

CARLOS ALBERTO VILIOTTI

Desenvolvimento de um sistema eletrônico para detecção da presença de plantas daninhas e controle da aplicação de herbicidas

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de "*Doctor Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2002

CARLOS ALBERTO VILIOTTI

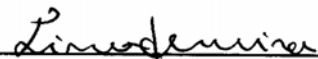
Desenvolvimento de um sistema eletrônico para detecção da presença de plantas daninhas e controle da aplicação de herbicidas

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de "*Doctor Scientiae*".

APROVADA: 23 de março de 2002.



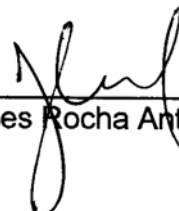
Prof. Evandro Ferreira Passos
(Conselheiro)



Prof. Lino Roberto Ferreira
(Conselheiro)



Prof. Gutemberg Pereira Dias



Prof. Ulisses Rocha Antuniassi



Prof. Luciano Baião Vieira
(Orientador)

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

V716d
2002

UFV,

Viliotti, Carlos Alberto, 1968-

Desenvolvimento de um sistema eletrônico para detecção da presença de plantas daninhas e controle da aplicação de herbicidas / Carlos Alberto Viliotti. – Viçosa : 2002.

52p. : il.

Orientador: Luciano Baião Vieira

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Agricultura de precisão. 2. Resistor dependente de luz. 3. Herbicidas - Aplicação. 4. Erva daninha - Detecção por radiação global refletida. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 631.3

CDD 20.ed. 631.3

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade e pelos ensinamentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro.

Ao Professor Luciano Baião Vieira, pela segura orientação, pelos conhecimentos transmitidos e pela amizade.

Aos Professores Gutemberg Pereira Dias, Evandro Ferreira Passos, Lino Roberto Ferreira, pelo apoio e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola.

Aos funcionários Gino e Luís do Departamento de Fitotecnia da UFV, pela colaboração, amizade e apoio.

Em especial, aos amigos Denilson e Gilton, pela colaboração nos testes de campo, e a todos aqueles que contribuíram de alguma forma na realização deste trabalho.

INDICE

LISTA DE FIGURA.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	05
2.1. Radiação eletromagnética.....	06
2.2. Sensores ópticos.....	08
2.3 Sensores ópticos (resistor dependente de luz – LDR).....	08
2.4 – Microcontrolador.....	10
2.4.1 Conversor analógico – digital	11
2.4.2. Linguagem assembly.....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1. Coleta de dados estática.....	13
3.2 Funcionamento do circuito eletrônico.....	14
3.2.1 Microcontrolador PIC 16F871	15
3.2.2 Programa computacional	15
3.3. Adaptação do pulverizador de tração humana para testes de campo .	16
3.3.1 Válvula solenóide.....	17
3.4. Metodologia para realização dos testes de campo	17
3.5.Critérios técnicos para avaliação dos sensores	19
3.5.1 Resolução do sistema	19
3.5.2 Tempo de resposta do sistema	20
3.6. Testes realizados em laboratório	21
3.6.1 Temperatura.....	21
3.6.2 Umidade relativa.....	21
3.6.3 Poeira	21
3.7. Análise dos resultados	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 Coleta de dados estática.....	23
4.1.1 Superfície recoberta com plantas daninhas dicotiledôneas	25
4.1.2 Superfície recoberta com plantas daninhas monocotiledôneas.....	26
4.1.3 Superfície recoberta com palha	27
4.1.4 Superfície sem cobertura	28

4.2 Resolução da área de visão do sensor	31
4.3 Teste de Campo.....	31
4.3.1 Teste de Campo	31
4.3.2 Tempo de resposta	32
4.4 Programação do microcontrolador	33
4.4.1 Circuito eletrônico	41
4.4.2 Válvula	42
4.5 Teste de laboratório	43
4.5.1 Temperatura	44
4.5.2 Umidade relativa	44
4.5.3. Poeira	44
5 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
5.1 Conclusões	45
5.2 – Considerações finais.....	45
6 – LITERATURA CITADA.....	46
7 – APÊNDICES.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos básicos de distribuição espacial de populações	01
Figura 2 – Faixas do espectro da radiação eletromagnética, com indicação dos comprimentos de onda fora de escala.....	07
Figura 3 – Curva de reflectância espectral do solo, vegetação e água	07
Figura 4 – Resistor dependente de luz (LDR) com seu símbolo de identificação mais comumente encontrado em esquemas e diagramas	09
Figura 5 - Tempo de resposta da transição de um LDR.....	10
Figura 6 – Exemplo de circuito conversor analógico – digital em que o resultado é apresentado na forma digital, por meio de indicadores luminosos (Leds).....	12
Figura 7 – Suporte para fixação do LDR	13
Figura 8 – Vista frontal da barra na coleta de dados estática.....	14
Figura 9 – Circuito divisor de tensão	15
Figura 10 – Adaptação do pulverizador de tração humana	16
Figura 11 – Válvula solenóide (fora de escala).....	17
Figura 12 – Esquema da área para os testes de campo	18
Figura 13 – Pulverizador de tração humana na área de teste	19
Figura 14 – Esquema do pulverizador de tração humana para determinação da resolução do sistema	20
Figura 15 – Curva de transmitância do acrílico verde	22
Figura 16 – Curva de transmitância do acrílico transparente	22
Figura 17 – Sensibilidade espectral do LDR de Cds	23
Figura 18 – Radiação global incidente em função da resistência do sensor de luz incidente	24
Figura 19 – Radiação global incidente medida, em função da radiação global calculada.....	25
Figura 20 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para plantas daninhas dicotiledôneas.....	26
Figura 21 - Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para grama-seda	27
Figura 22 - Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para palhada de trigo.....	28
Figura 23 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para o solo sem cobertura	29

