.

AMIAMA, C., BUENO, J., ALVAREZ, C.J., PEREIRA, J.M. Design and field test of an automatic data acquisition system in a self-propelled forage harvester. **Computer Electronics Agriculture**, v. 61, p. 192-200. 2008.

AMIAMA, C.; BUENO, J.; ÁLVAREZ, C.J. “Evaluation of route Management software for self-propelled forage harvesters road displacements”. **AgEng 2010**. Clermont-Ferrand, France. 2010.

ARDILA, J.A.; HERNÁNDEZ, D.M.; LUQUE, D. Diseño y Construcción de un Vehículo Autónomo Tipo Rover “DIDAJÓ”. **Ingenium Revista de la Facultad de Ingeniería**. Año 7, n, 14, p. 38 – 47. Jul. – Dic. 2006.

ÅSTRAND, B. and BAERVELDT, A.. “An Agricultural Mobile Robot with Vision-based Perception for Mechanical Weed Control”. **Autonomous Robots**. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. No. 13. pp. 21-35. 2002.

BAKKER, T., WOUTERS, H., VAN ASSELT, K., BONTSEMA, J., TANG, L., MÜLLER, J., VAN STRATEN, G. A Vision Based Row Detection System for Sugar Beet. **Computer Electronics Agriculture**. V. 60, 87-95. 2008.

BASCETTA, L.; MAGNANI, G.A.; ROCCO, P.; ROSSI, M.; ZANCHETTIN, A.M. Teleoperated and Autonomous All Terrain Mobile Robots (TA-ATMR). B&R **First European Industrial Ethernet Award**, Salzburg (Austria) June 2009, 27th, fourth classified ([http://www.br-automation.com.cn/files\\_br\\_com/Zanchettin09\\_Teleoperated\\_Autonomous\\_All\\_Terrain\\_Mobile\\_Robot.pdf](http://www.br-automation.com.cn/files_br_com/Zanchettin09_Teleoperated_Autonomous_All_Terrain_Mobile_Robot.pdf))

BIODIESELbr. Biodieselbr Online Ltda, 2011. (<http://www.pinhaomanso.com.br/pinhaomanso.html>) , consultada em Novembro de 2012.

BISWAS, S.; LOVELL, B. C. Bézier and Splines in Image Processing and Machine Vision. **London: Springer-Verlag**, 246p. 2008.

BLACKMORE, S. Agricultura de precisión - AP. **Revista Nacional de Agricultura**. Colombia. No. 949, pp. 20-28. Junio 2007.

BLACKMORE, B. S., FOUNTAS, S., VOUGIOUKAS, S., TANG, L., SØRENSEN, C. G., AND JØRGENSEN, R. A Method to Define Agricultural Robot Behaviours. **Mechatronics & Robotics Conference (MECHROB)**. pp.1197-1200. 2004).

BULANON, D. M. OKAMOTO, H. and HATA, S. “Feedback control of manipulator using machine vision for robotic apple harvesting”. ASABE. **Annual International Meeting**, 17 – 20. Tampa, Florida. Paper No. 053114. July, 2005.

BULLOCK, D. G., BULLOCK, D.S., NAFZIGER, E. D., PETERSON, T.A., CARTER, P., DOERGE, T., PASZKIEWICZ, S. Does Variable Rate Seeding of Corn Pay? **Agronomics**. Jun, n. 90, pp. 830-836. 1998.

BULLOCK, D.S.; SWINTO, S. and LOWENBERG-DE BOER. Can Precision Agricultural Technology Pay For Itself? The Complementarity of Precision Agriculture Technology and Information. **Forthcoming in Agricultural Economics, published by The International Association of Ag. Econ.** 2002.

CALDAS, O. I.; MONROY, D.J.; ESPITIA, D.M.; GARCÍA, M.A. and CASTILLO, R.A. “Aproximación de una Planeación Óptima de la Trayectoria para un Robot Móvil”. Colombia, **4th IEEE Colombiano Workshop on Robotics and Automation** Ponencia: Aproximación de una planeación óptima de la trayectoria para un robot móvil. 2008.

CAMILLI, A., CUGNASCA, C.E., SARAIVA, A.M., HIRAKAWA, A.R., CORRÊA, P.L.P. From Wireless Sensors to Field Mapping Anatomy of and Application for Precision Agriculture. **Computer Electronics Agriculture**, v. 58, p. 25-36. 2007.

CENIPAPA. Centro internacional de la papa. Manejo del cultivo de la papa en Ecuador. (<http://www.conpapa.com/raizdevida/archivos/Manejo%20del%20suelo%20en%20el%20cultivo%20de%20papa.pdf>). 2011.

CHRISTY, C.D. Real-time Measurement of Soil Attributes Using on-the-go Near Infrared Reflectance Spectroscopy. **Computer Electronics Agriculture**, v. 61, p. 10-19. 2008.

COHEN, Y., COHEN, A., HETZRONI, A., ALCHANATIS, V., BRODAY, D., GAZIT, Y., TIMAR, D., Spatial Decision Support System for Medfly Control in Citrus. **Computer Electronics Agriculture** v. 62, p. 107-117. 2008.

DA CUNHA, J.P.A.R.; MARTINS, D.H.; DA CUNHA, W.G. Operational Performance of the Mechanized and Semi-Mechanized Potato Harvest. **Engenharia Agricola Jaboticabal**. v. 31, n. 4, p. 826-834, Jul./Ag. 2011.

DE BRUIN, S., HEUVELINK, G.B.M., BROWN, J.D. Propagation of Positional Measurement Errors to Agricultural Field Boundaries and Associated Costs. **Computer Electronics Agriculture**, v. 63, p. 245-256. 2008.

DIEGEL, O.; BADVE, A.; BRIGHT, G.; POTGIETER, J.; TLALE, S. Improved Mecanum Wheel Design for Omni-directional Robots. In: Proc. 2002. 27 – 29 November, 2002, Auckland. **Australasian Conference on Robotics and Automation**. p. 117-121, 2002.

EPANET. Análisis y simulación de redes hidráulicas a presión.

(<http://www.instagua.upv.es/Epanet/>). 2012.

FANG, H., Y YONG, H. A Pocket-PC Based Field Information Fast Collection System. **Computer Electronics Agriculture**, v. 61, p. 254-260. 2008.

FEDEPAPA. Guía Ambiental para El Cultivo de la Papa. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia. Documento Técnico Mayo, 2004. ([http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias\\_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/AGRICOLA%20Y%20PECUARIO/Guia%20Ambiental%20para%20el%20cultivo%20de%20la%20papa.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/AGRICOLA%20Y%20PECUARIO/Guia%20Ambiental%20para%20el%20cultivo%20de%20la%20papa.pdf))

FENALCE - Depto Económico. I Censo Nacional del Trigo en Colombia. Resultados parciales a Abril de 2006. **El Cerealista, Política Agronómica**. p 26-28. ([www.fenalce.org](http://www.fenalce.org).) Abril de 2006.

GAN-MOR, S., CLARK, R.L., UPCHURCH, B. Implement Lateral Position Accuracy Under RTK-GPS Tractor Guidance. **Computer Electronic Agriculture**, v. 59, p. 31-38. 2007.

GARCÍA-PÉREZ, M.C., GARCÍA-ALEGRE, A., RIBEIRO, A., GUINEA, D. An Agent of Behavior Architecture for Unmanned Control of a Farming Vehicle. **Computer Electronics Agriculture** v. 60, p. 39-48. 2008.

GEÉ, CH., BOSSU, J., JONES, G., TRUCHETET, F. Crop/Weed Discrimination in Perspective Agronomic Images. **Computer Electronic Agriculture**, v. 60, p.49-59. 2008.

GODOY, E.P.; TABILE, R.A.; PEREIRA, R.R.D.; TANGERINO, G.T.; PORTO, A.J.V.; INAMASU, R.Y. Design and Implementation of an Electronic Architecture for an Agricultural Mobile Robot. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14 , n. 11, p. 1240-1247. 2010.

GRIFFIN, T.W. and LOWENBERG-DE BOER, J. Yield Monitor Data Analysis. **SSMC** ([www.purdue.edu/ssmc](http://www.purdue.edu/ssmc)) Sept. 2005

GRIFFIN, T.W. and LOWENBER-DE BOER, J. Worldwide adoption and profitability of precision agriculture: implications for Brazil. **Revista de Política Agrícola**, v. 14, n. 4, pp. 20-38. 2005.

GUERRERO, R. Fertilización de Cultivos en Clima Frío: Fertilización de la papa en Cundinamarca y Boyacá, p. 47-132. **Monómeros Colombo Venezolanos S.A.** (<http://www.monmeros.com/descargas/dpmanualfrio.pdf> ,15 de agosto de 2011). 1998.

HAGUE, T.; MARCHANT, J.A. TILLET, N.D. Ground Based Sensing Systems for Autonomous Agricultural Vehicles. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 25, n. 1-2, pp. 11-28. 2000.

HAGUE, T.; TILLET, N.D. Navigation and Control of an Autonomous Horticultural Robot. **Mechatronics**, Oxford, v. 6, n. 2, pp. 165-180. 1996.

IIDA, M.; KANG, D.; TANIWAKI, M.; TANAKA, M.; UMEDA, M. Localization of CO<sub>2</sub> Source by a Hexapod Robot Equipped with an Anemoscope and a Gas Sensor. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 63, p. 73-80, 2008.

INFOAGRO. El cultivo de arroz. Informe técnico. (<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm>) consulta em Jan., 2013.

INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Agricultura de Precision y Máquinas Precisas. **Actualización Técnica No. 9**. Córdoba, Argentina, Feb. 2011. (<http://www.inta.gov.ar>).

INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Córdoba. Pautas para Pulverizadoras. In: **8° Curso de agricultura de precisión y 3ª Expo de Máquinas Precisas**. 14-16 Octubre, 2008, INTA\_EEA- Manfredi. Córdoba, Argentina. p. 9, 2008. (<http://www.inta.gov.ar>).

INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Sistemas mecánicos usados en la inyección de fertilizantes. En: Biblioteca de fertilidad y fertilizantes en español. (<http://www.fertilizando.com/articulos/Sistemas%20Mecanicos%20usados%20en%20la%20I>

[nyeccion%20de%20Fertilizante.asp](#)). 2012.

JORGENSEN, R.N., NORREMARK, M., SORENSEN, C.G., ANDERSEN, N.A. Utilizing Scripting Language for Unmanned and Automated Guided Vehicles Operating Within Row Cops. **Computer Electronics Agriculture**, Science Direct. v. 62, p. 190-203. 2008.

JORGENSEN, R.N., SORENSEN, C.G., MAAGAARD, J.; HAVN, I.; JENSEN, K.; SOGAARD, H.T.; SORENSEN, L.B. Hortibot: A System Design of a Robotic Tool Carrier for High-Tech Plant Nursing. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal**, v. 9, n. 1, p. 1-13. Jul. 2007.

KANELLOU, E.C.; SPYROPOULOS, N.V. e DALEZIOS, N.R. Geoinformatic Intelligence Methodologies for Drought Spatiotemporal Variability in Greece. **Water Resource Management**, v. 26, pp. 1089-1106. 2011.

KEICHER, R.; SEUFER, H. Automatic Guidance for Agricultural Vehicles in Europe. **Computer and electronics in Agriculture**, New York. v. 25, n. 1-2, p. 169-194. 2000.

KENNETH, J. **Bombas, Selección, uso y mantenimiento**. Madrid. McGraw-Hill. Cap. 3, p. 154. 1978.

KISE, M.; ZHANG, Q. Creating a Panoramic Field Image Using Multi-Spectral Stereovision System. **Computer and electronics in Agriculture**, v. 60, p. 67-75. 2008.

KITCHEN, N., Emerging Technologies for Real-Time and Integrated Agriculture Decisions. **Computer and electronics in Agriculture**, v. 61, p. 1-3. 2008.

KUMHÁLA, F.; KROULÍK, M. and PROSEK, V. “Development and evaluation of forage yield measure sensors in a moving-conditioning machine”. **Computers and Electronics in Agriculture**. Science Direct. No. 58. pp. 154-163. 2007.

LAMB, D.W., FRAZIER, P., ADAMS, P. Improving Pathways to Adoption: Putting the Right P's in Precision Agriculture. **Computer Electronic Agriculture**, v. 61, p. 4-9. 2008.

LESTER, P. “A\* Pathfinding para Iniciantes”. [Online]. Available: [http://www.policyalmanac.org/games/aStarTutorial\\_port.htm](http://www.policyalmanac.org/games/aStarTutorial_port.htm). 2005

LEEMANS, V., DESTAIN, M.F. A Computer-Vision Based Precision Seed Drill Guidance Assistance. **Computer Electronics Agriculture**, v. 59, p. 1-12. 2007.

LOGHAVI, M. and BEHZADI M, B. “Development of a target oriented weed control system”. **Computers and Electronics in Agriculture**. Science Direct. No. 63. pp.112-118. 2008.

LÓPEZ, J.A.; GARCÍA, A.J.; SOTO, F.; IBORRA, A.; GARCÍA, F.; GARCÍA, J. Design and Validation of a Wireless Sensor Network Architecture for Precision Horticulture Applications. **Precision Agriculture**, v.12, p. 280-295. 2011.

MARÍN, J. A.; ZAMORA, M.A. and MARTÍNEZ, H. “Planificación de trayectorias en un mapa de celdillas difusas”. **Universidad de Murcia**. 2003.

MARTÍN, P.; HERNÁNDEZ, O.; ARIAS, N.; AMAYA, W. y RANGEL, J. “Diseño de un sistema de dosificación para distribución inteligente de fertilizantes”. **Proceedings of the Second International Symposium on Innovation and Technology ISIT 2011**. International Institute of Innovation and Technology E.I.R.L. (IIITEC), Lima, Perú. pp.113 - 119. 2011.

MARTÍN, P.; HERNÁNDEZ, O.; SAZIPA, R. “Diseño e Implementación de una Técnica de control de movimiento para un vehículo aplicado a la agricultura”. In: **I Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica y de Automatización. CIIMA 2012**. 24 – 26 de Octubre de 2012. Cali, Colombia. Universidad Autónoma de Occidente. CD. 2012.

MARTÍN, P.; HERNÁNDEZ, O.; BANDARRA, E.; SALES, R.; BATISTA DE F., A. “Evaluación de trayectorias para un robot móvil autónomo aplicable en pequeñas y medianas producciones agrícolas”. In: **First International Conference on Advanced Mechatronics, Design and Manufacturing Technology – AMDM 2012**. 5-7 de septiembre de 2012. Pereira, Colombia. CD publicado con ISBN: 978-958-722-159-6. 2012.

MARTÍN, P.; HERNÁNDEZ, O.; BANDARRA, E.; SALES, R.; BATISTA DE F., A. “Evaluación de trayectorias para un robot móvil autónomo aplicable en pequeñas y medianas producciones agrícolas”. **Revista Scientia et Technica**. Año XVI, edición No. 52, p. 50-58 Dic. 2012. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. ISSN 0122-1701. 2012.

MARTÍN, P.; HERNÁNDEZ, O.; GARCÍA, A.; LÓPEZ, J.; TUMIALÁN, A.; RANGEL, J. “Planeamiento de trayectorias para un vehículo autónomo en agricultura de precisión”. In: **3rd International Symposium on Innovation and Technology. ISIT 2012**. 26-28 de Nov. de 2012, Cusco, Perú. International Institute of Innovation and Technology E.I.R.L. (IIITEC). p. 110-116. 2012. Premio: “FIRST AWARD SPEAKER”.

MARTÍN, P.; HERNÁNDEZ, O.; AMAYA, W. “Design of dosage system for intelligent distribution of fertilizers”. **Revista Acta Agronómica (A2)**. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle, Colombia. 2013. (Radicado en Junio de 2013).

MARTÍN, P.; HERNÁNDEZ, O. “Autonomous vehicle for dosage fertilizers on small and medium crops”. In: **22nd International Congress in Mechanical Engineering- COBEM 2013**. November 3-7 of 2013. Ribeirão Preto, Brazil. Accepted for presentation. 2013.

MARTÍN, P.; HERNÁNDEZ, O.; TOQUICA, JUAN. “Diseño y simulación de un vehículo prototipo para la distribución inteligente de fertilizantes agrícolas”. **Revista Épsilon de las Facultades de Ingeniería**. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. En revisión. 2013.

MARQUES, A.; MELO, J.A. Prediction of Soil Chemical Attributes Using Optical Remote Sensing. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 4, p. 723-727. 2011.

MARTÍNEZ, H.J.; PINZÓN, N.; BARRIOS, C.A.; ESPINAL, C.F. La Cadena de la Papa en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. **Documento de Trabajo No. 54**. Bogotá, Marzo, 2005. (<http://www.agrocadenas.gov.co>)

MATAIX, C. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. Madrid. Castillo. Segunda edición. Cap. 2. Pág. 22. 2006.

MÉNDEZ, D. El Buen momento del Trigo. **El Cerealista. Actualidad Agrícola**, p. 4-8. Octubre 2007.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. Especificaciones Técnicas de Buenas prácticas Agrícolas: Cultivo de Arroz. **Comisión de Buenas Prácticas Agrícolas. Informe Técnico**. Gobierno de Chile. Julio 2008.

MOGENSEN, L.V.; ANDERSEN, N.A.; RAVN, O.; POULSEN, N.K.; Using Kalmtool in Navigation of Mobile Robots. **Kos: European Control Conference**, 8p. 2009.

MOHD, J.F.; RIZON, M.; YAACOB, S.; ADM, A.H.; MAMAT, M.R.. Designing Omni-Direccional Mobile Robot with Mecanum Wheel. **American Journal of Applied Sciences**. v. 3, n. 5, p. 1831-1835. 2006.

MOLIN, J.P; FRASSON, F.R.; AMARAL, L.R.; POVH,F.P.; SALVI,J.V. Capacidade de um Sensor Ótico em Quantificar a Resposta de Cana-de-Açúcar a Doses de Nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campinha Grande, Brasil, v. 14, n. 12, p. 1345-1349. 2010.

MONDADA, F.; PETTINARO, G.C.; GUIGNARD, A.; KWEE, I.; FLOREANO, D.; DENEUBOURG, J.-L.; NOLFI, S.; GAMBARDELLA, L.M.; DORIGO, M. Swarm-bot: a new distributed robotic concept. **Autonomous Robots**, v. 17 n. (2–3) p. 193–221, 2004.

MOORE, K.L.; FLANN, N.S.; A Six-Weelhed Omnidireccional Autonomous Mobile Robot. **IEEE Control Systems Magazine, New York**, v.20, n. 6, p. 53-68, 2000.

MORAIS, R., FERNANDES, M., MATOS, S., SERÔDIO, C., FERREIRA, P.J.S.G., REIS, M.J.C.S. A Zig-Bee Multi-powered Wireless Acquisition Device for Remote Sensing Applications in Precision Viticulture. **Computer Electronics Agriculture**, v. 62, p. 94-106. 2008.

MONTERSON, M. E. **Geometric Modeling**. New York: John Wiley & Sons, 763p. 1985.

MOTT, R. **Mecánica de fluidos**. México. Pearson. Sexta edición. Cap 8.p. 230. 2006.

MURAKAMI, N; ITO, A.; WILL, J.D.; STEFFEN, M.; INOWE, K.; KITA, K.; MIYAURA, S. Development of a Teleoperation System for Agricultural Vehicles **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 63, p. 81-88, 2008.

NXTCam-v3 User Guide, Mindsensors. [Online]. Available: [http://www.mindsensors.com/index.php?module=documents&JAS\\_DocumentManager\\_op=downloadFile&JAS\\_File\\_id=988](http://www.mindsensors.com/index.php?module=documents&JAS_DocumentManager_op=downloadFile&JAS_File_id=988) . 2013.

O'CONNOR, M.; BELL, T.; ELKAIM, G. and PARKINSON, DR. B. "Automatic Steering of Farm Vehicles Using GPS" [On Line]. **Stanford University**. Available: [http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/title/automatic-steering-of-farm-vehicles-using-gps/id/45826085.html.pdf](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/automatic-steering-of-farm-vehicles-using-gps/id/45826085.html.pdf). 1996.

OFI-CATIE. Arboles de Centroamérica. Descripciones de especies. Jatropha Curcas, p. 621-624, ([http://www.semarnat.gob.mx/pfnm2/fichas/jatropha\\_curcas.htm](http://www.semarnat.gob.mx/pfnm2/fichas/jatropha_curcas.htm) ) consulta em Setembro de 2010.

OGATA, K. Dinámica de sistemas. México. Prentice Hall. Cap4. P. 202. 1987.

OLIVEROS, M.A.; MILLÁN, A.J.; VILLAROEL, D. Recomendaciones para el cultivo de soya en condiciones de sabana. FONAIAP - Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Monagas. In: <http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd50/soya.htm>. 2005

PALAFOX, L.E.; GARCÍA, J.A. A Bio-inspired Approach for Data Dissemination in Wireless Sensor Networks **CICESE- Research Center**. México. In: (<http://usuario.cicese.mx/~jagm/docs/bioinspiredWSN2.pdf>). 2006.

PAJARES, G.; RUZ, J.; LANILLOS, P.; GUIJARRO, M; DE LA CRUZ, J. and SANTOS, M. "Generación de trayectorias y toma de decisiones para UAV's". **Revista iberoamericana de automática e informática Industrial**. Vol. 5. No. 1 pp. 83-92. 2008.

PAULSEN, G.L.; FARRITOR, S.; HUNSTBERGER, T.L.; AGHAZARIAN, H. All Terrain Exploration with the Cliff-bot System. In: Proc. ICRA, pp.721-726. (<http://www.engineering.unl.edu/research/robots/publicationdocs/ICRA05-Paper.pdf>). 2005.

PENNEY, L. Chemical Process Equipment, selection and design. Wallas, S. USA. Second edition. 2009.

PETTINARO, G.C.; KWEE, I.; GAMBARDELLA, L.M.; MONDADA, F.; FLOREANO, D.; NOLFI, S.; DENEUBOURG, J.-L.; DORIGO, M.; Swarm-Robotics: A Different Approach to Service Robotics. In: **Proceedings of the 33rd ISR (International Symposium on Robotics)** October 7-11, 2002.

