



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ALAN VINÍCIUS DE ARAÚJO BATISTA

ROBÔ IRRIGADOR MULTIFUNCIONAL DE BAIXO CUSTO PARA
AGRICULTURA FAMILIAR (RIRRIG)

FORTALEZA

2016

ALAN VINÍCIUS DE ARAÚJO BATISTA

ROBÔ IRRIGADOR MULTIFUNCIONAL DE BAIXO CUSTO PARA AGRICULTURA
FAMILIAR (RIRRIG)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Albiero.

FORTALEZA
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- B336r Batista, Alan Vinícius de Araújo.
 Robô irrigador multifuncional de baixo custo para agricultura familiar (RIRRIG) /
 Alan Vinícius de Araújo Batista. – 2016.
 91 f.: il. color.; enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
 Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
 Fortaleza, 2016.
 Área de Concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.
 Orientação: Prof. Dr. Daniel Albiero.
1. Manipuladores - Automação. 2. Inovações tecnológicas. 3. Semiárido. 4. Agricultura
 familiar. I. Título.

ALAN VINÍCIUS DE ARAÚJO BATISTA

ROBÔ IRRIGADOR MULTIFUNCIONAL DE BAIXO CUSTO PARA AGRICULTURA
FAMILIAR (RIRRIG)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.
Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

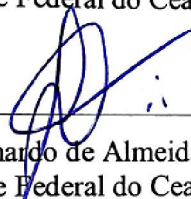
Orientador: Prof. Dr. Daniel Albiero.

Aprovada em 25/01/2016

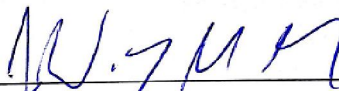
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Daniel Albiero (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes
Instituto Federal de Educação do Ceará (IFCE)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Francisco e Valdiza, pelo amor e dedicação e à minha irmã Anízia, pelo apoio e carinho e a minha namorada Dorijânia, por seu amor, compreensão e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, por ter me dado força frente às dificuldades e por ter me iluminado nas decisões mais difíceis.

Ao Professor Dr. Daniel Albiero, pelo ensino, confiança e dedicação.

À Universidade Federal do Ceará, em particular ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida à realização do curso de Mestrado em Engenharia Agrícola.

Agradeço a minha família, meu pai Francisco, minha mãe Valdiza e minha irmã Anízia, que são à base da minha vida, sinônimo de amor e dedicação.

A minha amiga e namorada, Dorijânia, por me acompanhar durante essa caminhada, pela paciência e pela compreensão nos momentos de ausência.

Agradeço aos meus amigos, em especial Marcio Pereira Gonçalves, Luciano Marinho de Lima e Pedro Henrique Almeida Miranda que estiveram juntos comigo na realização deste trabalho, por tudo que compartilhamos, as alegrias, as frustrações, as descobertas, enfim pelo o que aprendemos.

RESUMO

A agricultura familiar é uma importante geradora de ocupação, renda e alimento para o país, mesmo possuindo uma menor área para o seu desenvolvimento, a agricultura familiar tem papel fundamental na produção agrícola nacional e, pelo alto custo de que a mecanização agrícola exige, esses agricultores são excluídos do processo de mecanização agrícola. Diante de tal exclusão, usufruir da evolução dos sistemas de tecnologia mais aplicados atualmente, como a robótica, podem suprir de maneira eficaz as carências por mão de obra dos agricultores familiares, e, a tendência é que os diversos setores da agricultura que hoje são realizados de maneira convencional, sejam substituídos por dispositivos autônomos. O objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo robótico, (RIRRIG), capaz de interagir em um plano tridimensional, dotado de um sistema de atuadores, sensores e controladores com o intuito de realizar a irrigação em estufas agrícolas. Provido de inteligência computacional, o robô realiza a irrigação individual de plantas em estufas, baseado na evapotranspiração de referência, conduzindo até a planta a ferramenta terminal, que por sua vez, aplica em cada vaso uma determinada lâmina. Realizadas as coletas de dados em campo e analisando-se os dados, constatou-se que não houve diferença estatística entre médias para a irrigação manual e robótica no desenvolvimento das variáveis agrônômicas de altura de caule, diâmetro de caule e número de folhas, podendo-se concluir que a irrigação robotizada promoveu um menor coeficiente de variação e um menor desvio padrão nas amostras coletadas. É relevante o fato que a robótica, quando aplicada à agricultura, apresenta-se como uma opção na complementação ou substituição da mão de obra para o manejo agrícola, pois necessita da mínima intervenção do operador para entrar em operação, retirando assim os trabalhadores das atividades desgastantes, repetitivas e que oferecem risco à saúde. É importante destacar sua importância na racionalização do recurso hídrico por aplicar somente a quantidade de água requerida pela planta e como inovação tecnológica aplicada ao semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Robótica na agricultura. Irrigação. Robô cartesiano.

ABSTRACT

Family farming is an important generator of employment, income and food for the country, despite having a smaller area for its development, family farming has an important participation in national agricultural production and, the high cost of the agricultural mechanization, these farmers excluded from the agricultural mechanization process. Faced with such exclusion, use the evolution of technology systems most widely applied, such as Robotics, can meet effectively the needs for labor of farmers, and the trend is that the various sectors of agriculture which today are held by conventional way, be replaced by standalone devices. The objective of this work is to develop a robotic device (RIRRIG), able to interact in a three-dimensional plane, with a system of actuators, sensors and controllers in order to carry out irrigation in greenhouses. Provided with computer intelligence, the robot performs individual irrigation of plants in greenhouses, based on the reference evapotranspiration, leading to the terminal plant tool, which in turn, applies in each pot a given blade. Made the field data collection and analyzing the data, it was found that there was no statistical difference between means for manual irrigation and robotics in the development of agronomic variables of stem height, stem diameter and number of leaves, it being possible It is concluded that the robotic irrigation promoted a lower coefficient of variation and a lower standard deviation in the samples. It is important the fact that robotics when applied to agriculture, it is presented as an option to complement or manpower replacement for agricultural management, as it requires minimum operator intervention for operation, thereby depriving workers of activities stressful, repetitive and risky to health. It is important to highlight its importance in the rationalization of water resources to apply only the amount of water required by the plant and as technological innovation applied to the Brazilian semiarid region.

Keywords: Robotics in agriculture. Irrigation. Cartesian robot.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Obejetivos específicos	15
1.2	Motivação	15
1.3	Estrutura do trabalho	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Agricultura familiar	17
2.2	A Agricultura familiar no Brasil	19
2.3	Robótica	21
2.3.1	Juntas robóticas	23
2.3.2	Geometria de um robô	24
2.3.3	Atuadores e sistemas de acionamento	25
2.3.4	Garras e ferramentas	26
2.3.4	Robótica na agricultura.....	27
2.4	Percepção na robótica	34
2.5	Irrigação	35
2.5.1	Irrigação por aspersão.....	35
2.5.2	Irrigação na superfície	36
2.5.3	Irrigação localizada	37
2.5.4	Irrigação subsuperficial	37
2.5.5	Irrigação em ambientes protegidos	37
3	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1	Descrição do sistema	39
3.2	Local do Experimento	40
3.3	Material	41
3.3.1	Ferramentas programação.....	41
3.3.2	A linguagem C aplicada ao Hardware	41
3.3.3	O Arduino®	41
3.3.4	IDE Arduino®.....	43
3.3.5	Microcontroladores PIC	43
3.3.3	Drive de acionamento.....	44
3.3.4	Os atuadores.....	45
3.3.5	Sensores de Posição.....	46
3.3.6	Sensores de Nível.....	47
3.3.7	O Python®	48
3.3	Feijão-Caupi BRS Pujante	48
3.4	Métodos	49
3.4.1	Circuitos de controle	49

3.4.2	Aplicação de controle.....	55
3.4.3	Medidor de lâmina	57
3.4.4	Mecanismos	58
3.4.5	Planejamento estatístico	66
3.4.6	Metodologia estatística.....	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1	Altura do caule	68
4.2	Diâmetro do caule.....	73
4.3	Número de folhas.....	77
4.4	Custos de implantação.....	82
4.5	Racionalização do recurso.....	83
5	CONCLUSÃO	85
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	86
6	REFERÊNCIAS	87

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Porcentagem de pessoas envolvidas na agropecuária.....	17
Figura 2 - Total de estabelecimentos e da área total ocupada pelos agricultores familiares....	20
Figura 3 - Produção bruta de alimentos	20
Figura 4 - Sojorner	22
Figura 5 - Robô industrial	23
Figura 6 - Junta rotacional.....	23
Figura 7 - Robô cartesiano	24
Figura 8 - Robô cilíndrico	24
Figura 9 - Robô articulado.....	25
Figura 10 - SCARA	25
Figura 11 - Garras de dois dedos.....	27
Figura 12 - Garras para objetos cilíndricos	27
Figura 13 - Ensaio do sistema de visão de robótica.....	28
Figura 14 - Robô para colheita de cereja	29
Figura 15 - Robô agrícola autônomo voltado para a colheita de aspargos	30
Figura 16 - Robô que percorrer através de um corredor formado por duas fileiras de plantas	30
Figura 17 - Sistema de visão omnidirecional	31
Figura 18 - Robô de mistura e descarga de biomassa	31
Figura 19 - Robô para colheita automatizada de maçã	32
Figura 20 - Robô para a colheita de morango	32
Figura 21 - Sistema para a aplicação de herbicida por meio de um atuador em robô agrícola	33
Figura 22 - Mecanismo robótico aplicado à colheita automatizada de melão	33
Figura 23 - Etapas de sensoriamento	34
Figura 24 - Irrigação por aspersão	36
Figura 25 - Irrigação por aspersão mecanizada	36
Figura 26 - Esboço do sistema robótico	40
Figura 27 - Localização geográfica do experimento.....	40
Figura 28 - Arduino® Mega.....	42
Figura 29 - Arduino® Uno.....	43
Figura 30 - Hardware PIC	44
Figura 31 - <i>Drive</i> de acionamento	45
Figura 32 - Motor Bosch® CEP F 006 WM0 310.....	46
Figura 33 - Conjunto pinhão e cremalheira Patola®	46
Figura 34 - Sensor de posição indutivo.....	47
Figura 35 - Sensor de nível.....	48
Figura 36 - Esquema do circuito de controle	50
Figura 37 - Modo de operação do <i>drive</i> de acionamento dos motores	53
Figura 38 - Modo de operação do <i>drive</i> de acionamento dos motores	54
Figura 39 - Modo de operação do <i>drive</i> de acionamento dos motores	54
Figura 40 - Modo de operação do <i>drive</i> de acionamento dos motores	54
Figura 41 - Dispositivos de controle.....	55
Figura 42 - Medidor de lâmina	58
Figura 43 - CAD do robô irrigador	59
Figura 44 - Robô em funcionamento	60
Figura 45 - Robô em funcionamento	60
Figura 46 - Trilhos do eixo Y	61
Figura 47 - Trilhos do eixo X.....	62
Figura 48 - Trilhos do eixo X.....	62

Figura 49 - Rodas guia do eixo X.....	63
Figura 50 - Vista isométrica do robô	64
Figura 51 - Detalhes do mecanismo robótico.....	65
Figura 52 - Vista do mecanismo robótico	65
Figura 53 - Gráfico de curvas de operação	67
Figura 54 - Histograma de frequência da altura do caule das plantas irrigadas pelo robô	70
Figura 55 - Histograma de frequência da altura do caule das plantas irrigadas manualmente	71
Figura 56 - Histograma de frequência do diâmetro do caule das plantas irrigadas pelo robô .	75
Figura 57 - Histograma de frequência do diâmetro do caule das plantas irrigadas manualmente	75
Figura 58 - Histograma de frequência do número de folhas (Robô)	79
Figura 59 - Histograma de frequência do número de folhas (Manual).....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do Feijão-Caupi BRS Pujante.....	49
Tabela 2 - Conexões entre o módulo leitor de cartões e o Arduino® Mega 2560	50
Tabela 3 - Conexões entre o teaching box e o Arduino® Mega 2560.....	51
Tabela 4 - Conexões entre o módulo relé e o Arduino® Mega 2560	51
Tabela 5 - Conexões entre os botões do teaching box e o PIC 16f628a.....	52
Tabela 6 - Conexões entre os sensores de posição e fim de curso e o Arduino® Mega 2560.	52
Tabela 7 - Conexões entre o Arduino® Mega 2560 e o Arduino® Uno do medidor de lâmina.....	53
Tabela 8 - Estatísticas descritivas da altura do caule (Robô).....	68
Tabela 9 - Estatísticas descritivas da altura do caule (Manual).....	69
Tabela 10 - Análise de variância da altura do caule	69
Tabela 11 - Estatísticas descritivas do diâmetro do caule (Robô).....	73
Tabela 12 - Estatísticas descritivas do diâmetro do caule (Manual).....	74
Tabela 13 - Análise de variância do diâmetro do caule	74
Tabela 14 - Estatísticas descritivas do número de folhas (Robô).....	78
Tabela 15 - Estatísticas descritivas do número de folhas (Manual)	78
Tabela 16 - Análise de variância do diâmetro do caule	79
Tabela 17 - Custo de materiais e ferramentas para utilizados na construção do protótipo	82
Tabela 18 - Custo dos materiais e ferramentas para a instalação de um sistema de irrigação por gotejamento	83

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar é uma importante geradora de ocupação, renda e alimento para o país.

Ainda que possua uma menor área para o seu desenvolvimento, a agricultura familiar tem papel fundamental na produção agrícola nacional sendo responsável por fornecer 70% dos alimentos no mercado interno (IBGE, 2006).

As regiões brasileiras apresentam redução na população rural, pois as atividades agrícolas deixaram de ser atrativas em função da remuneração oferecida, o que acentua o êxodo rural. Em consequência observa-se uma carência na mão de obra que antes realizava as atividades inerentes ao manejo agrícola (ALVES, 2006).

A mecanização agrícola pode suprir carência por mão de obra, mas devido ao alto custo dos equipamentos agrícolas o pequeno agricultor não possui recursos suficientes para adquirir as tecnologias adequadas, como consequência a sua produção pouco eficiente, o que impossibilita seu desenvolvimento. Portanto existe a necessidade de introduzir sistemas tecnológicos de baixo custo para auxiliar na capacidade de produção destes agricultores. Diante do exposto surge o problema de como suprir a carência de mão de obra necessária para a lavoura e ao mesmo tempo proporcionar a inclusão da agricultura familiar no setor de mecanização agrícola e com isso elevar a produção agrícola desse setor tão importante para a produção nacional.

O desenvolvimento de um mecanismo robótico provido de tecnologias de baixo custo, pode desempenhar as atividades rotineiras inerentes a irrigação em uma estufa agrícola, proporcionando a mesma capacidade de irrigação que a realizada manualmente e que não haja diferença entre variáveis de altura de caule, diâmetro do caule e número de folhas.

Usufruindo da evolução dos sistemas de tecnologia mais atuais como a robótica, essa por sua vez é um elemento extremamente importante na atualidade e principalmente no setor industrial, a tendência é que diversos setores da agricultura, que hoje são realizados de maneira convencional sejam substituídos por dispositivos telecontrolados ou até mesmo autônomos.

A máquina desenvolvida contém servomecanismos, como atuadores para o deslocamento linear nos eixos em que o mecanismo irá atuar e sistemas de processamento de dados que serão responsáveis pela inteligência computacional, são ainda aplicadas técnicas de

programação, além de uma estrutura que possibilite ao robô, denominado RIRRIG, uma interação tridimensional com o seu volume de trabalho.

O mecanismo tem sua contribuição inovadora para o semiárido, pois além de trazer novas tecnologias de mecanização agrícola que possibilitam as melhorias dos parâmetros quantitativos e qualitativos, aliado a um baixo custo de produção e manutenção e proporcionando facilidade de operação, aplica conceitos das tecnologias consolidadas no ambiente industrial, como é o caso da robótica.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um dispositivo robótico capaz de interagir em um plano tridimensional e que dotado de um sistema de atuadores, sensores e controladores possa realizar a irrigação em estufas agrícolas, após a construção o mesmo foi ensaiado, sendo aplicado na irrigação da cultura de feijão caupi em estufas e que apresente facilidade em sua operação, visando auxiliar a produção da agricultura familiar.

1.1.1 Objetivos específicos

- a) Conceituar um sistema robótico;
- b) Dimensionar o robô;
- c) Construir o protótipo;
- d) Ensaiar o mecanismo robótico;

1.2 Motivação

Poder realizar tarefas de modo automático e oferecendo o máximo de segurança e comodidade ao homem já é realidade, do mesmo modo se faz necessário, tornar as atividades agrícolas mais atrativas equipando os agricultores do semiárido brasileiro com tecnologias inovadoras, de baixo custo e robustas o suficiente para proporcionar o aumento e melhorias em sua produção agrícola, proporcionando ainda melhorias nas condições de trabalho, substituído a mão de obra humana pela robotizada nas atividades repetitivas e desgastantes.

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo eles:

- a) Introdução, capítulo 1, onde é contextualizado o problema a ser investigado, bem como a definição dos objetivos;
- b) Revisão bibliográfica, capítulo 2, tem-se a revisão dos conceitos necessários ao entendimento do trabalho e aplicações da robótica na agricultura.
- c) Materiais e métodos, capítulo 3, são apresentados os materiais, as ferramentas e a metodologia aplicada ao desenvolvimento do protótipo de robô irrigador;
- d) Resultados e discussões, capítulo 4, tem-se os resultados obtidos após serem estatisticamente testados são amostrados por meio de estatísticas descritivas juntamente com as análises de variância das amostras coletadas;
- e) Conclusões, capítulo 5, tem-se as conclusões a respeito do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo tem-se os conceitos necessário para o entendimento do trabalho, bem como a presença do tema robótica na agricultura na literatura acadêmica.

2.1 Agricultura familiar

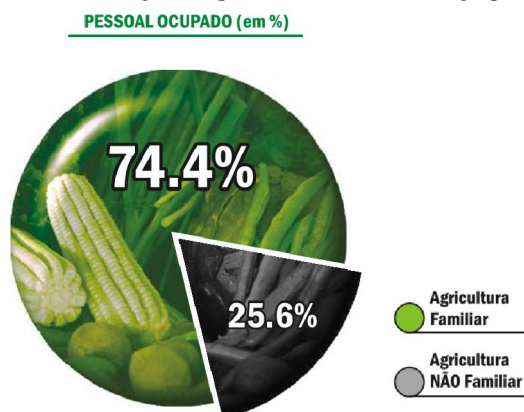
Os conceitos e o potencial da agricultura familiar produzem inúmeras interpretações e propostas, provenientes das diferentes organizações representativas dos pequenos agricultores, dos estudiosos da área rural e dos responsáveis legais encarregados de elaborar as políticas para o setor rural brasileiro (BRASIL, 2000).

O conceitualmente a agricultura familiar é definida como sendo aquela em que ao passo que é proprietária também é responsável pela mão de obra envolvida no estabelecimento produtivo. A agricultura camponesa tradicional representa a agricultura familiar, pois está baseada na relação entre a propriedade do estabelecimento produtivo, mão de obra e família (WANDERLEY, 1996).

O setor agrícola se apresenta de maneira diversificada, em função do grande número de diferentes tipos de agricultores, onde cada grupo apresenta interesses e modelos de produção divergentes (BRASIL, 2000). Esses produtores formam grandes grupos que se dedicam á agricultura como profissão e modo de vida. Além de que o trabalho efetivo é desenvolvido por seus familiares (CIÊNCIA, 2009).

Na Figura 1 é representa o gráfico da porcentagem de pessoas envolvidas na agropecuária que são ocupadas na agricultura familiar.

Figura 1 - Porcentagem de pessoas envolvidas na agropecuária



Fonte: IBGE adaptado por MDA (2009).

O agricultor familiar tem a mão de obra familiar e exerce a gestão do empreendimento. Os não-familiares estão baseados no trabalho assalariado, como fonte geradora de emprego, porém a gestão é realizada de longe. O agricultor familiar favorece a interiorização do desenvolvimento rural (GUANZIROLI et al., 2012). Eles residem na propriedade ou moram no entorno. Muitos não produzem o suficiente para sobrevivência e necessitam desenvolver outras atividades como complemento de renda (CIÊNCIA, 2009).

Aplicar um conceito que possa definir os agricultores familiares ou até mesmo critérios que possam diferenciar os estabelecimentos familiares dos patronais não se apresenta de maneira fácil (BRASIL, 2000).