Figura 24 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para o filtro transparente.....	30
Figura 25 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para o filtro verde.....	30
Figura 26 – Área com vegetação dentro do campo de visão do sensor em função do grau correspondente de infestação, mostrando o limite mínimo de operação dos dois filtros	31
Figura 27 - Cálculo da flecha para a área de resolução mínima de 22%	32
Figura 28 - Número binário em função da resistência	33
Figura 29 - Número binário em função da tensão	34
Figura 30 - Número binário em função da resistência para intervalo de valores de 100 Ω a 1.200 Ω	34
Figura 31 - Número binário em função da resistência para intervalo de valores de 2.200 Ω a 22.000 Ω	35
Figura 32 - Número binário em função da resistência para intervalo de valores de 22.000 Ω a 56.000 Ω	35
Figura 33 - Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para palhada correspondente ao intervalo de 2.200 Ω a 22.000 Ω para o filtro verde	36
Figura 34 - Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para palhada correspondente ao intervalo de 22.000 Ω a 56.000 Ω para o filtro verde	36
Figura 35 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para palhada correspondente ao intervalo de 2.200 Ω a 22.000 Ω para o filtro transparente	37
Figura 36 - Fluxograma para programação do microcontrolador com o filtro transparente	38
Figura 37 – Fluxograma para programação do microcontrolador com o filtro verde	39
Figura 38 – Circuito eletrônico para detecção de plantas daninhas e o controle da aplicação de herbicidas	41
Figura 39 – Circuito conversor de corrente contínua para alternada	43

RESUMO

VILIOTTI, Carlos Alberto, D.S., Universidade Federal de Viçosa, março 2002.

Desenvolvimento de um sistema eletrônico para detecção da presença de plantas daninhas e controle da aplicação de herbicidas. Orientador: Luciano Baião Vieira. Conselheiros: Evandro Ferreira Passos e Lino Roberto Ferreira.

Os objetivos deste trabalho foram: coletar dados referentes à radiação global refletida para dois diferentes tipos de superfícies, isto é com vegetação (plantas daninhas dicotiledôneas e monocotiledôneas) e sem vegetação (palhada de trigo e solo), utilizando dois tipos de filtro (verde e transparente), desenvolver um programa computacional em linguagem assembly para o sistema eletrônico de baixo custo, que detecta a presença de plantas daninhas e controle da vazão do herbicida, bem como determinar o tempo de resposta do sistema, a resolução da área de visão do sensor e testá-lo em condições ambientais simuladas (temperatura, umidade relativa e poeira) e em campo. Na medida da resistência elétrica na coleta de dados estáticos a radiação global incidente (X) tem correlação com a radiação global refletida (Y), para as superfícies recobertas com plantas daninhas dicotiledôneas, em que $Y = 63,72X - 8.711,83$ ($r^2 = 0,97$) para o filtro verde e $Y = 25,10X - 3.056,55$ ($r^2 = 0,97$) para o filtro transparente e, para a grama – seda, $Y = 71,00X - 9.636,74$ ($r^2 = 0,98$) para o filtro verde e $Y = 25,84X - 2.852,53$ ($r^2 = 0,99$) para o filtro transparente, enquanto para a palhada de trigo $Y = 45,64X - 5.985,84$ ($r^2 = 0,98$) para o filtro verde e $Y = 12,58X - 1.243,26$ ($r^2 = 0,99$) para o filtro transparente e, para o solo, $Y = 37,77X - 5.259,39$ ($r^2 = 0,97$) para o filtro verde e $Y = 9,87X - 1.002,79$ ($r^2 = 0,98$) para o filtro transparente. Foram desenvolvidos dois programas computacionais, sendo um para o filtro verde e o outro para o transparente, utilizando-se, como referência, a equação da palhada pelo fato de refletir mais luz que as folhas e menos que o solo. A resolução da área de visão do sensor foi 23% para o filtro transparente e 73% para o filtro verde, devido à não otimização das equações para este filtro. O tempo de resposta foi determinado, somente, para o filtro transparente sendo de 0,08 segundos porque este filtro apresentou menor área de sensibilidade. Os testes feitos em condições simuladas não apresentaram nenhuma anomalia quanto ao funcionamento do protótipo, enquanto os testes de campo mostraram uma eficácia de 100% no controle das plantas daninhas.

ABSTRACT

VILIOTTI, Carlos Alberto, D.S., Universidade Federal de Viçosa, march 2002.

Development of an electronic system for detection of the presence of harmful plants and control of the application of herbicides. Adviser: Luciano Baião Vieira. Committee Members: Evandro Ferreira Passos and Lino Roberto Ferreira.

The objectives of this work were: to collect referring data to the global radiation contemplated for two different types of surfaces, that is with vegetation (plants harmful dicotyledon and monocotyledon) and without vegetation (wheat straw and soil), using two filter types (green and transparent), to develop a program computation in language assembly for the electronic system of low cost, that detects the presence of harmful plants and control of the flow of the herbicides, as well as to determine the time of answer of the system, the resolution of the area of vision of the sensor and to test it in simulate environmental conditions (temperature, relative humidity and dust) and in field. In the measure of the electric resistance in the collection of static data the incident global radiation (X) he/she has correlation with the reflected global radiation (Y), for the surfaces covered with plants harmful dicotyledon, in that $Y = 63,72X - 8.711,83$ ($r^2 = 0,97$) for the green filter and $Y = 25,10X - 3.056,55$ ($r^2 = 0,97$) for the transparent filter and, for the gram - silk, $Y = 71,00X - 9.636,74$ ($r^2 = 0,98$) for the green filter and $Y = 25,84X - 2.852,53$ ($r^2 = 0,99$) for the transparent filter, while for the wheat straw $Y = 45,64X - 5.985,84$ ($r^2 = 0,98$) for the green filter and $Y = 12,58X - 1.243,26$ ($r^2 = 0,99$) for the transparent filter and, for the soil, $Y = 37,77X - 5.259,39$ ($r^2 = 0,97$) for the green filter and $Y = 9,87X - 1.002,79$ ($r^2 = 0,98$) for the transparent filter. Two programs computation was developed, being one for the green filter and the another for the transparent, being used, as reference, the equation of the straw for the fact of reflecting more light than the leaves and less than the soil. The resolution of the area of vision of the sensor was 23% for the transparent filter and 73% for the green filter, due to the non optimization of the equations for this filter. The time of answer was determined, only, for the transparent filter being of 0,08 seconds because this filter presented smaller sensibility area. The tests done in simulate conditions didn't present any anomaly with relationship to the operation of the prototype, while the field tests showed an effectiveness of 100% in the control of the harmful plants.