PIERCE, F.J., ELLIOT, T.V. Regional and on-farm Wireless Sensor Networks for Agricultural Systems in Eastern Washington. **Computer Electronics Agriculture**, v. 61, p. 32-43. 2008.

POZO-RUZ, A.; GARCIA-ALEGRE, M.C.; RIBEIRO A.; GARCIA-PEREZ, L.; GUINEA, D.; SANDOVAL, F. Outdoor Vehicle Navigation Based on a Combination of DGPS Receiver and Odometric Sensor Signals. In: **3ECPA-3 European Conf. On Precision Agriculture**, 2001.

RABATEL, G., DELENE, C., DESHAYES, M. A Non-supervised Approach Using Gabor Filters for Vine-plot Detection in Aerial Images. **Computer Electronics Agriculture**, v. 62, p. 159-168. 2008.

RAMÍREZ, F. Conceptos sobre fertilidad de suelos y fertilizantes. Corporación Misti S.A. p. 2, 2011.

RAMOS, M.I., GIL, A.J., FEITO, F.R., GARCÍA-FERRER, A. Using GPS and GIS Tools to Monitor Olive Tree Movements. **Computer Electronics Agriculture**, v. 57, p. 135-148. 2007.

RANGEL, J.E. **Modelagem Cinemática e Dinâmica de uma estrutura RRP+PR**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia, MG. Brasil. 195 p.

2011.

REID, J.F.; ZHANG, Q.; NOGUCHI, N.; DICKSON, M. Agricultural Automatic, Guidance Research in North America. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 25, n. 1-2, p.155-167, 2000

RESKE-NIELSEN, A.; MEJNERTSEN, A.; ANDERSEN, N.; RAVN, O.; NORREMARK, M.; GRIEPENTROG, H.W.; Multilayer Controller for Outdoor Vehicle. In: **Automation Technology for Off-road Equipment Bonn, Germany**.p. 41-49, 1 -2 Sept, 2006.

ROSA, U.A.; CHEETANCHERI, K.G.; GLIEVER, C.J.; LEE, S.H.; THOMPSON, J.; SLAUGHTER, D.C. An Electro-mechanical limb shaker for fruit thinning. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 61 p. 213–221, 2008.

ROSSINI, M. Fertilizantes líquidos Solmix. (<http://www.marcelorossini.com.ar>). 25 de maio de 2012.

SAHU, R.K., RAHEMAN, H. A Decision Support System on Matching and Field Performance Prediction of Tractor-implement System. **Computer Electronics Agriculture**, v. 60, p. 76-86. 2008.

SALDARRIAGA, J. Hidráulica de Tuberías. Ed. Mc Graw Hill Interamericana, Bogotá, Colombia. 564 pp. 1998.

SANTÉ-RIVEIRA, I., CRECENTE-MASEDA, R., MIRANDA-BARRÓS, D. GIS-based Planning Support System for Rural Land-Use Allocation. **Computer Electronics Agriculture**, v. 63, p. 257-273. 2008.

SCORZONI, F.; GODOY, E.P.; TABILE, R.A.; PORTO, A.J.V.; INAMASU, R.Y. Sistema Distribuido para Controle de Posicionamento de Antena Direcional de um Robô Agrícola Móvel. In: **CONEM 2010, AGOSTO. 2010, Campina Grande, Paraíba, Brasil. VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. 2010.**

SHANAHAN, J.F., KITCHEN, N.R., RAUN, W.R. SCHEPERS, J.S. Responsive in-season Nitrogen Management for Cereals. **Computer Electronics Agriculture**, v. 61, p. 51-62. 2008.

SIGMA. Sistemas inteligentes para la automatización industrial. ([http://www.mes-sigma.net/Cursos /images/Sensores%20Capacitivos.pdf](http://www.mes-sigma.net/Cursos/images/Sensores%20Capacitivos.pdf)). 2012.

SILVA, G.; TORRES, P.; BECKER, M. O uso de Algoritmos A\* e Field A\* em Robôs agrícolas. In: **CONEM 2010, AGOSTO. 2010, Campina Grande, Paraíba, Brasil. VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. 2010.**

SILVA, JOSE. Aplicação *Pathfinding* e Árvore de Decisão para Navegação de sistema robótico autônomo. Tese de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG, Brasil. 150 p. 2010.

SLAUGHTER, D.C., GILES, D.K., DOWNEY, D. Autonomous Robotic Weed Control Systems: a Review. **Computer Electronics Agriculture**, v. 61, p. 63-78. 2008.

SOUTHALL, B.; HAGUE, T.; MARCHANT, J.A.; BUXTON, B.F. An Autonomous Crop Treatment Robot: Part I. A Kalman Filter Model for Localization and Crop/Weed Classification. **The International Journal of Robotics Research, Cambridge**, v. 21, n. 1, p. 61-74. Jan. 2002.

STERNFELD, R.; HIIEMAA, M.; SELL, R.; LEOMAR, P.; TAMRE, M. Design of a Module-Architecture Autonomous Robot Platform INDIGO. In: **OST Conference, Stockholm. 2005.**

SUDDUTH, K.A., CHUNG, S.O., ANDRADE-SÁNCHEZ, P., UPADHYAYA, S.K. Field Comparison of Two Prototype Soil Strength Profile Sensors. **Computer electronics Agriculture**, v. 61, p. 20-31. 2008.

THUEER, T.; KREBS, A.; SIEGWART, R. Comprehensive Locomotion Performance Evaluation of All-Terrain Robots. In: **International Conference on Intelligent Robots and Systems - IROS - IROS**, p. 4260-4265, 2006.

VALENCIA, RUBÉN; CARMEN, H.; VARGAS, H.; ARRIETA, G. Variedades Mejoradas De Soya Para Zonas Productoras Actuales y Potenciales de Colombia. Boletín Técnico Corpoica. Villavicencio, Colombia. (http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/oferta/VARIEDADESMEJORADAS.pdf). Marzo, 2005.

VELLIDIS, G., TUCKER, M., PERRY, C., KVIEN, C., BEDNARZ, C. A Real-Time Wireless Smart Sensor Array for Scheduling Irrigation. **Computer Electronics Agriculture** v. 61, p. 44-50. 2008.

YONG, H.; HUANG, M.; GARCÍA, A. HERNÁNDEZ, A. and SONG, H. "Prediction of soil macronutrients content using near-infrared spectroscopy". **Computers and Electronics in Agriculture**. Science Direct. No. 58. pp. 144-153. 2007.

Páginas web de cultura de batata:

<http://www.todopapa.com.ar/?OpcionID=Nutricion>

[http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/tec-papa.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-papa.pdf)

<http://www.agrocadenas.gov.co> [agrocadenas@iica.int](mailto:agrocadenas@iica.int) Ministerio de agricultura Colombia

[www.cevipapa.org.co/](http://www.cevipapa.org.co/)

[..http://www.paginasamarillas.com/www.fintel.com.co/web\\_12674425\\_2\\_1\\_2496\\_1\\_1/index.aspx](http://www.paginasamarillas.com/www.fintel.com.co/web_12674425_2_1_2496_1_1/index.aspx)

## **ANEXO A**

### **TESTES DE MEDIÇÃO DE COORDENADAS DE POSIÇIONAMENTO GEOGRAFICO GPS**

A possibilidade de desenvolver uma aplicação viável para pequenas e médias produções é suportada grandemente na obtenção de coordenadas GPS sem depender de um sistema de correção digital de dados (DGPS) ou de correção cinemática em tempo real (RTK); já que precisa de maior quantidade de equipamento e de um serviço de dados permanente além dos custos que significa. Para isso foram feitos algumas medições com GPS em diferentes equipamentos; para estabelecer com certeza a possibilidade de fazer o mapeamento dos limites da cultura com serviço GPS livre e, com estes dados, fazer a distribuição da cultura e calcular os pontos de controle de deslocamento ao interior da cultura com precisão suficiente.

As medições foram realizadas com três equipamentos GPS diferentes: um GPS GARMIN® GPSMAP 60CSx de precisão métrica (cinco a quinze metros), um GPS TRIMBLE® GEO Explorer 3 de precisão sub métrica (menor de um metro) e um dGPS para controlador NXT® de Dexter Industries® pela conexão direta ao controlador para armazenamento de dados de posição. Essa seleção fez possível a determinação da metodologia específica de medição das coordenadas dos limites da cultura; para depois fazer uma distribuição dos espaços obtidos, segundo as características da cultura específica.

#### **A.1 Medições com a equipe GARMIN GPSMAP 60CSx de precisão métrica**

Os dados foram inicialmente tomados a partir de leituras com médias diferentes variando desde 10 a cada 10 até 200 leituras. Foi determinado que a média não mudou muito depois de 15 leituras, portanto, decidiram-se medir todos com 15 leituras em média. Fizeram-se medições no estacionamento da Universidad de La Salle, em casa Candelária de Bogotá. Os

pontos de referência foram escolhidos como mostrado na Fig. A.1, com referência à forma retangular das quadras de esporte nos estacionamentos. As condições foram: temperatura entre 8 e 14 graus Celsius e céu com nuvens e possibilidade de chuva.

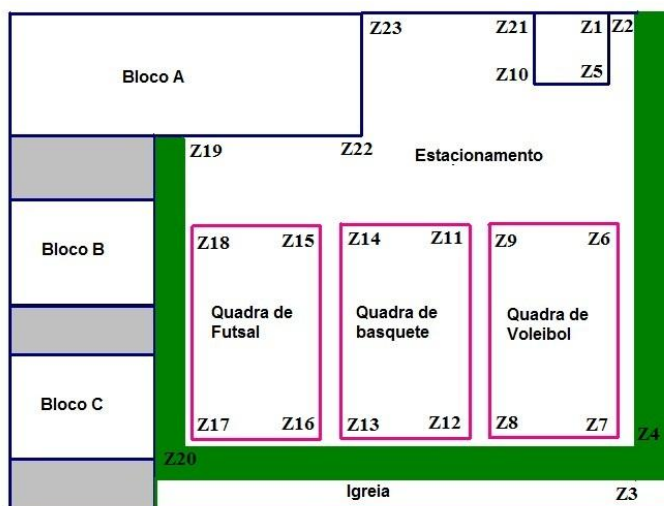


Figura A.1. Distribuição dos pontos de referência representados com codificação “Zxx” nos campos de esporte e nos estacionamentos da Universidade de La Salle, para mapeamento com GPS GARMIN MAP 60CSx.

Segundo as linhas brancas de limite dos campos de futebol, e sua representação no Google Earth®, foram desenvolvidas as comparações com as leituras. A Fig. A.2 mostra na imagem de Google Earth® a verdadeira forma em retângulos de cor verde e os polígonos em cores com as medições obtidas da seguinte forma: O campo de futebol é representado em cor laranja dos pontos A15, A16, A17, A18; o campo de basquete, representado de cor amarelo dos pontos A11, A12, A13, A14 e o campo de vôlei representado de cor azul dos pontos A6, A7, A8 e A9.

A Fig. A.3 mostra na imagem de Google Earth® a verdadeira forma em retângulos de cor amarelo e os polígonos em cores com as medições obtidas da seguinte forma: O campo de futebol é representado em cor laranja dos pontos B15, B16, B17, B18; o campo de vôlei representado de cor azul dos pontos B6, B7, B8 e B9 e os limites do estacionamento são representados de cor verde dos pontos B2, B4, B20, B19, B22, B23 e B5. Para esta coleta de dados, todo o perímetro do estacionamento é representado por uma linha verde. A cor das bandeiras representa a proximidade dos dados obtidos com os dados GIS: aqueles mais

afastados da posição real são representados pela cor vermelho e aqueles que estão perto da posição real são representados pela cor verde. A análise foi realizada segundo as medidas obtidas dos campos de futebol e vôlei, além de alguns pontos escolhidos pela grande diferença entre eles.



Figura A.2 - Representação da primeira mostra das quadras de esporte no GIS de Google Earth® junto com as posições segundo as medições com GPS GARMIN®. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).



Figura A.3 - Representação da segunda mostra dos campos de esporte no GIS de Google Earth® junto com a posição segundo as medições com GPS GARMIN® na Universidad de La Salle no bairro Candelária. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032-beta).

Dos Pontos escolhidos o ponto Z4 da Fig. A.4, é mostrado com as suas as posições A4 e B4 experimentalmente obtidas e o lugar de posição real B4 (ou Z4).



Figura A.4-. Diferença de posição do ponto Z4. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).

Assim, a diferença de leitura é calculada segundo a relação:

$$\text{Coordenada esperada} - \text{coordenada obtida} = \text{erro estimado} \quad (1)$$

Esta relação aplica-se tanto na latitude quanto na longitude. Dado que o resultado é dado em sistema de coordenadas geográficas, é necessário o sistema métrico de medida para calcular o erro em metros, que é a referência que dará os resultados. As coordenadas de metros equivalentes são obtidas pela relação seguinte:

$$1^\circ \text{ em longitude} = 111,131 \text{ Km} \quad (2)$$

$$1^\circ \text{ em latitude} = 111,319 \text{ Km} \quad (3)$$

Assim, um segundo é equivalente:

Em longitude:

$$(111,131\text{Km} / 3600'') = 30,86972\text{m}$$

Em latitude:

$$(111,319\text{Km} / 3600'') = 30,9219\text{m}$$

A Tabela A.1 mostra o erro obtido para os pontos B4 e A4 na comparação com Z4:

Tabela A.1. Erro obtido para os pontos B4 e A4 na comparação com Z4.

| GPS GARMIN® |             |             | GIS - Google Earth® |            | Diferença (m) |       | Diferença (m) |          |
|-------------|-------------|-------------|---------------------|------------|---------------|-------|---------------|----------|
| Ponto       | Latitude    | Longitude   | Latitude            | Longitude  | Lat.          | Long. | Norte         | Oeste    |
| A4          | 4°35'39,16" | 74°4'11,27" | 4°35'38,76"         | 74°4'11,8" | -0,4          | 0,53  | -12,368       | 16,36057 |
| B4          | 4°35'39,58" | 74°4'11,56" | 4°35'38,76"         | 74°4'11,8" | -0,82         | 0,24  | -5,3552       | 7,40856  |

A diferença negativa nas tabelas indica que o erro de ponto frente a ponto real é medido na direção oposta à mostrada na tabela. É dizer: para atingir o ponto Z4 desde o ponto A4, o deslocamento é de 12,3684 m na direção Norte e 16,36057 m na direção Este.

Para o campo de futebol, a Tabela A.2 mostra os resultados de medições com GPS e sua comparação com GIS de Google Earth®.

Tabela A.2. Erro obtido no campo de futebol da Universidad de La Salle

| GPS GARMIN® |             |             | GIS - Google Earth® |             | Diferença (m) |       | Diferença (m) |         |
|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|---------------|-------|---------------|---------|
| Ponto       | Latitude    | Longitude   | Latitude            | Longitude   | Lat.          | Long. | Norte         | Oeste   |
| A15         | 4°35'40,29" | 74°4'12,29" | 4°35'40,18"         | 74°4'12,17" | 0,11          | -0,12 | -3,4013       | -3,7042 |
| A16         | 4°35'39,93" | 74°4'12,51" | 4°35'39,5"          | 74°4'12,7"  | 0,43          | 0,19  | -13,2960      | 5,8651  |
| A17         | 4°35'40,07" | 74°4'13,03" | 4°35'39,87"         | 74°4'13,21" | 0,2           | 0,18  | -6,1842       | -5,556  |
| A18         | 4°35'40,74" | 74°4'12,71" | 4°35'40,54"         | 74°4'12,65" | 0,2           | -0,06 | -6,1842       | -1,8521 |

Nas Tabelas A.3, A.4 e A.5 é mostrado o erro de medição dos campos de futebol, basquete e vôlei respectivamente para a segunda mostra.

Na primeira coleta de dados, o erro de posição tem magnitudes muito grandes, como mostrado na Tabela A.4, onde o erro de posição dos pontos A12 e A13 são, respectivamente, 27 e 20 metros ao Norte da sua posição real e 9 metros ao Oeste da posição real; valores extremamente altos, considerando que o erro teórico de GPS aceitável é de 8 a 10 metros no máximo, segundo as características técnicas. Além de um erro muito grande para uma aplicação de agricultura. Apresenta uma situação semelhante à observada na Tabela A.5, que no ponto A7 apresenta o erro posição maior obtido no experimento, com um erro cuja magnitude é perto de 41 metros ao Norte da posição real. A maior precisão obtida para a *latitude* é obtida no ponto A9 da Tabela A.5, onde o erro é teoricamente igual à zero, e para *longitude*, no ponto A17, onde a diferença entre as posições atinge um valor mínimo de 0,6 m.

Tabela A.3. Erro obtido para o campo de futebol na segunda mostra.

| GPS GARMIN® |          |           | GIS - Google Earth® |           | Diferença (m) |           | Diferença (m) |          |
|-------------|----------|-----------|---------------------|-----------|---------------|-----------|---------------|----------|
| Ponto       | Latitude | Longitude | Latitude            | Longitude | Latitude      | Longitude | Norte         | Oeste    |
| <b>B15</b>  | 43540,29 | 74412,28  | 43540,19            | 74412,2   | -0,1          | -0,08     | -3,0921       | -2,46952 |
| <b>B16</b>  | 43539,79 | 74412,57  | 43539,5             | 74412,7   | -0,29         | 0,13      | -8,96709      | 4,01297  |
| <b>B17</b>  | 43540,06 | 74413,23  | 43539,88            | 74413,21  | -0,18         | -0,02     | -5,56578      | -0,61738 |
| <b>B18</b>  | 43540,63 | 74412,77  | 43540,53            | 74412,69  | -0,1          | -0,08     | -3,0921       | -2,46952 |

Tabela A.4. Erro obtido no campo de basquete da Universidad de La Salle.

| GPS GARMIN® |          |           | GIS - Google Earth® |           | Diferença (m) |           | Diferença (m) |         |
|-------------|----------|-----------|---------------------|-----------|---------------|-----------|---------------|---------|
| Ponto       | Latitude | Longitude | Latitude            | Longitude | Latitude      | Longitude | Norte         | Oeste   |
| <b>A11</b>  | 43539,85 | 74411,66  | 43539,79            | 74411,69  | -0,06         | 0,03      | -1,85526      | 0,92607 |
| <b>A12</b>  | 43539,98 | 74411,95  | 43539,1             | 74412,25  | -0,88         | 0,3       | -27,21048     | 9,2607  |
| <b>A13</b>  | 43540,11 | 74412,39  | 43539,45            | 74412,69  | -0,66         | 0,3       | -20,40786     | 9,2607  |
| <b>A14</b>  | 43540,07 | 74411,89  | 43540,12            | 74412,13  | 0,05          | 0,24      | 1,54605       | 7,40856 |

Tabela A.5. Erro obtido campo de vôlei da Universidad de La Salle.

| GPS GARMIN® |          |           | GIS - Google Earth® |           | Diferença (m) |           | Diferença (m) |           |
|-------------|----------|-----------|---------------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| Ponto       | Latitude | Longitude | Latitude            | Longitude | Latitude      | Longitude | Latitude      | Longitude |
| <b>A6</b>   | 4,353987 | 74,41122  | 4,353946            | 74,41132  | -0,41         | 0,1       | -12,6776      | 3,0869    |
| <b>A7</b>   | 4,354014 | 74,4114   | 4,353882            | 74,41178  | -1,32         | 0,38      | -40,8157      | 11,73022  |
| <b>A8</b>   | 4,353933 | 74,41167  | 4,353914            | 74,41221  | -0,19         | 0,54      | -5,87499      | 16,66926  |
| <b>A9</b>   | 4,353976 | 74,41155  | 4,353976            | 74,41174  | 0,00          | 0,19      | 0,00          | 5,86511   |

Uma tendência geral é a seguinte: é possível ver como os maiores erros ocorrem nos pontos que estão mais próximos à igreja (parte inferior das figuras A.1, A.2, e A.3), mesmos pontos da região destacada em cor amarelo, como mostrado na Fig. A.5. Esse erro possivelmente está relacionado com erros de multi caminho causado pela proximidade de um dos mais altos edifícios da Universidad de La Salle como é a igreja. Também se pode ver que

os pontos com menor erro de posição, são aqueles que têm uma clara linha de visão com o céu, típico de sistemas desta natureza agrícola. Isso pode ajudar na aplicação em espaço aberto.

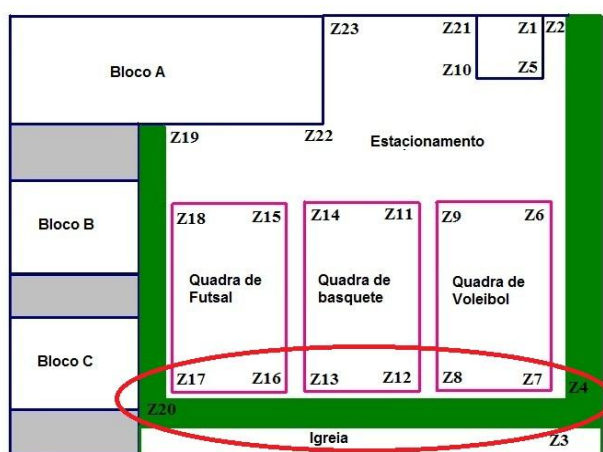


Figura A.5. - Região onde estão os pontos com maior erro de posição GPS.

Possivelmente as condições climáticas afetam a precisão do dispositivo GPS. É necessário fazer uma correção do sinal GPS, para aumentar a precisão do sistema e tornar o sistema viável para localização espacial. Devido à natureza do receptor GPS, o erro obtido inferior a 10 metros teria sido aceitável, mas para a localização espacial de um robô autômato, é inaceitável, já que um erro de magnitudes elevadas pode comprometer seriamente a funcionalidade do sistema e a segurança do veículo.

A utilização de um sistema de correção de posição Digital (DTK) ou Cinemática em tempo real (RTK) com antena GPS junto com altos custos envolvidos, leva a propor um desenvolvimento de sistema de correção de posição baseado nos dados GPS de mapeamento, controlado por sensoriamento embarcado no veículo. Isso se pode fazer garantindo dados de medição com uma equipe GPS de precisão em centímetros.