A existência de vários tipos de produtores que se apresentam em diversas realidades de meio no qual estão inseridos, reduz a pontualidade do conceito de agricultura familiar. Surgindo assim a necessidade de definir os principais tipos de produtores. (BRASIL, 2000).

Segundo Campolin (2005) pode-se resumidamente definir alguns tipos de produtores:

- a) Semi-assalariado são produtores que não possuem capital, baixa produção agrícola e que utiliza de outras fontes de renda para subsistência;
- b) Produtor Simples possui baixo grau de capitalização, aplica o uso de mão-de-obra familiar em sua maioria, baixo grau de assalariamento e baixa produção agrícola;
- c) Empresário familiar é o produtor de capitalização média a alta, uso predominante de mão-de-obra familiar, baixo nível de contratação de Mão obra, valor bruto de produção alto e com potencial de acumulação;
- d) Empresário rural tecnificado é o produtor que apresenta elevado grau de capitalização e de contratação de mão-de-obra, produção elevada;
- e) Empresário rural não tecnificado é o produtor com baixo grau de capitalização e elevado grau de contratação de mão-de-obra, apresenta baixo valor bruto de produção.

A agricultura familiar representa um conjunto de atividades que podem ser consideradas complexas e que não são homogêneas, sendo teorizada ao longo do tempo (CIÊNCIA, 2009).

A agricultura familiar representa grande influência na economia nacional e nordestina, e teve sua significância reconhecida nos anos, com a criação de políticas públicas direcionadas a esse setor (ETENE, 2009).

O setor agrícola familiar representa grande importância quando se fala em planejamento da produção de alimentos, tal relevância se dá pelo fato de que a maior parte da produção de alimentos e matéria-prima é derivada desse setor da agricultura brasileira (SOUSA, 2006). A discussão sobre a importância e o papel da agricultura familiar no desenvolvimento brasileiro vem ganhando força nos últimos anos, impulsionada pelo debate sobre desenvolvimento sustentável, geração de emprego e renda, segurança alimentar e desenvolvimento local (BRASIL, 2000).

2.2 A Agricultura familiar no Brasil

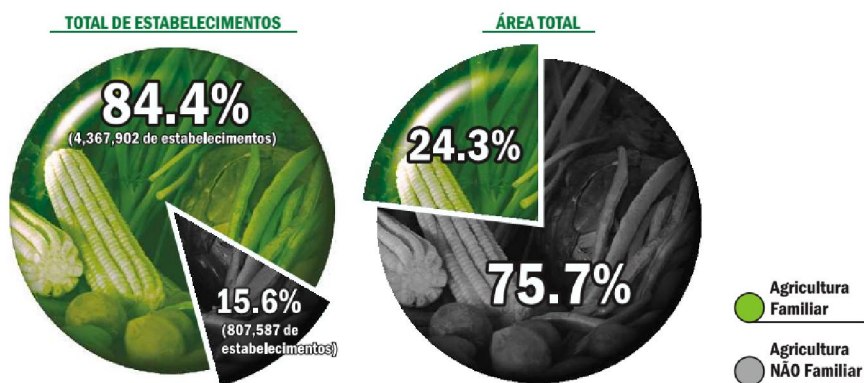
A agricultura brasileira engloba inúmeras agriculturas, todas igualmente importantes para o desenvolvimento do País. Elas, longe de serem estanques, são complementares e interdependentes. Dentre as diversas atividades agrícolas desenvolvidas no Brasil está a agricultura familiar, encontrada em todo o território nacional, mas com diversidades na maneira de atuação (CIÊNCIA, 2009).

Ante da realização em 2006 do censo a fonte mais recente de dados sobre agricultura familiar disponível eram do convênio entre a *Food and Agriculture Organization* (FAO) e Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). O novo censo segue conceitos elaborados pelo IBGE/MDA, mas seguindo os critérios da Lei da Agricultura Familiar (ETENE, 2009).

O Censo Agropecuário de 2006 indica 4367902 estabelecimentos da agricultura familiar, esse valor representa 84,4% das unidades produtoras brasileiras ocupando uma área de 80,25 milhões de hectares, representando 24,3% da área ocupada pelos estabelecimentos agropecuários brasileiros (IBGE, 2006).

A Figura 2 representa o gráfico do total de estabelecimentos e da área total ocupada pelos agricultores familiares vale ressaltar que os estabelecimentos não familiares, apesar de representarem 15,6% do total dos estabelecimentos, ocupavam 75,7% da área ocupada.

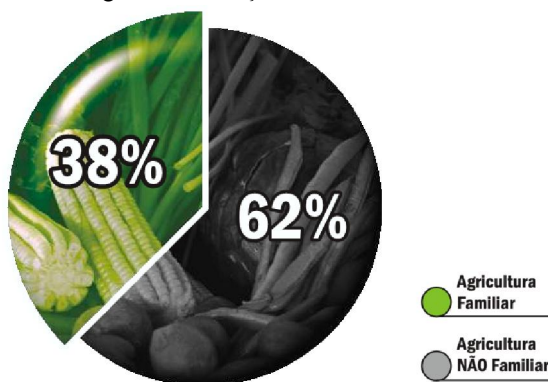
Figura 2 - Total de estabelecimentos e da área total ocupada pelos agricultores familiares



Fonte: IBGE adaptado por MDA (2009).

Embora possua uma menor área de cultivo, a agricultura familiar é responsável por assegurar grande parte da produção de alimentos do País, como importante fornecedora para o mercado interno. A Figura 3 representa o gráfico dos valores de produção bruta de alimentos.

Figura 3 - Produção bruta de alimentos



Fonte: IBGE adaptado por MDA (2009).

Tanto a agricultura de grande porte como a agricultura familiar necessitam de inovações que impactam diretamente no contexto de produção agrícola. As ferramentas tecnológicas de mecanização utilizadas em grandes propriedades geralmente são providas da indústria de mecanização, que aplicam altos investimentos no setor o que agrega a esses dispositivos um elevado valor de comercialização, excluindo assim o pequeno produtor.

À mecanização é fundamental para o aumento da produtividade e promove o surgimento da oferta de empregos nos setores que prestam serviços à agricultura. Com apenas ferramentas manuais não é possível o cultivo de áreas de médio porte, esse é um dos

principais motivos da pressão exercida ao governo pelo setor por crédito adequado à mecanização. É um fator indispensável à plena ocupação do estabelecimento e ao fortalecimento da agricultura familiar (ALVES, 2005). Existe uma tendência de modernização do setor agrícola, a mecanização da agricultura tem sido um dos principais componentes nesse processo (NOGUEIRA, 2001).

Hoje a mecanização na agricultura familiar enfrenta uma grande defasagem de equipamentos, onde no semiárido existe um trator para 2,1 mil hectares (OLIVEIRA; PEREIRA, 2010).

Políticas públicas podem favorecer a modernização do setor agrícola familiar, por meio de ações diretas por parte do governo ou pela criação de condições favoráveis aos investimentos em tecnologia (NOGUEIRA, 2001).

A agricultura familiar carece de ferramentas apropriadas para o desenvolvimento de sua produção cabendo assim a pesquisa e desenvolvimento de tecnologia que atenda de forma pontual às necessidades do setor (OLIVEIRA et al, 2008).

2.3 Robótica

Dá-se o nome de robô aos agentes capazes de realizar tarefas que alteram o espaço físico com a utilização de atuadores. Também são equipados com sensores o que lhe permite perceber o ambiente (RUSSEL; NORVING, 2004).

Podemos classificar os robôs em três categorias: os manipuladores robóticos ou braços robóticos, os robôs móveis, e os robôs humanóides, que são aqueles cuja estrutura física imita a forma humana.

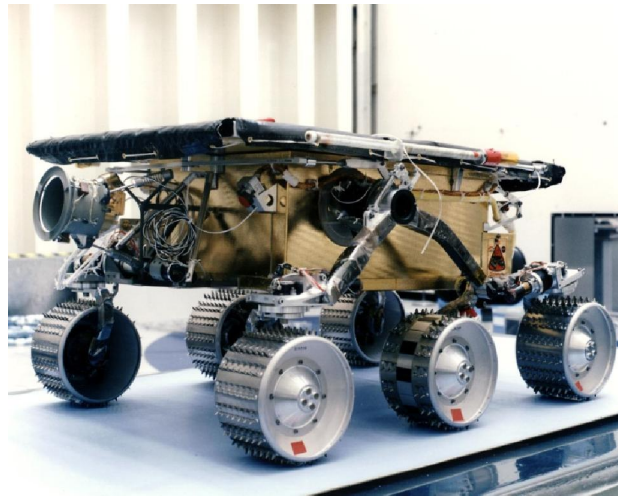
A robótica móvel necessita de um campo muito vasto de conhecimento para chegar a um nível de perfeição, isso à torna uma área multidisciplinar. Para solucionar problemas que envolvam deslocamento deve-se aplicar conhecimento de cinemática, dinâmica e controle no desenvolvimento de um sistema que realize o sensoriamento de forma robusta e deve-se introduzir sistemas de visão computacional e também o uso de inteligência artificial para desempenhar atividades de localização e mapeamento (SIEGWART e NOURBAKHS, 2004).

Um robô móvel deve ser capaz de realizar um conjunto maior de tarefas além de somente movimentar-se. No mercado já existem disponíveis para a comercialização capazes de realizar a limpeza de ambientes de forma autônoma, também é crescente o

desenvolvimento e a comercialização de brinquedos que imitam tanto a forma de animais como a humana.

Pode-se citar como exemplo de aplicação prática para a robótica móvel os exploradores espaciais. A Figura 4 apresenta um robô lançado em meados de 1997 pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) para explorar o território do planeta Marte.

Figura 4 - Sojourner



Fonte: NASA (2004).

Manipuladores robóticos são dispositivos eletromecânicos controlados utilizados no desenvolvimento de atividades adversas aos humanos ou em situações onde existe a necessidade de controle preciso de movimentos. Na Figura 5 a representação de um robô industrial.

Figura 5 - Robô industrial



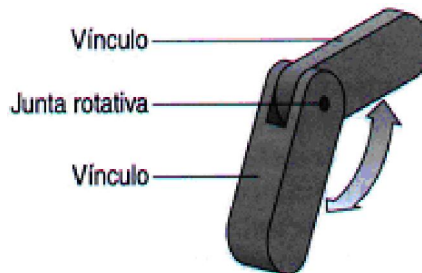
Fonte: Robotics (2014).

2.3.1 Juntas robóticas

O movimento de um manipulador robótico é possível graças às articulações presentes no mecanismo, existindo dois tipos básicos de juntas: as lineares e as rotacionais (ROSÁRIO, 2005).

Juntas rotacionais são aquelas que possibilitam o movimento rotativo entre dois elos. A Figura 6 representa uma junta rotacional.

Figura 6 - Junta rotacional



Fonte: Rosário (2005).

Junta linear é aquela que proporciona o movimento linear entre dois elos.

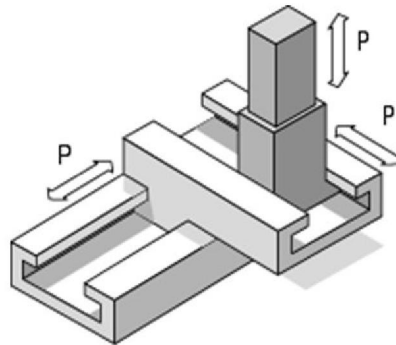
Segundo Rosário (2005) o número de graus de liberdade está associado diretamente ao número de articulações presentes no manipulador e para que seja possível atuar em todos os pontos do espaço de trabalho são necessários seis graus de liberdade.

2.3.2 Geometria de um robô

As combinações dos tipos de juntas dão origem a diversas geometrias de robôs, que serão apresentadas a seguir.

Robô de coordenadas cartesianas que possuem três juntas lineares para o posicionamento do atuador final. Na Figura 7 a representação de um robô cartesiano.

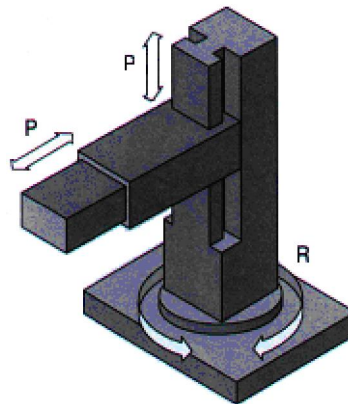
Figura 7 - Robô cartesiano



Fonte: Fonte: Rosário (2005).

O robô de coordenadas cilíndricas possui duas juntas lineares e uma junta rotacional. Na Figura 8 a representação um robô cilíndrico.

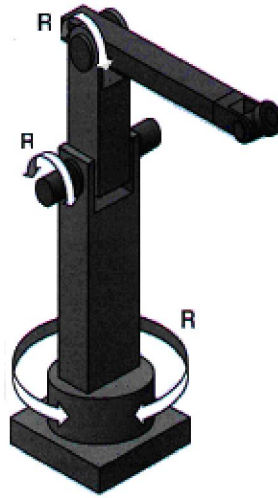
Figura 8 - Robô cilíndrico



Fonte: Rosário (2005).

Semelhante a um braço humano o robô articulado ou antropomórfico possui apenas juntas rotacionais. A Figura 9 representa um exemplo de robô articulado.

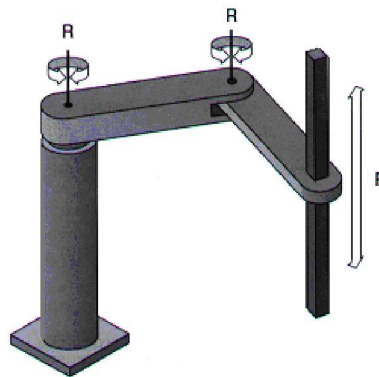
Figura 9 - Robô articulado



Fonte: Rosário (2005).

O *Selective Compliance Assembly Robot Arm* (SCARA) possui duas ou três articulações rotacionais paralelas permitindo ao robô o deslocamento em um plano horizontal e juntas lineares para o movimento do atuador na vertical. Na Figura 10 a representação de um robô SCARA.

Figura 10 - SCARA



Fonte: Rosário (2005).

2.3.3 Atuadores e sistemas de acionamento

Atuadores são elementos capazes de modificar um processo, agem a partir de comandos enviados pelo sistema de controle. (THOAMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Os atuadores podem ser:

- a) Motores elétricos

- Servomotores
 - Motores de passo
 - Motores de corrente continua
 - Motores de corrente alternada
- b) Atuadores Hidráulicos
 - c) Atuadores Pneumáticos

Os atuadores são responsáveis pela locomoção do robô, o posicionamento dos sensores e outras tarefas.

Segundo Rosário (2005), nos sistemas de acionamento elétrico aplica-se motores elétricos que podem ser de corrente contínua, passo e de corrente alternada. Tem como vantagens controle posição, velocidades calculadas e custo relativamente pequeno.

Para Niku (2013), os atuadores hidráulicos são aplicados em sistemas que necessitam de alta potência e grandes esforços em baixas velocidades. Podem atuar tanto de maneira linear como rotativa.

Os sistemas de acionamento pneumáticos são similares aos hidráulicos, porém pouco aplicados a robótica devido a alta compressibilidade e baixa precisão nos movimentos (ROSÁRIO, 2005).

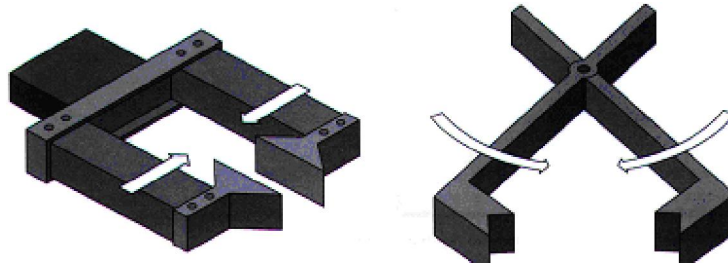
2.3.4 Garras e ferramentas

Segundo Rosário (2005), robôs são projetados para atuarem em seu ambiente de trabalho, sendo o atuador final o responsável por tal tarefa e para isso ele deve se adequar as necessidades de cada ambiente e que as garras podem ser comparadas a mão humana que podem ser:

- a) Garras de dois dedos
- b) Garras para objetos cilíndricos
- c) Garras a vácuo
- d) Garras eletromagnéticas

As garras de dois dedos possuem movimentos paralelos ou rotativos, apresenta limitações quanto à abertura dos dedos. Na Figura 11 é representada uma garra de dois dedos.

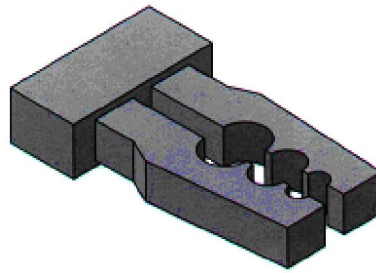
Figura 11 - Garras de dois dedos



Fonte: Rosário (2005).

As garras para objetos cilíndricos possuem diversos semicírculos, o que permite agarrar cilindro de diversos diâmetros. Na Figura 12 é representada uma dessas garras.

Figura 12 - Garras para objetos cilíndricos



Fonte: Rosário (2005).

Existem ainda as ferramentas especializadas que pode ser:

- a) Pistolas para pintura;
- b) Dispositivos de soldagem;
- c) Polidoras;
- d) Dispositivos de furação.

2.3.4 Robótica na agricultura

A robótica em um ambiente agrícola é uma atividade complexa, devido à incerteza inerente ao ambiente. A desvantagem dos sistemas existentes é a falta de robustez para estas incertezas (HIREMATH et al., 2014). O desenvolvimento da robótica na agricultura em geral é lento, mas persistente (Xue et al., 2012).

A agricultura moderna exige métodos avançados para aumentar a produtividade de maneira quantitativa como qualitativa. A aplicação de novas tecnologias como sensores,

atuadores e processadores possibilitam uma maior eficiência e confiabilidade, integrando novas aplicações na agricultura. (Bodur et al., 2012).

Para Belforte (2006) as mais avançadas tecnologias e os mais recentes resultados da investigação científica têm sido largamente aplicados à agricultura a fim de melhorar a qualidade de produtos e para aumentar a produtividade, um exemplo é dado pelo controle climático que pode ser aplicado em estufas variando de soluções relativamente simples de regulação térmica e umidade há um muito sofisticado, onde até a temperatura do solo é controlada.

Reduzir o trabalho manual na agricultura tem sido das maiores preocupações da engenharia, devido a uma redução na disponibilidade de trabalhadores para a agricultura mundial. Mecanização e automação total ou parcial ter sido bem sucedido em quase todos os campos e lavouras. No entanto, muitas práticas e operações trabalhosas ainda são realizadas manualmente. Destes, o mais complexo em termos de automação economicamente viável é a colheita de frutas. Avanços na automação das operações industriais têm inspirado os engenheiros agrícolas para desenvolver robôs para várias tarefas agrícolas (Zion et al., 2014).

Para Zion (2014), apesar do alto grau de mecanização e automação na agricultura e na atividade científica e comercial relativamente intensivo neste campo. Os robóticos de colheita apresentam limitações devido, principalmente, à complexidade do ambiente o que resulta em proporções baixas de colheita com sucesso ou operações que são lentas e ser economicamente relevante.

Na Figura 13 é representado o ensaio do sistema de visão de robótica, que permite a orientação exata de robôs agrícolas, desenvolvido por Xue (2012).

Figura 13 - Ensaio do sistema de visão de robótica

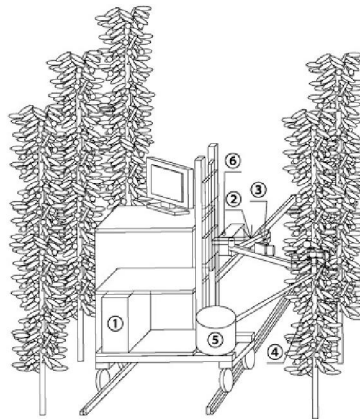


Fonte: Xue (2012).

Tanigaki (2008) desenvolveu um robô para colheita de cereja que possuía um manipulador de 4 graus de liberdade, um sensor de visão 3-D, um atuador e um computador, que após o processamento das imagens geradas pelo sensor de visão 3-D torna possível o reconhecimento dos obstáculos e a localização das frutas, e com base nesses dados a trajetória do atuador final foi determinado e a colheita dos frutos pelo atuador foi realizada, evitando colisões com obstáculos.