1- INTRODUÇÃO

Segundo o SINDAG (2002), no Brasil, no ano de 2000, cerca de 52% da comercialização dos defensivos agrícolas para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas referem-se a gastos com herbicidas, totalizando um custo de U\$\$ 1,30 bilhões. Em termos médios, cerca de 20-30% do custo de produção refere-se ao controle de plantas daninhas. Em algumas culturas, como a soja e cana-de-açúcar, este percentual é ainda maior. (SILVA et al., 1999).

O solo agrícola é um banco de sementes de plantas daninhas, contendo entre 2.000 e 50.000 sementes/ m²/ 10 cm de profundidade. Do total dessas sementes, em um dado período, apenas 2 a 5% germinam; as demais permanecem dormentes (SILVA et al., 1999). O levantamento florístico de uma comunidade infestante da cultura do milho, na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP, campus de Jaboticabal, no ano de 1979, mostrou que a distribuição espacial, localização geográfica dos indivíduos de uma população ocupada pela comunidade, pode ser uniforme, casualizada e agregada (Figura 1), sendo que a maioria das populações na natureza apresenta a distribuição espacial agregada (PITELLI, 2000).

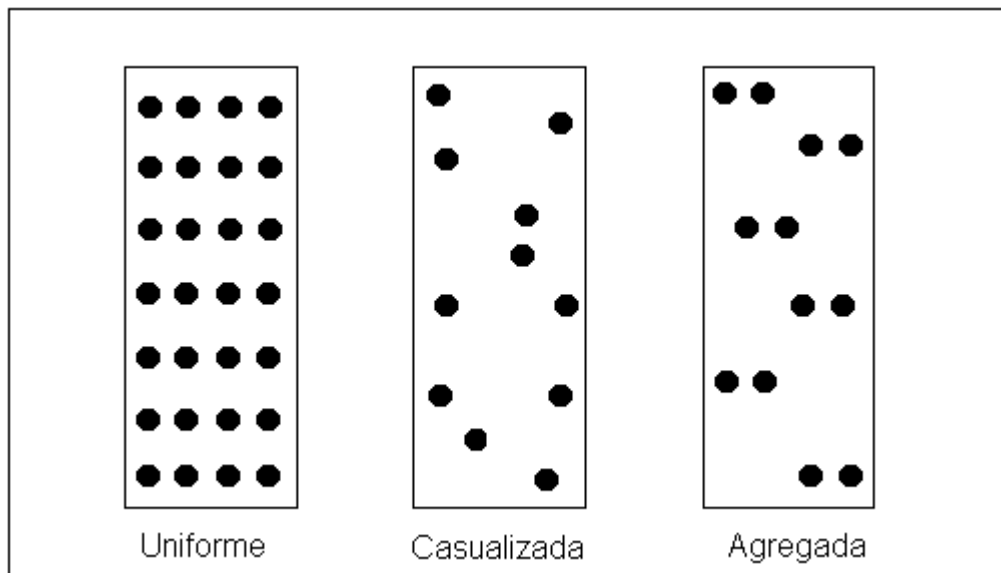


Figura 1 – Tipos básicos de distribuição espacial de populações.

Além de prejuízos ao meio ambiente, em razão de seu controle por métodos químicos, as plantas daninhas podem provocar prejuízos diretos, como:

- reduzir a qualidade do produto comercial;
- são responsáveis pela não certificação das sementes de culturas, quando colhidas juntamente com sementes de determinadas espécies de plantas daninhas;
- intoxicar animais domésticos, quando presentes em pastagens; e
- algumas espécies exercem o parasitismo em citros, milho e plantas ornamentais.

Podem, ainda, causar prejuízos indiretos, tais como:

- algumas plantas daninhas podem ser hospedeiras de pragas e doenças;
- impedir a realização de certas práticas culturais e a colheita mecanizada, ou manual; e
- reduzir o valor da propriedade agrícola (SILVA et al., 1999).

As perdas na produção agrícola em decorrência da infestação por tiririca, por exemplo podem chegar a 50% para cenoura, 53% para alface e 81% para feijão (Morales-Payan et al., 1996); e 79%, 89% e 69% para milho, alho e quiabo, respectivamente, Durigan (1991) citados por JAKELAITIS (2001).

O método químico de controle de plantas daninhas tem sido preferido pelos produtores. A mobilidade de um defensivo no solo, especialmente dos herbicidas aplicados diretamente neste, é dependente de uma série de fatores ligados ao solo, ao ambiente e a características do próprio produto químico aplicado. O ambiente provoca a movimentação do herbicida no solo, através da evaporação produzida em função da temperatura e, principalmente, da quantidade de chuva, ou irrigação, após a aplicação do herbicida ao solo; áreas com deficiência de drenagem podem causar riscos de contaminação ambiental e, conseqüentemente, contaminação de águas subterrâneas (CRUCIANI et al., 1996).

As perdas de herbicidas no solo, em condições de pós-emergência e em área com lençol freático superficial, chegam a 75% após 30 dias de aplicação (BENGTSON et al., 1985). Outros trabalhos relatam o mesmo efeito em relação ao manejo dos pesticidas no solo, bem como a influência de boas condições de drenagem no solo como fator limitante dos danos ambientais (HELLING et al., 1988; JURY et al., 1986; RITTER et al., 1994).