## A.2 Medições com a equipe TRIMBLE® Geo Explorer 3

Foi programado fazer as mesmas medições com um GPS Trimble® Geo Explorer 3 de precisão sub métrica com esperança de obter maior precisão de medição das coordenadas, e comparar com os dados do GPS GARMIN® MAP 60CSx. Puderam-se fazer alguns testes iniciais que mostraram maior precisão de posição nas medições com o GPS Trimble® Geo

Explorer3. Os dados foram inicialmente tomados com médias de diferentes quantidades de leituras, variando de 10 a cada 10 até 200 leituras. Em esta vês foram tomados os dados com médias de cada 100 leituras para obter maior precisão, e configurando o GPS para gravar leituras a cada cinco segundos. Não foi possível fazer uma repetição dos testes de GPS GARMIN® já que os estacionamentos e campos de esporte da universidade foram reconstruídos no ano 2012 segundo a Fig. A.6; levando a estruturar outras medições diferentes. Fizeram-se medições no estacionamento da Universidad de La Salle, em casa Candelária de Bogotá segundo os pontos da Fig. A.7 em um dia quente com temperatura de 14 até 18 graus Celsius e céu sem nuvens.

Segundo as linhas amarelas de limite do campo de vôlei novo e da circunferência do centro de campo esportivo em cor laranja, foram estabelecidos os novos pontos de mapeamento segundo mostrado na Fig. A.7. A Fig. A.8 mostra na imagem de Google Earth® a representação dos dados da circunferência na esquerda e dos dados de limite do campo de vôlei na direita. Não foi possível medir a precisão pela falta dos dados reais, já que Google Earth® não tem as imagens atualizadas dos campos esportivos. Estas imagens disponíveis são do ano 2010. As imagens da Fig. A.8 deixam ver um nível de precisão ruim para distâncias menores segundo a definição da circunferência, além de uma melhor aproximação no mapeamento dos limites do campo de vôlei, mas ainda não é possível estabelecer o GPS como útil para agricultura como procurado. Os dados foram gravados com leituras a cada um segundo com a equipe configurada em precisão média e cada leitura gravada é a média de cem leituras de posição. Os dados correspondentes estão na tabela A.6



Figura A.6. Campos de esporte e estacionamentos da Universidad de La Salle, para fazer mapeamento com GPS TRIMBLE® Geo Explorer 3 depois de melhorados no ano 2012.

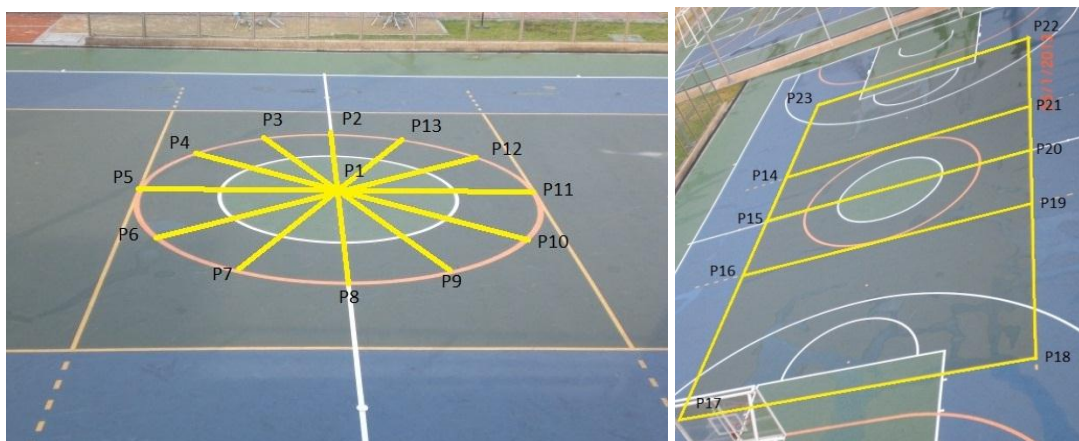


Figura A.7. Distribuição dos pontos de medição nos campos de esporte e os estacionamentos da Universidad de La Salle, para mapeamento com GPS TRIMBLE® Geo Explorer 3



Figura A.8 - Representação da primeira mostra do campo de vôlei no GIS de Google Earth® com GPS TRIMBLE® Geo Explorer3 em precisão média. À esquerda são mostrados os dados da circunferência e na direita os dados de limite do campo de vôlei. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).

Segundo os resultados anteriores, foram feitas outras medições com o GPS Geo Explorer3 num espaço maior da cidade de Bogotá, Colômbia: a primeira num parque central chamado Simón Bolívar seguindo a trajetória da pista atlética onde foi obtida uma quantidade maior de 2500 pontos e foram escolhidos e representados na Fig. A.9 os dados mostrados na Tabela A.8.

Tabela A.7. Medição de pontos de campo de vôlei da Universidad de La Salle com GPS Geo Explorer 3.

| Ponto No. | Latitude (graus) | Longitude (graus) |
|-----------|------------------|-------------------|
| P1        | 4,59445083       | -74,0701719       |
| P2        | 4,59444167       | -74,0701794       |
| P3        | 4,59445667       | -74,0701953       |
| P4        | 4,59446444       | -74,0701994       |
| P5        | 4,59444861       | -74,0701911       |
| P6        | 4,59445250       | -74,0701819       |
| P7        | 4,59443667       | -74,0701717       |
| P8        | 4,59443000       | -74,0701639       |
| P9        | 4,59442000       | -74,0702019       |
| P10       | 4,59442694       | -74,0701583       |
| P11       | 4,59444000       | -74,0701619       |
| P12       | 4,59443778       | -74,0701611       |
| P13       | 4,59445278       | -74,0701931       |
| P14       | 4,59440278       | -74,0701019       |
| P15       | 4,59445361       | -74,0701292       |
| P16       | 4,59444389       | -74,0701378       |
| P17       | 4,59447806       | -74,0701706       |
| P18       | 4,59449750       | -74,0701639       |
| P19       | 4,59448278       | -74,0702800       |
| P20       | 4,59442111       | -74,0702228       |
| P21       | 4,59440056       | -74,0702006       |
| P22       | 4,59439778       | -74,0701794       |
| P23       | 4,59436889       | -74,07013         |

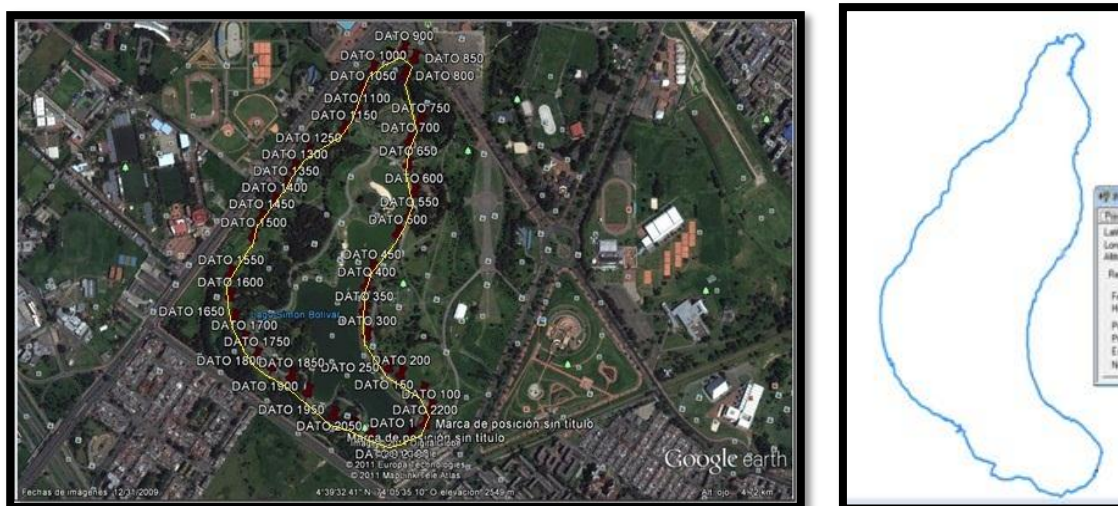


Figura A.9 – Representação no GIS de Google Earth dos dados gravados no Parque Simon Bolívar de Bogotá, Colômbia com GPS TRIMBLE® Geo Explorer3 em precisão média. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).

Tabela A.8. Medição de pontos no parque Simon Bolívar de Bogotá, Colômbia com GPS Geo Explorer3.

| <b>Dado Numero</b> | <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> |
|--------------------|-----------------|------------------|
| <b>1</b>           | 4°39'14.89"N    | 74° 5'33.48"O    |
| <b>50</b>          | 4°39'14.82"N    | 74° 5'33.39"O    |
| <b>100</b>         | 4°39'16.39"N    | 74° 5'32.84"O    |
| <b>150</b>         | 4°39'18.17"N    | 74° 5'33.65"O    |
| <b>200</b>         | 4°39'19.87"N    | 74° 5'35.97"O    |
| <b>250</b>         | 4°39'20.58"N    | 74° 5'37.21"O    |
| <b>300</b>         | 4°39'23.89"N    | 74° 5'39.50"O    |
| <b>350</b>         | 4°39'26.39"N    | 74° 5'39.84"O    |
| <b>400</b>         | 4°39'28.90"N    | 74° 5'39.60"O    |
| <b>450</b>         | 4°39'30.69"N    | 74° 5'39.02"O    |
| <b>500</b>         | 4°39'34.26"N    | 74° 5'36.32"O    |
| <b>550</b>         | 4°39'36.07"N    | 74° 5'35.11"O    |
| <b>600</b>         | 4°39'38.48"N    | 74° 5'34.63"O    |
| <b>650</b>         | 4°39'41.29"N    | 74° 5'35.24"O    |
| <b>700</b>         | 4°39'43.66"N    | 4° 5'35.01"O     |
| <b>750</b>         | 4°39'45.66"N    | 74° 5'33.91"O    |
| <b>800</b>         | 4°39'50.40"N    | 74° 5'35.52"O    |
| <b>850</b>         | 4°39'52.17"N    | 74° 5'34.53"O    |
| <b>900</b>         | 4°39'53.05"N    | 74° 5'35.66"O    |
| <b>950</b>         | 4°39'52.38"N    | 74° 5'37.28"O    |
| <b>1000</b>        | 4°39'51.01"N    | 74° 5'38.88"O    |
| <b>1050</b>        | 4°39'48.94"N    | 74° 5'39.93"O    |
| <b>1100</b>        | 4°39'46.65"N    | 74° 5'40.57"O    |
| <b>1150</b>        | 4°39'44.93"N    | 74° 5'41.93"O    |
| <b>1200</b>        | 4°39'43.85"N    | 74° 5'43.87"O    |
| <b>1250</b>        | 4°39'42.60"N    | 74° 5'45.66"O    |
| <b>1300</b>        | 4°39'40.92"N    | 74° 5'47.11"O    |
| <b>1350</b>        | 4°39'39.22"N    | 74° 5'47.99"O    |
| <b>1400</b>        | 4°39'37.53"N    | 74° 5'49.19"O    |
| <b>1450</b>        | 4°39'35.83"N    | 74° 5'50.54"O    |
| <b>1500</b>        | 4°39'33.95"N    | 74° 5'51.38"O    |
| <b>1550</b>        | 4°39'30.12"N    | 74° 5'53.76"O    |
| <b>1600</b>        | 4°39'27.85"N    | 74° 5'53.81"O    |
| <b>1650</b>        | 4°39'25.69"N    | 74° 5'53.39"O    |
| <b>1700</b>        | 4°39'23.45"N    | 74° 5'52.35"O    |
| <b>1750</b>        | 4°39'21.78"N    | 74° 5'51.04"O    |
| <b>1800</b>        | 4°39'20.65"N    | 74° 5'49.39"O    |
| <b>1850</b>        | 4°39'19.64"N    | 74° 5'47.42"O    |
| <b>1900</b>        | 4°39'18.06"N    | 74° 5'45.69"O    |
| <b>1950</b>        | 4°39'15.66"N    | 74° 5'42.95"O    |
| <b>2000</b>        | 4°39'14.65"N    | 74° 5'41.02"O    |
| <b>2050</b>        | 4°39'13.98"N    | 74° 5'39.02"O    |
| <b>2100</b>        | 4°39'13.15"N    | 74° 5'36.91"O    |
| <b>2150</b>        | 4°39'13.69"N    | 74° 5'34.97"O    |

|             |                     |                      |
|-------------|---------------------|----------------------|
| <b>2200</b> | <b>4°39'14.78"N</b> | <b>74° 5'33.47"O</b> |
|-------------|---------------------|----------------------|

A segunda medição foi num parque chamado Cedro Salazar do bairro Cedritos no setor Norte de cidade seguindo a pista de caminhada. A Fig. A.10 mostra na imagem de Google Earth® a representação dos dados obtidos com precisão média e leituras a cada cinco segundos dos dados mostrados na Tabela A.9.

Tabela A.9. Medição de pontos no parque Cedro Salazar de Bogotá, Colômbia com GPS Geo Explorer3.

| <b>Dado No.</b> | <b>Latitude<br/>(Graus)</b> | <b>Longitude<br/>(Graus)</b> |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------|
| <b>1</b>        | 4,72599194                  | -74,0284975                  |
| <b>2</b>        | 4,7258725                   | -74,0282869                  |
| <b>3</b>        | 4,72580028                  | -74,0280986                  |
| <b>4</b>        | 4,72559694                  | -74,0276767                  |
| <b>5</b>        | 4,72539111                  | -74,0272019                  |
| <b>6</b>        | 4,72528917                  | -74,0270283                  |
| <b>7</b>        | 4,72516972                  | -74,0266517                  |
| <b>8</b>        | 4,72551639                  | -74,0265147                  |
| <b>9</b>        | 4,72559611                  | -74,0267717                  |
| <b>10</b>       | 4,72576417                  | -74,0266764                  |
| <b>11</b>       | 4,72567556                  | -74,0264653                  |
| <b>12</b>       | 4,72587361                  | -74,0264253                  |
| <b>13</b>       | 4,72599361                  | -74,0267364                  |
| <b>14</b>       | 4,72610583                  | -74,0269372                  |
| <b>15</b>       | 4,72628361                  | -74,0272983                  |
| <b>16</b>       | 4,72642139                  | -74,0277225                  |
| <b>17</b>       | 4,72671167                  | -74,0283633                  |
| <b>18</b>       | 4,72696028                  | -74,0282744                  |
| <b>19</b>       | 4,72732917                  | -74,0289247                  |
| <b>20</b>       | 4,72729111                  | -74,0290414                  |
| <b>21</b>       | 4,72740889                  | -74,0291128                  |
| <b>22</b>       | 4,72734278                  | -74,0293894                  |
| <b>23</b>       | 4,72734278                  | -74,0293894                  |
| <b>24</b>       | 4,72734278                  | -74,0293894                  |
| <b>25</b>       | 4,72645778                  | -74,028605                   |
| <b>26</b>       | 4,72662611                  | -74,0287517                  |
| <b>27</b>       | 4,72645778                  | -74,028605                   |
| <b>28</b>       | 4,72599194                  | -74,0284975                  |

Estes dados em espaços maiores mostram que o GPS Geo Explorer3 em precisão média ou preferivelmente alta pode ser utilizado para medição das coordenadas em espaços de um hectare ou maiores em agricultura de precisão; para fazer mapeamento dos limites da cultura.

Sua maior desvantagem é que não permite transmissão dos dados em tempo real, mas em geral um GPS de precisão sub métrica de este tipo pode ser usado.

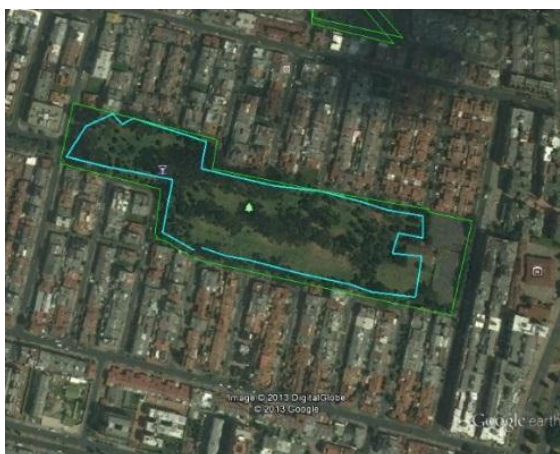


Figura A.10 – Representação no GIS de Google Earth dos dados gravados no Parque Cedro Salazar de Bogotá, Colômbia com GPS TRIMBLE® Geo Explorer3 em precisão média. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).

### A.3 Medições com a equipe dGPS NXT de Dexter Industries®

Uma desvantagem do GPS Trimble® Geo Explorer 3 como foi dito anteriormente é a dificuldade de transmissão dos dados em tempo real. Isso fez necessário fazer testes com um GPS que pudesse gerar um arquivo de dados para transmissão ou transmitir diretamente os dados. Para isso foi obtido o dGPS NXT da marca DEXTER INDUSTRIES®, pela compatibilidade com o controlador NXT® do protótipo de veículo a escala; procurando a geração de um arquivo de dados de mapeamento GPS dos limites da cultura; para enviar pela rede ao computador remoto. As medições foram feitas primeiro sobre os mesmos pontos da Fig. A.7 e no parque Cedro Salazar para comparação com o GPS Geo Explorer3.

Fizeram-se com o dGPS DEXTER® quatro ensaios de medição no campo de vôlei da Universidad da Salle: o primeiro para ver a geração de arquivos de dados e os outros três para comparação com os dados do GPS Geo Explorer 3. Na primeira, foram geradas 1636 leituras, na segunda, 1608 leituras, na terça, 2247 leituras e na quarta, 2238 leituras; depois foram calculadas as médias para cada ponto e representados os resultados dos vinte e três pontos em Google Earth®. Na Tabela A.10 está a média dos dados.

Nas Fig. A.11, A.12, A.13 e A.14 estão representados os dados em Google Earth® e deixam ver um nível de precisão ruim para distâncias menores segundo a definição da circunferência e dos limites do campo de vôlei, mas o dGPS DEXTER® recebe o sinal dos satélites com maior facilidade e rapidez que o GPS Geo Explorer3. Além disso, foi observado que o dGPS apresenta melhor aproximação deixando uns minutos de estabilização depois do começo de recepção do sinal satélite. As medições mostram que o dGPS é de precisão métrica (é dizer, com erro em metros) contudo mostra que a solução é um GPS que possa gerar um arquivo dos dados.

Tabela A.10. Medição de pontos no campo de vôlei da Universidad da Salle com dGPS DEXTER®.

| Ponto | Prova 1  |           | Prova 2  |           | Prova 3  |           | Prova 4  |           |
|-------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|       | Latitude | Longitude | Latitude | Longitude | Latitude | Longitude | Latitude | Longitude |
| 1     | 4,59445  | -74,07014 | 4,59458  | -74,07014 | 4,59461  | -74,07028 | 4,59435  | -74,06994 |
| 2     | 4,59443  | -74,07012 | 4,59413  | -74,07018 | 4,59468  | -74,06984 | 4,59434  | -74,06994 |
| 3     | 4,59441  | -74,07014 | 4,59442  | -74,07020 | 4,59397  | -74,0702  | 4,59434  | -74,06998 |
| 4     | 4,59441  | -74,07014 | 4,59443  | -74,07018 | 4,59432  | -74,07010 | 4,59433  | -74,06997 |
| 5     | 4,59443  | -74,07018 | 4,59439  | -74,07018 | 4,59443  | -74,07016 | 4,59432  | -74,06997 |
| 6     | 4,59439  | -74,07028 | 4,59448  | -74,07018 | 4,59455  | -74,07030 | 4,59432  | -74,06997 |
| 7     | 4,59441  | -74,07018 | 4,59442  | -74,07019 | 4,59441  | -74,07016 | 4,59429  | -74,06995 |
| 8     | 4,59425  | -74,07016 | 4,59438  | -74,07022 | 4,59440  | -74,07016 | 4,59426  | -74,06994 |
| 9     | 4,59435  | -74,06949 | 4,59439  | -74,07022 | 4,59448  | -74,07024 | 4,59431  | -74,06994 |
| 10    | 4,59410  | -74,07007 | 4,594393 | -74,07021 | 4,59446  | -74,07022 | 4,59432  | -74,06994 |
| 11    | 4,59427  | -74,07006 | 4,59442  | -74,07015 | 4,59443  | -74,07014 | 4,59431  | -74,06993 |
| 12    | 4,59432  | -74,07006 | 4,59444  | -74,07018 | 4,59442  | -74,07011 | 4,59432  | -74,06991 |
| 13    | 4,59482  | -74,06994 | 4,59448  | -74,07018 | 4,59441  | -74,07014 | 4,59434  | -74,06997 |
| 14    | 4,59449  | -74,07014 | 4,59447  | -74,07014 | 4,59435  | -74,07011 | 4,59438  | -74,06991 |
| 15    | 4,59460  | -74,0702  | 4,59449  | -74,07011 | 4,59445  | -74,07016 | 4,59440  | -74,06993 |
| 16    | 4,59465  | -74,06991 | 4,59449  | -74,07014 | 4,59435  | -74,07043 | 4,59439  | -74,06994 |
| 17    | 4,59468  | -74,07018 | 4,59448  | -74,07014 | 4,59432  | -74,07037 | 4,59446  | -74,06998 |
| 18    | 4,59467  | -74,07018 | 4,59451  | -74,07020 | 4,59438  | -74,07034 | 4,59444  | -74,06999 |
| 19    | 4,59458  | -74,07026 | 4,59446  | -74,07016 | 4,59453  | -74,07011 | 4,59439  | -74,06994 |
| 20    | 4,59440  | -74,07021 | 4,59445  | -74,07016 | 4,59447  | -74,0702  | 4,59437  | -74,06994 |
| 21    | 4,59433  | -74,07018 | 4,59444  | -74,07020 | 4,59443  | -74,07018 | 4,59434  | -74,06994 |
| 22    | 4,59453  | -74,06991 | 4,59443  | -74,07016 | 4,594416 | -74,07016 | 4,594343 | -74,06995 |
| 23    | 4,594379 | -74,06666 | 4,59441  | -74,06670 | 4,594406 | -74,07007 | 4,594372 | -74,06991 |

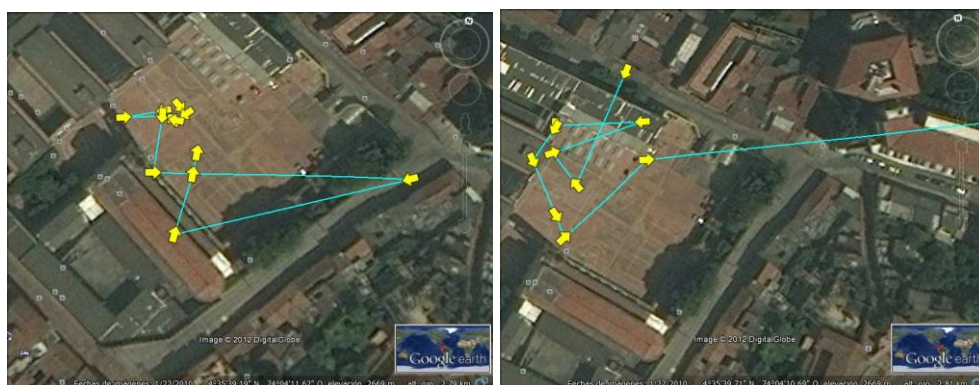


Figura A.11 - Representação da primeira medição do campo de vôlei no GIS de Google Earth® com dGPS DEXTER®. À esquerda são mostrados os dados da circunferência e na direita os dados de limite do campo de vôlei. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).