Na Figura 14 é representado o sistema desenvolvido por Tanigaki (2008)

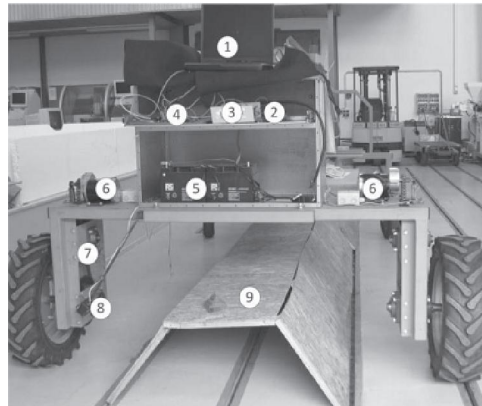
Figura 14 - Robô para colheita de cereja



Fonte: Tanigaki (2008).

Dong (2013) elaborou e implementou um sistema de controle para guiar a plataforma de um robô agrícola autônomo, voltado para a colheita de aspargos, aplicando uma outra metodologia de sensoriamento que vai em contraste com outras tecnologias de instrumentação usadas em trabalhos similares. O robô detecta o posicionamento da planta por meio de sensores ultrassônicos, obtendo um maior rendimento computacional devido o menor processamento requerido para a coleta de dados e reduzindo os custos de investimento. A Figura 15 representa o dispositivo desenvolvido por Dong (2013).

Figura 15 - Robô agrícola autônomo voltado para a colheita de aspargos



Fonte: Dong (2013).

A Figura 16 representa o robô que Hiremath (2014) utilizou para propor um método de navegação robótica baseado em visão, onde o robô irá atuar em um campo de milho ao ar livre, o robô tem que percorrer através de um corredor formado por duas fileiras de plantas, detectar o fim das filas e localizar outro corredor.

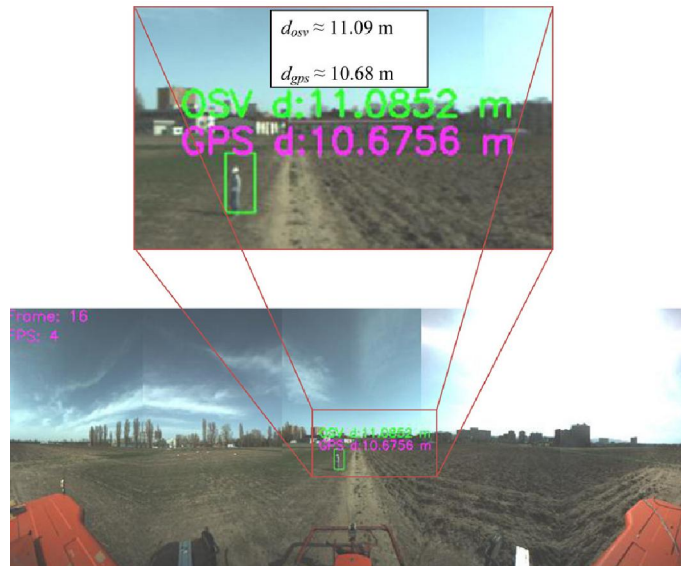
Figura 16 - Robô que percorrer através de um corredor formado por duas fileiras de plantas



Fonte: Hiremath (2014)

Com base em sistemas de visão omnidirecional Yang (2012) desenvolveu um sistema de detecção de humanos integrado a um trator robô para monitorar seus arredores, com a finalidade de proporcionar um ambiente mais seguro na operação do trator. Na Figura 17 o ensaio do sistema de visão.

Figura 17 - Sistema de visão omnidirecional



Fonte: Yang (2012).

Starcevic, (2007) desenvolveu um robô de mistura e descarga de biomassa em um secador de estufa solar. O protótipo de Starcevic é representado na Figura 18.

Figura 18 - Robô de mistura e descarga de biomassa



Fonte: Starcevic (2007).

O estudo de De-An (2011) pretendeu desenvolver um dispositivo de baixo preço para a colheita automatizada de maçã. O robô inclui o manipulador, um atuador e um sistema de visão baseada em imagem. Um atuador pneumático satisfaz as exigências para a colheita da maçã. Neste projeto, o robô executa de maneira autônoma a colheita utilizando um sistema

de visão para detectar e localizar os frutos nas árvores, esse sistema de controle conduz o manipulador e o atuador na aproximação e coleta das maçãs.

Na Figura 19 o protótipo de De-An (2011).

Figura 19 - Robô para colheita automatizada de maçã



Fonte: De-An (2011).

Hayashiet (2005) desenvolveu um robô para a colheita de morango, com a possibilidade de detectar se as frutas estão em ponto de colheita a partir de algoritmos de visão de máquina. O robô foi composto por um manipulador de coordenadas cilíndricas com três graus de liberdade, efetuador, visão de máquina, a unidade de armazenamento e unidade de deslocamento. Na Figura 20 a representação do robô.

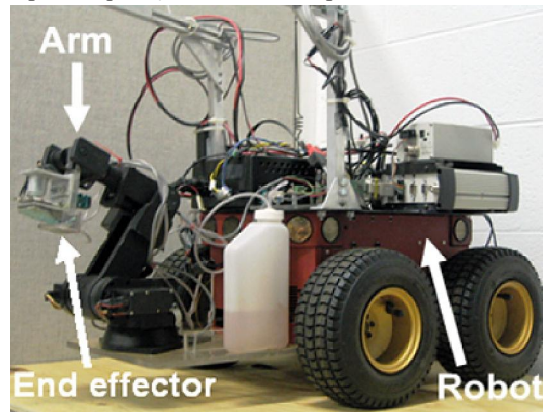
Figura 20 - Robô para a colheita de morango



Fonte: Hayashiet (2005).

Jeon (2009) aborda a implementação de um sistema para a aplicação de herbicida por meio de um atuador em um protótipo de robô agrícola, com o objetivo de aumentar a aplicação direta e a eficácia através da aplicação de herbicida somente para as ervas daninhas, e eliminar o uso impróprio. Na Figura 21 a representação do robô.

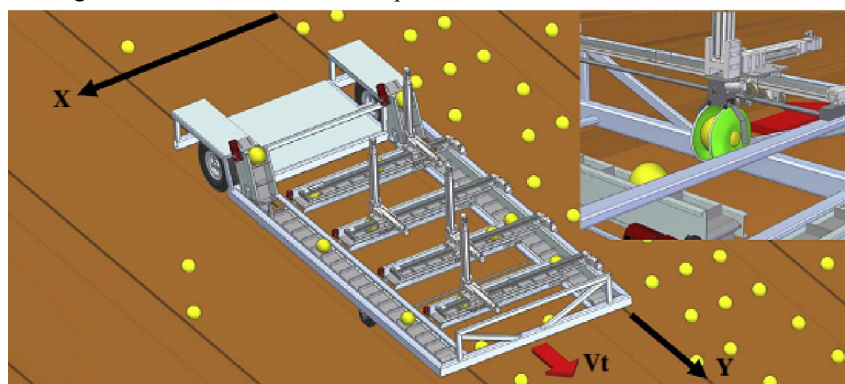
Figura 21 - Sistema para a aplicação de herbicida por meio de um atuador em robô agrícola



Fonte: Jeon (2009).

Zion (2014) apresenta um mecanismo robótico aplicado à colheita automatizada de melão. Para isso utiliza de um sistema de posicionamento global (GPS) para a localização correta dos frutos, porém antes da colheita as coordenadas de todos os frutos são coletadas e armazenadas em um banco de dados. Na Figura 22 a representação do sistema.

Figura 22 - Mecanismo robótico aplicado à colheita automatizada de melão



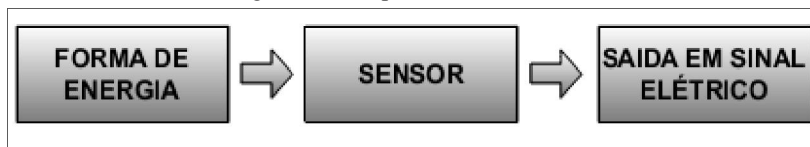
Fonte: Zion (2014).

2.4 Percepção na robótica

Sensor é a expressão que define um elemento que é sensível a determinada forma de energia do ambiente, sendo que estes muitas vezes não dispõem de características elétricas exigidas para a aplicação em um sistema de controle tornando-se necessária uma interface que gere um sinal legível ao controlador (THOAMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Sensores são dispositivos capazes de converter um fenômeno físico em um sinal elétrico. Sendo assim, os sensores representam parte da interface entre o mundo físico e o mundo de dispositivos elétricos, como computadores. A outra parte desta interface é representada por atuadores, que convertem sinais elétricos em fenômenos físicos (KENNY, 2004). Na Figura 23 a representação de um sensor.

Figura 23 - Etapas de sensoriamento



Fonte: O autor (2015).

Os sensores podem ter dois tipos de saída sendo elas a analógica ou a digital. Quando do tipo analógico, assumem qualquer valor de tensão entre dois valores extremos e os digitais quando assumem apenas dois valores podendo ser estes níveis lógico alto ou nível lógico baixo.

Em robótica móvel, sensores são utilizados para mensurar partes do robô, dentre elas a temperatura interna e a velocidade de rotação dos motores. Outra classe de sensores mais sofisticados, são utilizados para adquirir dados do ambiente onde está inserido. Devido à dinâmica do ambiente essa atividade de detecção pode se tornar muito crítica (SIEGWART; NOURBAKHS, 2004).

Sensores são mais comumente usados para fazer medições quantificáveis, em oposição para detecção qualitativa. As características da grandeza a ser medida irão determinar o sensor, devendo considerar a grandeza a ser medida, o ambiente do sensor. (WILSON, 2004).

Para Kim (2014) a tecnologia de sensores sem fio e a robótica móvel na agricultura tornaram-se uma das mais populares tecnologias para sistemas de monitoramento agrícola.

2.5 Irrigação

A irrigação pode ser definida como sendo todas as técnicas necessárias que podem ser aplicadas ao fornecimento artificial de água às plantas, com intuito satisfazer suas necessidades. Tal definição engloba todas as formas de irrigar uma planta, (TESTEZLAF, 2011).

É possível diferenciar técnicas de se aplicar água artificialmente, assim, definir quatro métodos principais de irrigação, ou seja:

- a) Aspersão ocorre à aplicação da água sobre a folhagem da cultura e sobre o solo;
- b) Superfície a superfície do solo é irrigada de forma parcial ou total;
- c) Localizada a água é aplicada em uma área limitada sobre a superfície do solo;
- d) Subterrânea a água é aplicada abaixo da superfície do solo.

2.5.1 Irrigação por aspersão

No método da aspersão, jatos de água aplicados no ar caem sobre a cultura na forma de chuva. As principais vantagens do sistema de irrigação por aspersão são: é facilmente adaptável às diversas condições de solo, culturas e topografia, possui maior eficiência potencial que o método da irrigação por superfície; pode ser totalmente automatizado; alguns sistemas podem ser transportados para outra área; as tubulações podem ser desmontadas e removidas da área, o que facilita o preparo do solo e evita “áreas mortas” (ANDRADE, 2001).

Os sistemas de irrigação por aspersão podem ser divididos basicamente em dois os sistemas convencionais e os mecanizados.

Segundo Testezlaf (2001) os sistemas convencionais são que utilizam os componentes convencionais de aspersão, que podem se movimentar pelo campo, cobrindo em cada posição um setor da área irrigada ou permanecer parados na mesma posição ao longo do

período de produção e cobrindo toda a área irrigada ou setores específicos ao mesmo tempo. Na Figura 24 a representação do sistema de irrigação por aspersão.

Figura 24 - Irrigação por aspersão



Fonte: Lima (2013).

No sistema mecanizado o grupo de aspersores são montados em estruturas metálicas que podem mover-se na área a ser irrigada. Tais mecanismos necessitam do auxílio de um trator para se movimentar, ou de sistemas elétricos e podem utilizar da própria pressão na tubulação (TESTEZLAF, 2001). Na Figura 25 a representação do sistema de irrigação por aspersão mecanizada.

Figura 25 - Irrigação por aspersão mecanizada



Fonte: Lima (2013).

2.5.2 Irrigação na superfície

No método de irrigação por superfície, a distribuição da água se dá por gravidade, através da superfície do solo. É o método com a maior área irrigada no mundo e no Brasil. (ANDRADE, 2001).

Os sistemas de irrigação por superfície podem ser classificados como:

- a) Nos sistemas de irrigação por sulcos a água é aplicada por inundação parcial na área a ser irrigada, acompanhando as linhas da cultura, e escoando por sulcos construídos na superfície do solo.
- b) No sistema de irrigação por inundação a água é aplicada sobre toda a área e se acumula na superfície do solo.

2.5.3 Irrigação Localizada

Para Testezlaf (2001) a irrigação localizada ocorre a aplicação da água sobre o solo em uma determinada área, tendo como objetivo alcançar apenas a área ocupada pelo sistema radicular da planta.

Os sistemas de irrigação localizada podem ser classificados em:

- a) Sistema por gotejamento onde a água é aplicada no solo de forma constante com baixa vazão através de pequenos emissores chamados de gotejadores.
- b) Sistemas de microaspersão são os sistemas que microaspersores na aplicação da água na planta, são caracterizados por terem maior vazão que os gotejadores

2.5.4 Irrigação Subsuperficial

Na irrigação subsuperficial, a aplicação de água fica localizada abaixo da superfície do solo, diretamente nas raízes das culturas, aproveitando a ocorrência do fenômeno de ascensão capilar, onde a água se eleva ao longo do perfil do solo por diferença de potencial (TESTEZLAF, 2001).

2.5.5 Irrigação em ambientes protegidos

Os sistemas de irrigação tradicionalmente utilizados em ambientes fechados são o gotejamento, a microaspersão, a aspersão fixa ou a manual. Existem ainda cultivos de No processo de escolha do sistema de irrigação para utilização nesse tipo de ambiente devem ser considerados os requerimentos de água de cada cultura. Se diferentes culturas forem rotacionadas dentro de um ambiente ou se múltiplas culturas forem exploradas simultaneamente, o sistema de irrigação deve ser projetado para atender as necessidades

hídricas de cada variedade, ou mesmo atender as necessidades de uma cultura em diferentes estágios de desenvolvimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo tem-se a descrição do sistema, a localização do experimento e a definição dos materiais, ferramentas e métodos aplicados no projeto e desenvolvimento do robô multifuncional.

3.1 Descrição do sistema

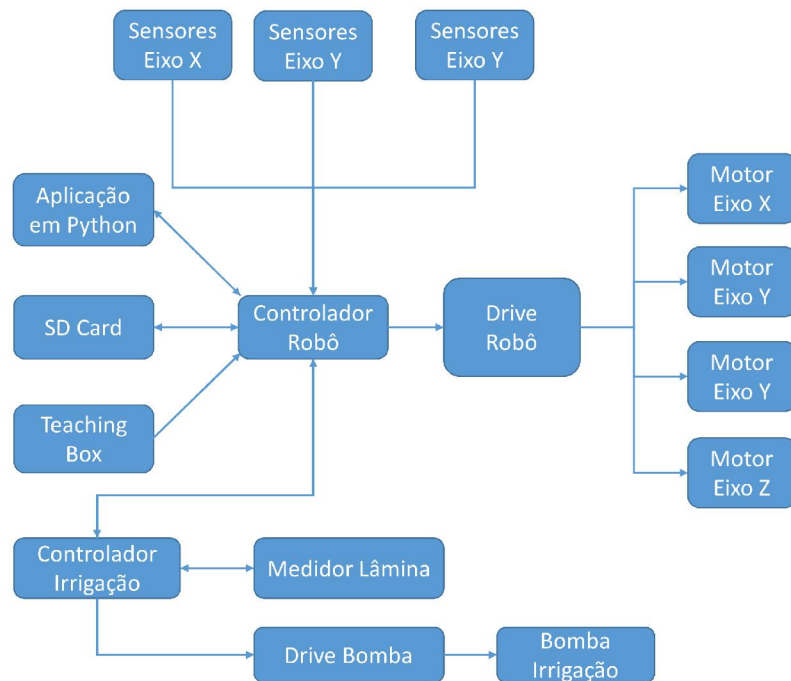
O sistema é composto por um mecanismo robótico com geometria cartesiana de três eixos e provido com inteligência computacional que realiza a irrigação individual de plantas em estufas, baseado na evapotranspiração de referência. Podendo ser dividido em:

- a) Estrutura mecânica;
- b) Sistemas de acionamento para locomoção;
- c) Algoritmo de controle;
- d) Sensoriamento;
- e) Irrigação.

O mecanismo robótico irá conduzir até a planta, que está localizada em uma casa de vegetação, a ferramenta terminal, que por sua vez irá aplicar em cada vaso uma determinada lâmina, calculada com base na evapotranspiração de referência.

O dispositivo de controle das partes móveis é um microcontrolador que, com base em informação sensorial, guia tais componentes até o fim de curso de cada eixo, bem como na execução dos movimentos sequenciais, contidos em um dispositivo de memória externa ou *SD Card*, por todo o volume de trabalho, logo após o posicionamento do *end effector*, é medido o volume de água a ser aplicado, concluídas essa tarefa o robô inicia o processo de irrigação das plantas.

Figura 26 - Esboço do sistema robótico

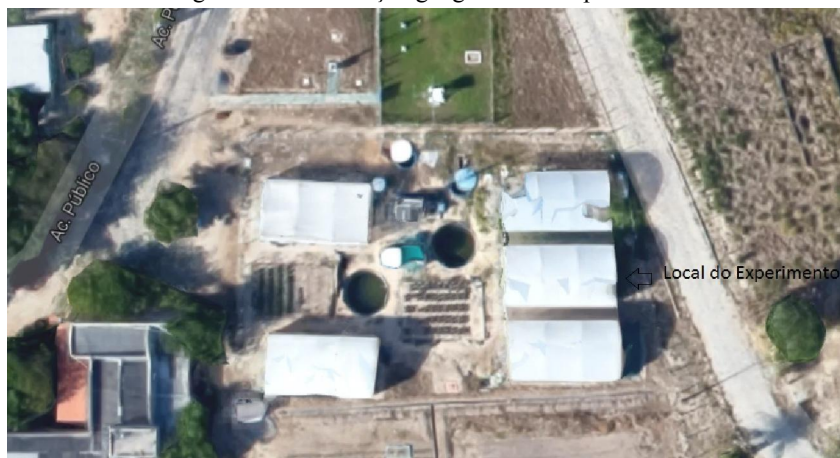


Fonte: O autor (2015).

3.2 Local do Experimento

Todas as partes do sistema robótico foram instaladas em uma casa de vegetação localizada na Estação Meteorológica, nas dependências do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará em Fortaleza - CE, Figura 27, Brasil. Localizada geograficamente a 3°44' de latitude Sul e 38°34' de longitude Oeste, e 24 m de altitude.

Figura 27 - Localização geográfica do experimento



Fonte: Google Maps® (2015).

3.3 Material

3.3.1 Ferramentas programação

A grande finalidade de uma ferramenta de programação é tornar a criação de um software mais fácil e o programa menos complicado.

Para obter um programa executável é necessária a utilização de uma linguagem de programação, tendo como finalidade ordenar as instruções que devem ser realizadas pelo microcontrolador.

3.3.2 A linguagem C aplicada ao Hardware

Atualmente no mercado grande parte dos microcontroladores possui compiladores de linguagem C para a criação de softwares, o que permite um tempo menor no desenvolvimento de novas aplicações devido às facilidades ofertadas pela linguagem de programação. Outro fato interessante é a possibilidade de promover alterações de um sistema para outro com grande facilidade (PEREIRA, 2003).

A linguagem C possui mnemônicos para escrita e leitura nos registradores do microcontrolador o que proporciona uma maior facilidade e exige um menor conhecimento em programação.

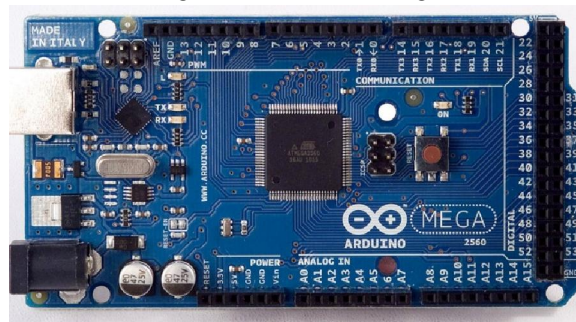
Programas desenvolvidos em linguagens diferentes da utilizada pela máquina devem ser traduzidos para que o microprocessador possa executar corretamente todas as instruções (NETO, 2002).

3.3.3 O Arduino®

Podemos considerar o Arduino® como um nano computador que pode executar uma sequência de eventos programados em sua memória, dessa forma é possível processar entradas e saídas e controlar dispositivos externos e é por essa capacidade de interagir com o ambiente que é considerada uma plataforma embarcada, onde está presente *hardware* e *software* (MCROBERTS, 2011).