A busca do aumento da produção, no campo, resultou na mecanização e na agricultura em grande escala. Como consequência, as grandes áreas de cultivo passaram a ser visualizadas como glebas homogêneas, levando à adoção do conceito de média para aplicação dos insumos como fertilizantes e defensivos. A mesma composição e, ou quantidade de herbicida passou a ser utilizada para toda a área, atendendo apenas às necessidades médias e não considerando, dessa forma, as necessidades específicas de cada parte do campo. O mesmo aconteceu para os demais insumos (CAPPELLI, 1999).

Com a finalidade de atender às exigências específicas de cada parcela da área, surgiu o conceito de agricultura de precisão, uma técnica em desenvolvimento que se baseia na coleta e análise de dados e na adaptação de máquinas e implementos a este novo sistema de cultivo. O principal objetivo é a aplicação dos insumos a uma taxa variável, de acordo com a necessidade de cada local, ao longo da área. São dois os métodos de aplicação:

- taxa variável de aplicação de insumos, ajustada com base nas informações contidas em um mapa eletrônico da propriedade, o qual contém a localização espacial de cada ponto, dentro da área, assim como a demanda de insumos de cada ponto; e

- taxa variável de aplicação de insumos, com base em informações de sensores, em tempo real. Utiliza dados de sensores, posicionados na máquina, que medem as variáveis de interesse (pH, teor de NPK, umidade do solo, presença de planta daninha, etc.) que permitem a determinação da taxa de aplicação do insumo. Não requer o uso de um sistema de posicionamento global (GPS); este, porém pode ser usado para correlacionar, no futuro, a quantidade de insumo aplicado e seu efeito na resposta de produtividade da cultura (JOHN DEERE, 1997).

Atualmente, no conceito de agricultura de precisão, existem dois métodos para aplicação localizada de defensivos. Um destes métodos consiste na detecção do alvo e o controle da aplicação são feitos em tempo real. São duas as possibilidades para detecção: utilização de sensores óticos, que identificam as diferenças na reflexão da luz pelas diversas superfícies encontradas nas áreas agrícolas, e a análise instantânea das imagens de uma câmera de vídeo.

O outro método consiste na coleta de informações, para elaboração de um mapa eletrônico georeferenciado dos alvos (mapa de tratamento ou aplicação). A

coleta de dados qualitativos ou quantitativos pode ser realizada pelo caminhar de um operador na área de aplicação ou realizada em conjunto com outra operação agrícola acoplados a um sistema de posicionamento global diferenciado (ANTUNIASSI e GADANHA JUNIOR, 2000).

Economias de 12 a 94% de herbicidas, em áreas agrícolas, já foram obtidas na Europa em lavouras de milho, 9 à 89% para o trigo e 19 à 75% para cevada (CHRISTENSEN et. al., 1999).

Em vista do exposto, os objetivos deste trabalho foram: coletar dados referentes à radiação global refletida, para dois tipos de superfícies diferentes isto é, com vegetação (plantas daninhas dicotiledôneas e monocotiledôneas) e sem vegetação (palhada de trigo e solo), utilizando dois tipos de filtro (verde e transparente); desenvolver um programa computacional em linguagem assembly para o sistema eletrônico de baixo custo, que detecta a presença de plantas daninhas e o controle da vazão do herbicida; e determinar o tempo de resposta do sistema, a resolução da área de visão do sensor, e testá-lo em condições ambientais simuladas (temperatura, umidade relativa e poeira) e em campo.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para diminuir a quantidade de herbicidas aplicados no solo, várias pesquisas estão sendo realizadas, utilizando a reflexão difusa da luz pelas plantas daninhas, em tempo real, para identificá-las no campo, usando câmeras de vídeo acopladas a computadores e software apropriado, como sensores ótico (CROWE e DELWICHE, 1996; TIAN, 1999).

Para detectar a presença de plantas daninhas no campo, por meio da medição da reflexão difusa pelas plantas da radiação na região visível do espectro e a região do infravermelho próximo, HOOPER et al. (1976) utilizaram, para o mesmo campo de visão e para cada rua da cultura, um sensor formado por dois pares de fotodiodos, dois filtros de luz para os comprimentos de onda de 600 a 700 nm e, para compensar os efeitos da luz solar, uma lâmpada halogênea. Quando a luz refletida incidia sobre os sensores, estes comandavam um circuito amplificador que registrava em um circuito contador uma intensidade associada ao número de plantas daninhas na rua da cultura; a eficiência do circuito foi de 99%.

Sem o artifício de uma luz artificial, e medindo a reflexão difusa, HAGGAR et al. (1983) utilizaram filtros para comprimentos de ondas de 650 nm a 750 nm e, como sensores, dois resistores dependente de luz (LDRs). Um circuito eletrônico comandava a abertura e o fechamento de válvulas solenóides, controlando a vazão dos herbicida sob ação dos LDRs. Os sensores não sofreram influência de dias nublados e sem nuvens e, aproximadamente, 90% das plantas daninhas foram controladas.

O reconhecimento de plantas daninhas baseado na forte reflexão da luz infravermelha, pelas plantas verdes, e na fraca reflexão pelo solo e pela matéria orgânica morta, foram estudados por Felton et al., citados por MANTOVANI et al. (1998). Um emissor de radiação infravermelha foi colocado na estrutura da máquina, e cada bico pulverizador era provido de um sensor que detectava a informação da existência, ou não, de planta daninha na rua da cultura. Solenóides controlados por uma unidade central de processamento (CPU) comandavam a abertura dos bicos, resultando numa redução de 90% da área pulverizada e em mais de 90% de plantas daninhas mortas. O mesmo dispositivo pode ser usado na detecção de plantas com deficiência de nutrientes, ou doentes, pois, estas refletem a luz de forma diferente das plantas saudáveis.