Figura A.12 - Representação da segunda medição do campo de vôlei no GIS de Google Earth® com dGPS DEXTER®. À esquerda são mostrados os dados da circunferência e na direita os dados de limite do campo de vôlei. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).



Figura A.13 - Representação da terça medição do campo de vôlei no GIS de Google Earth® com dGPS DEXTER®. À esquerda são mostrados os dados da circunferência e na direita os dados de limite do campo de vôlei. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).



Figura A.14 - Representação da quarta medição do campo de vôlei no GIS de Google Earth® com dGPS DEXTER®. À esquerda são mostrados os dados da circunferência e na direita os dados de limite do campo de vôlei. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).

Finalmente, se faça a medição no parque Cedro Salazar como comprovação da medição dos limites de uma área maior e no espaço aberto para comparação com o GPS Geo Explorer3. Na Fig. A.15 estão representadas as médias dos dados e na Tabela A.12 estão às médias.



Figura A.15 - Representação da medição do parque Cedro Salazar no GIS de Google Earth® com dGPS DEXTER®. À esquerda é mostrada a trajetória real da pista de caminhada e na direita os dados de medição com dGPS DEXTER®. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).

A Fig. A.15 mostra que estes dados em espaços maiores com o dGPS DEXTER® e possivelmente pode se usar para medição das coordenadas em espaços de um hectare ou maiores em agricultura de precisão; para fazer mapeamento dos limites da cultura: além das vantagens de facilidade de recepção do sinal de satélite e da geração dos arquivos de dados para transmissão ao computador. Sua maior desvantagem é a precisão métrica e a presença de obstáculos que influem grandemente no erro de medição como mostrado na Fig. A.15.

Tabela A.12. Medição de pontos do parque Cedro Salazar com dGPS DEXTER®.

| <b>Ponto No.</b> | <b>Latitude (graus)</b> | <b>Longitude (graus)</b> |
|------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>P1</b>        | 4,7258860               | -74,028780               |
| <b>P2</b>        | 4,7259060               | -74,028346               |
| <b>P3</b>        | 4,7258440               | -74,028188               |
| <b>P4</b>        | 4,7256515               | -74,027624               |
| <b>P5</b>        | 4,7254230               | -74,027220               |
| <b>P6</b>        | 4,7253065               | -74,026952               |
| <b>P7</b>        | 4,7251870               | -74,026640               |
| <b>P8</b>        | 4,7254440               | -74,026536               |
| <b>P9</b>        | 4,7255440               | -74,026708               |
| <b>P10</b>       | 4,7263385               | -74,026292               |
| <b>P11</b>       | 4,7257035               | -74,026416               |
| <b>P12</b>       | 4,7256930               | -74,026024               |
| <b>P13</b>       | 4,7259735               | -74,026768               |
| <b>P14</b>       | 4,7260935               | -74,026946               |
| <b>P15</b>       | 4,7262755               | -74,027340               |
| <b>P16</b>       | 4,7264450               | -74,027728               |
| <b>P17</b>       | 4,7267020               | -74,028336               |
| <b>P18</b>       | 4,7269895               | -74,028276               |
| <b>P19</b>       | 4,7272940               | -74,028836               |
| <b>P20</b>       | 4,7273515               | -74,029020               |
| <b>P21</b>       | 4,7274975               | -74,029356               |
| <b>P22</b>       | 4,7274595               | -74,029423               |
| <b>P23</b>       | 4,7270920               | -74,029620               |
| <b>P24</b>       | 4,7269375               | -74,029296               |
| <b>P25</b>       | 4,7266720               | -74,028656               |
| <b>P26</b>       | 4,7262075               | -74,028840               |
| <b>P27</b>       | 4,7259790               | -74,028568               |

#### A.4 Cálculo do erro da medição dos GPS

Para o mesmo lugar foi calculado o erro RMS das medições segundo as coordenadas do GIS de Google Earth® como mostrado na figura A.16 tanto para GPS GEO3 quanto para dGPS DEXTER® como mostrado na figura A.17.

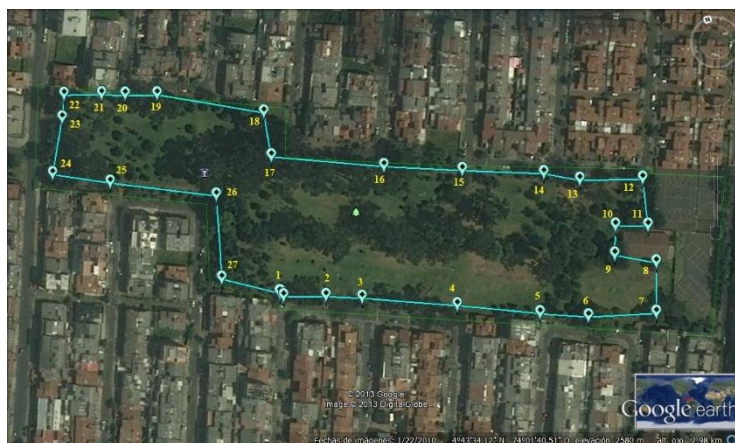


Figura A.16 - Representação das medições do parque Cedro Salazar. Medição dos pontos no GIS de Google Earth® para cálculo de erro das medições com o GPS GEO3 e o dGPS DEXTER®. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).

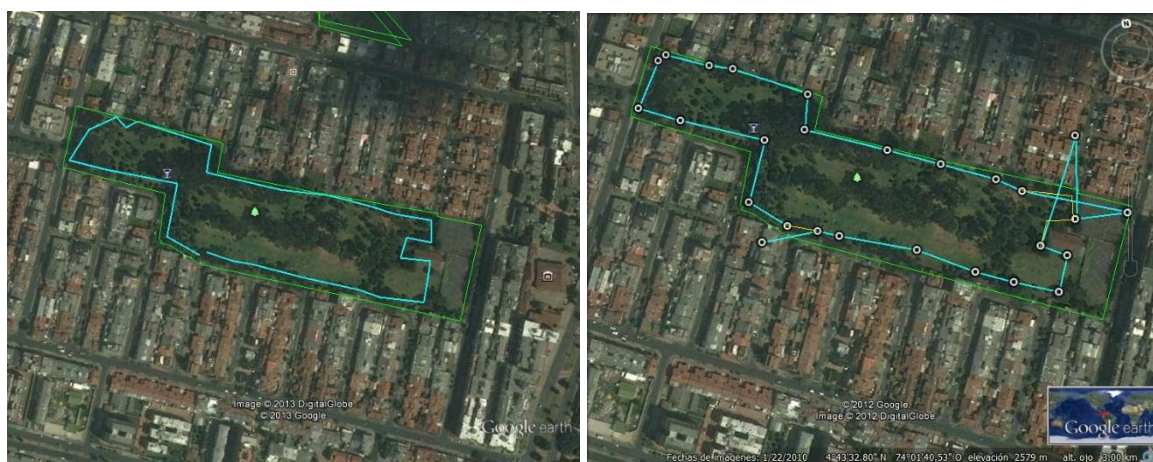


Figura A.17 - Representação das medições do parque Cedro Salazar. Medição dos pontos no GIS de Google Earth®. A esquerda é mostrada a imagem do contorno medido com o GPS GEO3 e na direita é mostrada a imagem do contorno medido com o dGPS DEXTER®. (Google Earth® Versão 6.0.1.2032 - beta).

A figura A.17 na imagem da esquerda, mostra que o GPS GEO3 faz uma medição do contorno de boa definição da forma, mas apresentou alguns problemas pela dificuldade de coleção do sinal. Isso fez necessário medir os dados com precisão média no máximo, além dos problemas apresentados na esquina superior esquerda da imagem pela presença das árvores apresentando muita dificuldade de medição. Na imagem da direita é apresentado o contorno obtido com o dGPS DEXTER®. A imagem mostra boa definição do contorno também, mas tem dois problemas: o primeiro, é que o GPS requer de uns minutos no início para se estabilizar como mostrado no ponto inicial do contorno, na parte central inferior da imagem. Depois da

estabilização do sinal GPS a medição é boa e este equipamento recebe sinal dos satélites com facilidade maior do que o GPS GEO3; a segunda, este GPS também é sensível à presença de árvores e outros objetos como mostrado na parte superior direita da imagem. O erro de posição foi calculado segundo a figura A.18 e é mostrado na Tabela A.13.

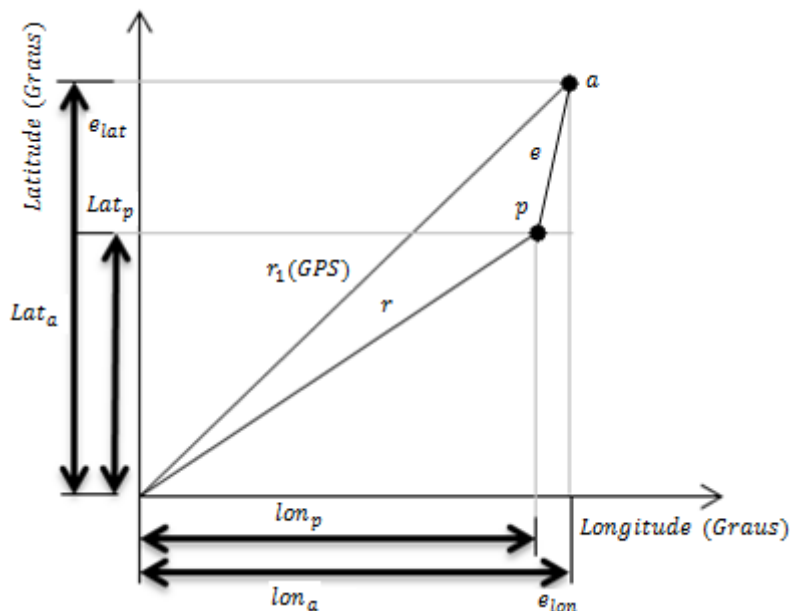


Figura A.18 – Cálculo do erro de medição dos GPS como a diferença de distância entre o ponto procurado e o ponto atingido.

Segundo a análise dos erros de medição da Tabela A.13 mostra-se o seguinte: o GPS GEO3 da firma Trimble® tem maior precisão de medição com erro máxima de 10,55 metros, mas ainda com precisão média de medição é insuficiente para atingir a precisão requerida pela aplicação. Precisa de medição na máxima precisão possível além da correção digital de posição (DGPS). Nos pontos 22, 24, 25 e 27 o erro maior deve-se a perda do sinal do GPS e pela presença das árvores ou dos satélites insuficientes gerando uma falta de medição das coordenadas. Em este caso o GPS mantém as coordenadas do ponto anterior gerando maior erro na comparação com as coordenadas do GIS. O dGPS DEXTER® apresenta uma precisão similar com dificuldade de leitura gerada pela presença das árvores e construções também. O erro na medição concorda com a precisão dada pelo fabricante de 5 até 15 m além de apresentar maior facilidade de captura do sinal e possibilidade de leitura dos dados para transmissão em um arquivo para processamento dos limites em computador e geração dos pontos da cultura.

Tabela A.13. Erros de medição no parque Cedro Salazar com GPS GEO3 e dGPS DEXTER.

| GIS GOOGLE |          |            | Leituras GEO3 |             | ERRO Geo3    |               |          | Média LECTURAS Dexter |             | ERRO DEXTER  |               |          |
|------------|----------|------------|---------------|-------------|--------------|---------------|----------|-----------------------|-------------|--------------|---------------|----------|
| Ponto      | Latitude | Longitude  | Latitude      | Longitude   | Erro Lat (%) | Erro Long (%) | Erro (m) | Latitude              | Longitude   | Erro Lat (%) | Erro Long (%) | Erro (m) |
| 1          | 4,725962 | -74,028547 | 4,72599194    | -74,0284972 | 0,00063352   | 0,00006724    | 6,4557   | 4,7258860             | -74,0287800 | 0,00160814   | 0,00031474    | 16,1141  |
| 2          | 4,725881 | -74,028319 | 4,7258725     | -74,0282869 | 0,00017986   | 0,00004331    | 3,6855   | 4,7259060             | -74,0283460 | 0,00052900   | 0,00003647    | 4,0893   |
| 3          | 4,725802 | -74,028129 | 4,72580028    | -74,0280986 | 0,00003640   | 0,00004105    | 3,3826   | 4,7258440             | -74,0281880 | 0,00088874   | 0,00007970    | 8,0484   |
| 4          | 4,725578 | -74,027636 | 4,72559694    | -74,0276767 | 0,00040080   | 0,00005494    | 4,9857   | 4,7256515             | -74,0276240 | 0,00155537   | 0,00001621    | 8,2764   |
| 5          | 4,725382 | -74,027218 | 4,72539111    | -74,0272019 | 0,00019279   | 0,00002169    | 2,0516   | 4,7254230             | -74,0272200 | 0,00086765   | 0,00000270    | 4,5618   |
| 6          | 4,725274 | -74,026972 | 4,72528889    | -74,0270283 | 0,00031511   | 0,00007609    | 6,4754   | 4,7253065             | -74,0269520 | 0,00068779   | 0,00002702    | 4,2409   |
| 7          | 4,725166 | -74,026613 | 4,72516972    | -74,0266517 | 0,00007873   | 0,00005224    | 4,3170   | 4,7251870             | -74,0266400 | 0,00044443   | 0,00003647    | 3,8013   |
| 8          | 4,725428 | -74,026518 | 4,72551639    | -74,0265147 | 0,00187052   | 0,00000443    | 9,8296   | 4,7254440             | -74,0265360 | 0,00033859   | 0,00002432    | 2,6764   |
| 9          | 4,725544 | -74,026713 | 4,72559611    | -74,0267717 | 0,00110273   | 0,00007926    | 8,7204   | 4,7254440             | -74,0267080 | 0,00211616   | 0,00000675    | 0,5557   |
| 10         | 4,725693 | -74,026653 | 4,72576389    | -74,0266764 | 0,00150010   | 0,00003160    | 8,2957   | 4,7263385             | -74,0262920 | 0,01365937   | 0,00048766    | 36,0625  |
| 11         | 4,725631 | -74,026484 | 4,72567556    | -74,0264653 | 0,00094294   | 0,00002529    | 5,3709   | 4,7257035             | -74,0264160 | 0,00153419   | 0,00009186    | 2,6538   |
| 12         | 4,725886 | -74,026420 | 4,72587361    | -74,0264253 | 0,00026217   | 0,00000713    | 1,4965   | 4,7256930             | -74,0260240 | 0,00408389   | 0,00053494    | 12,5933  |
| 13         | 4,726001 | -74,026750 | 4,72599361    | -74,0267361 | 0,00015637   | 0,00001876    | 1,7483   | 4,7259735             | -74,0267680 | 0,00058189   | 0,00002432    | 3,6526   |
| 14         | 4,726105 | -74,026926 | 4,72610583    | -74,0269372 | 0,00001756   | 0,00001516    | 1,2506   | 4,7260935             | -74,0269465 | 0,00024333   | 0,00002769    | 2,6122   |
| 15         | 4,726280 | -74,027348 | 4,72628333    | -74,0272983 | 0,00007046   | 0,00006710    | 5,5320   | 4,7262755             | -74,0273400 | 0,00009521   | 0,00001081    | 1,0201   |
| 16         | 4,726453 | -74,027757 | 4,72642139    | -74,0277222 | 0,00066879   | 0,00004698    | 5,2229   | 4,7264450             | -74,0277280 | 0,00016926   | 0,00003917    | 3,3432   |
| 17         | 4,726725 | -74,028338 | 4,72671167    | -74,0283633 | 0,00028201   | 0,00003422    | 3,1815   | 4,7267020             | -74,0283360 | 0,00048659   | 0,00000270    | 2,5657   |
| 18         | 4,726975 | -74,028294 | 4,72696028    | -74,0282744 | 0,00031140   | 0,00002642    | 2,7203   | 4,7269895             | -74,0282760 | 0,00030675   | 0,00002432    | 2,5687   |
| 19         | 4,727291 | -74,028839 | 4,72733194    | -74,0289247 | 0,00086604   | 0,00011579    | 10,5574  | 4,7272940             | -74,0288360 | 0,00006346   | 0,00000405    | 0,4715   |
| 20         | 4,727354 | -74,029014 | 4,72729111    | -74,0290414 | 0,00133034   | 0,00003700    | 7,6230   | 4,7273515             | -74,0290200 | 0,00005288   | 0,00000810    | 0,7224   |
| 21         | 4,727404 | -74,029141 | 4,72740889    | -74,0291128 | 0,00010344   | 0,00003812    | 3,1831   | 4,7274975             | -74,0293560 | 0,00197783   | 0,00029043    | 1,3428   |
| 22         | 4,727480 | -74,029351 | 4,72734278    | -74,0293894 | 0,00290260   | 0,00005193    | 15,8370  | 4,7274595             | -74,0294235 | 0,00043363   | 0,00009793    | 4,2234   |
| 23         | 4,727357 | -74,029407 | 4,72734278    | -74,0293894 | 0,00030080   | 0,00002372    | 2,5109   | 4,7270920             | -74,0296200 | 0,00560567   | 0,00028772    | 2,8120   |
| 24         | 4,727076 | -74,029570 | 4,72734278    | -74,0293894 | 0,00564366   | 0,00024390    | 35,7995  | 4,7269375             | -74,0292960 | 0,00292993   | 0,00037012    | 5,3600   |
| 25         | 4,726912 | -74,029267 | 4,72645778    | -74,028605  | 0,00960923   | 0,00089424    | 89,2219  | 4,7266720             | -74,0286560 | 0,00507731   | 0,00082535    | 6,8445   |
| 26         | 4,726631 | -74,028716 | 4,72662611    | -74,0287517 | 0,00010346   | 0,00004818    | 4,0008   | 4,7262075             | -74,0288400 | 0,00895987   | 0,00016750    | 12,5718  |
| 27         | 4,726177 | -74,028848 | 4,72593333    | -74,0285158 | 0,00515575   | 0,00044870    | 45,7815  | 4,7259790             | -74,0285680 | 0,00418943   | 0,00037823    | 16,4349  |

## A.5 Resultados

Depois de fazer a análise dos dados de medição de coordenadas com os três GPS: GARMIN®, TRIMBLE® e DEXTER® é possível concluir que o melhor GPS para medição dos limites da cultura para a aplicação de pequenas e médias culturas é um GPS de precisão sub métrica com capacidade de geração de arquivos de dados para transmissão em tempo real, e preferivelmente com a possibilidade de correção digital dos dados (DGPS) sem precisar do serviço de correção de dados cinemática em tempo real (RTK).

As medições realizadas com diferentes GPS de precisão métrica e sub métrica mostrarão que o GPS é possível de programar numa aplicação de cultura pequena e/ou média para medição dos limites da cultura por mapeamento com a máxima precisão possível, porém não mostrou precisão suficiente para posicionamento do robô ao interior da cultura pelas distâncias pequenas, sendo muito importante aplicar outros sistemas de posicionamento e medição para o deslocamento do robô ao interior da cultura. Para isso pode-se experimentar com posicionamento baseado em orientação e posição.

## ANEXO B

### PROJETO AGRONOMICO DA REDE DE DOSAGEM

Em um sistema de irrigação localizada, os cálculos hidráulicos se fazem considerando características físicas de construção, topografia, altura da estação de bombeamento e vazões entre outras variáveis. Segundo SALDARRIAGA (1998) os dados agrônômicos importantes são os seguintes: Coeficientes de Uniformidade (CU), número de emissores ou boquilhas para cada planta ( $n_e$ ), Vazão médio do emissor ( $Q_m$ ), valores das doses, tempos de dosagem e espaço entre emissores são dados importantes do projeto. As mangueiras plásticas selecionadas são de diâmetro nominal de 12 mm de tipo agroquímico e resistente para esta aplicação (AGRIFIM, 2012).