Os algoritmos de controle e processamento de dados referentes ao controle dos eixos foram implementados em uma placa de desenvolvimento Arduino® Mega2560¹, representação na Figura 28, linha Atmel, tal plataforma de desenvolvimento possui um conjunto de ferramentas de software e hardware para a avaliação e desenvolvimento. É ideal para prototipagem rápida de aplicações baseadas em microcontroladores. O hardware Arduino Mega 2560, é e provido de um microcontrolador ATmega2560 que opera a uma frequência máxima de 16MHz, 256KB de memória flash, um controlador USB *full-speed* e periféricos analógicos e digitais com 54 pinos digitais de entrada / saída (dos quais 15 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas e 4 UARTs.

Figura 28 - Arduino® Mega



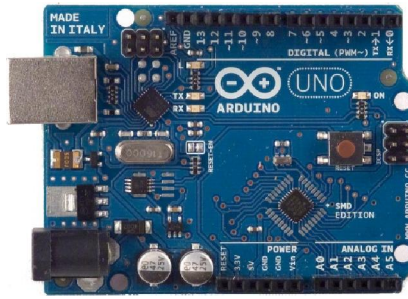
Fonte: O autor (2015).

O Arduino® Uno, Figura 29, é uma placa de desenvolvimento com microcontrolador baseado no ATmega328P² o mesmo dispõe de 14 pinos digitais que podem ser utilizados para entrada ou saída, onde seis pinos estão disponíveis para a função PWM, com 6 entradas analógicas e frequência de operação de 16 MHz e conexão USB, ele contém as ferramentas necessárias para pequenos sistemas microcontrolados.

¹ A utilização desses produtos não implica, por parte do autor, em incentivo ou recomendação a sua comercialização.

² A utilização desses produtos não implica, por parte do autor, em incentivo ou recomendação a sua comercialização.

Figura 29 - Arduino® Uno



Fonte: O autor (2015).

Com a possibilidade de criar aplicações isoladas ou em conexão com computadores e até mesmo com uma rede ethernet, tal plataforma se mostra viável no processo de desenvolvimento de aplicações diversas, já que a concepção de sistemas simples ou até mesmo mais complexos são suportados e desenvolvidos com maior facilidade. Outro ponto relevante é fato da licença ser de uso aberta ao público em geral para utilização (MCROBERTS, 2011).

3.3.4 IDE Arduino®

O *Arduino Integrated Development Environment* ou simplesmente *Arduino Software (IDE)* traz um ambiente de desenvolvimento para a concepção do código fonte, bem como algumas funcionalidades que deverão auxiliar o programador no processo de validação do mesmo. Os *sketches*, como são conhecidos os programas escrito na IDE, são salvos com a extensão .ino, o editor traz ainda algumas funcionalidades de edição textual com corte/colagem e busca.

3.3.5 Microcontroladores PIC

Microcontroladores podem ser definidos como pequenos chips que possuem certa inteligência programável que pode ser utilizada no controle de processos. Toda lógica de operação deve ser convertida em um programa e gravada em sua memória. A inteligência está associada à Unidade Lógica Aritmética, sendo essa a responsável por todas as operações matemáticas e lógicas que devem ser executadas (SOUZA 2003).

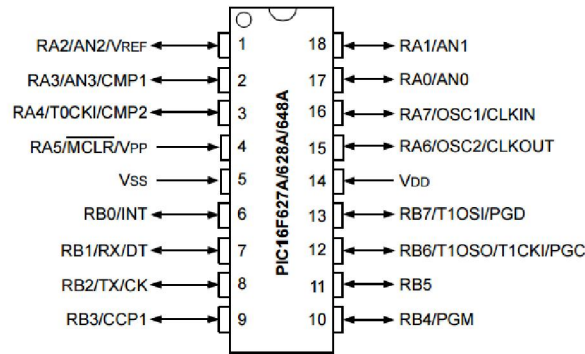
O PIC (*Peripheral Interface Controller*) possui internamente todos os circuitos necessários para ser considerado um completo sistema digital programável e também conta

com dispositivos típicos de um sistema microprocessados, tudo isso em um espaço extremamente pequeno dando ao desenvolvedor uma vasta área de trabalho (ANTONIO, 2006).

Esses periféricos possibilitam a comunicação entre dispositivos, controle de atuadores, leitura de sensores com saída analógica ou digital, controle de dispositivos interface gráfica e a comunicação entre dispositivos.

O PIC 16f628a³ é um microcontrolador produzido pela Microchip Technology Inc®, pertencente à família 16F, o mesmo opera a uma frequência máxima de 20 MHz disponibilizando um total de 16 pinos de I/O e com tensão de operação que varia de 3 V a 5 V, na Figura 30 a representação esquemática do mesmo.

Figura 30 - Hardware PIC



Fonte: Microchip Technology Inc® (2007).

3.3.3 Drive de acionamento

O acionamento dos dispositivos motores é obtido com a aplicação de uma interface entre o elemento de controle, é utilizado um módulo de relés no controle de acionamento e inversão do sentido de rotação.

Cada módulo conta com oito relés que são acionados independentemente e isolados por optoacopladores, o que impede a transmissão de ruídos ao elemento de controle e dispensa outros componentes na utilização dos relés. A alimentação do *hardware* é feita por uma fonte de corrente contínua de 5 V.

³ A utilização desses produtos não implica, por parte do autor, em incentivo ou recomendação a sua comercialização.

Figura 31 - Drive de acionamento



Fonte: O autor (2015).

3.3.4 Os atuadores

Atuadores são elementos capazes de modificar um processo, agem a partir de comandos enviados pelo sistema de controle. (THOAMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Os atuadores podem ser:

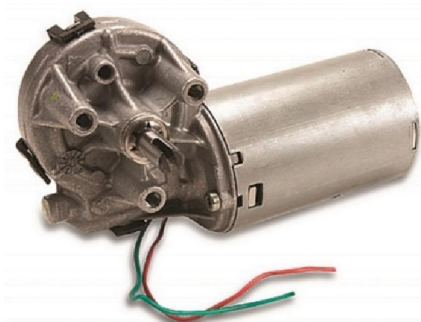
- a) Válvulas
- b) Relés
- c) Cilindros
- d) Motores
- e) Solenoides

Os atuadores são responsáveis pela locomoção do robô, o posicionamento dos sensores e outras tarefas, dentre eles, os atuadores mais comuns na robótica móvel são os motores de corrente contínua, motores de passo e os servos motores.

O movimento dos eixos é produzido por motores Bosch® CEP F 006 WM0 310⁴, Figura 32, de corrente contínua, acoplados ao um redutor de eixo sem-fim coroa, com taxa de redução em 1:45 o mesmo necessita de uma tensão nominal de trabalho de 24 V, consumindo uma corrente máxima de 5 A e com torque de 10 N m.

⁴ A utilização desses produtos não implica, por parte do autor, em incentivo ou recomendação a sua comercialização.

Figura 32 - Motor Bosch® CEP F 006 WM0 310



Fonte: Bosh® (2015).

Na ponta do eixo dos redutores são fixadas engrenagens plásticas, Figura 33.a da marca Patola® de dezoito dentes e módulo quatro, que fazem o acoplamento a um conjunto de cremalheiras, Figura 33.b, conectadas em série, as cremalheiras também são da marca Patola®⁵ e possuem o mesmo módulo com comprimento unitário de 25 cm, geralmente são aplicas ao processo de automatização de portões.

Figura 33 - Conjunto pinhão e cremalheira Patola®



Fonte: Patola® (2015).

3.3.5 Sensores de Posição

Por apresentar uma boa relação custo benefício os sensores indutivos são uma boa escolha nos projetos de automação de máquinas e equipamentos, contam ainda com a robustez necessária para o ambiente industrial na percepção de partes de objetos metálicos ferrosos ou não. Quando substitutos das chaves mecânicas têm a capacidade de operar sem contato mecânico com alta frequência de chaveamento e imunidade à vibração e pó.

⁵ A utilização desses produtos não implica, por parte do autor, em incentivo ou recomendação a sua comercialização.

A percepção da posição atual dos mecanismos no plano cartesiano é mensurada através de sensores indutivos que detectam pequenos blocos metálicos dispostos ao longo de todo o curso de deslocamento e de maneira incremental atribuem o valor da posição.

Foram utilizados seis sensores da marca JNG® do modelo LM12-3002NA⁶, os mesmos possuem corpo cilíndrico de 12 mm de diâmetro, faceados, com alimentação por corrente contínua em um *range* de 6 a 36 V, com uma corrente máxima na saída de 150 mA a transistor e distância sensorial nominal de 2 mm.

Figura 34 - Sensor de posição indutivo



Fonte: O autor (2015).

O tipo de saída do sensor pode ser encontrado na forma de saídas digitais como saídas analógicas, nas seguintes configurações:

- a) Normalmente aberto
- b) Normalmente fechado;
- c) Contato reversível;
- d) Saída analógica 0-10V;
- e) Saída analógica 4-20 mA.

3.3.6 Sensores de Nível

O sensor de nível do tipo flutuador funciona com base em um cilindro oco com ímãs permanentes em seu interior que se desloca em um movimento linear em torno de um eixo fixo, com o movimento resultante das variações de nível do líquido o campo magnético

⁶ A utilização desses produtos não implica, por parte do autor, em incentivo ou recomendação a sua comercialização.

gerado de dentro do flutuador atua um interruptor *reed switch* instalado no interior da haste. O dispositivo é fabricado em materiais não magnéticos ou de plásticos.

O sensor de nível aplicado ao desenvolvimento do robô é do tipo flutuador com acionamento por *reed switch*, capaz de detectar nível mínimo e máximo podendo operar submerso, é alimentado a uma tensão contínua de 5 V porém pode operar com tensão alternada 110/220 V

Figura 35 - Sensor de nível



Fonte: Arduino e Cia© (2015).

3.3.7 O Python®

O Python® é uma linguagem de programação de alto nível que possui uma sintaxe clara e concisa, orientada a objetos, interpretada e de tipagem dinâmica. O Python conta com inúmeros módulos prontos para utilização, assim como várias estruturas de alto nível, o que viabiliza o desenvolvimento de uma vasta gama de aplicações, além de frameworks (BORGES, 2014).

Por ser uma linguagem multiparadigma, ou seja, pode-se programar em Python de maneira modular e funcional, além da orientação a objetos. O *bytecode* gerado é interpretado pela máquina virtual Python, isso permite a portabilidade do código que pode ser executado em diversas plataformas (BORGES, 2014).

3.3 Feijão-Caupi BRS Pujante

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata L.*), também conhecido como feijão-macassar ou feijão-de-corda, representa para os agricultores do semiárido uma importante fonte renda e alimento básico. A cultivar BRS Pujante foi desenvolvida com intuito de ser incorporada na cadeia produtiva do feijão-macassar. A Embrapa Semiárido em 1995 desenvolveu a cultivar BRS Pujante a partir do cruzamento das linhagens TE 90-180-26F com a Epace 10.

Tabela 1 - Características do Feijão-Caupi BRS Pujante

Características da cultivar	
Folha	Globosa
Cor da flor	Roxa
Uniformidade da cor da flor	Desuniforme
Hábito de crescimento	Indeterminado
Porte da planta	Semi-ramador
Forma de semente	Oval
Brilho da semente	Médio
Ciclo do plantio a floração	48 dias
Ciclo do plantio a 1ª colheita	70 dias
Comprimento da vagem	18,4 cm
Número de sementes/vagem	9
Peso de 100 sementes	24,8 g

Fonte: Embrapa Semi-Árido (2007).

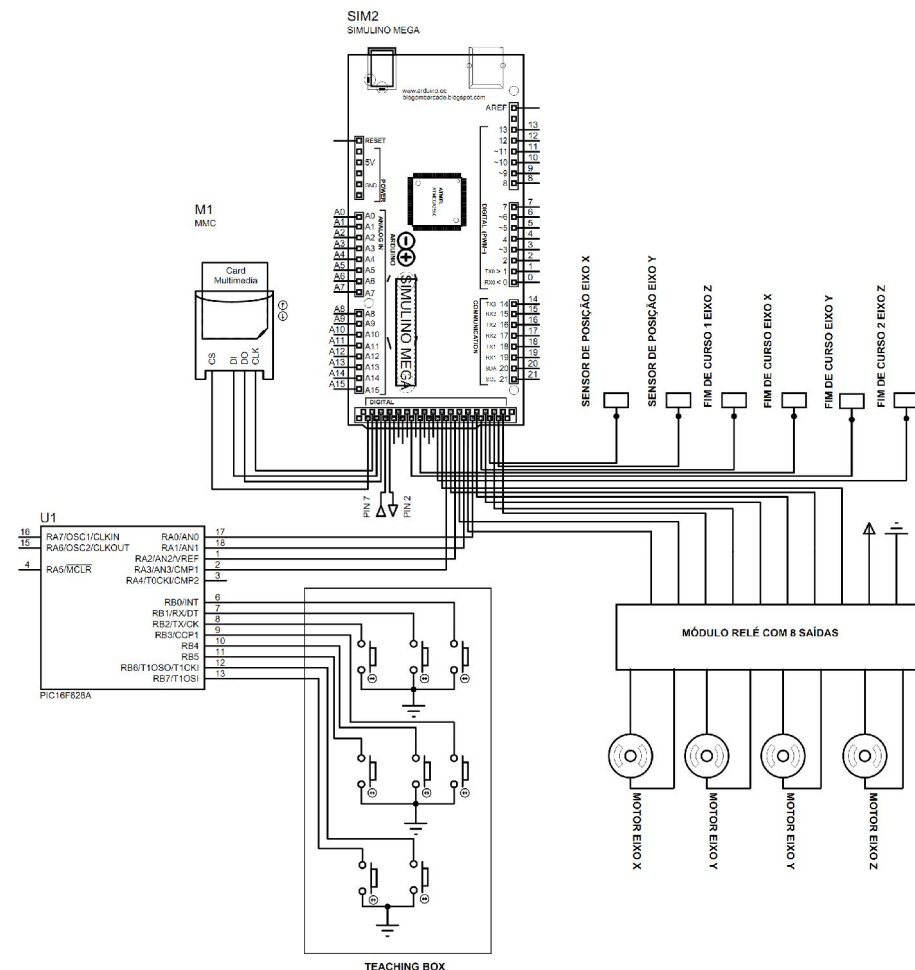
3.4 Métodos

3.4.1 Circuitos de controle

O controle principal do robô é implementado por uma plataforma Arduino® Mega 2560, onde são conectados a ele o módulo relé para acionamento das cargas, motores, o módulo leitor de cartões de memória, os sensores de posição, aplicou-se sensores indutivos como descritos anteriormente, e o *teaching box*, utilizado para movimentar manualmente o robô, existe ainda uma interface de comunicação com a placa do controlador de lâmina e a aplicação de alto nível.

Na figura a representação das conexões dos dispositivos periféricos a placa principal de controle.

Figura 36 - Esquema do circuito de controle



Fonte: O autor (2015).

A Tabela 2 contém as conexões necessárias para o funcionamento do módulo leitor de cartões quando conectado ao Arduino® Mega 2560.

Tabela 2 - Conexões entre o módulo leitor de cartões e o Arduino® Mega 2560

Pino do Arduino® Mega 2560	
MISO	50
MOSI	51
SCK	52
SS	53

Fonte: O autor (2015).

O *Teaching Box* é composto por um microcontrolador PIC 16f628a, que tem a função de codificar oito entradas de botões em quatro saídas digitais, na Tabela 3 a sequência de conexões entre tal dispositivo e o Arduino® Mega 2560.

Tabela 3 - Conexões entre o teaching box e o Arduino® Mega 2560

Pino do Arduino® Mega 2560	
Pino PIC 17	29
Pino PIC 18	31
Pino PIC 1	33
Pino PIC 2	35

Fonte: O autor (2015).

As conexões necessárias entre o *drive* de acionamento, descrito anteriormente, e o Arduino® Mega 2560 estão na Tabela 4.

Tabela 4 - Conexões entre o módulo relé e o Arduino® Mega 2560

Pino do Arduino® Mega 2560	
Entrada 1 Módulo Relé	22
Entrada 2 Módulo Relé	24
Entrada 3 Módulo Relé	26
Entrada 4 Módulo Relé	28
Entrada 5 Módulo Relé	30
Entrada 6 Módulo Relé	32
Entrada 7 Módulo Relé	34
Entrada 8 Módulo Relé	36

Fonte: O autor (2015).

A Tabela 5 contém os pinos do PIC 16f628a utilizados no teaching box, bem como as respectivas conexões aos botões do mesmo.

Tabela 5 - Conexões entre os botões do teaching box e o PIC 16f628a

Pino do Arduino® Mega 2560	
Botão 1 <i>Teaching Box</i>	8
Botão 2 <i>Teaching Box</i>	7
Botão 3 <i>Teaching Box</i>	6
Botão 4 <i>Teaching Box</i>	11
Botão 5 <i>Teaching Box</i>	10
Botão 6 <i>Teaching Box</i>	9
Botão 7 <i>Teaching Box</i>	13
Botão 8 <i>Teaching Box</i>	12

Fonte: O autor (2015).

Concetados ao controlador pela saída normalmente aberta, os sensores de posição indutivos tem as ligações como segue na Tabela 6.

Tabela 6 - Conexões entre os sensores de posição e fim de curso e o Arduino® Mega 2560

Pino do Arduino® Mega 2560	
Contato N.A. sensor de posição eixo X	23
Contato N.A. sensor de posição eixo Y	25
Contato N.A. sensor 1 de posição eixo Z	27
Contato N.A. sensor 2 de posição eixo Z	37
Contato N.A. sensor fim de curso eixo X	41
Contato N.A. sensor fim de curso eixo Y	43

Fonte: O autor (2015).

O módulo de controle estabelece comunicação com o controlador de lamina por meio de I/O presentes em ambos as placas de controle, tal comunicação utiliza os pinos como segue na Tabela 7.

Tabela 7 - Conexões entre o Arduino® Mega 2560 e o Arduino® Uno do medidor de lâmina

	Pino do Arduino® Mega 2560
Pino 2 Arduino® Uno	48
Pino 7 Arduino® Uno	49

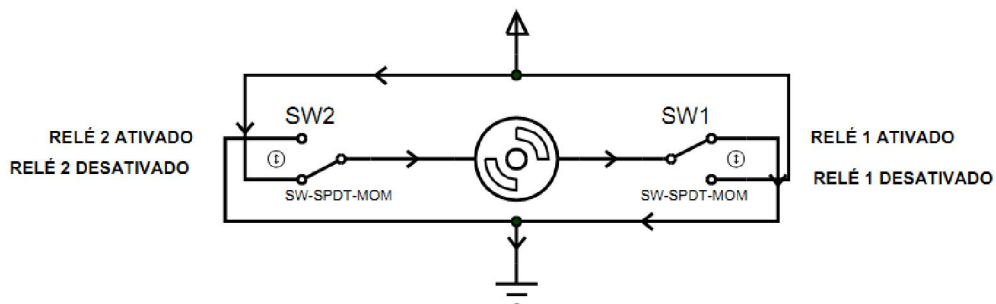
Fonte: O autor (2015).

A definição do sentido de giro dos motores, horário ou anti-horário, é realizado por meio da comutação de relés eletromecânicos que irão inverter o sentido de rotação dos motores de acordo com o sentido desejado pelo controlador. Os relés são constituídos de três terminais sendo um contato normalmente aberto (N.A.) ao comum e um contato normalmente fechado ao comum (N.F.), ou seja, quando desativado os contatos N.F. e o comum estão conectados até que o relé seja acionado e tal conexão é desfeita e uma nova surge entre o contato N.A. e o comum.