Os controladores de bicos pulverizadores, atualmente disponíveis no mercado, são importados e utilizam detetores de radiação infravermelha. Segundo informações obtidas de Máquinas Agrícolas Jacto S.A., que é a representante do “WeedSeeker” no Brasil, o preço aproximado é US\$ 2.000 por sensor (preço médio), incluindo controles e cabeamento, sendo que cada sensor aciona 1 bico.

No Brasil, as pesquisas sobre agricultura de precisão já se iniciaram. CANZIAN et al. (1998) desenvolveram um monitor de semeadora com GPS para pesquisa em agricultura de precisão. Balastreire et al., citados por SARAIVA e CUGNASCA (1998), desenvolveram um sistema baseado na medida de peso, podendo o mesmo processo ser utilizado para outros produtos como frutas, batata, algodão e cana-de-açúcar. PAZ et al. (1998) desenvolveram um programa de simulação de um receptor GPS, para testes de equipamentos usados em agricultura de precisão. Através do simulador, foram detectados e corrigidos os erros no computador de bordo, ainda na fase de testes de laboratório.

Para controle da vazão, em aplicação localizada de agrotóxicos, utilizando um pulverizador de barras, DIAS et al. (1998) desenvolveram um sistema em que o controle da vazão é feito por meio de válvulas solenóides e o comando, via computador portátil, com hardware e software desenvolvidos para tal fim. Concluiu-se que, nas condições em que o experimento foi conduzido, o sistema desenvolvido oferece controle de vazão adequado à aplicação de herbicida.

2.1 - Radiação eletromagnética

A radiação eletromagnética é uma forma de energia em movimento, que se propaga pelo espaço, sendo caracterizada por diversas grandezas físicas (intensidade, comprimento de onda, frequência etc.). Como a faixa de comprimentos de onda ou frequência, em que se pode encontrar a radiação eletromagnética, é bastante larga, o espectro eletromagnético é subdividido em faixas, representando regiões que possuem características similares em termos de processos físicos e químicos. As principais faixas do espectro eletromagnético são apresentadas na Figura 2.

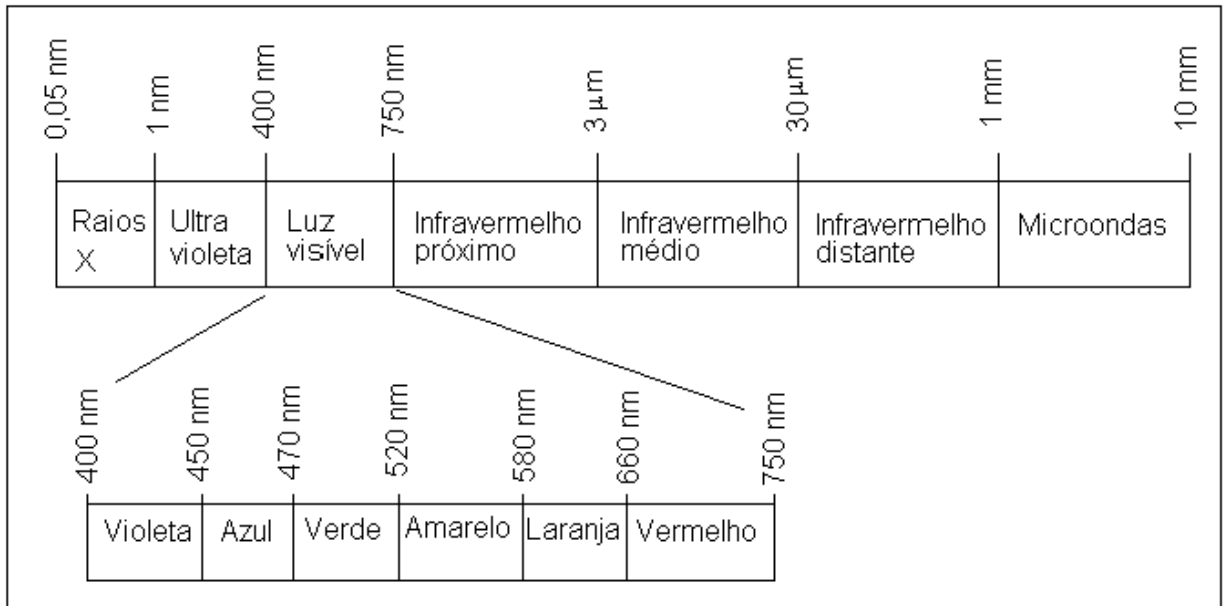


Figura 2 – Faixas do espectro da radiação eletromagnética, com indicação dos comprimentos de onda fora de escala.

Todo corpo que absorve radiação eletromagnética ganha energia e o comportamento espectral das diversas superfícies depende da intensidade com que o corpo absorve, reflete e reemite essa energia. A Figura 3 apresenta as curvas de reflectância espectral, para três tipos de alvos naturais: solo, água e vegetação.