#### B.1 Requerimentos de sucção da bomba

Devem-se ter em conta as condições de sucção da bomba como expressão da sucção positiva de líquido da bomba ou fator NPSH e as variáveis consideradas para seu cálculo estão mostradas na Fig. 7.3, reproduzida embaixo, e se faz o cálculo com a Eq. B.1 (SALDARRIAGA, 1998):

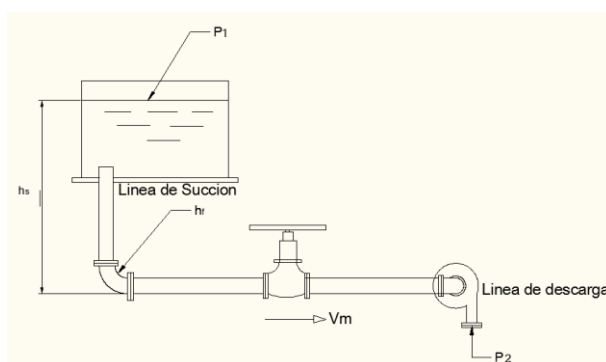


Figura B.1. Diagrama da linha de sucção da bomba de dosagem.

$$(NPSH) = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} - h_s - h_f - \frac{V_m^2}{2g} \quad (B.1)$$

Onde:

$h_f$  = Perdas por atrito do sistema (sem dimensão)

$P_1$  = Pressão estática do nível da entrada de fertilizante (Pa)

$P_2$  = Pressão da saída nas boquilhas (Pa)

$V_m$  = Velocidade média na tubulação (m/s)

$h_s$  = Altura da entrada de líquido fertilizante no reservatório (m)

$\rho$  = Densidade do fertilizante ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = Aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

Da Eq. B.1, são calculadas a vazão e a velocidade média na tubulação. Sabendo que o controlador a utilizar trabalha a 24VDC é assumida essa tensão. Foram selecionadas bombas para vazões desde 6,6 ml/min até 5000 ml/min, considerando a possibilidade de dosar maior quantidade de plantas por estação do que as nove da aplicação piloto selecionada, e calculando com a vazão maior de 5000 ml/min ( $83,33 \text{ m}^3/\text{s}$ ); para uma tubulação de média polegada (12,7 mm) a área transversal é  $1,266 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  e a velocidade média para esse vazão:

$$V_m = \frac{83.3 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.266 \times 10^{-4} \text{m}^2} = 0.657 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para calcular as perdas de energia se precisa estabelecer o comportamento laminar ou turbulento do fluido segundo o número de Reynolds ( $N_R$ ), sabendo que sem  $N_R < 2000$  o fluxo é laminar e sem  $N_R > 4000$  o fluxo é turbulento.

O fertilizante líquido é diluído na água então se podem considerar as propriedades da água segundo a Tabela 7.5 a uma temperatura de  $15^\circ\text{C}$  e com a densidade do fertilizante de maior valor, ou seja o potássico. O número de Reynolds é calculado pela Eq. B.2 (MOTT, 2006):

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} \quad (B.2)$$

Onde:

$\eta$  = Viscosidade dinâmica do fluido em ( $1,139 \times 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ )

$v$  = Velocidade do fluido (m/s)

$D$  = Diâmetro de tubulação (m)

$\rho$  = Densidade de fertilizante ( $1460 \text{ kg/m}^3$ )

Calculando temos:

$$N_R = \frac{(\frac{1460kg}{m^3})(0.657 \frac{m}{s})(0.0127m)}{1.139 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}} = 10695.42$$

Se  $N_R > 4000$  o fluxo é turbulento e calculando as perdas pela Eq. B.3 de Blasius de coeficiente de atrito de tubulação lisa e número de Reynolds  $< 10000$  (MATAIX, 2006):

$$f = 0.3164 * N_R^{-0.25} \quad (B.3)$$

Onde:  $f$  = Coeficiente de atrito sem dimensão e calculando se tem:

$$f = 0.3164 * (8155.87)^{-0.25} = 0.0332$$

A formula de Darcy-Weisbach para calcular as perdas por atrito é mostrada como Eq. B.4 (SALDARRIAGA, 1998):

$$h_f = \frac{f \cdot l_{eq} V_m^2}{2Dg} \quad (B.4)$$

Onde:

$f$  = Coeficiente de atrito sem dimensão  
 $l_{eq}$  = Longitud de la tubería de succión (m)  
 $D$  = Diámetro interior da tubulação (m)  
 $V_m$  = Velocidade de fluxo na tubulação (m/s)  
 $g$  = Aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Do dimensionamento de veículo agrícola a longitude da tubulação é de aproximadamente  $l_{eq} = 0.35m$  e o diâmetro interno de tubulação dos catálogos comerciais é de 10 mm Calculando as perdas por atrito do sistema temos:

$$h_f = \frac{0.0332 * 0.35m * 0.657(\frac{m}{s})^2}{2 * 0.010m * 9.8 \frac{m}{s^2}} = 0.0389m$$

Da seleção da tubulação e segundo os produtos comerciais, foram selecionadas boquilhas de micro aspersão com descarga dirigida e alta uniformidade de irrigação segundo a Tabela 7.6.

Para estabelecer a pressão estática no ponto ( $P_1$ ), e a pressão de descarga do fertilizante no ponto ( $P_2$ ), segundo a Fig.7.3 para o fertilizante de maior densidade e considerando o catálogo de boquilhas de aspersão da Tabela 7.6 segundo a Eq. B.5:

$$P_1 = P_{atm} + \rho gh \quad (B.5)$$

Onde:

$P_{atm}$  = Pressão atmosférica de Bogotá (Pa)

$P_1$  = Pressão absoluta (Pa)

$h$  = Distância de elevação desde o nível de fluido no reservatório até a linha central da entrada de sucção da bomba (m)

$g$  = Aceleração da gravidade( 9,81 m/s<sup>2</sup> )

$\rho$  = Densidade de fluido fertilizante (1460 kg/m<sup>3</sup>)

Para estimação de  $h$  com altura de tanque do veículo de uns 40 cm mais uns 35 cm estimados de tubulação então  $h = 0,75$  m e calculando a pressão  $P_2$ :

$$P_2 = 74648 Pa + \left(\frac{1460 kg}{m^3}\right)\left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)(0.75 m) = 85379 Pa$$

Para uma boquilha de micro aspersão de menor vazão a pressão de descarga é 20 psi equivalente a 137895 Pa suficiente para suportar a pressão calculada. Calculando o NPSH da bomba:

$$(NPSH) = \frac{137895 \frac{kg}{m s^2} - 85379 \frac{kg}{m s^2}}{\frac{1460 kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}} - 0.75 m - 0.0389 m - \frac{(0.657 m/s)^2}{2 * 9.8 m/s^2} = 2.847 m$$

Vão-se utilizar nove boquilhas de aspersão para nove plantas por estação segundo a distribuição da cultura e já que o fornecedor não possui o Coeficiente de Uniformidade (CU) é assumido um valor entre 85%-95%. A necessidade de vazão (RA) é de Q=5000 ml/min e a determinação do requerimento total da aplicação ( $N_t$ ) segundo a Eq. B.6 (SALDARRIAGA, 1997):

$$N_t = \frac{RA}{CU} \quad (B.6)$$

$$N_t = \frac{83.3 ml/seg}{0.95} = 87.68 ml/seg.$$

Segundo a Fig. B.1 cada reservatório tem um fertilizante diferente (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) diluído em água e cada um deles descarga pelo acionamento de um solenoide. Para calcular os fluxos na rede dos diferentes pontos de aplicação das nove plantas é necessário aplicar iteração

para estabelecer as vazões. Isso foi realizado com o programa ‘epanet’ baseado no método de Hardy Cross para os dados da Tabela B.1.

A potência do motor da bomba segundo os catálogos é de 35 W. Na Fig. B.2 são apresentados os fluxos (l/min) para cada um dos solenoides. A caixa azul corresponde ao solenoide número 30 com fluxo de 0.03 l/min. Todas as vazões variam nos solenoides; isso é muito importante para dosagem, sequencialmente a pressão vai se manter com um único solenoide, mas quando forem abertos vários solenoides a pressão pode cair afetando o rendimento do sistema e a precisão de dosagem. Por isto se faz necessário calibrar o sistema com precisão antes do uso, porém a dosagem com taxa variável é melhor, mais precisa e por isso preferível quando se faz dosagem sequencialmente.

Tabela B.1. Dados de cálculo aplicados no software “epanet” (EPANET, 2012)

| Altura de Bombeio(m) | Potência da bomba(watts) | Eficiência da bomba (%) | Diâmetro das tubulações(m) | Coeficiente de perdas dos solenoides |
|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 0.75                 | 35                       | 90                      | 0.0127                     | 2                                    |

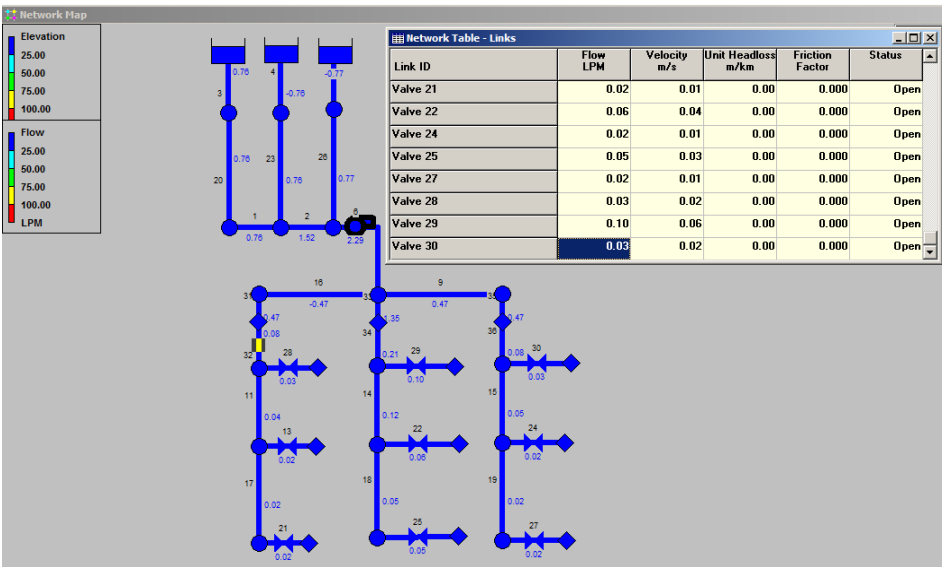


Figura B.2. Cálculo das vazões pelo programa “epanet”.

**B.2 Sistema de mistura de fertilizante**

Conhecidos o comprimento do reservatório, a altura do eixo respeito ao fundo, a altura do nível de líquido e a quantidade de defletores são calculadas as dimensões do sistema

misturador: o diâmetro do misturador ( $D_i$ ), sendo os reservatórios de área retangular de 1x 0,25m; a área  $A_T$  é assumido como um quadrado da dimensão da largura então  $A_T=0,25 \text{ m}^2$ . Para calcular a altura de impulsor ( $H_i$ ) desde o fundo, a largura das palhetes do impulsor ( $q$ ) e o diâmetro do disco central ( $s_m$ ) pelas Eq. B.7 até B.10 (PENNEY, 2006):

$$D_i = \frac{1}{3} A_T \quad (\text{B.7})$$

$$H_i = D_i \quad (\text{B.8})$$

$$q = \frac{1}{5} D_i \quad (\text{B.9})$$

$$s_m = \frac{1}{12} A_T \quad (\text{B.10})$$

Os resultados estão na Tabela B.2 aproximadas ao seguinte valor inteiro:

Tabla B.2. Dimensionamento do misturador dos reservatórios de fertilizante.

| Reservatório         | $D_i(\text{cm})$ | $H_i(\text{cm})$ | $q(\text{cm})$ | $S_m(\text{cm})$ |
|----------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| N, $P_2O_5$ , $K_2O$ | 9                | 9                | 2              | 2                |

Para calcular a potência consumida pelo misturador é calculado o número de Reynolds expresso em variáveis equivalentes de mistura segundo Eq. B.11:

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 N \rho}{\mu} \quad (\text{B.11})$$

Onde:

$N$ =Numero de revoluções por segundo

$\rho$ =Densidade do fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$ =viscosidade dinâmica do fluido ( $\text{kg/m}^*\text{s}$ )

Calculando para o potássio, fertilizante da maior densidade ( $1460 \text{ kg/m}^3$ ) e a viscosidade dinâmica equivalente à da água a  $15^\circ\text{C}$  pela diluição dos fertilizantes em água ( $1,139 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^*\text{s}$ ). Para uma velocidade de 200 rpm para viscosidades baixas nos agitadores industriais:

$$N_{Re} = \frac{0,09 \text{ m}^2 \times \frac{200 \text{ rpm}}{60} \times 1460 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,139 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}} = 34.60$$

Calculando o número de potência ( $N_{po}$ ), como um coeficiente de puxa nos sistemas de agitação desde a Fig. B.3:

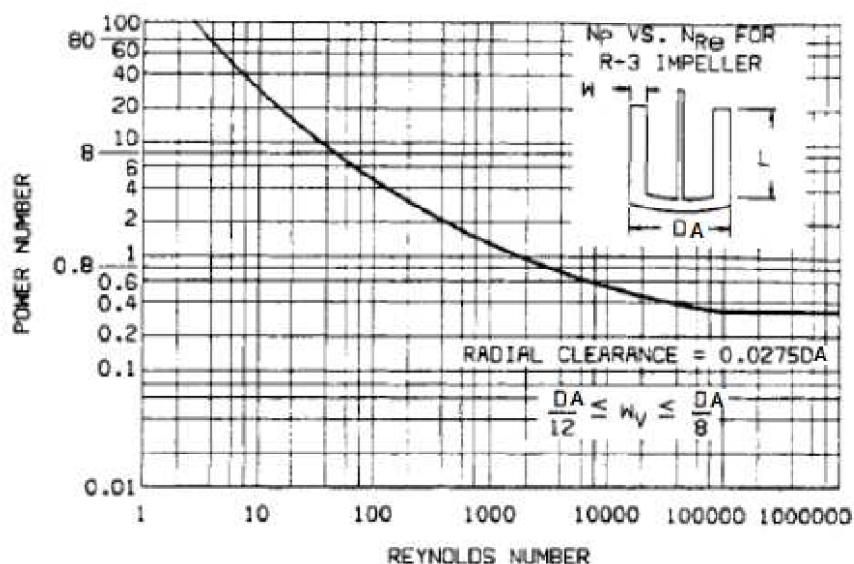


Figura B.3. Número de Reynolds em função do número de potência (PENNEY, 2006)

Da interpolação gráfica é obtido o valor de número de potência para o número de Reynolds anterior:

$$N_{po} = 23$$

A potência subministrada pelo motor segundo Eq. B.12:

$$P = \frac{N_{po} N^3 D i^5 \rho}{g_c} \quad (B.12)$$

O cálculo obtido pela equação anterior é:  $P = 7.3$  Watts. A potência não tem um valor comercial disponível então é selecionado um motor de potência maior além de um fator de segurança adicional. As especificações do motor selecionado estão na Tabela 7.11.

## **ANEXO C**

### **ESQUEMA DO VEÍCULO**

#### **C.1 Requisitos de concepção exigidas**

As características de desenvolvimento do projeto são determinadas pelas características do terreno e tipo de cultura. Essas foram as condições principais para desenvolver a estrutura mecânica do veículo. A estrutura principal foi estabelecida em alumínio pela resistência, rigidez e resistência a corrosão; com sistema de potência suportado em duas bases independentes e flexíveis, para melhor comportamento e tração no solo da cultura. O sistema motor é com dois motores no centro com seus respectivos redutores internos para maior torque e potência. O sistema de rolamento é suportado em seis rodas com duas esteiras adiante, uma de cada lado, responsáveis de movimentar o veículo com os dois motores ligados aos eixos centrais. Na parte traseira tem duas rodas que roham livremente para suportar a base superior e se orientar fácil e rapidamente quando girar o veículo. A base superior leva na parte traseira o sistema de dosagem e na frente, o controlador e todos os sistemas eletrônicos e de controle. O sistema mecânico geral foi suportado nos veículos tipo rover desenvolvidos para aplicação aeroespacial pelo tipo explorador (THUEER, 2006). Este protótipo foi construído na escala de 1:3 para os testes funcionais, mas como resultado dos ensaios realizados inicialmente, foi mudado o projeto para veículo de seis rodas sem esteiras, pela maior facilidade de deslocamento; com sistema de giro das quatro rodas extremas; para conseguir o giro do veículo com maior precisão e facilidade no centro geométrico, sem o arrastre lateral apresentado com esteiras, isso pede maior potência dos motores. Essa configuração final é descrita de forma sucinta neste capítulo por considerá-la definitiva. A Fig. C.1 mostra o protótipo em escala, construído e testado neste trabalho.



Figura C.1. Protótipo na escala 1:3 utilizado para testes de funcionamento.

## C.2 Projeto estrutural do protótipo de veículo

O projeto estrutural começou pela determinação da forma básica triangular pelo simplicidade e resistência e uma vez dimensionada, foi calculada segundo o diagrama de corpo livre da Fig. C.2 para uma carga estimada em 500 kg em total (peso total, incluindo o próprio peso e o peso do resto de sistemas).

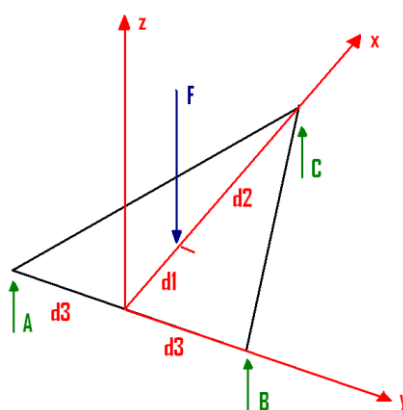


Figura.C.2. Diagrama de corpo livre do marco principal para análise estrutural.

O análise estático foi desenvolvido nos planos X-Z e Y-Z considerando a simetria no eixo Y e foram obtidas as reações nos pontos de apoio da estrutura:

$$R_{AZ} = R_{BZ} = 1611.4\text{N}$$

$$R_{CZ} = 839.6\text{N}$$

As áreas mínimas das barras que compõem a estrutura é a seguinte:

- Marco estrutural: 1271.6 mm<sup>2</sup> em alumínio 2014-T4 em chapa de 50 mm x 26 mm.
- Barras de suspensão: área mínima de 634.5 mm<sup>2</sup> com chapa de 50mm x 12,7 mm.
- Suporte da roda: área mínima de 453.27 mm<sup>2</sup> com chapa de 50mm x 9,1mm.
- Passadores: diâmetro mínimo de 11 mm

Pela facilidade de construção e as vantagens de resistência, foi decidido construir toda a estrutura na chapa de maior dimensão. As uniões da chapa nos extremos para conformação do triângulo é são mostradas na Fig. C.3.

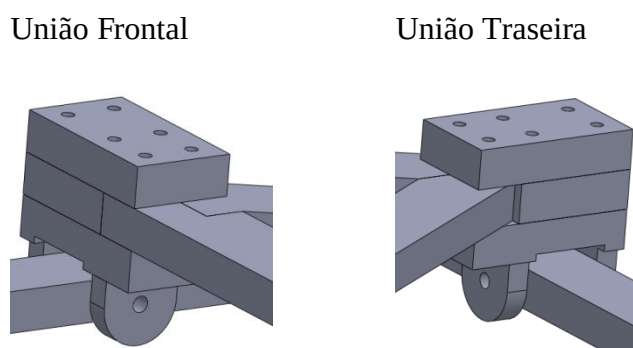


Figura C.3. Uniões das chapas para conformação do marco estrutural.

Com esses dados básicos estabelecidos, foram projetadas as peças mecânicas com software de Análise por Elementos Finitos ou análise de Engenharia (CAE – Engenharia Assistida por Computador) como mostrado na Fig. C.4 para o marco triangular onde, o máximo esforço gerado é de 25,5 MPa e o limite elástico do material é de 290 MPa. Da mesma forma foram analisadas as outras partes da estrutura como mostrado na Fig. C.5 para o suporte da roda que atinge um esforço máximo de 19 MPa e a barra de suspensão que atinge um esforço máximo de 30 MPa.

Os parafusos também foram dimensionados por resistência segundo a Fig. C.6 e foram selecionados parafusos de cabeça hexagonal da seguinte referencia: || G8 || 5/16 || 18 || UNC || 2A || 3”.

As dimensões do veículo em geral são mostradas na Fig. C.7. Essa mesma figura, mostra que o centroide do triângulo é superposto com o centroide do veículo, cuja finalidade é que o veículo gire sobre seu próprio eixo centroide no menor espaço possível.

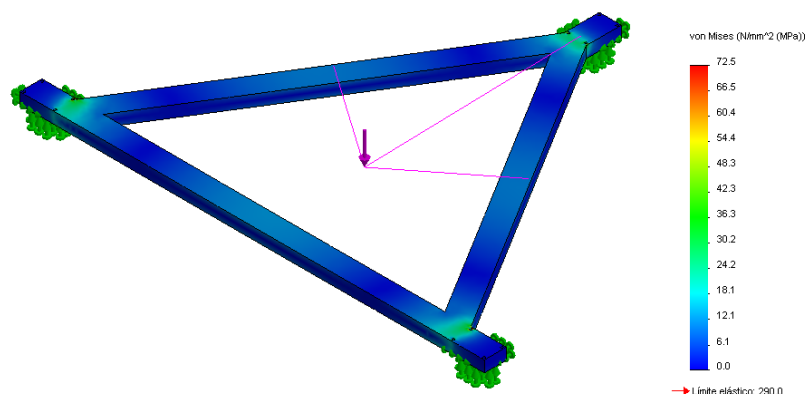


Figura C.4. Análise por elementos finitos do marco triangular.

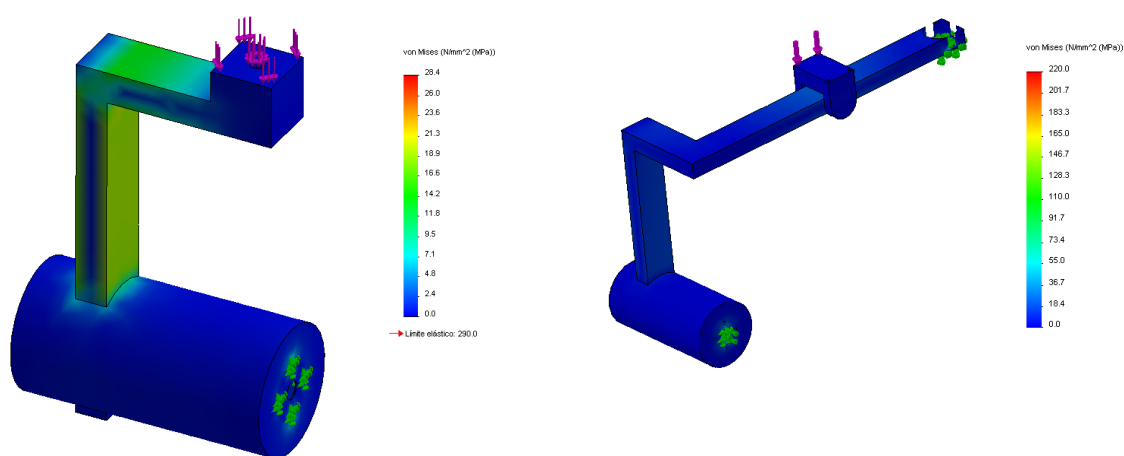


Figura C.5. Análise de Engenharia por elementos finitos para o suporte da roda na esquerda e a barra de suspensão na direita.