Cada motor é acionado por dois relés, quando combinados promovem o funcionamento dos atuadores, sempre haverá um relé ou dois acionados formando as seguintes conexões:

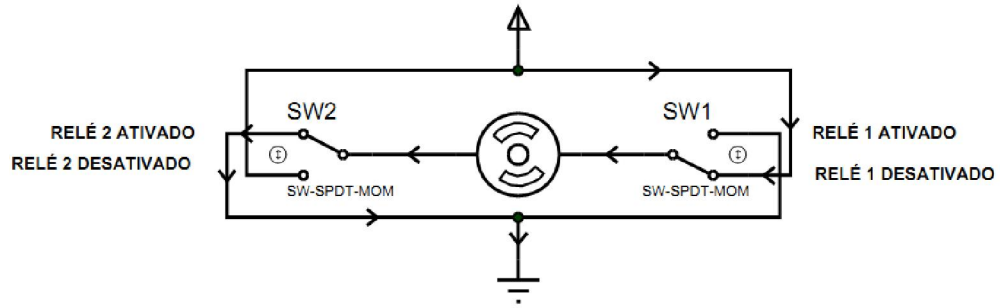
- Relé 1 ativado e Relé 2 desativado para o motor no sentido anti-horário, Figura 37;
- Relé 2 ativado e Relé 1 desativado para o motor no sentido horário, Figura 38;
- Relé 1 ativado e Relé 2 ativado para o motor parado, Figura 39;
- Relé 1 desativado e Relé 2 desativado para o motor parado, Figura 40;

Figura 37 - Modo de operação do *drive* de acionamento dos motores



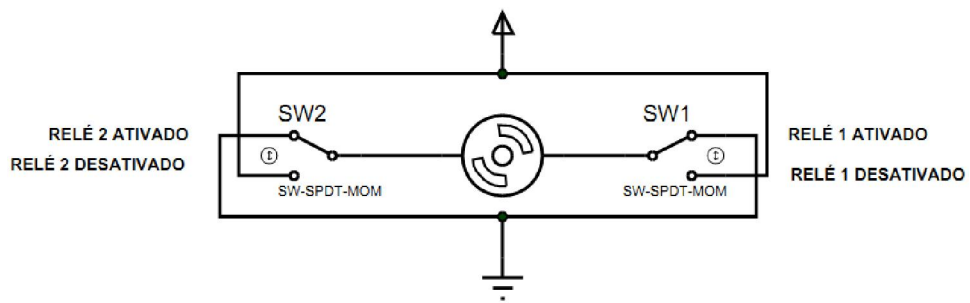
Fonte: O autor (2015).

Figura 38 - Modo de operação do *drive* de acionamento dos motores



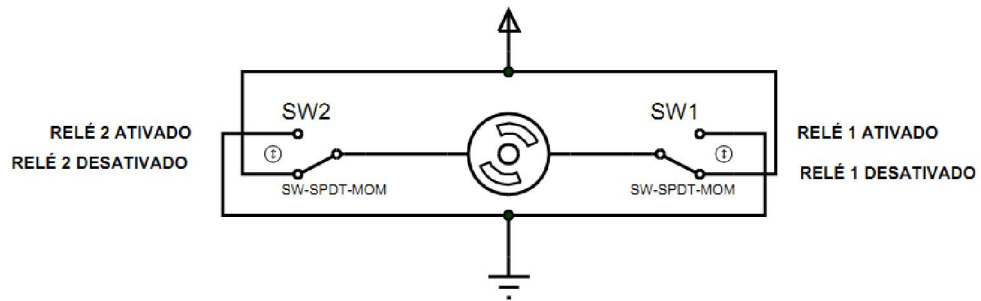
Fonte: O autor (2015).

Figura 39 - Modo de operação do *drive* de acionamento dos motores



Fonte: O autor (2015).

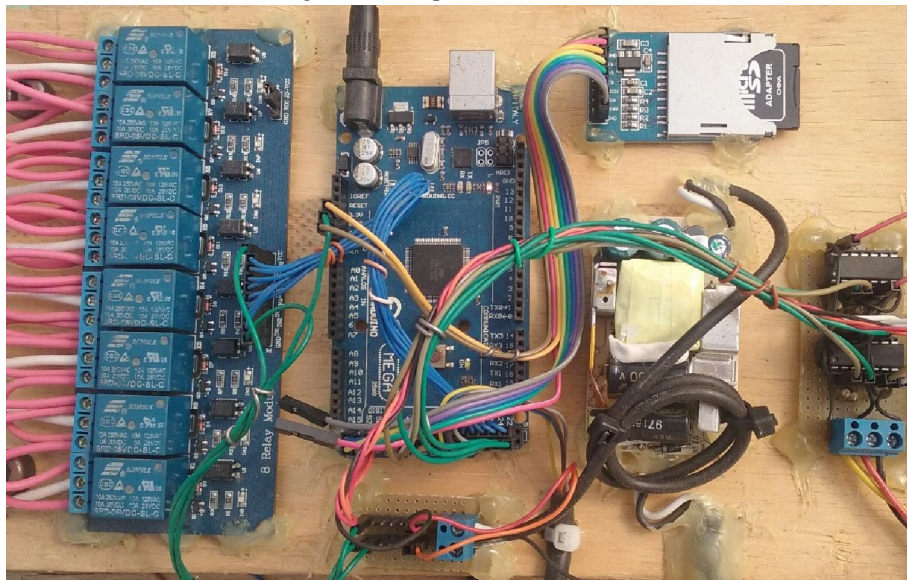
Figura 40 - Modo de operação do *drive* de acionamento dos motores



Fonte: O autor (2015).

Na Figura 41, a disposição dos dispositivos eletrônicos de controle.

Figura 41 - Dispositivos de controle



Fonte: O autor (2015).

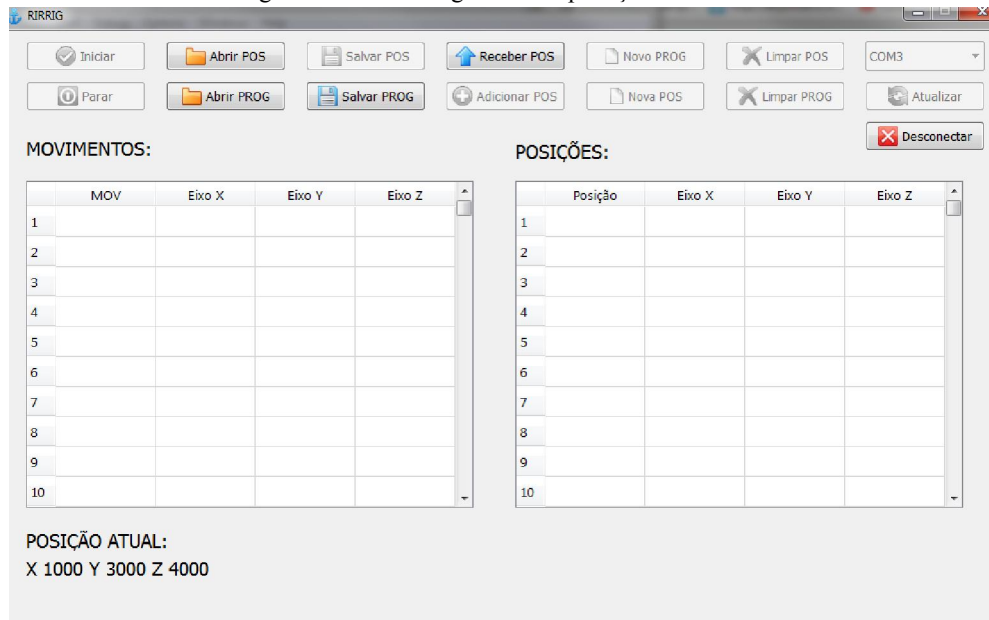
3.4.2 Aplicação de controle

O *software* de controle foi concebido por meio da linguagem Python®, com o auxílio do ambiente de desenvolvimento de interfaces gráficas PyQt Designer®. A aplicação disponibiliza ao usuário a possibilidade de salvar e criar novos arquivos de programação, bem como alterá-los, pode-se também estabelecer comunicação com o módulo de controle através de uma interface de comunicação serial assíncrona, bem como receber informações deste.

A tabela **POSICÕES** da interface gráfica, Figura 41, é responsável por receber o conjunto de posições salvas em arquivo ou recebe-las diretamente do módulo de controle para que sejam armazenadas em arquivo e posteriormente usadas na construção da sequência de movimentos que deverá ser realizada pelo mecanismo robótico.

Na Figura 41, **MOVIMENTOS** recebe a sequência a ser executada pelo robô, os dados podem ser provenientes de um arquivo salvo na memória do computador ou do campo **POSICÕES**, o arranjo das posições gera uma sequência de movimentos.

Figura 41 - Interface gráfica da aplicação de controle



Fonte: O autor (2015).

As descrições das funcionalidades dos botões são descritas a seguir:

- a) **INICIAR**, estabelece o envio sequencial dos movimentos a serem efetivados pelos mecanismos robóticos;
- b) **PARAR**, encerra a transmissão dos dados;
- c) **ABRIR POS**, abre um arquivo de posições salvos previamente;
- d) **ABRIR PROG**, abre na aplicação um arquivo de programa salvo no computador;
- e) **SALVAR POS**, salva em um arquivo, nomeado pelo usuário, um conjunto de posições enviadas pelo controlador;
- f) **SALVAR PROG**, salva em um arquivo, nomeado pelo usuário, um conjunto de posições criadas pelo usuário;
- g) **RECEBER POS**, habilita a recepção de dados enviados pelo controlador;
- h) **ADICIONAR POS**, carrega, de maneira incremental, no campo **MOVIMENTOS** os valores dos eixos X, Y e Z da posição selecionada;
- i) **NOVO PROG**, limpa todos os dados do campo **MOVIMENTOS** e os disponibiliza para novas aplicações;
- j) **NOVA POS**, limpa todos os dados do campo **POSIÇÕES** e os disponibiliza para novas aplicações;

- k) **LIMPAR POS**, exclui uma posição específica, selecionada, do campo **POSIÇÕES**;
- l) **LIMPAR PROG**, exclui uma posição específica, selecionada, do campo **MOVIMENTOS**;
- m) **ATUALIZAR**, atualiza todas as portas serial disponíveis para conexão com o controlador;
- n) **CONECTAR**, conecta-se à porta serial selecionada;
- o) **DESCONECTAR**, desconecta-se da porta serial selecionada.

3.4.3 Medidor de lâmina

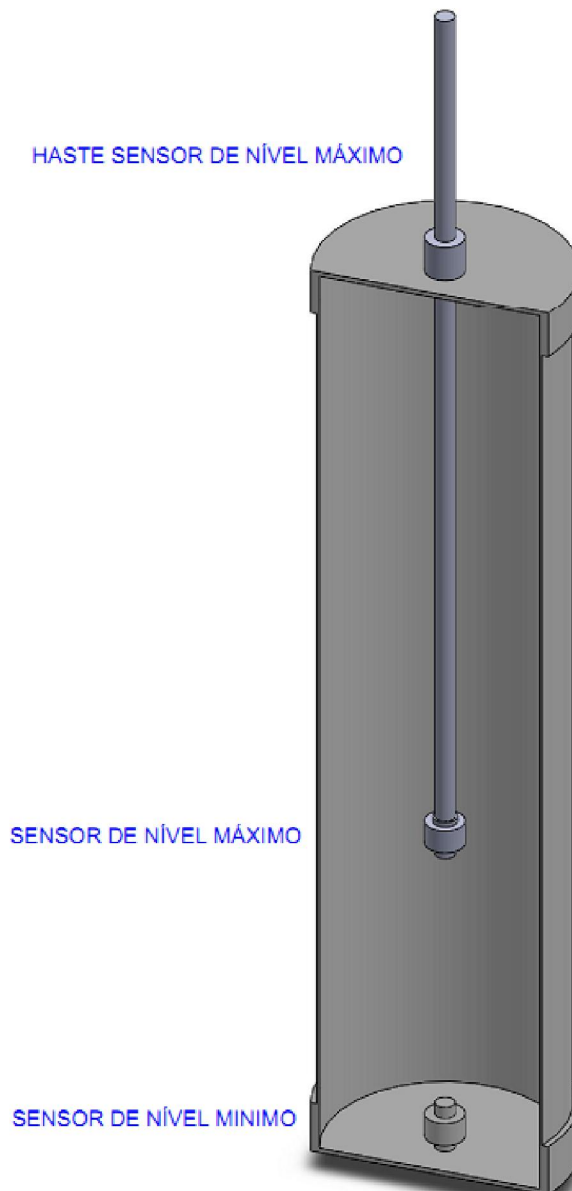
O medidor de lâmina, Figura 42, é composto por um tubo de PCV, com diâmetro interno de 98 mm e 400 mm de altura, fechado nas duas extremidades, na parte superior passa por um orifício de 10 mm de diâmetro uma haste metálica roscada de 500 mm de comprimento, com diâmetro de 8 mm e passo da rosca de 1 mm.

O sensor de nível máximo fica posicionado na extremidade da haste que fica na parte interna do tubo, já o sensor de nível mínimo é fixado na parte inferior do medidor, com a devida vedação para evitar possíveis vazamentos. Ambos os sensores são conectados a plataforma Arduino® Uno, onde será realizado o processamento dos dados lidos dos sensores e realizada a operação de medição de lâmina necessária, logo após temos a irrigação individual das plantas. O dispositivo conta ainda com um reservatório que está fixado ao robô com capacidade de 20 L.

O bombeamento da água do reservatório para o medidor de lâmina se dá por meio de uma bomba injetora da marca GAPbr® modelo AG0004⁷, alimentada por uma tensão contínua de 12 V e acionada por um módulo relé.

⁷ A utilização desses produtos não implica, por parte do autor, em incentivo ou recomendação a sua comercialização.

Figura 42 - Medidor de lâmina



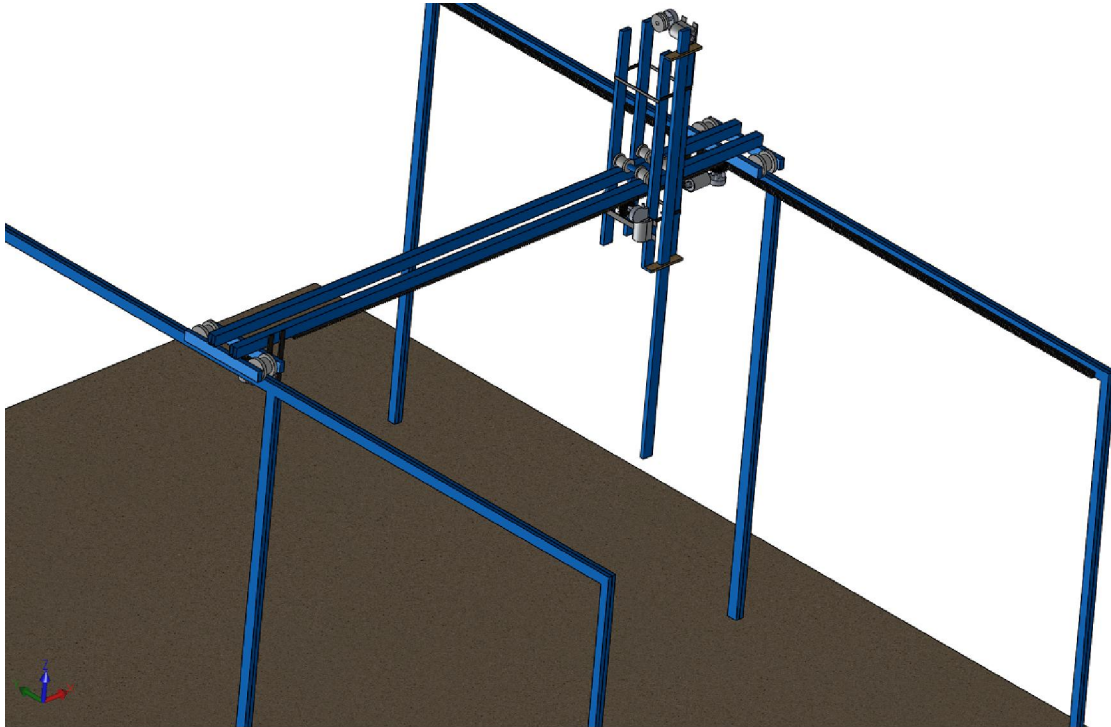
Fonte: O autor (2015).

3.4.4 Mecanismos

Na construção da estrutura mecânica são utilizados tubos retangulares de Metalon com 50x20 mm com parede de 1,20 mm, tais tubos serão unidos com elementos de fixação com intuito de formar um sistema de trilhos, que irá compor os sistemas de eixos X e Y e Z.

A Figura 43 apresenta uma visão geral do da estrutura mecânica e como estão dispostos esses componentes do robô em seu volume de trabalho.

Figura 43 - CAD do robô irrigador



Fonte: O autor (2015).

Nas Figuras 44 e 45 as fotografias do robô em ação

Figura 44 - Robô em funcionamento



Fonte: O autor (2015).

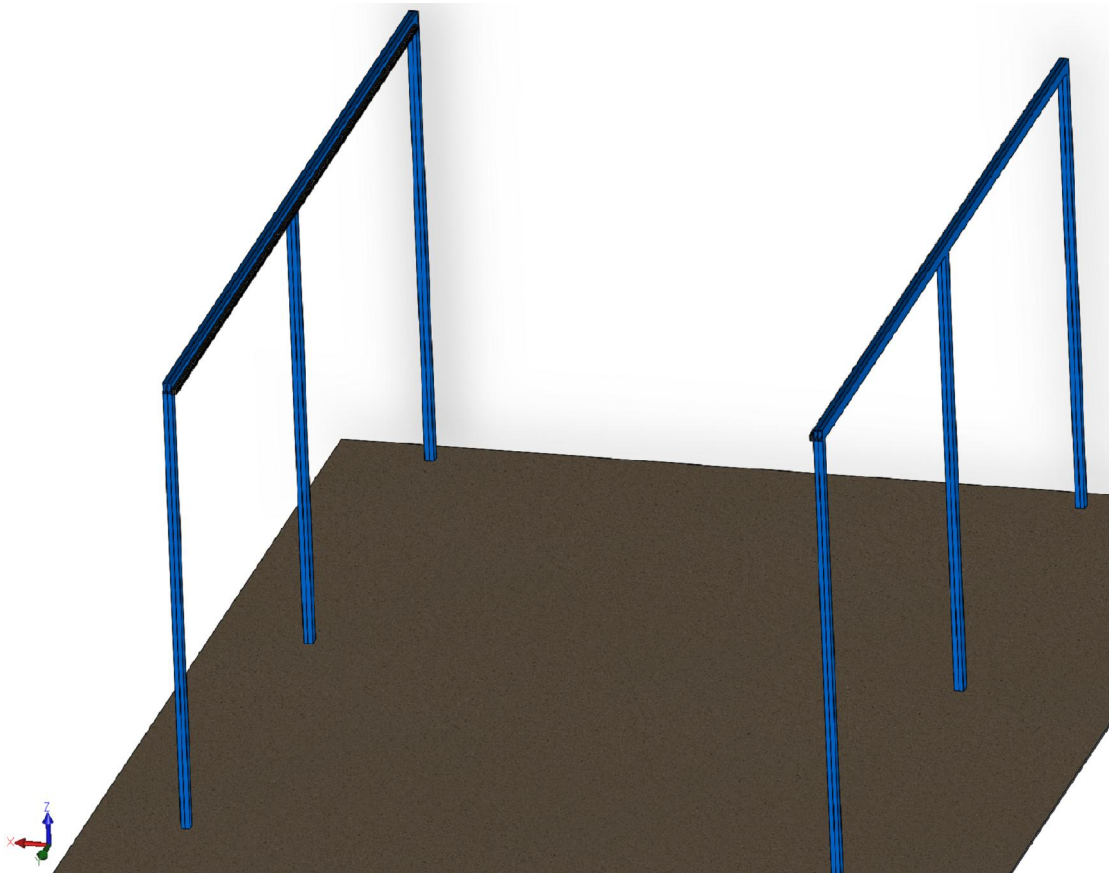
Figura 45 - Robô em funcionamento



Fonte: O autor (2015).

Na Figura 46 a construção do eixo Y, onde aplicou-se os tubos retangulares de Metalon, nas dimensões de 50 mm x 20 mm, em frações de 3 m que quando unidos paralelamente, na direção horizontal, compõe os trilhos guia do referido eixo e na sustentação, na direção vertical, tubos retangulares de 50 mm x 40 mm fracionados em 2 m, espaçados por 2 m de distância, totalizando três elementos de sustentação. Vale ressaltar que devem ser construídas duas estruturas idênticas posicionadas paralelamente, espaçadas por 4 m e fixadas ao solo.

Figura 46 - Trilhos do eixo Y

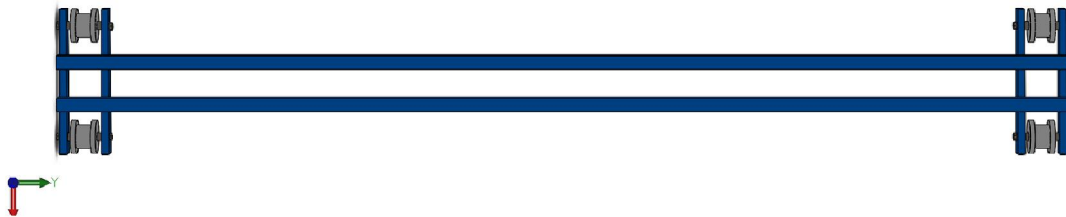


Fonte: O autor (2015).