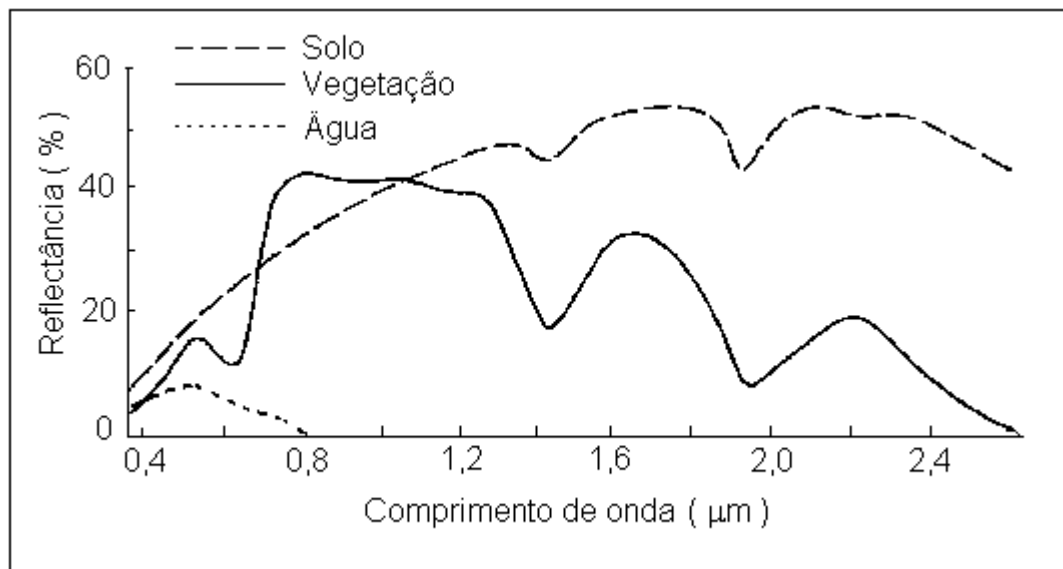


Figura 3 – Curva de reflectância espectral do solo, da vegetação e água.

A deficiência de minerais, a idade da planta, o aspecto fitossanitário, o número de folhas e o teor de água na planta podem afetar a resposta espectral da vegetação. O teor de matéria orgânica, o tamanho das partículas e o teor de água no solo podem afetar a resposta espectral dos solos.

2.2 - Sensores ópticos

Sensores ópticos são detectores da radiação emitida ou refletida por um corpo, sendo que esta radiação está na faixa que corresponde desde o infravermelho até o ultravioleta.

Os sensores ópticos podem ser classificados quanto ao princípio de operação, ou seja detectores térmicos, fotoelétricos, químicos, dentre outros. Os detectores fotoelétricos podem ser classificados em função da fonte de energia, ou do tipo de produto resultante.

Em função da fonte de energia:

- passivo - não possui uma fonte própria de radiação. Ele mede a radiação solar refletida ou radiação emitida pelos alvos. Exemplo: fotocélulas.
- ativo - possui sua própria fonte de radiação eletromagnética, trabalhando em faixas restritas do espectro. Exemplo: acopladores óticos.

Em função do tipo de produto:

- Não-imageador - não fornece uma imagem da superfície sensoriada. Ex: radiômetros (saída em dígitos ou gráficos).
- Imageador - obtém-se, como resultado, uma imagem da superfície observada. Fornece informações sobre a variação espacial da resposta espectral da superfície observada (WALDMAN e WOOTTON, 1993).

2.3 - Sensores ópticos (resistor dependente de luz – LDR)

São dispositivos semicondutores, cuja resistência varia com a intensidade de radiação eletromagnética incidente, aumentando sua condutividade quando expostos à radiação. Os materiais fotocondutivos mais freqüentemente utilizados na construção dos LDRs são o sulfeto de cádmio (CdS) e o seleneto de cádmio (CdSe). Não apresentam a mesma sensibilidade para todos os comprimentos de onda da radiação eletromagnética incidente e seu pico espectral de resposta é, aproximadamente, 560 nm. A Figura 4 mostra o esquema de um LDR e o seu

símbolo de identificação mais comumente encontrado em esquemas e diagramas elétricos.

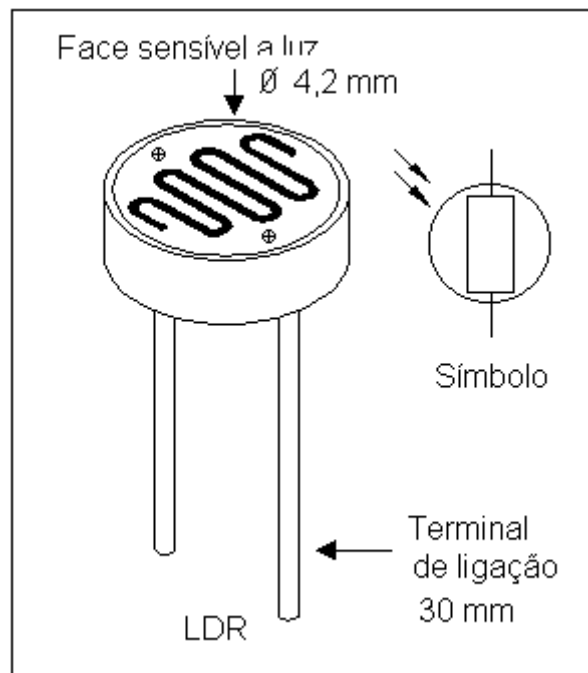


Figura 4 – Resistor dependente de luz (LDR) com seu símbolo de identificação mais comumente encontrado em esquemas e diagramas.

Conforme o aumento da intensidade de luz incidente no LDR, um número maior de elétrons na estrutura tem seu nível de energia aumentado, devido à aquisição da energia entregue pelos fótons. O resultado é o aumento de elétrons livres disponíveis para condução elétrica. Conseqüentemente, ocorre uma diminuição da resistência.

A variação da resistência de um LDR, em função da variação da intensidade de iluminação, não ocorre instantaneamente. Se o componente for deslocado de uma região de iluminação para uma região de escuro total, sua resistência não aumentará instantaneamente, apresentando uma resposta, de 200K ohms/s (Figura 5).