A análise por Elementos finitos foi desenvolvido para todas as partes segundo as características e para o mesmo material descrito nas tabelas seguintes mostrada como exemplo para a peça Bogie.

Tabela C.1. Informação geral do Modelo analisado.

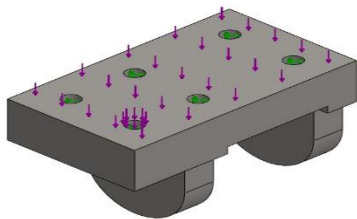
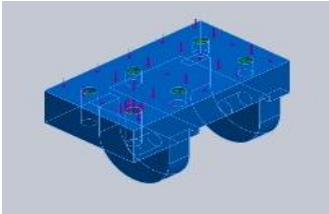
|                              |              |                                                                                                                                                |                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del modelo:</b> Bogie                                                                               |              |                                                                                                                                                |                                                                                                      |
| Sólidos                                                                                                       |              |                                                                                                                                                |                                                                                                      |
| Nome de documento y referência                                                                                | Tratado como | Propriedades volumétricas                                                                                                                      | Ruta al documento/Fecha de modificacion                                                              |
| <b>Cortar-Extruir5</b><br> | Sólido       | <b>Massa:</b> 3.72662 lb<br><b>Volume:</b> 13.3964 in <sup>3</sup><br><b>Densidade:</b> 0.27818 lb/in <sup>3</sup><br><b>Peso:</b> 3.72409 lbf | <b>C:\Users\PMARTIN\Desktop\AGV</b><br><b>28-06-2012\Bogie.SLDPRT</b><br><b>Jun 28 21:52:58 2012</b> |

Tabela C.2 Propriedades do estudo

|                                             |                        |
|---------------------------------------------|------------------------|
| <b>Nome de estudo</b>                       | Estúdio 1              |
| <b>Tipo de análise</b>                      | Estático               |
| <b>Tipo de malha</b>                        | Malha sólida           |
| <b>Efeito térmico:</b>                      | Ativado                |
| <b>Opção térmica</b>                        | Inclui cargas térmicas |
| <b>Temperatura a tensão zero</b>            | 298 Kelvin             |
| <b>Tipo de solver</b>                       | FFEPlus                |
| <b>Opções de união rígida incompatíveis</b> | Automática             |

|                                       |                                                                             |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Calcular forças de corpo livre</b> | Ativar                                                                      |
| <b>Pasta de resultados</b>            | Documento de <i>SolidWorks</i><br>(C:\Users\PMARTIN\Desktop\AGV 28-06-2012) |

Tabela C.3 Unidades

|                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| <b>Sistema de unidades:</b>   | Métrico (MKS)    |
| <b>Longitude/Deslocamento</b> | mm               |
| <b>Temperatura</b>            | Kelvin           |
| <b>Velocidade angular</b>     | Rad/seg          |
| <b>Pressão /Tensão</b>        | N/m <sup>2</sup> |

Tabela C.4 Propriedades de material

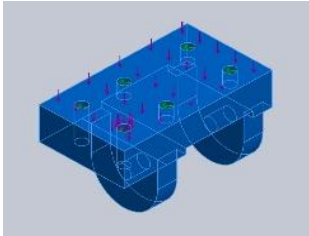
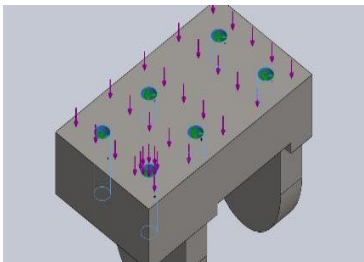
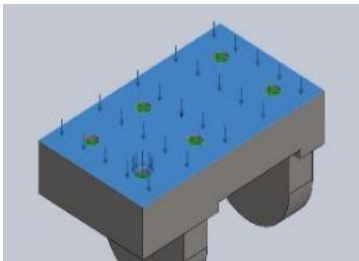
| Referência de modelo                                                                | Propriedades                      | Componentes                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
|  | Nome:                             | <b>Aço</b>                              |
|                                                                                     | Tipo de modelo:                   | <b>Isotrópico elástico lineal</b>       |
|                                                                                     | Critério de erro predeterminado:  | <b>Tensão máxima de von Mises</b>       |
|                                                                                     | Limite elástico:                  | <b>6.20422e+008 N/m<sup>2</sup></b>     |
|                                                                                     | Limite de tração:                 | <b>7.23826e+008 N/m<sup>2</sup></b>     |
|                                                                                     | Módulo elástico:                  | <b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b>         |
|                                                                                     | Coeficiente de Poisson:           | <b>0.28</b>                             |
|                                                                                     | Densidade:                        | <b>7700 kg/m<sup>3</sup></b>            |
|                                                                                     | Módulo cortante:                  | <b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b>         |
|                                                                                     | Coeficiente de dilatação térmica: | <b>1.3e-005 /Kelvin</b>                 |
|                                                                                     |                                   | <b>Sólido 1(Cortar-Extruir5)(Bogie)</b> |

Tabela C.5 Cargas e uniões

| Nome de união           | Imagem da união                                                                   | Detalhes de união |                |            |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|------------|
| Bisagra fija-1          |  | <b>Entidades:</b> | 6 cara(s)      |            |
|                         |                                                                                   | <b>Tipo:</b>      | Dobradiça fixa |            |
| Componentes             | X                                                                                 | Y                 | Z              | Resultante |
| Força de reação (N)     | -0.00205954                                                                       | 499.805           | 0.01191        | 499.805    |
| Momento de reação (N-m) | 0                                                                                 | 0                 | 0              | 0          |

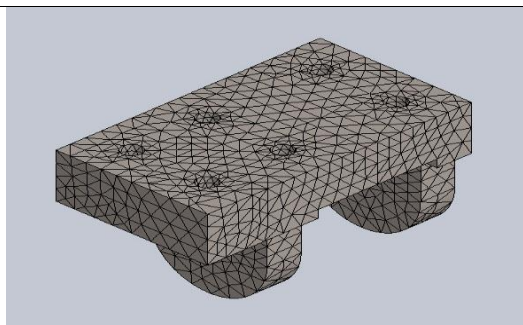
| Nome da carga | Imagem da carga                                                                     | Detalhes da carga |              |  |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|--|
| Fuerza-1      |  | <b>Entidades:</b> | 1 cara(s)    |  |
|               |                                                                                     | <b>Tipo:</b>      | Força normal |  |
|               |                                                                                     | <b>Valor:</b>     | 500 N        |  |

|                                   |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Tipo de malha</b>              | Malha sólida                        |
| <b>Malhador utilizado:</b>        | Malha baseada na curvatura          |
| <b>Pontos jacobianos</b>          | 4 Pontos                            |
| <b>Tamanho máximo de elemento</b> | 6.03418 mm                          |
| <b>Tamanho mínimo de elemento</b> | 0.301709 mm                         |
| <b>Qualidade da malha</b>         | Elementos quadráticos de alta ordem |

Tabela C.6 Informação de malha: Detalhes

|                                                      |            |
|------------------------------------------------------|------------|
| <b>Número total de nós</b>                           | 23791      |
| <b>Número total de elementos</b>                     | 15431      |
| <b>Relação máxima de aspecto</b>                     | 4.4752     |
| <b>% de elementos com relação de aspecto &lt; 3</b>  | 99.5       |
| <b>% de elementos com relação de aspecto &gt; 10</b> | 0          |
| <b>% de elementos deformados (Jacobiana)</b>         | 0          |
| <b>Tempo para completar a malha (hh:mm:ss):</b>      | 00:00:02   |
| <b>Nome de computador:</b>                           | PMARTIN-PC |



## Resultados do estudo

Tabela C.7 Forças de reação

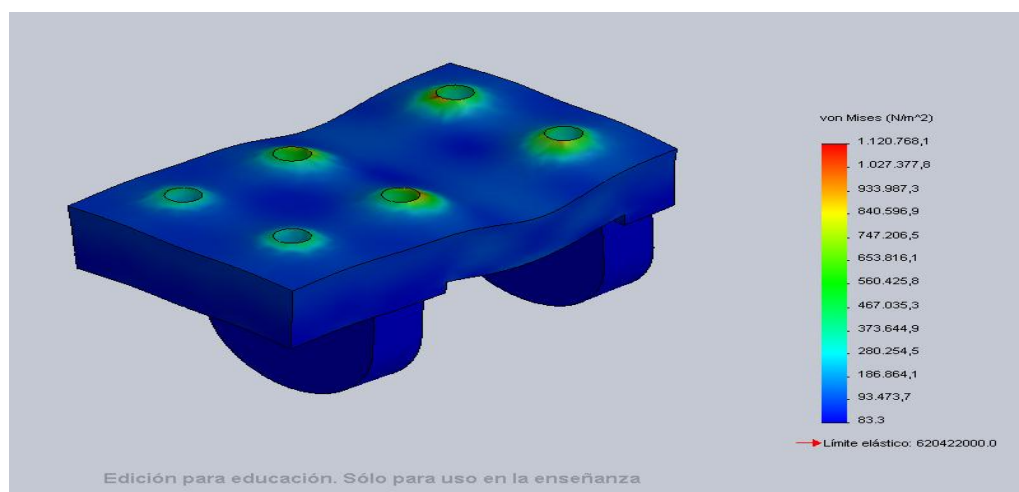
| <b>Conjunto de seleções</b> | <b>Unidades</b> | <b>Suma X</b> | <b>Suma Y</b> | <b>Suma Z</b> | <b>Resultante</b> |
|-----------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| <b>Todo o modelo</b>        | N               | -0.00205954   | 499.805       | 0.01191       | 499.805           |

Tabela C.8 Momentos de reação

| Conjunto de seleções | Unidades | Suma X | Suma Y | Suma Z | Resultante |
|----------------------|----------|--------|--------|--------|------------|
| Todo modelo          | N-m      | 0      | 0      | 0      | 0          |

Tabela C.9 Resultados de Tensões

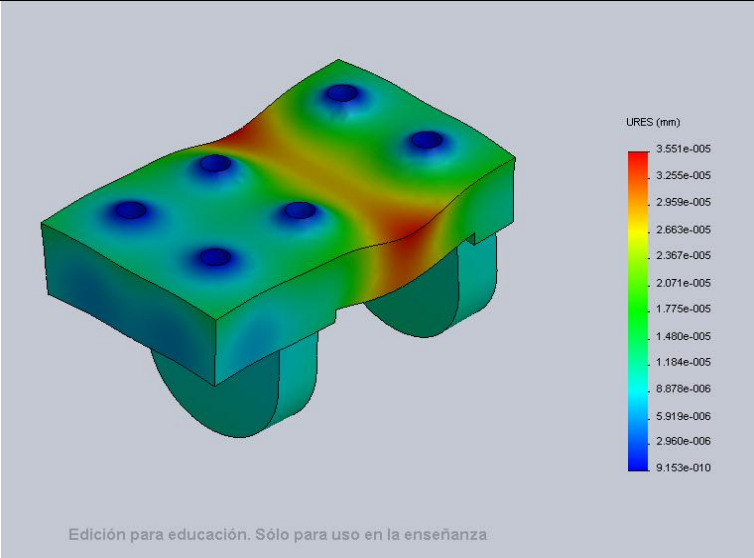
| Nome              | Tipo                      | Mín.                                  | Máx.                                        |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Tensiones1</b> | VON: Tensão de von Misses | 83.3167 N/m <sup>2</sup><br>Nodo: 641 | 1.12077e+006 N/m <sup>2</sup><br>Nodo: 3576 |



### Bogie-Estudio 1-Tensoes Tensiones1

Tabela C.10 Resultados de Deslocamentos

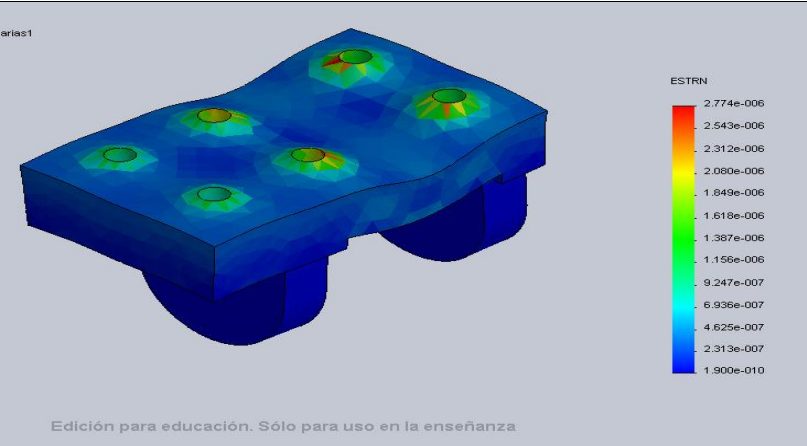
| Nome                     | Tipo                             | Mín.                          | Máx.                        |
|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| <b>Desplazamientos 1</b> | URES:<br>Deslocamento resultante | 9.15253e-010 mm<br>Nodo: 8071 | 3.55083e-005 mm<br>Nodo: 67 |



**Bogie-Estudio 1-Deslocamentos-Desplazamientos1**

Tabela C.11 Resultados de Deformações

| Nome                     | Tipo                                  | Mín.           | Máx.           |
|--------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|
| Deformaciones unitarias1 | ESTRN:Deformação unitária equivalente | 1.89951e-010   | 2.77385e-006   |
|                          |                                       | Elemento: 7467 | Elemento: 3901 |



**Bogie-Estudio 1- Deformações unitárias – Deformaciones unitarias1**

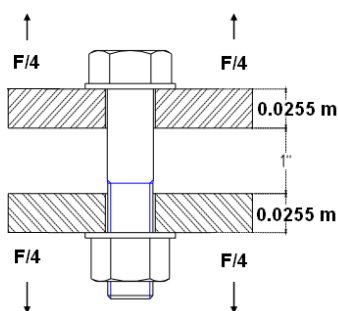


Figura C.6. Montagem dos parafusos nas uniões para análise de resistência.

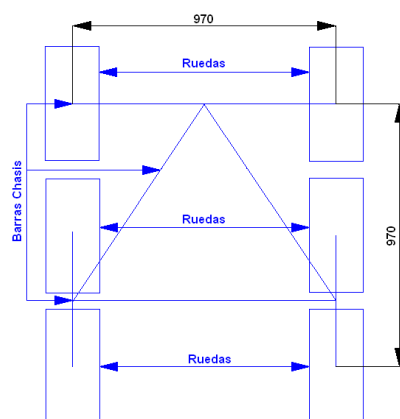


Fig. C.7. Dimensões do veículo em geral com o marco estrutural triangular.

### C.3 Sistema de direção do veículo

Para controlar o deslocamento são colocados nos quatro extremos, servo motores que giram 45 graus, deixando as quatro rodas em posição do giro como mostrado na Fig. C.8. O veículo gira impulsado pelos motores centrais acionados em sentidos contrários até quando o sensor compasso ou bússola marca o ângulo de orientação necessário.

Considerando a carga e que o veículo possa sobre passar um obstáculo de uns 10cm de altura foram selecionados os motores e as especificações estão na Tabela C.1 incluindo potência maior para suportar um declive de 15 graus máximo.

A suspensão é flexível obtida pelas uniões tipo dobradiça nos montagens do triangulo estrutural, garantindo sempre o contato dos pneus com o solo mesmo em terrenos irregulares como no caso da cultura. A Fig. C.9 mostra o veículo com as posições das diferentes rodas fixadas por conexões tipo dobradiça.

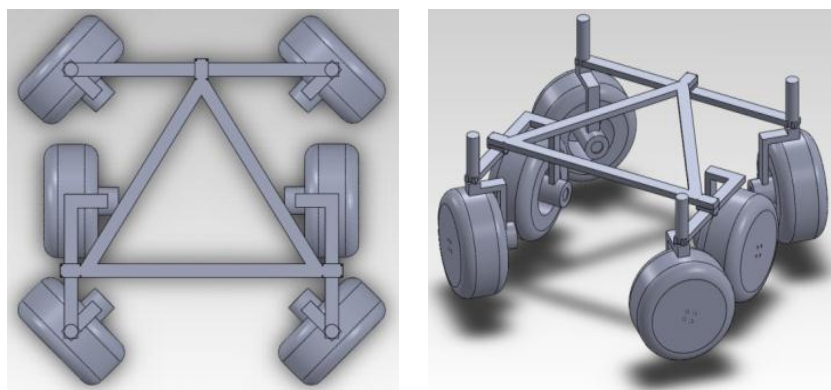


Fig. C.8. Acionamento das rodas do veículo para preparação da posição do giro.

Tabela C.12. Especificações dos motores redutores selecionados.

| MARCA      | Referencia  | Tensão | Relação de redução | Torque | Potência |
|------------|-------------|--------|--------------------|--------|----------|
|            |             |        |                    | [N-m]  | [W]      |
| Transtecno | ECP350/1053 | 24 VDC | 1:168              | 186    | 500      |

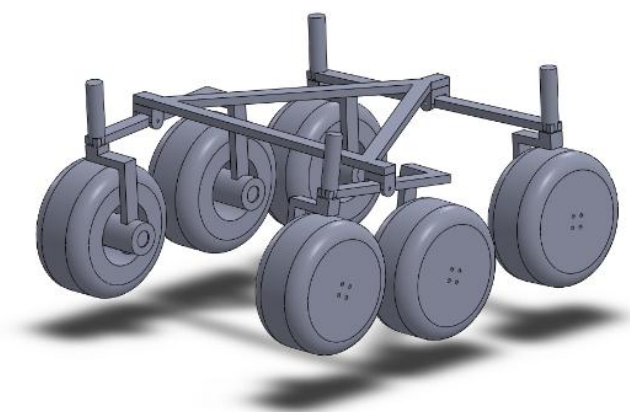


Figura C.9 Posicionamento das rodas do veículo, com uniões tipo dobradiça.

#### C.4 Simulação dinâmica do veículo na cultura

Uma vez estabelecido o programa de controle de deslocamento, foi realizada uma simulação dinâmica do veículo em computador; para análise do comportamento dentro da cultura. Essa simulação foi realizada considerando os parâmetros do veículo como molas, inércia incluindo a carga de 500 kg dos equipamentos e fertilizantes embarcados para várias velocidades de deslocamento. O programa de controle foi desenvolvido na linguagem C++ e utilizado para simulação dinâmica no software ANYKODE® onde são configurados os dispositivos da simulação como sensores e molas. O posicionamento terrestre na simulação trabalha com coordenadas bidimensionais com pontos a um metro de distância e o sensor de ultrassom foi configurado para detecção dos objetos além do acionamento dos motores. A simulação de deslocamento foi desenvolvida em condições normais passando pelas linhas da cultura e atingindo um ponto destino como solicitado pelo algoritmo de trajetórias. Além disso, foi implementado um algoritmo para atingir o ponto destino segundo uma precisão prefixada, para análise dos tempos necessários para atingir o ponto desejado, como foi analisado na simulação por computador.

Foi programada a representação das plantas da cultura distribuídas na área em outro programa de computador, pelo grande consumo de memória. Após modelamento da cultura foram desenvolvidas várias simulações com diferentes trajetórias e diferentes condições, e foi calculado o erro de posicionamento na simulação. A tabela C.3, mostra esses resultados na comparação entre o funcionamento com correção e sem correção da posição.

Tabela C.13. Erro de posicionamento obtido pela simulação dinâmica em software.

|                 | Simulação 1       |                   | Simulação 2       |                   | Simulação 3       |                   |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                 | Erro Com Correção | Erro Sem Correção | Erro Com Correção | Erro Sem Correção | Erro Com Correção | Erro Sem Correção |
| <b>Erro (m)</b> | 0,0133            | 0,0067            | 0,0143            | 0,0132            | 0,0063            | 0,0051            |
|                 | 0,0181            | 0,0620            | 0,0132            | 0,0180            | 0,0071            | 0,0030            |
|                 | 0,0041            | 0,0231            | 0,0155            | 0,0374            | 0,0293            | 0,0410            |
|                 | 0,0148            | 0,0150            | 0,0173            | 0,0341            | 0,0050            | 0,0240            |
|                 | 0,0150            | 0,0451            | 0,0468            | 0,0434            | 0,0328            | 0,0311            |
| <b>Média</b>    | 0,0131            | 0,0304            | 0,0214            | 0,0292            | 0,0161            | 0,0208            |

Por se tratar de uma versão limitada de software, teve-se que fazer um modelo simples e equivalente para comportamento significativo, como mostrado na Fig. C.10, onde é mostrado o modelo do veículo com a carga aplicada de 500 kg na cor laranja.

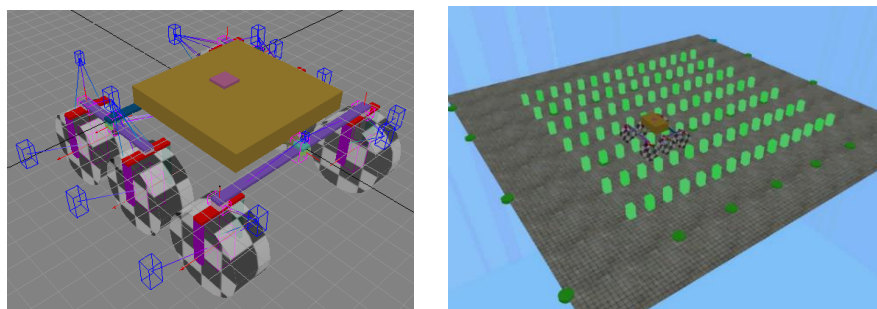


Figura C.10. Modelamento do veículo no software ANYKODE® incluindo os sensores e as restrições e modelamento da cultura no software complementar para testes de simulação dinâmica.