As cremalheiras foram fixadas paralelamente aos trilhos na parte interna do volume de trabalho e com as faces inferiores coincidentes com as faces inferiores dos trilhos.

O eixo X, Figuras 47 e 48, é composto por dois trilhos guia, separados por 80 mm de distância, cada trilho é composto pela justaposição de dois tubos de Metalon 50 mm x 20 mm paralelamente, os mesmos encontram-se apoiados em estruturas deslizantes. Tais estruturas são responsáveis pelo deslizamento nos trilhos do eixo Y.

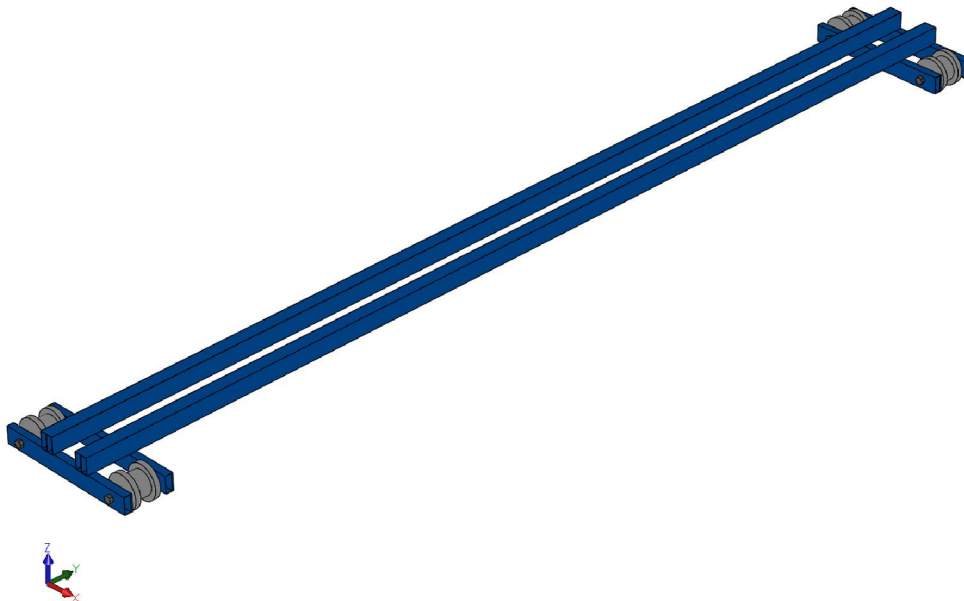
Figura 47 - Trilhos do eixo X



Fonte: O autor (2015).

As estruturas deslizantes são compostas por rodas usinadas em *nylon* 6.0, pressas a dois tubos retangulares de Metalon 50 mm x 20 mm, paralelos, por um parafuso M14. As rodas possuem em cada extremidade interna um rolamento com furo central de 14 mm, que irá facilitar o deslocamento, por onde irá traspasar o parafuso.

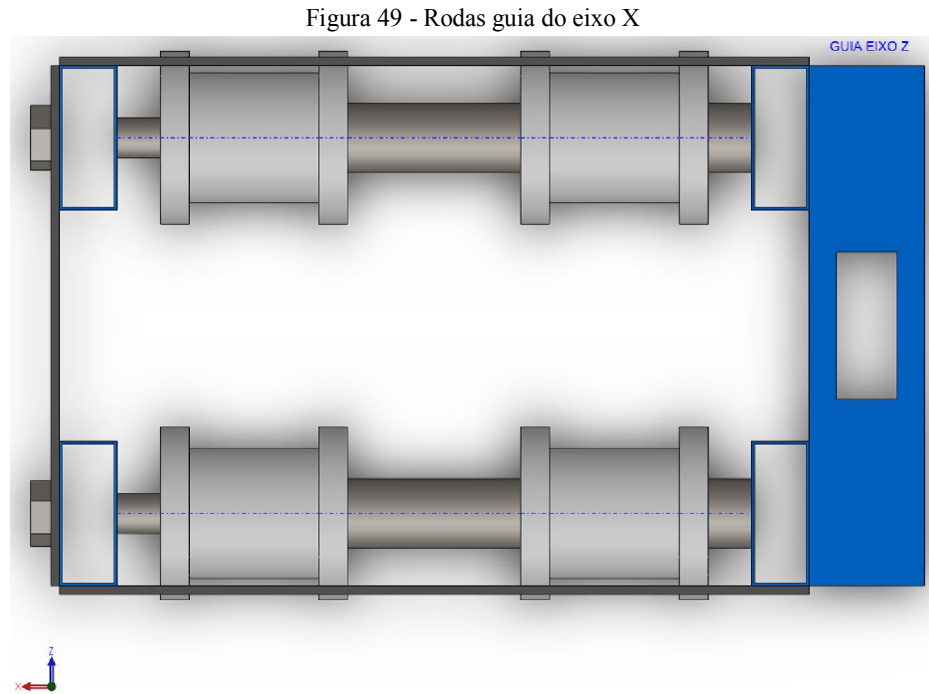
Figura 48 - Trilhos do eixo X



Fonte: O autor (2015).

As cremalheiras são fixadas na parte inferior do trilho, e unidas em série ao longo de toda extensão do trilho.

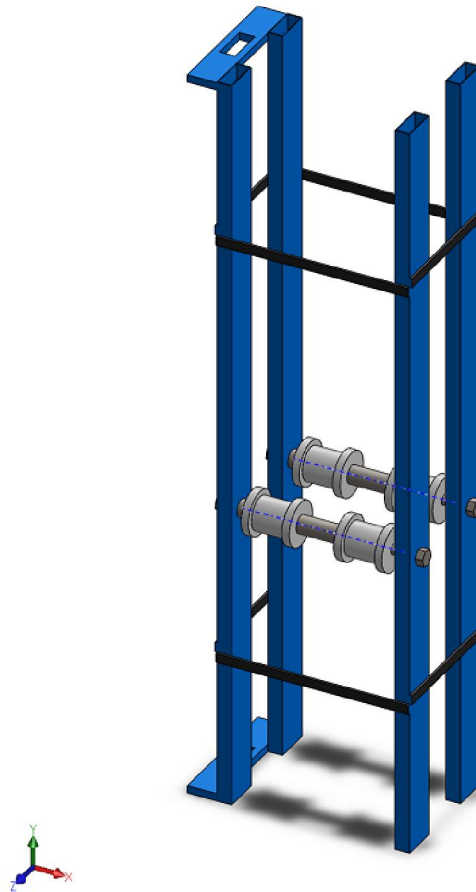
A estrutura que circula pelos trilhos do eixo X é representada nas Figuras 49 e 50, a mesma é constituída de tubos de Metalon 50 mm x 20 mm, dispostos a formar um retângulo de 260 mm x 180 mm, onde são fixadas as rodas guias, aplicando os mesmos métodos das rodas descritas anteriormente.



Fonte: O autor (2015).

A altura de tal estrutura é 1000 mm, na Figura 50 a vista isométrica da estrutura mecânica construída para comportar os eixos X e Z.

Figura 50 - Vista isométrica do robô

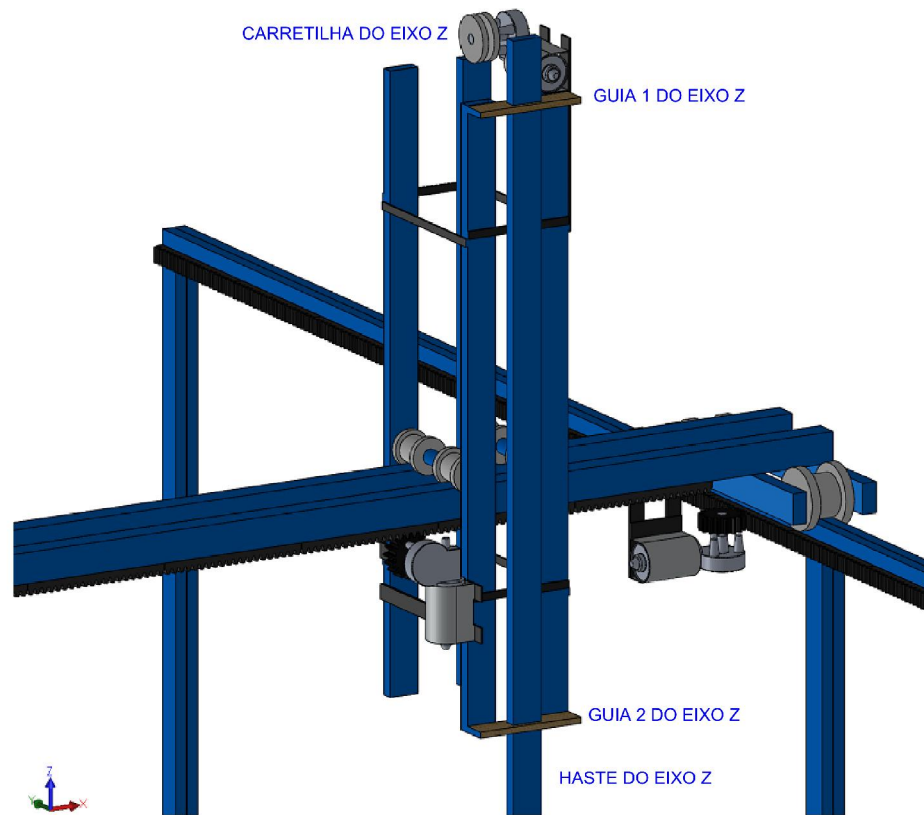


Fonte: O autor (2015).

O movimento de translação no eixo Z ocorre por meio de uma haste, limitada por duas guias e movimentada por um cabo, que quando enrolado em um uma carretilha, tracionada por um motor Bosch® CEP F 006 WM0 310, força a haste a se deslocar, possibilitando assim a interação no eixo Z, a carretilha foi usinada em *nylon* 6.0 com diâmetro 75 mm e a mesma fica posicionada no eixo do motor com capacidade de enrolar 1,5 m de cabo.

Nas Figura 51 e 52 os detalhes dos mecanismos dos eixos Z, X e Y, onde pode-se observar que a translação nos eixos X e Y se dá pelo deslizamento do conjunto de rodas guia nos trilhos, tracionados por motores Bosch® CEP F 006 WM0 310 em um acoplamento pinhão cremalheira.

Figura 51 - Detalhes do mecanismo robótico



Fonte: O autor (2015).

Figura 52 - Vista do mecanismo robótico



Fonte: O autor (2015).

3.4.5 Planejamento estatístico

O ponto de partida do planejamento estatístico foi a definição das variáveis a serem analisadas e posteriormente a definição método de análise de dados a ser adotado. As variáveis que serão investigadas são:

- a) Altura do caule das plantas irrigadas pelo robô;
- b) Diâmetro do caule das plantas irrigadas pelo robô;
- c) Altura do caule das plantas irrigadas manualmente;
- d) Altura do caule das plantas irrigadas manualmente.

O intuito de realizar tal planejamento é estimar o número mínimo de amostras necessárias para que se tenha a normalidade dos dados avaliados, evitando assim problemas futuros no tocante a análise estatística dos dados. Tal metodologia permite determinar o número de amostras por meio do erro médio padrão.

Aplicando-se a equação 1, sugerida por Montgomery (2004), é possível determinar o erro médio padrão, com base nos dados de média e desvio padrão de trabalhos realizados anteriormente por outros pesquisadores como Rocha *et al* (2014) e Souto *et al* (2009).

$$d = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \quad (1)$$

Onde:

d = erro médio padrão;

μ_1 = valor da média dos dados no trabalho 1;

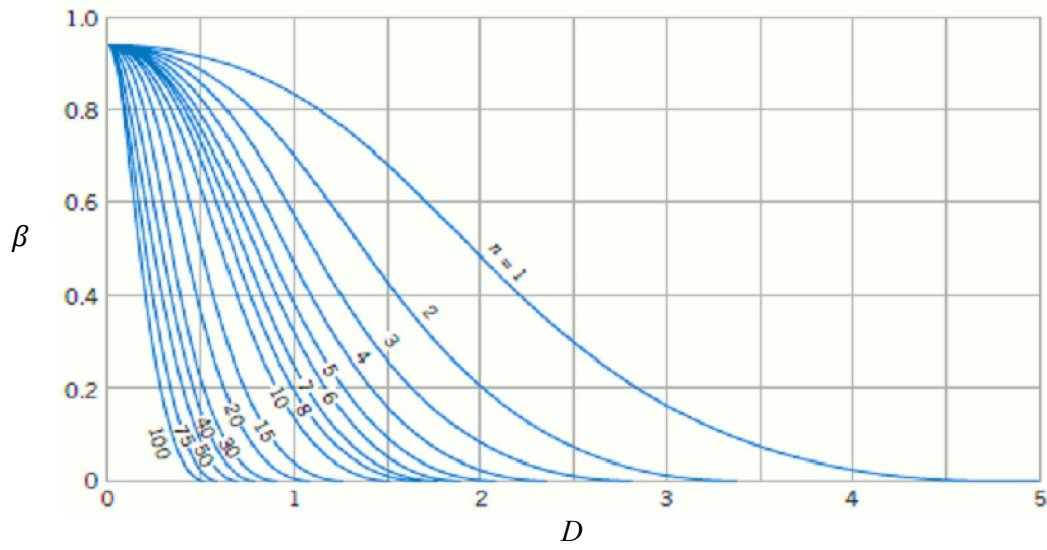
μ_2 = valor da média dos dados no trabalho 2;

σ_1 = valor do desvio padrão dos dados no trabalho 1;

σ_2 = valor do desvio padrão dos dados no trabalho 2;

Tendo encontrado o erro médio padrão d e considerando um erro β de 10%, é possível verificar no gráfico de curvas de operação, Figura 53, o número mínimo de amostra n .

Figura 53 - Gráfico de curvas de operação



3.4.6 Metodologia estatística

As variáveis analisadas estatisticamente foram a altura do caule, diâmetro do caule e número de folhas quinze dias após a emergência das plântulas, sendo aplicada como metodologia estatística a análise de experimentos de fator único, análise de variância (estatística F), com dois níveis de fator sendo eles, a irrigação realizada de forma manual e a robótica, com intuito de comparar se há diferença entre as médias das variáveis em estudo, obtidas com base em cinquenta amostras de cada variável, a um nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os dados coletados em campo, onde os mesmos foram submetidos a análise de estatística descritiva e a análise de variância de diferentes variáveis agronômicas para um determinado conjunto de amostras coletadas quando submetidas a dois processos de irrigação.

4.1 Altura do caule

Os dados coletados referentes a variável altura do caule de plantas irrigadas pelo robô estão apresentados por meio da análise descritiva, na Tabela 8, em que a média encontrada foi 22,99 mm, o desvio padrão de 0,895 e com um coeficiente de variação de 3,89 %.

Pode-se considerar normais os dados coletados pois, de acordo com Oliveira (2010), os valores de simetria e curtose encontram-se no intervalo de 3 a -3, com isso a análise de variância se mostra eficiente.

Tabela 8 - Estatísticas descritivas da altura do caule (Robô)

	Altura do caule robô
Número de Amostras	50
Média	22,990
Desvio Padrão	0,895
Variância	0,801
Coeficiente de Variação (%)	3,89
Máximo	25,00
Mínimo	21,00
Simetria	0,03
Curtose	-0,74

Fonte: O autor (2015).

As amostras de altura do caule das plantas irrigadas manualmente mostrados pela análise descritiva, na Tabela 9, o valor da média das amostras é de 22,67 mm, com um desvio padrão de 1,02 e coeficiente de variação de 4,54 %.

Tabela 9 - Estatísticas descritivas da altura do caule (Manual)

Altura do caule manual	
Número de Amostras	50
Média	22,670
Desvio Padrão	1,028
Variância	1,507
Coefficiente de Variação (%)	4,54
Máximo	25,00
Mínimo	20,00
Simetria	-0,01
Curtose	0,06

Fonte: O autor (2015).

Na Tabela 10 é apresentada a análise de variância das amostras de altura de caule das plantas irrigadas pelo robô e de maneira manual. Segundo Devore (2006) o valor P , nível de significância observado, é o valor de significância mais baixo em que a hipótese nula H_0 , hipótese considerada como verdadeira inicialmente, seria rejeitada ou que não há diferença entre a irrigação realizada pelo robô e a manual para a variável altura de caule, para isso compara-se o valor P encontrado com a significância α adotada, nesse caso um valor de 0,05 ou 5 %, e caso o valor P seja menor ou igual a α , implica a rejeição da hipótese H_0 e se o valor P for maior que α deve-se considerar a hipótese H_0 ao nível α .

Pela Tabela 10, pode-se comparar o valor P de 0,100, encontrado utilizando o *software* estatístico MINITAB 17®, com o valor de α e concluir que não deve-se rejeitar a hipótese, não havendo assim diferença significativa entre os tratamentos.

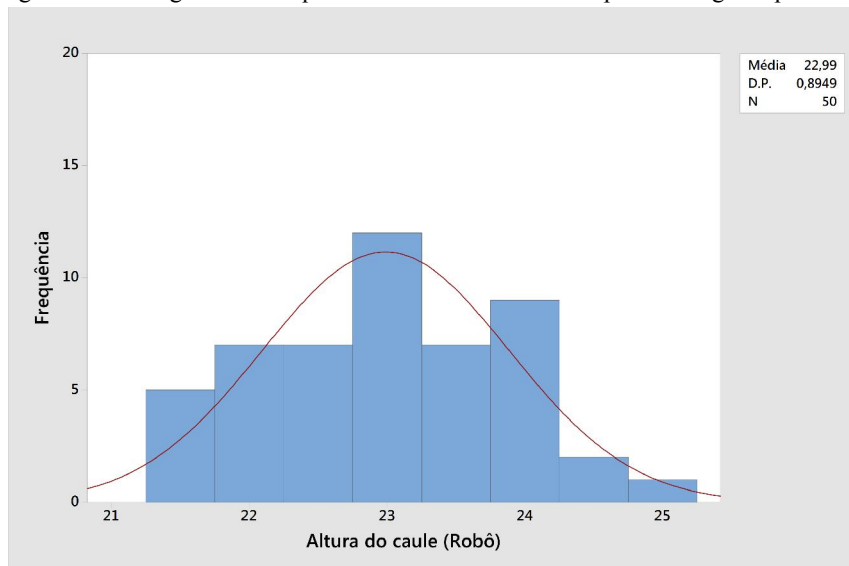
Tabela 10 - Análise de variância da altura do caule

	GL	SQ	QM	F	P
Fator	1	2,560	2,560	2,75	0,100
Erro	98	91,050	0,9291		
Total	99	93,610			

Fonte: O autor (2015).

Na Figura 58, o histograma de frequência do diâmetro do caule das plantas irrigadas pelo robô, onde pode-se observar a maior frequência para o diâmetro de 23 mm e para as plantas irrigadas manualmente, Figura 59, uma maior concentração também de 23 mm porém a média dos valores é menor.

Figura 54 - Histograma de frequência da altura do caule das plantas irrigadas pelo robô

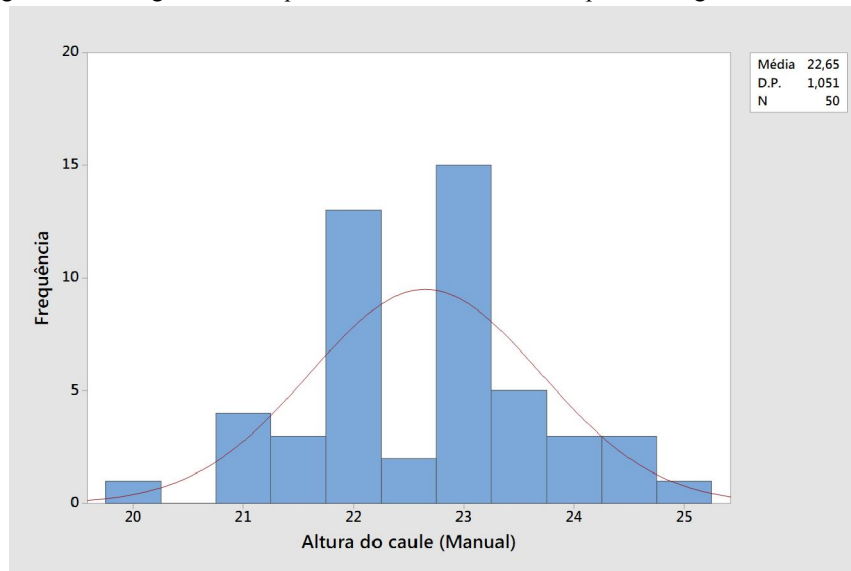


Fonte: O autor (2015).