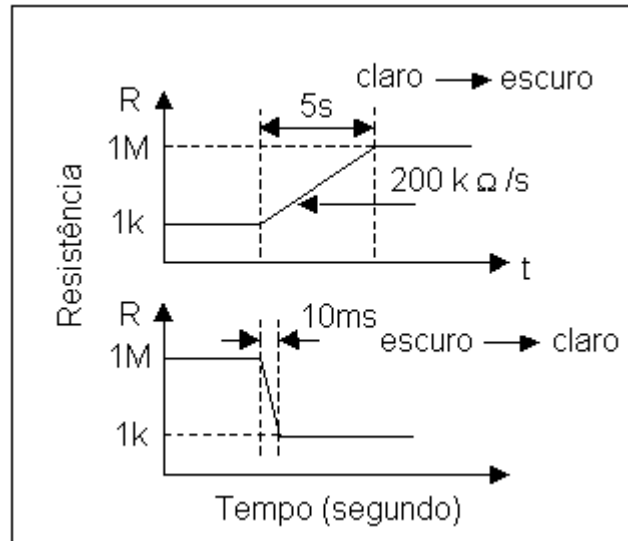


Figura 5 - Tempo de resposta da transição de um LDR.

Isso significa que, se o LDR estiver iluminado de modo a apresentar uma resistência de 1.000 ohms, mediante o corte dessa luz, ele levará cerca de 5 segundos para atingir a resistência de 1 M ohms (LOPES, 1996).

Passando o LDR do escuro total para uma região de certa iluminação, verifica-se uma variação de resistência mais rápida, decrescendo com grande velocidade (cerca de 10 ms para passar de 1 M ohms para 1.000 ohm).

A resistência máxima (no escuro) de um LDR deve ficar entre 1M ohms e 10M ohms dependendo de seu tipo, e a resistência sob iluminação ambiente ficará entre 75 e 500 ohms.

Estes sensores podem ser utilizados como sensores de presença, medidores de rotação (rpm), alarme, iluminação elétrica etc.

2.4 - Microcontrolador

O microcontrolador é um componente eletrônico programável, utilizado no controle de processos lógicos. É construído de uma única pastilha de silício, contendo todos os componentes necessários ao controle de um processo, ou seja, memória de dados, portas de entrada e, ou saída paralela, temporizadores, contadores, comunicação serial, conversores analógico-digitais, dentre outros.

O desempenho do microcontrolador depende de sua arquitetura interna. Na arquitetura Von-Neumann, existe um único barramento interno por onde passam

as instruções do programa e memória de dados. Enquanto a CPU está lendo um dado ou instrução da memória, as vias internas não podem ser usadas para outra finalidade.

A arquitetura tipo Harvard prevê várias vias de comunicação entre CPU e periféricos, permitindo a realização de várias operações, simultaneamente, o que implica em aumento na velocidade de execução e permite, ainda, que a memória de dados e programas tenham tamanhos diferentes (SILVA JUNIOR 1997).

A velocidade de processamento depende do número de bits usados nos comandos e do sinal de clock. Este é gerado por um circuito oscilador, que fornece uma seqüência de pulsos com período constante, usados para sincronizar todas as atividades do microcontrolador.

2.4.1 Conversor analógico - digital

Os circuitos digitais reconhecem níveis lógicos 0 ou 1. Entretanto, alguns dados a serem processados não se encontram desta forma, sendo necessários componentes eletrônicos que executam a conversão adequada.

Os circuitos conversores analógico – digital (Figura 6) efetuam a conversão analógica para a forma binária. As variáveis analógicas são, normalmente, níveis de tensão, temperatura, pressão, velocidade, dentre outros.

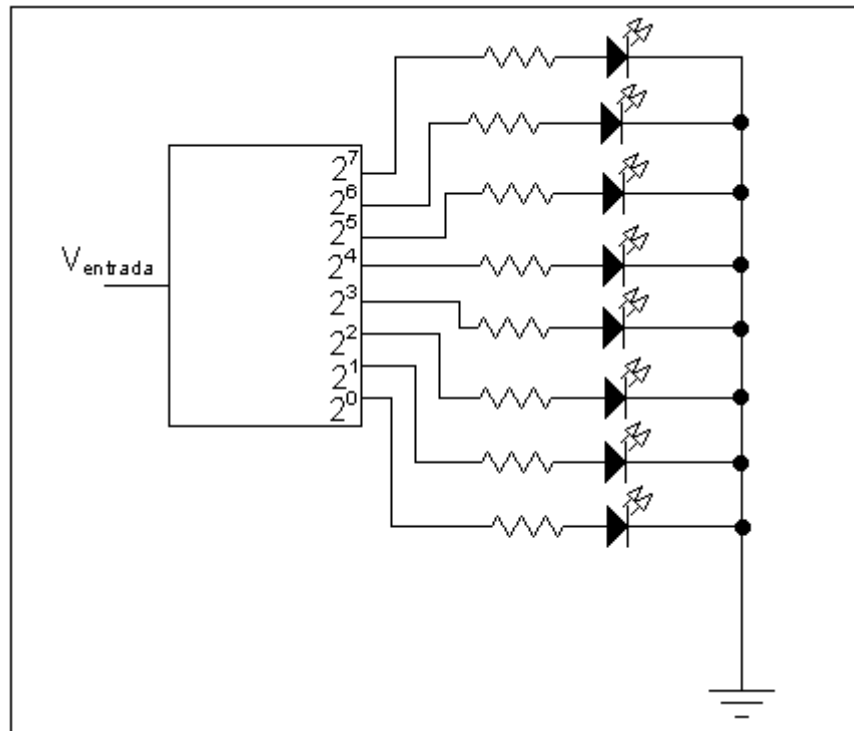


Figura 6 – Exemplo de circuito conversor analógico – digital em que o resultado é apresentado na forma digital, por meio de indicadores luminosos (Leds).

Um conversor de 10 bits permite 1.024 leituras ($2^{10} = 1.024$), desde o menor valor binário (0000000000b) até o maior valor (1111111111b). O menor incremento na tensão de saída é determinado pelo bit menos significativo $1/1024$.