A Fig. C.11 mostra alguns acontecimentos da simulação dinâmica do veículo, como giro em um ponto, ultra passagem de obstáculos, dosagem nas plantas e detecção de obstáculos pelo sensor de ultrassom. O programa em C++ é mostrado no Anexo E.

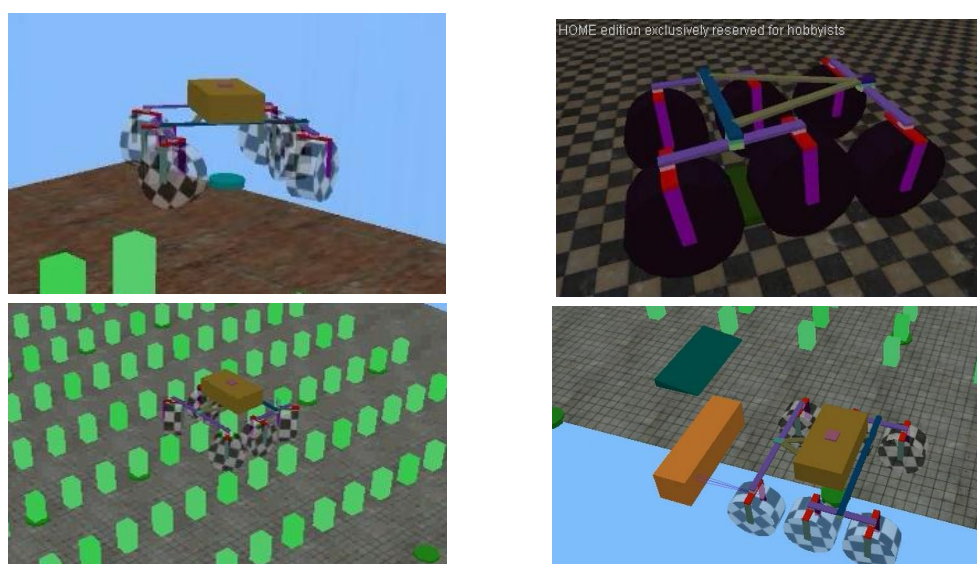


Fig. C.11. Simulação dinâmica por computador de comportamento do veículo na cultura.

## ANEXO D

### CARACTERISTICAS DE EQUIPAMENTOS COMERCIAIS

#### D.1. Acoplamento dos reservatórios

Roscas hembra



| Tamaño de la rosca pulg | Referencias básicas |            | Serie | Coeficiente de caudal (C <sub>v</sub> ) |      |             | Dimensiones, mm (pulg) |             |        |
|-------------------------|---------------------|------------|-------|-----------------------------------------|------|-------------|------------------------|-------------|--------|
|                         |                     |            |       | SESO                                    | DESO | Gran caudal | A                      |             | F pulg |
|                         | SESO                | DESO       |       |                                         |      |             | SESO                   | DESO        |        |
| NPT                     |                     |            |       |                                         |      |             |                        |             |        |
| 1/8                     | -QC4-S-2PF          | -QC4-D-2PF | QC4   | 0,3                                     | 0,2  | 0,4         | 51,1 (2,01)            | 52,6 (2,07) | 5/8    |
| 1/4                     | -QC4-S-4PF          | -QC4-D-4PF | QC4   | 0,3                                     | 0,2  | 0,4         | 57,4 (2,26)            | 58,9 (2,32) | 3/4    |
|                         | -QC6-S-4PF          | -QC6-D-4PF | QC6   | 0,9                                     | 0,5  | 1,5         | 59,7 (2,35)            | 62,7 (2,47) | 3/4    |
| 3/8                     | -QC6-S-6PF          | -QC6-D-6PF | QC6   | 0,8                                     | 0,5  | 1,6         | 59,7 (2,35)            | 62,7 (2,47) | 7/8    |
| 1/2                     | -QC8-S-8PF          | -QC8-D-8PF | QC8   | 2,0                                     | 1,3  | 3,1         | 71,6 (2,82)            | 76,7 (3,02) | 1 1/16 |
| ISO/BSP Cónica          |                     |            |       |                                         |      |             |                        |             |        |
| 1/4                     | -QC4-S-4FT          | -QC4-D-4FT | QC4   | 0,3                                     | 0,2  | 0,4         | 57,4 (2,26)            | 58,9 (2,32) | 3/4    |
| 3/8                     | -QC6-S-6FT          | -QC6-D-6FT | QC6   | 0,8                                     | 0,5  | 1,6         | 59,7 (2,35)            | 62,7 (2,47) | 7/8    |
| 1/2                     | -QC8-S-8FT          | -QC8-D-8FT | QC8   | 2,0                                     | 1,3  | 3,1         | 71,6 (2,82)            | 76,7 (3,02) | 1 1/16 |

Bases pasamuros

Racor Swagelok



| Tamaño del racor       | Referencia básica | Serie | Dimensiones |             |                        |                                  |
|------------------------|-------------------|-------|-------------|-------------|------------------------|----------------------------------|
|                        |                   |       | A           | H           | Espesor máx. del panel | Min. Diám. del orificio en panel |
| Dimensiones, mm (pulg) |                   |       |             |             |                        |                                  |
| 1/4 pulg               | -QC4-B1-400       | QC4   | 67,8 (2,67) | 23,1 (0,91) | 6,4 (0,25)             | 11,9 (15/32)                     |
| 3/8 pulg               | -QC6-B1-600       | QC6   | 75,7 (2,98) | 26,2 (1,03) | 6,9 (0,27)             | 15,1 (19/32)                     |
| 1/2 pulg               | -QC8-B1-810       | QC8   | 90,4 (3,56) | 30,7 (1,21) | 6,6 (0,26)             | 19,8 (25/32)                     |
| Dimensiones, mm (pulg) |                   |       |             |             |                        |                                  |
| 6                      | -QC4-B1-6M0       | QC4   | 67,8 (2,67) | 23,1 (0,91) | 6,4 (0,25)             | 11,9 (15/32)                     |
| 10                     | -QC6-B1-10M0      | QC6   | 75,9 (2,99) | 26,2 (1,03) | 6,9 (0,27)             | 16,7 (21/32)                     |
| 12                     | -QC8-B1-12M0      | QC8   | 90,4 (3,56) | 30,7 (1,21) | 6,6 (0,26)             | 19,6 (49/64)                     |

Las dimensiones se muestran con las tuercas Swagelok apretadas a mano.

<http://www.swagelok.com><sup>1</sup>

<sup>1</sup> Swagelok.(2012).Productos-catalogos acoples rápidos. <http://www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/ES/MS-01-138.pdf>

## D.2. Especificações técnicas do motor para misturador

Ø 36 mm - 16 W 16 W ref 82740002



- Prolongada vida útil
- Con filtrado CEM por varistancia
- Opción de supresión de interferencias clase B
- Opción de encoder con supresión de interferencias clase B

### Características en vacío

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Velocidad de rotación (rpm) | 3900 |
| Potencia absorbida (W)      | 1,9  |
| Intensidad absorbida (A)    | 0,08 |

### Características nominales

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Velocidad de rotación (rpm) | 3000 |
| Par (mNm)                   | 35   |
| Potencia útil (W)           | 11   |
| Potencia absorbida (W)      | 16,8 |
| Intensidad absorbida (A)    | 0,7  |
| Calentamiento (°C)          | 27   |
| Rendimiento (%)             | 65   |

### Características generales

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| Tipo de bobinado                | H     |
| Grado de protección             | IP20  |
| Potencia útil máx (W)           | 15,8  |
| Par de arranque (mNm)           | 155   |
| Corriente de arranque (A)       | 2,75  |
| Resistencia (Ω)                 | 8,73  |
| Inductancia (mH)                | 9,6   |
| K de par (Nm/A)                 | 0,058 |
| K de tiempo eléctrico (ms)      | 1,1   |
| K de tiempo mecánico (ms)       | 11,1  |
| K de tiempo térmico (mn)        | 6,5   |
| Inercia (g.cm <sup>2</sup> )    | 45    |
| Masa (g)                        | 200   |
| No de láminas del colector      | 5     |
| Duración de vida (h)            | 3000  |
| Cojinetes en bronce sinterizado | ■     |

Fuente [Crouzet Automatización](http://www.crouzet.es/catalogo/motores-sincronos-motores-sincronos-2-sentidos-de-marcha-con-)<sup>2</sup>

<sup>2</sup> [Crouzet.\(2012\).Productos motores síncronos. http://www.crouzet.es/catalogo/motores-sincronos-motores-sincronos-2-sentidos-de-marcha-con-](http://www.crouzet.es/catalogo/motores-sincronos-motores-sincronos-2-sentidos-de-marcha-con-)

### D.3. Sensor de Nivel capacitivo<sup>3</sup>

#### Detección de nivel – Sensores capacitivos

Pointek CLS100

| Datos técnicos                                |                                                                                |                                                                                             |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               | Conexión a proceso de acero inoxidable (versión de cable o con caja) (7ML5501) | Conexión al proceso de material sintético (sólo en la versión con caja) (7ML5610)           |                                                                                                            | Conexión a proceso de acero inoxidable (versión de cable o con caja) (7ML5501)                                                         | Conexión al proceso de material sintético (sólo en la versión con caja) (7ML5610)   |
| <b>Modo de operación</b>                      |                                                                                |                                                                                             |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| Principio de medida                           | Detección capacitiva de nivel basada en la variación de frecuencia             | Detección capacitiva de nivel basada en la variación de frecuencia                          | Conexión al proceso sonda/piezas en contacto con el medio <sup>3)</sup>                                    | Conexión: Acero inoxidable 316L; Junta hermetica: FKM (opcional FFKM); Sensor: PPS (opcional PVDF) <sup>4)</sup>                       | Conexión al proceso PPS y sonda PPS (compacta)                                      |
| <b>Entrada</b>                                |                                                                                |                                                                                             | Conexión (versión con caja)                                                                                | Bloque terminal interno de 5 puntos, entrada de cable 1/2" NPT, opcional M20 x 1.5                                                     | Bloque terminal interno de 5 puntos, entrada de cable 1/2" NPT, opcional M20 x 1.5  |
| Magnitud medida                               | Variación en picroFarad (pF)                                                   | Variación en picroFarad (pF)                                                                | Conexión (versión de cable)                                                                                | 4 conductores, longitud 1 m (3.3 ft), sección 0,5 mm² (22 AWG), apantallado, material aislante poliéster                               | N.d.                                                                                |
| <b>Salida</b>                                 |                                                                                |                                                                                             | Conexión al proceso                                                                                        | 1/2" NPT [(cono), ANSI/ASME B1.20.1] R 1" [(BSPT), EN 10226/PT (JIS-T), JIS B 0203] G 1" [(BSPP), EN ISO 228-1/PT (JIS-P), JIS B 0202] | 1/2" NPT [(cono), ANSI/ASME B1.20.1] R 1" [(BSPT), EN 10226/PT (JIS-T), JIS B 0203] |
| Señal de salida                               |                                                                                |                                                                                             |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Salida de alarma                            | 4 ... 20/20 ... 4 mA, bucle de corriente a 2 hilos                             | 4 ... 20/20 ... 4 mA, bucle de corriente a 2 hilos                                          |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Salida de conmutación <sup>1)</sup>         | Transistor: 30 V DC/30 V AC, 82 mA máx.                                        | Tensión máx. de conmutación: 60 V DC/30 V AC Corriente máx. de conmutación: 1 A Min. o máx. |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Modo fail-safe (autoprotección)             | Min. o máx.                                                                    | Min. o máx.                                                                                 |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| <b>Precisión</b>                              |                                                                                |                                                                                             |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| Repetibilidad                                 | 2 mm (0.08")                                                                   | 2 mm (0.08")                                                                                |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| <b>Condiciones de aplicación<sup>2)</sup></b> |                                                                                |                                                                                             | <b>Alimentación eléctrica</b>                                                                              |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| Condiciones de montaje                        |                                                                                |                                                                                             | Estándar                                                                                                   | 12 ... 33 V DC                                                                                                                         | 12 ... 33 V DC                                                                      |
| • Ubicación                                   | Interior/exterior                                                              | Interior/exterior                                                                           | Seguridad intrínseca                                                                                       | 10 ... 30 V DC (requiere barrera de seguridad intrínseca)                                                                              | N.d.                                                                                |
| Condiciones ambientales                       |                                                                                |                                                                                             | <b>Certificados y aprobaciones</b>                                                                         |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Temperatura ambiente                        | -30 ... +85 °C (-22 ... +185 °F)                                               | -10 ... +85 °C (+14 ... +185 °F)                                                            | Universal: CE, CSA, FM, C-TICK                                                                             |                                                                                                                                        | Universal: CSA, FM                                                                  |
| • Categoría de instalación                    | I                                                                              | I                                                                                           | Marina: Lloyd's Register of Shipping, categorías ENV1, ENV2 y ENV5                                         |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Grado de contaminación                      | 4                                                                              | 4                                                                                           | A prueba de explosión de polvo (requiere barrera): CSA/FM Clase II y III, Div. 1, Grupos E, F, G T4        |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| Condiciones de medida                         |                                                                                |                                                                                             | Intrínsecamente seguro (requiere barrera): CSA/FM Clase I, II y III, Div. 1, Grupos A, B, C, D, E, F, G T4 |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Constante dieléctrica relativa $\epsilon_r$ | Min. 1,5                                                                       | Min. 1,5                                                                                    | ATEX II 1 GD 1/2GD EEx ia IIC T4 - T6 T107 °C                                                              |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Temperatura de proceso                      | -30 ... +100 °C (-22 ... +212 °F)                                              | -10 ... +100 °C (+14 ... +212 °F)                                                           | Protección de sobre-llenado: WHG (Alemania)                                                                |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Presión (depósito)                          | -1 ... +10 bar g (-14.6 ... +146 psi g), nominal <sup>2)</sup>                 | -1 ... +10 bar g (-14.6 ... +146 psi g), nominal                                            |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Grado de protección                         |                                                                                |                                                                                             |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| - Versión con caja                            | IP68/Tipo 4/NEMA 4                                                             | IP68/Tipo 4/NEMA 4                                                                          |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| - Versión de cable                            | IP65/Tipo 4/NEMA 4                                                             | N.d.                                                                                        |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Entrada de cables                           | 1/2" NPT (opción M20 x 1.5)                                                    | 1/2" NPT (opción M20 x 1.5)                                                                 |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| <b>Construcción mecánica</b>                  |                                                                                |                                                                                             |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
|                                               | <u>Versión con caja/de cable</u>                                               | <u>Versión de material sintético</u>                                                        |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| Material                                      |                                                                                |                                                                                             |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Cuerpo (versión con caja)                   | Poliéster termoplástico                                                        | Poliéster termoplástico                                                                     |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Tapa (versión con caja)                     | Polycarbonato termoplástico transparente (PC)                                  | Polycarbonato termoplástico transparente (PC)                                               |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| • Cuerpo cable integrado (versión de cable)   | Acero inoxidable 316L                                                          | N.d.                                                                                        |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |
| Longitud nominal de la sonda                  | 100 mm (4")                                                                    | 100 mm (4")                                                                                 |                                                                                                            |                                                                                                                                        |                                                                                     |

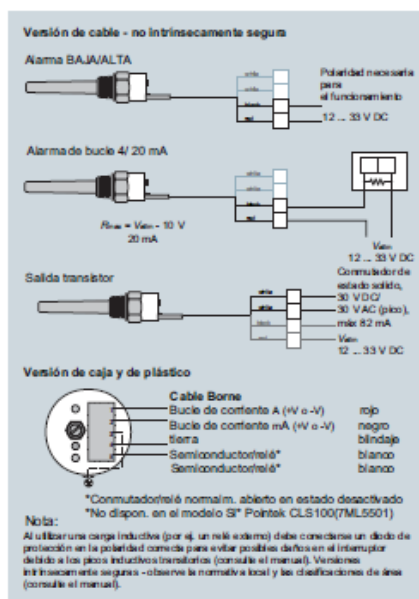
<sup>1)</sup> En entornos húmedos, la tensión de conmutación del relé de un detector con conexión al proceso de material sintético (7ML5610) está limitada a 35 V DC/16 V AC.

<sup>2)</sup> Para el uso en áreas peligrosas deben observarse las restricciones operativas indicadas en el certificado. Véanse también las curvas de Presión/Temperatura en la página 5/14.

<sup>3)</sup> Para materiales caóticos por favor contacte [cog.smp@siemens.com](mailto:cog.smp@siemens.com) <http://www.siemens.com/automation/support-request> para juntas especiales.

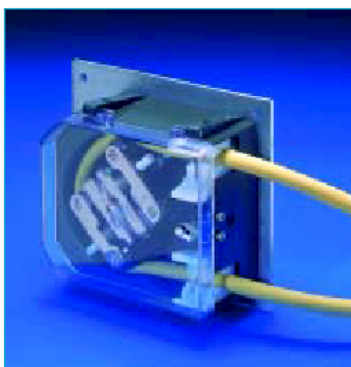
<sup>4)</sup> Cuando se utiliza una junta FFKM (opción A22) la temperatura de proceso máxima debe ser -20 °C (-4 °F).

*Diagrama de conexão do sensor de nível.*



Conexiones Pointek CLS100

## D.4. Características da Bomba peristáltica<sup>4</sup>



| Ordering information                 |               |
|--------------------------------------|---------------|
| 501RL Pumphead for 1.6mm WT tubing   | 056.0001.1.00 |
| 501RL Pumphead for 2.4mm WT tubing   | 056.0001.1.20 |
| 501F faceplate adapter (no pumphead) | 056.8001.0.00 |

| Materials of construction          |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Track                              | Mazak, akylid melamine ename       |
| Rotor                              | Mazak, copper/nickel/chrome plated |
| Main rollers                       | MOS2 filled Nylon 6 (Nylatron)     |
| Tube clamps, hinges, guide rollers | Acetal copolymer (Kenatal)         |
| Guard                              | Polycarbonate                      |
| Springs, spindles, fixings         | Stainless steel                    |
| Faceplate                          | Aluminum                           |

| Specifications                                         |        | 1.6mm (1/16") wall tubing |                |                |               |                |               |                |
|--------------------------------------------------------|--------|---------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Bore mm                                                | Bore " | 0.5mm<br>1/5"             | 0.8mm<br>1/32" | 1.6mm<br>1/16" | 3.2mm<br>1/8" | 4.8mm<br>3/16" | 6.4mm<br>1/4" | 8.0mm<br>5/16" |
| Maximum continuous speed: rpm                          |        | 300                       | 300            | 300            | 300           | 300            | 300           | 300            |
| Maximum intermittent speed: rpm                        |        | 500                       | 500            | 500            | 500           | 500            | 500           | 500            |
| Marprene tubing (Standard springs, clockwise rotation) |        |                           |                |                |               |                |               |                |
| Required torque up to 0.5bar: kg cm                    |        | 3.2                       | 3.2            | 3.8            | 4.8           | 5.0            | 6.6           | 6.6            |
| Required torque up to 1 Bar: kg cm                     |        | 4.0                       | 4.0            | 4.3            | 5.0           | 6.5            | 9.2           | 9.2            |
| Maximum pressure: Bar                                  |        | 2                         | 2              | 2              | 2             | 2              | 1             | 1              |
| 501F/R and 501F/RL weight                              |        | 1.15kg and 2.3kg          |                |                |               |                |               |                |

| Flow rates                             |        | 1.6mm (1/16") wall thickness tubing |                |                |               |                |               |                |
|----------------------------------------|--------|-------------------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Bore mm                                | Bore " | 0.5mm<br>1/5"                       | 0.8mm<br>1/32" | 1.6mm<br>1/16" | 3.2mm<br>1/8" | 4.8mm<br>3/16" | 6.4mm<br>1/4" | 8.0mm<br>5/16" |
| Flow rate: ml/revolution               |        | 0.04                                | 0.12           | 0.43           | 1.86          | 4.05           | 6.35          | 10.0           |
| Maximum continuous flow rate: ml/min   |        | 12.6                                | 36.0           | 129            | 558           | 1210           | 1900          | 3000           |
| Maximum intermittent flow rate: ml/min |        | 21.0                                | 60.0           | 215            | 930           | 2020           | 3180          | 5000           |

For tube selections, see tables A & B on page 48.

| Specifications                                         |        | 1.6mm (1/16") wall thickness tubing |                |                |               |                |               |                |
|--------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Bore mm                                                | Bore " | 0.5mm<br>1/5"                       | 0.8mm<br>1/32" | 1.6mm<br>1/16" | 3.2mm<br>1/8" | 4.8mm<br>3/16" | 6.4mm<br>1/4" | 8.0mm<br>5/16" |
| Maximum continuous speed: rpm                          |        | 300                                 | 300            | 300            | 300           | 300            | 300           | 300            |
| Maximum intermittent speed: rpm                        |        | 500                                 | 500            | 500            | 500           | 500            | 500           | 500            |
| Marprene tubing (Standard springs, clockwise rotation) |        |                                     |                |                |               |                |               |                |
| Required torque up to 0.5bar: kg cm                    |        | 3.2                                 | 3.2            | 3.8            | 4.8           | 5.0            | 6.6           | 6.6            |
| Required torque up to 1 Bar: kg cm                     |        | 4.0                                 | 4.0            | 4.3            | 5.0           | 6.5            | 9.2           | 9.2            |
| Maximum pressure: Bar                                  |        | 2                                   | 2              | 2              | 2             | 2              | 1             | 1              |