Comparando os histogramas de frequência da altura de caule, Figuras 58 e 59, é possível constatar que as medidas das amostras tratadas pelo robô apresentam uma previsibilidade dos dados pela curva normal, também é visível que há uma menor variação nas amostras do robô.

Dentre as vantagens do uso de robôs quando aplicados a um ambiente de trabalho é que eles podem substituir o trabalho manual em tarefas perigosas, reduzindo assim o contato com a atividade, os robôs são frequentemente usados nas linhas de produção como elemento fundamental do processo de montagem dos mais diversos produtos, pela capacidade de realizar atividades repetitivas, pela precisão e a velocidade de execução. Tem-se com um bom exemplo as montadoras automobilísticas que empregam os manipuladores robóticos na montagem de seus veículos, isso retira os operadores de atividades repetitivas, como o processo de montagem.

Figura 55 - Histograma de frequência da altura do caule das plantas irrigadas manualmente



Fonte: O autor (2015).

Os dados obtidos pelo robô se mostram melhores, pois o mecanismo executa a tarefa de irrigação sempre com a mesma metodologia, ou seja, o robô sempre irá aplicar a lâmina de irrigação com a mesma velocidade, irá em todos os casos aplicar a lâmina no mesmo local do jarro com uma variação mínima e todas as amostras irão receber mesma quantidade de água pois a medição é realizada eletronicamente com um mínimo erro de medição.

Atualmente um dos meios para tornar as atividades do campo mais produtivas é a modernização dos processos agrícolas, nesse sentido a irrigação já possui técnicas modernas que tem a capacidade de operar automaticamente controlando os setores a serem irrigados, tornando o processo mais rápido, eficiente e promovendo o racionamento do recurso. Os avanços tecnológicos tendem a tornar essas tecnologias mais baratas e acessíveis ao pequeno produtor.

No setor industrial, as máquinas substituíram pessoas, pela praticidade com que realizam as tarefas as quais foram projetadas, reduzindo assim o número de pessoas necessárias para o trabalho, a agilidade com intuito de aumentar a produtividade consequentemente o aumento nos lucros, mas, são dependentes de manutenção rotineira que é fundamental para o bom funcionamento e na garantia da continuidade do serviço.

Para Rosário 2002, as vantagens da aplicação de robôs industriais são várias entre elas o aumento de produtividade, a qualidade de final dos produtos, a fácil operação de um robô, a possibilidade de operar em ambientes com acesso limitado, em atividades repetitivas e

por longos períodos. Todos esses fatores contribuem para uma crescente participação dos robôs no manejo agrícola, com isso o aumento da produção agrícola.

Aplicação de sistemas de tecnologia é visto em muitos setores, incluindo agricultura e alimentação, porém, tradicionalmente, a indústria agrícola tem sido exclusivamente dependente do trabalho humano com a aplicação limitada de equipamentos mecânicos e máquinas, mas as aplicações da tecnologia que são consideradas mais avançadas, tais como computação embarcada, robótica, tecnologia sem fio, GPS e sistemas de gerenciamento de banco de dados são vistas como aplicações recentemente inseridas no setor agrícola.

Para Hameed *et al* (2015), os robôs vêm atuando por décadas e têm desempenhado um papel fundamental no aumento da eficiência e reduzindo o custo de muitas indústrias e do produto final. Robôs são usados para tarefas quando há riscos com a segurança das pessoas, ou quando a tarefa é repetitiva e pode ser feita de forma mais produtiva por um processo automatizado ou robótico, já que podem trabalhar por mais horas do que os seres humanos oferecendo uma precisão superior que o operador não podem fornecer, e a indústria agrícola não é diferente a este respeito. É fácil observar que nas últimas décadas deu início a forte tendência semelhante e começou a se identificar com o setor agrícola, setor esse que está sofrendo com a ausência de mão de obra qualificada e não qualificada de trabalho. Com as tecnologias de GPS os tratores e colhedoras autônomas, baseadas em visão computacional, já são disponíveis comercialmente, os agricultores começaram a fazer experiências com sistemas autônomos para as operações típicas de campo como a colheita, roçada, pulverização e remoção de ervas daninhas.

Segundo Rosell-Polo *et al* com os elevados índices de crescimento da população mundial, teremos nos próximos anos uma maior exigência e um papel ainda maior para a agricultura quando o assunto é satisfazer as necessidades alimentares da humanidade, visando ainda as melhorias da produtividade e o aumento da competitividade da indústria agrícola, é necessário o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias que sejam acessíveis para as operações agrícolas e tais inovações devem ser implementadas com o objetivo de proporcionar ao agricultor as informações para que possa tomar as melhores decisões para aumentar a produção.

4.2 Diâmetro do caule

As leituras feitas para o diâmetro do caule do feijoeiro, irrigação robótica, estão apresentadas por meio de análise descritiva, Tabela 11, onde observa-se que o valor médio de diâmetro foi 2,97 mm, desvio padrão de 0,084 e com um coeficiente de variação de 2,82 %.

Com base nos valores de desvio padrão e coeficiente de variação pode-se afirmar que o diâmetro do caule do feijoeiro sensível quanto ao tipo de irrigação e a que se mostra mais adequada é a irrigação robótica, pois com tal método obteve-se os menores valores em questão.

Tabela 11 - Estatísticas descritivas do diâmetro do caule (Robô)

Diâmetro do caule robô	
Número de Amostras	50
Média	2,9780
Desvio Padrão	0,0840
Variância	0,0071
Coeficiente de Variação (%)	2,82
Máximo	3,2
Mínimo	2,8
Simetria	-0,42
Curtose	0,91

Fonte: O autor (2015).

Na Tabela 12 a análise descritiva dos dados coletados das plantas irrigadas manualmente. O valor da média encontrada foi 2,92, desvio padrão 0,182 e coeficiente de variação 6,25 %, com tais dados é perceptível que quando irrigado pelo robô o feijoeiro apresenta uma menor variação no diâmetro do caule, um dos elementos que colaboram para tal resultado é a repetibilidade, para Niku (2013) esse parâmetro é a capacidade que o manipulador robótico possui de alcançar a mesma posição quando o movimento é repetido inúmeras vezes, porém inúmeros fatores podem perturbar tal capacidade, como sobrecarga dos atuadores, falhas de comunicação entre os dispositivos e mal posicionamento dos sensores.

Tabela 12 - Estatísticas descritivas do diâmetro do caule (Manual)

Diâmetro do caule manual	
Número de Amostras	50
Média	2,9260
Desvio Padrão	0,1827
Variância	0,0334
Coefficiente de Variação (%)	6,25
Máximo	3,2
Mínimo	2,5
Simetria	-0,97
Curtose	0,91

Fonte: O autor (2015).

Observando o valor P , Tabela 13, da análise de variância realizada no MINITAB 17® e considerando um valor de significância de 5 %, pode-se afirmar que não deve ser rejeitada a hipótese nula H_0 , ou seja, que não há diferença de diâmetro de caule entre plantas irrigadas manualmente e por um robô.

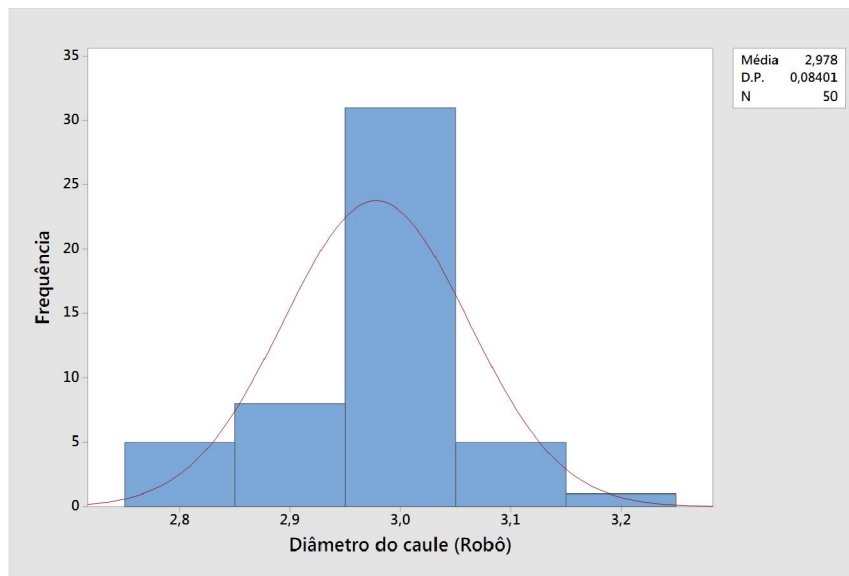
Tabela 13 - Análise de variância do diâmetro do caule

	GL	SQ	QM	F	P
Fator	1	0,067	0,0676	3,34	0,071
Erro	98	1,982	0,0202		
Total	99	2,049			

Fonte: O autor (2015).

Nas figuras 60 e 61 as representações dos histogramas de frequência do diâmetro do caule para as amostras de plantas irrigadas pelo robô e manualmente respectivamente, observa-se que a maior concentração das amostras encontra-se em 3 mm de diâmetro, também é possível observar que as amostras do robô possuem melhor distribuição na curva normal o que implica dizer que elas têm uma melhor qualidade agrônômica.

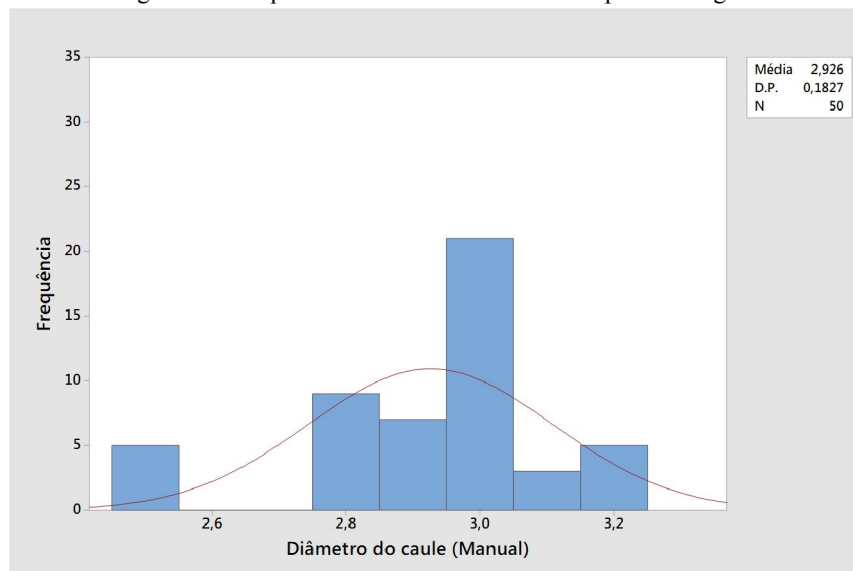
Figura 56 - Histograma de frequência do diâmetro do caule das plantas irrigadas pelo robô



Fonte: O autor (2015).

As mais avançadas tecnologias e os mais recentes resultados de pesquisa científica têm sido largamente aplicados no setor com a finalidade de elevar a qualidade de produtos e aumentar a produtividade, um exemplo é dado pelo controle climático que pode ser aplicado em estufas variando de soluções relativamente simples de controle térmico há um mais sofisticado, onde até a temperatura do solo é controlada.

Figura 57 - Histograma de frequência do diâmetro do caule das plantas irrigadas manualmente



Fonte: O autor (2015).

Reduzir o número de atividades desempenhadas manualmente na agricultura tem sido das maiores ocupações da engenharia, devido a uma redução no número de trabalhadores rurais para a agricultura mundial, com isso a mecanização e atrelada aos processos de automatização tem sido bem sucedido em quase todos os campos e lavouras, porém, muitas práticas e operações trabalhosas ainda são realizadas manualmente. Com intuito de avançar a robótica na agricultura tem-se procurado inspiração na automação das operações industriais.

Apesar dos elevados investimentos na mecanização e automação para a agricultura, os mecanismos robóticos agrícolas apresentam limitações devido, principalmente, à dinâmica do ambiente o que resulta em uma baixa capacidade operacional de campo, ou operações que são lentas, ou economicamente relevante para o pequeno produtor.

A tecnologia aplicada a agricultura já é uma realidade para o setor campo e vem difundindo progressivamente o conhecimento de que existe uma variabilidade nas áreas de produção, que pode ser devido às variações do relevo, solos, vegetação e também do histórico de uso, essas variações interferem na produtividade e podem ser melhor tratadas com dispositivos inteligentes que realizam o mapeamento dessas áreas e as informa ao produtor.

O estado atual da tecnologia de automação tem levado a um crescente interesse no projeto e desenvolvimento de novas implementações do uso de robôs agrícolas que possibilitam o fornecimento de soluções adequadas aos desafios que a agricultura moderna enfrenta, o advento das máquinas de tamanho moderado autônomas aparece como uma forma potencial de promover a produção sustentável de alimentos. No entanto, existem obstáculos importantes à ampla expansão de robôs autônomos no campo com a confiabilidade, a manutenção, a complexidade do sistema e a relação custo benefício.

Para Mahadhir et al (2014), a meta de longo prazo de automação agrícola é desenvolver robôs com inteligência suficiente para facilitar as tarefas de trabalho intensivo, tais como colheita ou colheita seletiva necessitando da mínima intervenção humana para atingir este objetivo, os robôs agrícolas devem ser capazes de se adaptar em resposta as diversas condições de terreno. A razão é que a dinâmica do terreno pode comprometer o desempenho na realização de uma tarefa ou mesmo fazendo com que ele fique preso no campo.

Segundo Rad *et al* (2015), nas últimas duas décadas uma intensa mudança de sistemas mecatrônicos avançados estão ocorrendo, tal mudança desempenhará um papel importante para o setor da agricultura de precisão e é esperado que melhore a produtividade, a fim de alimentar o mundo e evitar a fome. Com intuito de acelerar a evolução dos sistemas

mecatrônicos no domínio da agricultura de precisão é necessário desenvolver um conjunto de componentes métodos, ferramentas, hardware e software com base em uma abordagem multidisciplinar, juntamente com a validação através de protótipos e ensaios.

Muitas das atividades agrícolas podem ser altamente melhoradas através de tecnologias digitais e dos sistemas mecatrônicos, uma dessas atividades é o controle preciso da quantidade de água aplicada nos campos cultivados, tal processo está diretamente interligado com as questões ambientais de sustentabilidade e a aumento produtividade das culturas, já que a irrigação deficitária ou excessiva pode não só ser desnecessária, mas também destrutiva a cultura.

Segundo Reina *et al* (2015), a tecnologia robótica tem sido cada vez mais utilizada na agricultura para desenvolver veículos inteligentes providos de percepção ambiental precisa e robusta, sendo esses um requisito essencial para tratar de questões relativas as constantes mudanças de ambiente, incluindo a interação segura com trabalhadores no campo e animais, a detecção de obstáculos em situações de tráfego controladas, orientação nas linha de cultura, topografia, e percepção da situação, em geral, para uma maior automatização de processos, dada a variedade de condições que podem ser encontradas no campo, não existe um único sensor que pode garantir resultados confiáveis em todos os cenários.

4.3 Número de folhas

Realizada a aquisição dos dados relativos ao número de folhas por planta, obteve-se os seguintes resultados de valor médio de 4,76 com um desvio padrão de 0,487 e coeficiente de variação de 10,27 para as plantas irrigadas pelo robô irrigador, tais dados estão disponíveis na Tabela 14 da estatística descritiva.

Tabela 14 - Estatísticas descritivas do número de folhas (Robô)

Número de folhas robô	
Número de Amostras	50
Média	4,760
Desvio Padrão	0,431
Variância	0,186
Coefficiente de Variação (%)	9,06
Máximo	5,00
Mínimo	4,00
Simetria	-1,26
Curtose	-0,44

Fonte: O autor (2015).

O valor de média do número de folhas das amostras, Tabela 15 de estatísticas descritivas, que foram irrigadas manualmente é 4,580 folhas por planta, apresenta um maior coeficiente de variação quando comparado com as irrigadas pela máquina e um maior desvio padrão.

Tabela 15 - Estatísticas descritivas do número de folhas (Manual)

Número de folhas manual	
Número de Amostras	50
Média	4,580
Desvio Padrão	0,537
Variância	0,539
Coefficiente de Variação (%)	11,75
Máximo	5,00
Mínimo	3,00
Simetria	-0,74
Curtose	-0,63

Fonte: O autor (2015).

Pela Tabela 16 da análise de variância, pode-se observar o valor P que seu valor é maior que o valor de significância adotada de 0,05 e concluir que não diferença no número de folhas das plantas irrigadas pelo robô e manualmente.

Tabela 16 - Análise de variância do diâmetro do caule

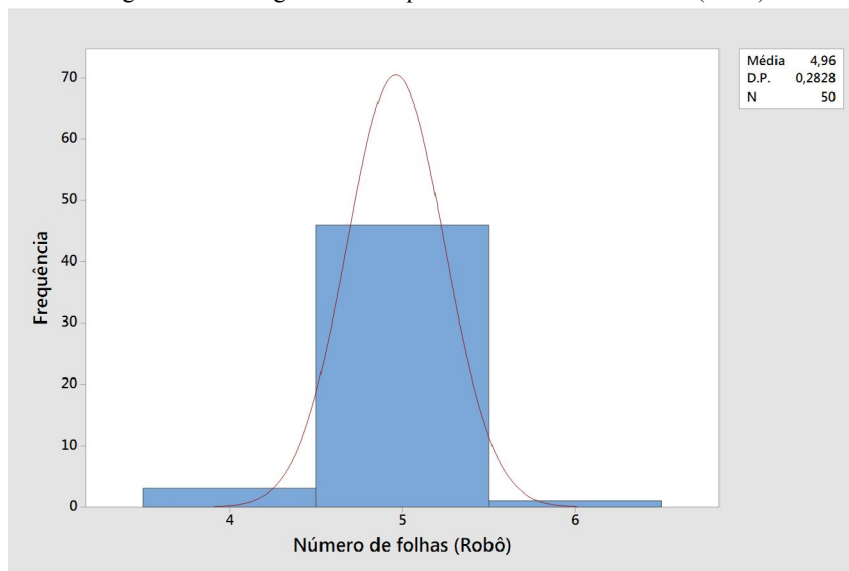
	GL	SQ	QM	F	P
Fator	1	0,810	0,810	3,41	0,068
Erro	98	23,30	0,237		
Total	99	24,11			

Fonte: O autor (2015).

Tais resultados são alcançados pela enorme capacidade que os mecanismos robóticos têm em desempenhar as mais diversas atividades, sejam elas industriais, domésticas ou até mesmo agrícolas, para Niku (2012) os robôs apresentam alguns diferenciais como trabalhar continuamente sem fadiga, possuem precisão repetível, não carecem de conforto ambiental para o desenvolvimento de suas atividades, podem processar diversas informações sensoriais de forma paralela e seu periféricos podem ser mais capacitados para certas tarefas.

Pelos histogramas de frequência do número de folhas, Figura 61 para plantas irrigadas pelo robô e Figura 62 para as irrigadas manualmente, é visível que em ambos os casos os valores coletados estão concentrados em 5 folhas por planta.

Figura 58 - Histograma de frequência do número de folhas (Robô)

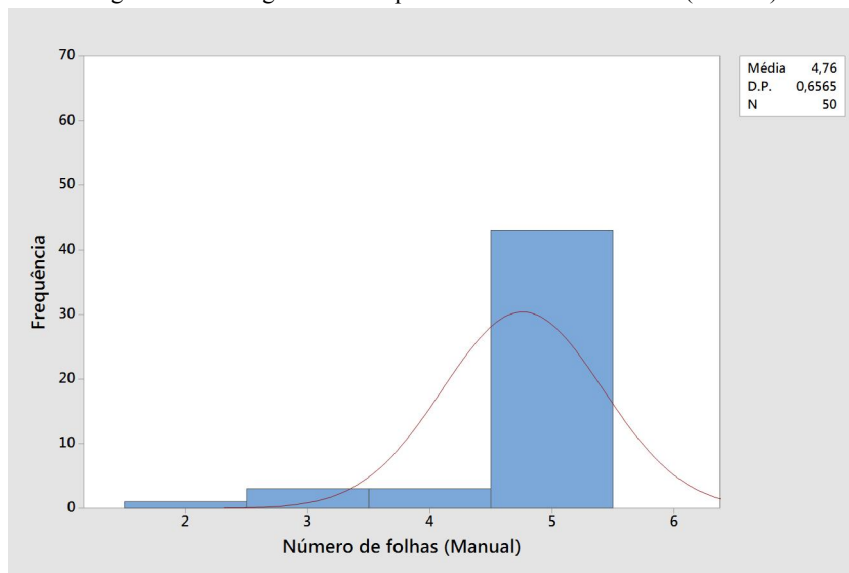


Fonte: O autor (2015).

É perceptível pelo histograma de frequência das amostras do robô, Figura 62, que os valores estão mais concentrados na região central da curva normal, o que implica dizer que nessas leituras houve uma menor variação em relação à média e esse fato se deve a precisão como a lamina de irrigação é aplicada a cada turno de rega, essa característica deverá influenciar diretamente no desenvolvimento agrônomo das plantas bem como na sua produtividade e na qualidade do produto final.

A agricultura moderna carece de meios cada vez mais aplicados e específicos com intuito de aumentar a produção e com mais qualidade dos produtos. Os novos transdutores e atuadores tornam mais eficientes e confiáveis.

Figura 59 - Histograma de frequência do número de folhas (Manual)



Fonte: O autor (2015).

Parizi (2007) constatou em seu estudo da influência de diferentes estratégias de irrigação no feijão que o mesmo apresentou a maior produção de grãos com um maior número de vagens por planta e massa seca total, quando o mesmo era submetido a uma estratégia de 80% da evapotranspiração de referência e que as outras estratégias obtiveram valores de produtividade inferiores, mostrando que o feijoeiro é sensível a variações de lâmina de irrigação, corroborando ainda Oliveira (2011), constatou em seu experimento que trata das respostas do feijão caupi as lâminas de irrigação que um volume deficitário promoveu uma redução na produtividade do feijão caupi.

Para Nikolidakis *et al* (2015), a irrigação é um dos principais consumidores de água onde quase 60 % de toda a água do mundo, tirada de rios, lagos, reservatórios e poços, é utilizada para a irrigação. Sem irrigação, a agricultura nunca teria se desenvolvido em regiões de baixa precipitação como nos desertos da Califórnia e Israel.

Uma das tendências atuais é a aplicação de sistemas de automação na área de engenharia de máquinas, implementos agrícolas e irrigação. Unido a essa evolução dos sistemas de tecnologia aplicada, surgem novos conceitos ou protótipos que procuram maximizar sua eficiência.

Segundo Vieira (2014), além dos riscos ergonômicos, os trabalhadores agrícolas estão sujeitos a: riscos físicos, causados por ruído, vibração e temperaturas extremas; riscos químicos, resultantes da utilização de agrotóxicos, combustíveis e materiais em suspensão no ar; biológicos, causados pela presença de animais peçonhentos, pela compostagem para adubação do solo e microrganismos em geral; riscos de acidentes, provocados por máquinas e ferramentas cortantes. Diante disso, é visível a importância de recursos tecnológicos para evitar, ou pelo menos diminuir, os efeitos que as atividades agrícolas possam causar a saúde do trabalhador rural e, adicionalmente, colaborar para a produtividade.

Das tecnologias que podem ser consideradas atuais na automação de máquinas e implementos agrícolas destacam-se a implementação de transdutores que permitam mensurar variáveis agrônomicas de campo por meio de percepção local ou remota, através de transmissão em fio, nos sistemas de aplicação de insumos em taxa variável e sistemas que realizam sensoriamento, processamento e atuação em tempo de execução. Tendo como ponto de encontro os dispositivos eletrotrônicos embarcados, aplicando processadores e microcontroladores com *softwares* específicos para as aplicações de processamento e aquisição dos dados de campo.

Para (TABILE; INAMASU; PORTO, 2012) os crescentes estudos de robótica e sistemas automáticos que atuam em aplicações agrícolas é um tópico de grande relevância nos estudos de Agricultura de Precisão. Por ter uma gama elevada de aplicações a discussão do processo de desenvolvimento e implantação deve compreender as necessidades gerais setor não se resumindo a problemas específicos.

4.4 Custos de implantação.

Na Tabela 17 tem-se os valores, em Reais, dos materiais e ferramentas adquiridos para a construção do protótipo do robô irrigador, totalizando um valor de R\$ 1945,00 para a construção do piloto, esses valores podem ser reduzidos quando ocorrer uma produção em série do robô multifuncional.

É importante ressaltar que todos os materiais aplicados são de baixo custo e fácil aquisição no mercado, tais fatores são importantes no processo de produção em escala e custo final do produto, haja vista deverão ser adquiridos por agricultores com baixo capital para investir em mecanização agrícola.

Tabela 17 – Custo de materiais e ferramentas para utilizados na construção do protótipo

	Valor (R\$)
Conjunto de motores	450,00
Sensores	240,00
Estrutura metálica	250,00
Controladores	100,00
Bombas	35,00
Drive de acionamento	120,00
Cabos	50,00
Componentes eletrônicos diversos	300,00
Fontes de alimentação	210,00
Tubulações	10,00
Acoplamento Pinhão –	
Cremalheira	180,00
Total	R\$ 1945,00

Fonte: O autor (2015).

Na Tabela 18 tem-se os valores encontrados para a instalação de um sistema de irrigação por gotejamento em casa de vegetação, é possível observar que o custo de instalação quando comparado com o do robô multifuncional, Tabela 17, é menor, porém deve ser levada em conta a multifuncionalidade do robô, ou seja, ainda que mais caro, o robô pode

desempenhar outras atividades além da irrigação, justificando assim o seu maior custo de produção.

Tabela 18 Custo dos materiais e ferramentas para a instalação de um sistema de irrigação por gotejamento

	Valor (R\$)
Tubo irrigação DN32	41,60
Conjunto Motor Bomba ½ C.V. 220 V 122 W	352,23
Material hidráulico diverso	246,34
Kit tubo de Venturi	72,83
Gotejador regulável	35,86
Material elétrico	60,27
Mangueira trançada	63,49
Micro tubo	14,19
Ferramentas diversas	91,95
Filtro de disco	60,69
Total	R\$ 1039,45

Fonte: O autor (2015).

4.5 Racionalização do recurso

Segundo a Agência Nacional de Águas (2015), desde 2012, é notável uma forte e progressiva redução nos índices de precipitação em diversas regiões do país e como consequência tem-se uma redução expressiva da disponibilidade do recurso para o abastecimento público, em especial no semiárido brasileiro, existem ainda diversos setores que são dependentes da capacidade de armazenamento do recurso para que possam se manter operacionais, agricultura irrigada é um exemplo desses setores que sofre pela redução nas precipitações e pela redução dos níveis dos reservatórios.

Hoje é crescente a demanda não só pela quantidade do recurso hídrico, mas também pelos parâmetros qualitativos da água, que é utilizada tanto para o consumo humano como para outros setores.

Nesse sentido verifica-se que a aplicação do robô como dispositivo responsável pela irrigação tem-se a racionalização do recurso hídrico, tão essencial e escasso no semiárido

brasileiro, já que o mesmo possui um mecanismo de controle de lâmina onde é definido o volume que deve ser aplicado individualmente e possui retenção da água para que seja liberada apenas no momento de irrigação.

5 CONCLUSÃO

A robótica quando aplicada a agricultura apresenta-se como uma opção na complementação ou substituição da mão de obra para o manejo agrícola, pois necessita da mínima intervenção do operador para entrar em operação.

No estudo realizado constatou-se que não houve diferença estatística entre médias para a irrigação manual e robótica no desenvolvimento das variáveis agrônomicas de altura de caule, diâmetro de caule e número de folhas. A irrigação robotizada promoveu um menor coeficiente de variação e um menor desvio padrão nas amostras coletadas.

No setor industrial se faz necessário a implantação de sistemas robóticos para sua que se mantenham no mercado, de forma a conquistar uma maior produtividade e elevar o s parâmetros qualitativos de seus produtos, oferecendo ao mercado consumidor com o menor custo possível, porém a substituição da mão de obra humana por robótica promove um redução significativa no postos de trabalho oferecidos pelo setor industrial, como o setor agrícola sofre por falta de mão de obra, a robótica vem como um benefício, pois possibilita a substituição da mão de obra humana.

Outro ponto impactante proporcionado pela automatização do manejo agrícola é redução das atividades laborais intensas, repetitivas e desgastantes, as quais o agricultor familiar está submetido em seu dia a dia, impactando socialmente de forma positiva pois supre a carência por mão de obra e retira o trabalhador rural de tarefas que degradam sua saúde física.

No processo de implantação de sistemas de tecnologia robótica se faz necessário a promoção de capacitações, para os agricultores, acerca do funcionamento, manutenção periódica, detecção de falhas e operação segura do equipamento e de seus componentes elétricos afim de evitar acidentes, decorrentes da falta de conhecimento técnico das tecnologias empregadas no protótipo e eliminando assim a necessidade de mão de obra especializada para operação e manutenção.

Os materiais utilizados na construção do robô multifuncional podem ser adquiridos facilmente no mercado nacional o viabiliza a aquisição de peças de reposição, quanto a resistência a temperatura dos componentes eletrônicos aplicados, pode-se considerar que estão operando dentro da faixa de operação aceitável, pois com base em dados dos fabricantes eles suportam temperaturas na ordem de 150 °C.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

A seguir são enumeradas as sugestões para trabalhos futuros e melhorias do protótipo do robô desenvolvido:

- a) Substituição dos sensores de posição por dispositivos mais precisos, para obter uma maior precisão e repetibilidade;
- b) Aplicar um sistema de processamento de imagens para obter mais dados relativos a cultura e assim detectar carências nutricionais ou pragas na plantação;
- c) Aplicar uma rede de comunicação entre os dispositivos mais robusta;
- d) Desenvolver um medidor de nível mais preciso e que possa alterar o valor da lâmina de irrigação automaticamente;
- e) Integrar um sistema de controle horário utilizando um *Real Time Control* para o agendamento das tarefas a serem executadas sem a necessidade de intervenção humana;
- f) Tornar o robô controlado remotamente sem a necessidade de operador local;
- g) Tornar *online* os dados da estação meteorológica para que o robô possa obter a qualquer momento os dados meteorológicos da região.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, Eliseu; MANTOVANI, Evandro Chartuni; DE OLIVEIRA, Antônio Jorge. Benefícios da mecanização na agricultura. **Revista de Agronegócios da FGV**, p. 38-40, 2005. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/974467/1/Beneficiosdamecanizacaonaagricultura.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2014.

ALVES, Eliseu. Migração rural-urbana, agricultura familiar e novas tecnologias. **Embrapa Informação Tecnológica**, 2006. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42057/1/LV-Migracaorural-urbana.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2014.

ANA – Agência Nacional de Águas, **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil informe 2014**, 2015. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf>>. Acesso: em 25 dez. 2015

ANDRADE, C. de LT. Seleção do sistema de irrigação. **Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, 2001. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/milho/circular_14-selecao_do_sistema_de_irrigacao.pdf>. Acesso em: 20 maio 2014.

BELFORTE, Gustavo et al. Robot design and testing for greenhouse applications. **Biosystems Engineering**, v. 95, n. 3, p. 309-321, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511006002376>>. Acesso em: 20 maio 2014.

BODUR, Mehmet; KIANI, Ehsan; HACIŞEVKI, Hasan. Double look-ahead reference point control for autonomous agricultural vehicles. **Biosystems Engineering**, v. 113, n. 2, p. 173-186, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511012001298>>. Acesso em: 11 abr. 2014.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Novo retrato da agricultura familiar: o Brasil redescoberto**. Brasília: INCRA, 2000.

BÜRKERT, Fluid Control Systems. Flow sensor for continuous low-flow measurement and batch control. 2014, Disponível em: <http://www.burkert.com.br/products_data/datasheets/DS8031-Lowflow-EU-EN.pdf>. Acesso em: 08 maio 2014.

CAMPOLIN, A. I. **Abordagens qualitativas na pesquisa em agricultura familiar**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005.

CIÊNCIA como instrumento de inclusão social. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília, 2009, 386 p. Disponível em: <http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00083270.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2014.

COELHO, Eugênio Ferreira; OLIVEIRA, AS de; BORGES, A. L. Aspectos básicos da fertirrigação. **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p. 9-14, 2002. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/915578/1/IRRIGACAOeFERTIRRIGACAOcap6.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2014.

DONG, Fuhong et al. Time-optimal guidance control for an agricultural robot with orientation constraints. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 99, p. 124-131, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169913002263>>. Acesso em: 20 maio 2014.

DE-AN, Zhao et al. Design and control of an apple harvesting robot. **Biosystems engineering**, v. 110, n. 2, p. 112-122, 2011. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511011001206>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

ETENE - Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. **Informe rural ETENE: Agricultura familiar no nordeste 2010**. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/clientes/planilhas_formularios/docs/etene-ano4_5.pdf>. Acesso em: 12 maio 2014.

FREESCALE, Semiconductor. **Embedded Processing Solutions**, Kinetis L Series: Low Power Microcontrollers (MCUs) based on ARM® Cortex®-M0+ Cores. 2014. Disponível em: <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/taxonomy.jsp?code=KINETIS_L_SERIES&cof=0&am=0>. Acesso em: 10 mar. 2014.

GUANZIROLI, Carlos Enrique; BUAINAIN, Antonio Marcio; DI SABBATO, Alberto. Dez anos de evolução da agricultura familiar no Brasil:(1996 e 2006). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 2, p. 351-370, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/resr/v50n2/v50n2a09.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2014.

HIREMATH, Santosh et al. Image-based particle filtering for navigation in a semi-structured agricultural environment. **Biosystems Engineering**, v. 121, p. 85-95, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511014000312>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Censo Agropecuário 2006: Agricultura Familiar, Primeiros Resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 266 f.

JEON, Hong Y.; TIAN, Lei F. Direct application end effector for a precise weed control robot. **Biosystems engineering**, v. 104, n. 4, p. 458-464, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511011001206#>>. Acesso em: 20 maio 2014.

KENNY, T. Sensor fundamentals. **Sensor Technology Handbook**, Newnes, 2004.

KIM, Young-Duk et al. On the design of beacon based wireless sensor network for agricultural emergency monitoring systems. **Computer Standards & Interfaces**, v. 36, n. 2,

- p. 288-299, 2014. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920548911000663>>. Acesso em: 25 maio 2014.
- LIMA, Franciene. Revista Globo Rural, **Água na dose certa, 2013**. Disponível em:
<<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI332287-18283,00-AGUA+NA+DOSE+CERTA.html>>. Acesso em: 20 maio 2014.
- METALTEX, **Catalogo de produtos**. Chaves fim de curso, 2014. Disponível em:
<<http://www.metaltex.com.br/produto/fm7/fm7-chaves-fim-de-curso>>. Acesso em: 15 maio 2014.
- MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Agricultura familiar no Brasil e o censo agropecuário 2006**, Brasília, 2009. Disponível em
<<http://www.mst.org.br/sites/default/files/cartilha%20ibge%20agricultura%20familiar.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2014.
- NASA, **Mars Pathfinder Rover Sojourner**. Disponível em: <<http://er.jsc.nasa.gov/seh/marsrove.html>>. Acesso em: 10 abr. 2013.
- NETO, Hugo Vieira. **Apostila de Microcontroladores MSC51**. Centro Federal de educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR), Curitiba, 2002.
- NIKOLIDAKIS, Stefanos A. et al. Energy efficient automated control of irrigation in agriculture by using wireless sensor networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 113, p. 154-163, 2015. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169915000460>>. Acesso em: 01 abr. 2014.
- NOGUEIRA, Antônio Carlos Lima. Mecanização na agricultura brasileira: uma visão prospectiva. **Caderno de Pesquisas em Administração, São Paulo**, v. 8, n. 4, p. 78-87, 2001.
- OLIVEIRA, F. das C.; SOUSA, V. F. de; OLIVEIRA JÚNIOR, J. O. L. de. (Ed.). Estratégias de desenvolvimento rural e alternativas tecnológicas para a agricultura familiar na Região Meio-Norte. Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, 2008. 376 p. Disponível em:
<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84471/1/estrategias.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2014.
- OLIVEIRA, Gabriela Almeida et al. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.
- OLIVEIRA, M.G.C.; PEREIRA, R.M. **Importância da mecanização na agricultura familiar brasileira**. Embrapa, 2010.
- OLIVEIRA, J. U. C. Estatística: uma nova abordagem. Rio de Janeiro: Ciência, 2010.
- PARIZI, A. R. C. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (Phaseolus vulgaris L.) e milho (Zea mays L.) na região de Santiago, RS. 2007. 124 f.**

2007. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. Disponível em:
<http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/11/TDE-2007-05-03T113138Z-546/Publico/An a % 20Rita%20Parizi.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2014.

PEREIRA, Fábio. **PIC, Programação em C**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 360p. 2003.

RAD, Ciprian-Radu et al. Smart Monitoring of Potato Crop: A Cyber-Physical System Architecture Model in the Field of Precision Agriculture. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 6, p. 73-79, 2015. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210784315001746>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

REINA, Giulio et al. Ambient awareness for agricultural robotic vehicles. **Biosystems Engineering**, 2016. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511015001889>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

ROBOTICS, A. B. B. IRB5400 documentation. **ABB Robotics**, 2014. Disponível em:
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/51f6a33caf45781b482576ba0045aeb6/\\$file/irb%205400%20slim%20datasheet.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/51f6a33caf45781b482576ba0045aeb6/$file/irb%205400%20slim%20datasheet.pdf)>. Acesso em: 24 maio 2014.

ROSÁRIO, João Maurício. **Princípios de mecatrônica**. Pearson Prentice Hall, 2005.

RUSSEL, Stuart; NORVING, Peter. **Inteligência Artificial**. 2 ed. Ed. Campus, 2004.

SIEGWART, Roland; NOURBAKHSI, Illah R. **Introduction to Autonomous Mobile Robots**. Massachusetts Institute of Technology, 2004.

SOUSA, Ivan Sergio Freire de(Ed.). **Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária**. Embrapa Informação Tecnológica, 2006. Disponível em:
<http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00079170.pdf>. Acesso em: 16 maio 2014.

SOUSA, VF de et al. Manejo de fertirrigação em fruteiras. **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, v. 2, p. 289-317, 2001. Disponível em:
<<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/915625/1/IRRIGACAOeFERTIRRIGACAOcap10.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2014.

STARCEVIC, Nikica et al. **Development of a robot for biomass handling in a solar greenhouse dryer**. 2007. Disponível em:
<<http://ecommons.library.cornell.edu/handle/1813/10716>>. Acesso em: 02 maio 2014.

TABILE, Rubens André; INAMASU, Ricardo Y.; PORTO, Arthur José Vieira. 12 Robótica na agricultura de precisão. Disponível em:
<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/914939/1/Proci11.00256.PDF>>. Acesso em: 02 maio 2014.

TANIGAKI, Kanae et al. Cherry-harvesting robot. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 63, n. 1, p. 65-72, 2008. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169908000458>>. Acesso em: 11 maio 2014.

TESTEZLAF Roberto. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas 2011.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, PUB. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Érica, 2009.

TRANI, P. E.; CARRIJO, O. A. Fertirrigação em hortaliças. Campinas: Instituto Agrônômico, 58 p. 2004. **Boletim Técnico IAC**, v. 196.

TUCCI, Carlos EM. Desenvolvimento dos recursos hídricos no Brasil. **Global Water Partenership**, 2004. Disponível em:
<<http://www.cepal.org/DRNI/proyectos/samtac/InBr00404.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2014.

XUE, Jinlin; ZHANG, Lei; GRIFT, Tony E. Variable field-of-view machine vision based row guidance of an agricultural robot. **Computers and Electronics in agriculture**, v.84, p.85-91, 2012. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816991200049X>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

YANG, Liangliang; NOGUCHI, Noboru. Human detection for a robot tractor using omnidirectional stereo vision. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 89, p. 116-125, 2012. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169912002256>>. Acesso em: 25 maio 2014.

ZION, B. et al. Harvest-order planning for a multiarm robotic harvester. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 103, p. 75-81, 2014. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169914000556>>. Acesso em: 23 maio 2014.

WANDERLEY, Maria de Nazareth Baudel. Raízes históricas do campesinato brasileiro. **Agricultura familiar: realidades e perspectivas**, v. 3, p. 21-55, 1996. Disponível em:
<[www.ufrpe.br/download.php?...raizeshistoricascampesinato%20\(2\).pdf](http://www.ufrpe.br/download.php?...raizeshistoricascampesinato%20(2).pdf)>. Acesso em: 11 maio 2014.

WILSON, Jon S. **Sensor technology handbook**. Elsevier, 2004.