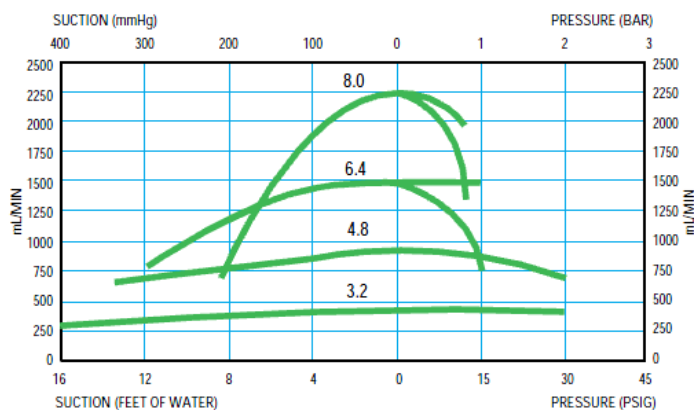
| Performance against pressure |  |
|------------------------------|--|
|------------------------------|--|

### Conditions:

- Suction curves obtained with zero output pressure.
- Pressure curves obtained with zero lift.
- Pumphead speed 220rpm.
- Anti-clockwise rotation
- Clockwise rotation

### Conversion Factors:

Suction pressure in Bar x 747.7 = mm Hg  
 Suction pressure in Bar x 33.5 = Ft H<sub>2</sub>O  
 Back pressure in Bar x 14.5 = psi



<sup>4</sup> Watson Marlow.(2011).Productos bombas. <http://www.watson-marlow.com>



## D.6. Parâmetros do motor redutor selecionado



TRANSTECNO ECP350/1053. Permanent Magnets DC Planetary Gearmotors. ITALY: Tetraservice, 2010.

| Dati tecnici per servizio S2 |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  | Technical data for S2 duty |                                        |                        |     |        |                                                                                     |                                  |
|------------------------------|----------------------------------------|------------------------|-----|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|------------------------|-----|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| P <sub>1</sub><br>[W]        | n <sub>2</sub><br>[min <sup>-1</sup> ] | M <sub>2</sub><br>[Nm] | sf  | i      |  | Versione motore<br>Motor version | P <sub>1</sub><br>[W]      | n <sub>2</sub><br>[min <sup>-1</sup> ] | M <sub>2</sub><br>[Nm] | sf  | i      |  | Versione motore<br>Motor version |
| <b>500</b>                   |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  | <b>800</b>                 |                                        |                        |     |        |                                                                                     |                                  |
| (3000 min <sup>-1</sup> )    | 120                                    | 29                     | 3.6 | 25.01  | ECP350/1052                                                                       | 120/240                          | (3000 min <sup>-1</sup> )  | 59                                     | 90                     | 0.9 | 50.89  | ECP600/723                                                                          | 120/240                          |
|                              | 112                                    | 32                     | 3.3 | 26.85  |                                                                                   |                                  |                            | 51                                     | 105                    | 0.8 | 58.85  |                                                                                     |                                  |
|                              | 104                                    | 34                     | 3.1 | 28.93  |                                                                                   |                                  |                            | 44                                     | 120                    | 0.7 | 68.06  |                                                                                     |                                  |
|                              | 86                                     | 41                     | 2.5 | 34.97  |                                                                                   |                                  |                            | 42                                     | 120                    | 0.7 | 71.16  |                                                                                     |                                  |
|                              | 66                                     | 54                     | 2.0 | 45.56  |                                                                                   |                                  |                            | 38                                     | 120                    | 0.7 | 78.71  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 32                                     | 120                    | 0.7 | 92.70  |                                                                                     |                                  |
|                              | 59                                     | 56                     | 3.5 | 50.89  | ECP350/1053                                                                       | 120/240                          |                            | 31                                     | 120                    | 0.7 | 95.17  |                                                                                     |                                  |
|                              | 51                                     | 65                     | 3.0 | 58.85  |                                                                                   |                                  |                            | 30                                     | 120                    | 0.7 | 99.50  |                                                                                     |                                  |
|                              | 44                                     | 75                     | 2.6 | 68.06  |                                                                                   |                                  |                            | 28                                     | 120                    | 0.7 | 107.20 |                                                                                     |                                  |
|                              | 42                                     | 78                     | 2.5 | 71.16  |                                                                                   |                                  |                            | 26                                     | 120                    | 0.7 | 115.07 |                                                                                     |                                  |
|                              | 38                                     | 87                     | 2.3 | 78.71  |                                                                                   |                                  |                            | 24                                     | 120                    | 0.7 | 123.97 |                                                                                     |                                  |
|                              | 32                                     | 102                    | 1.9 | 92.70  |                                                                                   |                                  |                            | 23                                     | 120                    | 0.7 | 129.62 |                                                                                     |                                  |
|                              | 31                                     | 105                    | 1.9 | 95.17  |                                                                                   |                                  |                            | 22                                     | 120                    | 0.7 | 139.13 |                                                                                     |                                  |
|                              | 30                                     | 109                    | 1.8 | 99.50  |                                                                                   |                                  |                            | 20                                     | 120                    | 0.7 | 149.90 |                                                                                     |                                  |
|                              | 28                                     | 118                    | 1.7 | 107.20 |                                                                                   |                                  |                            | 18                                     | 120                    | 0.7 | 168.84 |                                                                                     |                                  |
|                              | 26                                     | 126                    | 1.5 | 115.07 |                                                                                   |                                  |                            | 17                                     | 120                    | 0.7 | 181.24 |                                                                                     |                                  |
|                              | 24                                     | 136                    | 1.4 | 123.97 |                                                                                   |                                  |                            | 15                                     | 120                    | 0.7 | 195.26 |                                                                                     |                                  |
|                              | 23                                     | 142                    | 1.4 | 129.62 |                                                                                   |                                  |                            | 13                                     | 120                    | 0.7 | 236.09 |                                                                                     |                                  |
|                              | 22                                     | 153                    | 1.3 | 139.13 |                                                                                   |                                  |                            | 9.8                                    | 120                    | 0.7 | 307.54 |                                                                                     |                                  |
|                              | 20                                     | 165                    | 1.2 | 149.90 |                                                                                   |                                  |                            |                                        |                        |     |        |                                                                                     |                                  |
|                              | 18                                     | 186                    | 1.1 | 168.84 |                                                                                   |                                  |                            | 811                                    | 7.5                    | 2.7 | 3.70   | ECP600/811                                                                          | 120/240                          |
|                              | 17                                     | 199                    | 1.0 | 181.24 |                                                                                   |                                  |                            | 701                                    | 8.7                    | 2.3 | 4.28   |                                                                                     |                                  |
|                              | 15                                     | 215                    | 0.9 | 195.26 |                                                                                   |                                  |                            | 579                                    | 11                     | 1.9 | 5.18   |                                                                                     |                                  |
|                              | 13                                     | 259                    | 0.8 | 236.09 |                                                                                   |                                  |                            | 444                                    | 14                     | 1.5 | 6.75   |                                                                                     |                                  |
|                              | 9.8                                    | 279                    | 0.7 | 307.54 |                                                                                   |                                  |                            |                                        |                        |     |        |                                                                                     |                                  |
|                              | 66                                     | 54                     | 2.8 | 45.56  | ECP350/1202                                                                       | 120/240                          |                            | 218                                    | 26                     | 2.3 | 13.73  | ECP600/812                                                                          | 120/240                          |
|                              | 32                                     | 102                    | 2.9 | 92.70  | ECP350/1203                                                                       | 120/240                          |                            | 189                                    | 30                     | 2.0 | 15.88  |                                                                                     |                                  |
|                              | 18                                     | 186                    | 1.6 | 168.84 |                                                                                   |                                  |                            | 163                                    | 35                     | 1.7 | 18.36  |                                                                                     |                                  |
|                              | 9.8                                    | 338                    | 0.9 | 307.54 |                                                                                   |                                  |                            | 156                                    | 37                     | 1.6 | 19.20  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 135                                    | 42                     | 1.4 | 22.20  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 120                                    | 48                     | 1.3 | 25.01  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 112                                    | 51                     | 1.2 | 26.85  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 104                                    | 55                     | 1.1 | 28.93  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 86                                     | 67                     | 0.9 | 34.97  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 66                                     | 86                     | 0.7 | 45.56  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            |                                        |                        |     |        |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 59                                     | 90                     | 1.3 | 50.89  | ECP600/813                                                                          | 120/240                          |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 51                                     | 105                    | 1.1 | 58.85  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 44                                     | 121                    | 1.0 | 68.06  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 42                                     | 127                    | 0.9 | 71.16  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 38                                     | 140                    | 0.9 | 78.71  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 32                                     | 165                    | 0.7 | 92.70  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 31                                     | 169                    | 0.7 | 95.17  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 30                                     | 171                    | 0.7 | 99.50  |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 28                                     | 171                    | 0.7 | 107.20 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 26                                     | 171                    | 0.7 | 115.07 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 24                                     | 171                    | 0.7 | 123.97 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 23                                     | 171                    | 0.7 | 129.62 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 22                                     | 171                    | 0.7 | 139.13 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 20                                     | 171                    | 0.7 | 149.90 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 18                                     | 171                    | 0.7 | 168.84 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 17                                     | 171                    | 0.7 | 181.24 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 15                                     | 171                    | 0.7 | 195.26 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 13                                     | 171                    | 0.7 | 236.09 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 9.8                                    | 171                    | 0.7 | 307.54 |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            |                                        |                        |     |        |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 701                                    | 8.7                    | 4.0 | 4.28   | ECP600/1051                                                                         | 120/240                          |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 579                                    | 11                     | 3.3 | 5.18   |                                                                                     |                                  |
|                              |                                        |                        |     |        |                                                                                   |                                  |                            | 444                                    | 14                     | 2.6 | 6.75   |                                                                                     |                                  |

ECP

Tabela D1. Especificações do motor redutor.

| Tensão | Relação de redução | Torque [N·m] | Temperatura de operação | Velocidade [m/s] | Potência [W] |
|--------|--------------------|--------------|-------------------------|------------------|--------------|
| 24 VDC | 1:168              | 186          | -30 °C – 140 °C         | 0.21             | 500          |

## D.7. Controlador NXT

### The Lego NXT



32-bit ARM microcontroller - an Atmel AT91SAM7S256. Flash memory/file system (256 kB), RAM (64 kB) and the USB Device interface.

4 analog inputs for a variety of sensors, plus ability to interface to any analog-out device

3 PWM motor driver outputs with built-in encoders (1° resolution)

Bluetooth communications (NXT to NXT, NXT to computer)

<http://thenxtstep.blogspot.com/>

LCD display and 4 front-panel buttons.

## D.8. Sensor de cor ótico



- ▶ 31 colors can be saved
- ▶ Optical fiber adaption
- ▶ Color and grey scale evaluation
- ▶ PC programmable via RS232 / USB

### Features:

- Color memory: 31 Colors per Teach-in and software
- RS232 interface (USB adapter optional)
- Modulated white light LED (can be connected for external super-bright white light source)
- Switchable brightness readjustment
- Color and grey-scale detection
- Switchable averaging
- A variety of evaluation algorithms can be activated
- Switching frequency max. 30kHz
- Switching state display
- Temperature compensation <0.01%/K
- Eight-stage signal amplification, adjustable
- Color spaces: X/Y INT; s/i M (Lab)

### Application examples:

- Detection of color rings
- Recognizing color markings in the printing industry
- Inspection of packaging
- Sorting tasks on the basis of color
- Color recognition on interior components
- Color control of self-luminous objects (LEDs, displays, etc.)

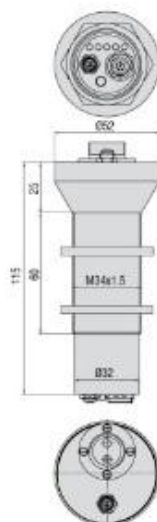
| Type                         | LT3-HE                                                                                                                                               |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Article number               | 10234066                                                                                                                                             |
| Object distance              | Dependent on the optical fibers used and the optical heads<br>Reflex optical fiber typ. 2mm-25mm with lens typ. 5mm-200mm <sup>1)</sup>              |
| Light spot diameter          | Dependent on the optical fibers used and the optical heads<br>Reflex optical fiber typ. Ø 0.6mm-30mm <sup>1)</sup>                                   |
| Color difference             | $\Delta E \geq 0.5$                                                                                                                                  |
| Color spaces                 | X/Y (NT, s) M (Lab)                                                                                                                                  |
| Averaging                    | more than max. 32768 values                                                                                                                          |
| Size of the color memory     | max. 31 colors in non-volatile EEPROM with parameter sets                                                                                            |
| Switching frequency          | max. 30kHz (depending on number of colors being taught and the setting for the averaging)                                                            |
| Reproducibility              | In the x,y color range, 1 digit each with 12-Bit-A/D conversion                                                                                      |
| Temperature drift X,Y        | < 0.01% /K                                                                                                                                           |
| Light source                 | Super-bright white light LED, AC or DC,<br>(adjustable or OFF for self-luminous objects, software-switchable) <sup>2)</sup>                          |
| Type of illumination         | via optical fiber                                                                                                                                    |
| Effect through illumination  | suitable for flexibility                                                                                                                             |
| Ambient light                | to 5000Lux (AC-mode)                                                                                                                                 |
| Intermittent light operation | AC: typ. 10kHz to 40kHz (depending on amplification level AMP1 to AMP6)<br>DC: switchable by PC software                                             |
| Power supply                 | + 24VDC (+/- 10%), inverse polarity protected, overload-proof                                                                                        |
| Current consumption          | typ. 320mA                                                                                                                                           |
| Max. switching current       | 100mA, short-circuit protected                                                                                                                       |
| TEACH button/inputs          | 1 button and IN0 for external teaching of the color references                                                                                       |
| Outputs                      | OUT 0 - OUT 4, digital (3V/ + Ub), short-circuit protected, 100mA max. switching current<br>npr-, pnp-capable (bright or dark switching, switchable) |
| Switching state display      | Visualisation by means of 5 yellow LEDs                                                                                                              |
| Interface                    | RS232 (optional USB)                                                                                                                                 |
| Type of connector            | to PLC: 8-pole flange socket (Binder series 712) to PC: 4-pole flange socket (Binder series 707)                                                     |
| Connection cable             | to power/PLC: art. no. 11234081 / to PC: art. no. 11234085 (RS232); 11234096 (USB)                                                                   |
| Receiver                     | 3-color filter detector (TRUE COLOR detector, color filter curve as per CIE 1931)                                                                    |
| Software                     | colorCONTROLS                                                                                                                                        |
| Pulse extension              | adjustable 0ms-100ms                                                                                                                                 |
| Signal amplification         | 8 stage (AMP1 - AMP6), adjustable                                                                                                                    |
| Housing material             | Aluminium, black anodised                                                                                                                            |
| Operating temperature        | -20 °C - +55 °C                                                                                                                                      |
| Storage temperature          | -20 °C - +85 °C                                                                                                                                      |
| Protection class             | IP67 (lens), IP64 (electronics)                                                                                                                      |
| EMC test according           | DIN EN 60947 5-2                                                                                                                                     |
| Optical fiber                | p. 34 onwards                                                                                                                                        |

<sup>1)</sup> Type: FAR-T-A2.0-2.5-1200-67\* Reflex  
Type: FAD-T-A2.0-2.5-1200-67\* Transmitted light (p. 34 onwards)

<sup>2)</sup> suitable for LED testing

#### Dimensions:

Dimensions in mm, not to scale



## D.9. Sensor de Ultrassom

### Sensores de proximidad ultrasónicos

#### Boletín 873P Programable

##### Cuerpo de plástico



873P CC programable  
30 mm

#### Descripción

Los sensores ultrasónicos programables Boletín 873P son dispositivos autónomos, de estado sólido, diseñados para detección sin contacto de objetos sólidos y líquidos. Están disponibles con diámetro de cilindro de 30 mm, están contruidos de plástico PBT, y cumplen con los estándares de envoltorio IP67. El circuito electrónico está encapsulado para proteger contra choque, vibración y contaminación.

Estos sensores tienen dos puntos de ajuste programables con salidas surtidor (PNP) que puede configurarse para operación normalmente abierta o normalmente cerrada. También cuentan con una salida analógica de 4...20 mA ó 0...10 VCC. La pendiente de la salida analógica está escalada entre los límites de los valores de punto de ajuste. La programación de los puntos de ajuste y la configuración de salida se realizan usando el botón pulsador de configuración ubicado en la parte trasera del envoltorio.

Además, estos dispositivos tienen protección eléctrica completa, lo cual incluye protección contra cortocircuito, sobrecarga, falsa detección, ruido de transiente e inversión de polaridad. Los sensores ultrasónicos programables Boletín 873P son ideales para aplicaciones de control de nivel, medición de diámetro, medición de distancia, control de pendiente y detección de presencia.

#### Especificaciones

|                                         |                                                                                                              |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Configuración de salida                 | Dos PNP discretas (programable N.A./N.C.)<br>Corriente analógica: 4...20 mA<br>Voltaje analógico: 0...10 VCC |
| Corriente de carga, máx.                | <100 mA (colector abierto)                                                                                   |
| Corriente de fuga                       | <0.5 mA                                                                                                      |
| Consumo de corriente                    | <45 mA                                                                                                       |
| Voltaje de operación                    | 19...30 VCC                                                                                                  |
| Caída de voltaje del sensor             | <5 VCC                                                                                                       |
| Capacidad de repetición                 | 0.4%                                                                                                         |
| Histeresis                              | 1% típico                                                                                                    |
| Tolerancia de linealidad                | ±0.5%                                                                                                        |
| Frecuencia                              | 130, 200 kHz                                                                                                 |
| Ángulo del haz                          | 8°                                                                                                           |
| Tipo de protección                      | Cortocircuito, sobrecarga, falsa detección, ruido de transiente, inversión de polaridad                      |
| Certificaciones                         | Marcados cULus y CE para todas las directivas correspondientes                                               |
| Material                                | Plástico PBT                                                                                                 |
| Clasificación de envoltorio             | IP67                                                                                                         |
| Tipo de conexión                        | Conector Micro                                                                                               |
| Indicador LED                           | Amarillo: [2] salida P1, P2; Verde: Alineamiento/éico                                                        |
| Programación                            | Mediante botón pulsador de configuración                                                                     |
| Temperatura de funcionamiento [°C (°F)] | -15...70° (5...158°)                                                                                         |
| Impacto                                 | 30 g, 11 ms                                                                                                  |
| Vibración                               | 55 Hz, 1 mm amplitud, 3 planos                                                                               |

#### Especificaciones

- Rangos de detección de 150...3,500 mm
- Los modelos programables cuentan con 2 salidas discretas y 1 salida analógica
- Las salidas discretas pueden programarse para operación normalmente abierta o normalmente cerrada.
- Regulación del punto de ajuste programable mediante botón pulsador
- Protección contra cortocircuito, sobrecarga, falsa detección, ruido de transiente e inversión de polaridad
- Marcados cULus y CE para todas las directivas correspondientes

#### Cables con un conector y accesorios

| Descripción            | Número de página |
|------------------------|------------------|
| Deflectores del haz    | 3-10             |
| Cables con un conector | 8-16             |
| Soportes de montaje    | 2-210...2-214    |
| Tuercas de montaje     | 2-221            |

## D.10. Sensor tipo compasso ou bússola e Sensor tipo acelerômetro



### LSM303DLH

Sensor module:  
3-axis accelerometer and 3-axis magnetometer

#### Features

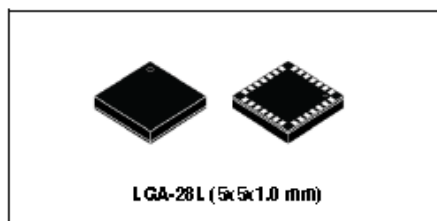
- Analog supply voltage: 2.5 V to 3.3 V
- Digital supply voltage I/Os: 1.8 V
- Power-down mode
- 3 magnetic field channels and 3 acceleration channels
- $\pm 1.3$  to  $\pm 8.1$  gauss magnetic field full-scale
- $\pm 2$  g /  $\pm 4$  g /  $\pm 8$  g dynamically selectable full-scale
- 16-bit data out
- I<sup>2</sup>C serial interface
- 2 independent programmable interrupt generators for free-fall and motion detection
- Embedded self-test
- Accelerometer sleep-to-wakeup function
- 6D orientation detection
- ECOPACK® RoHS and "Green" compliant (see [Section 10](#))

#### Applications

- Compensated compassing
- Map rotation
- Position detection
- Motion-activated functions
- Free-fall detection
- Intelligent power-saving for handheld devices
- Display orientation
- Gaming and virtual reality input devices
- Impact recognition and logging
- Vibration monitoring and compensation

#### Description

The LSM303DLH is a system-in-package featuring a 3D digital linear acceleration sensor



and a 3D digital magnetic sensor. The various sensing elements are manufactured using specialized micromachining processes, while the IC interfaces are realized using a CMOS technology that allows the design of a dedicated circuit which is trimmed to better match the sensing element characteristics. The LSM303DLH has a linear acceleration full-scale of  $\pm 2$  g /  $\pm 4$  g /  $\pm 8$  g and a magnetic field full-scale of  $\pm 1.3$  /  $\pm 1.9$  /  $\pm 2.5$  /  $\pm 4.0$  /  $\pm 4.7$  /  $\pm 5.6$  /  $\pm 8.1$  gauss, both fully selectable by the user. The LSM303DLH includes an I<sup>2</sup>C serial bus interface that supports standard mode (100 kHz) and fast mode (400 kHz). The internal self-test capability allows the user to check the functioning of the whole module in the final application. The system can be configured to generate an interrupt signal by inertial wakeup/free-fall events, as well as by the position of the device itself. Thresholds and timing of interrupt generators are programmable on the fly by the end user. Magnetic and accelerometer parts can be enabled or put in power-down mode separately. The LSM303DLH is available in a plastic land grid array (LGA) package, and is guaranteed to operate over an extended temperature range from -30 to +85 °C.

**Table 1. Device summary**

| Part number | Temp. range [°C] | Package | Packing       |
|-------------|------------------|---------|---------------|
| LSM303DLH   | -30 to +85       | LGA-28  | Tray          |
| LSM303DLHTR |                  |         | Tape and reel |

## **ANEXO E**

### **PROGRAMAS DE APLICATIVOS DESENVOLVIDOS EM COMPUTADOR**

(No CD anexo)

**E.1. Programa de mapeamento dos limites e distribuição da cultura**

**E.2. Programa de geração e simulação das trajetórias**

**E.3. Programa de controle de deslocamento**