2.4.2. Linguagem assembly

Na linguagem de máquinas, o modo de programar uma unidade lógica consiste em fornecer os códigos em binário. Na linguagem assembly as instruções são na forma de mnemônicos de 3 ou 4 palavras. Estes mnemônicos facilitam o entendimento e a criação de programas. Para utilizar esta linguagem, é necessário um programa que faça a tradução dos mnemônicos para os correspondentes códigos de máquinas. Este programa é denominado montador assembler.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto, a construção e os testes para verificar o funcionamento do protótipo foram conduzidos no Campus Experimental Diogo Alves de Mello, na Universidade Federal de Viçosa.

Na primeira etapa, foram coletados os dados estáticos referentes à radiação solar global incidente e refletida, para quatro tipos de superfícies diferentes contendo 100% de cobertura do tipo: plantas daninhas de folhas largas de folhas estreitas, palha, e solo descoberto.

Na segunda etapa, após a coleta e análise dos dados, foi projetado, desenvolvido e testado o circuito eletrônico em placa de matrizes de contato “prot board”. Após a montagem definitiva na placa de circuito impresso, o protótipo foi montado em uma caixa apropriada

Na terceira etapa, o protótipo foi montado em um pulverizador de barra de tração humana, onde foram realizados os testes de campo e, na seqüência, foram realizados testes de laboratório sob variadas condições de temperatura, poeira e umidade relativa.

3.1. Coleta de dados estática

Para a medida da radiação refletida, o sensor LDR foi montado dentro de uma estrutura cônica em metal (Figura 7), limitando-se o ângulo de visão do LDR a um ângulo de 70° .

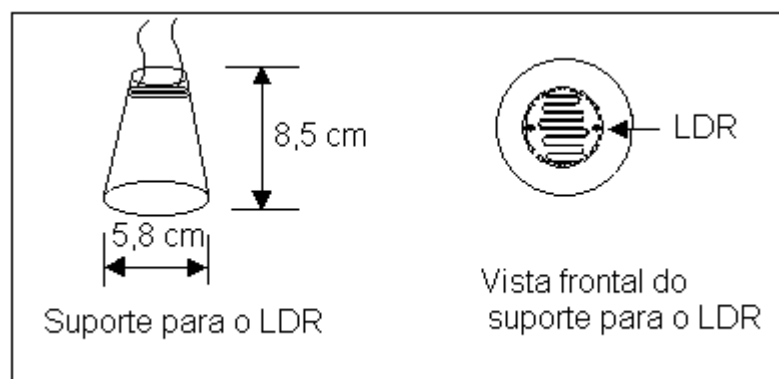


Figura 7 – Suporte para fixação do LDR.

Foram fixados três sensores em uma barra: um sensor com acrílico verde e outro com acrílico transparente, ambos voltados para baixo, para medida da radiação refletida; no centro da barra foi fixado um terceiro LDR voltada para

cima, para medida da radiação incidente (Figura 8).

Os sensores foram conectados a um sistema de aquisição automática de dados (HP 3421 – A) ligado a um microcomputador do tipo PC – XT. Os valores de resistência dos três sensores e a milivoltagem, proveniente de um solarímetro, foram coletados durante vários dias, a intervalos de 2 minutos, e armazenados em disquete.

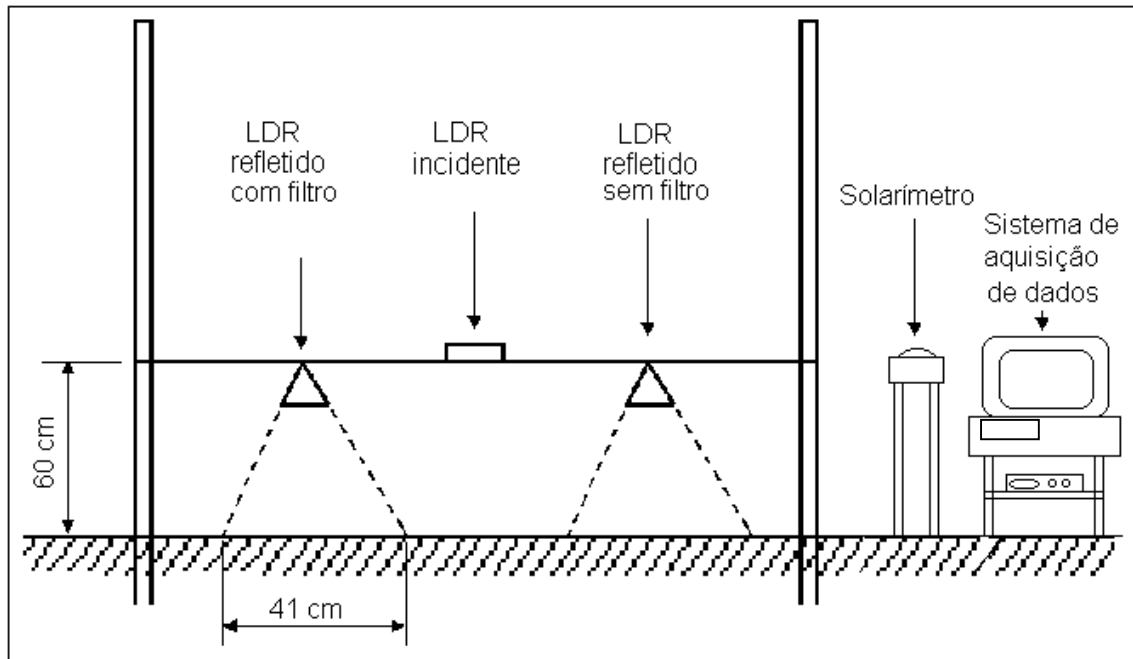


Figura 8 – Vista frontal da barra na coleta de dados estática.

3.2 Funcionamento do circuito eletrônico

Para que a saída do sensor pudesse ser recebida pelo microcontrolador, o valor instantâneo da resistência do LDR foi transformado em tensão.

O condicionamento da saída do LDR foi realizado com dois circuitos divisores de tensão (Figura 9), um para a radiação global incidente e outro para a refletida.

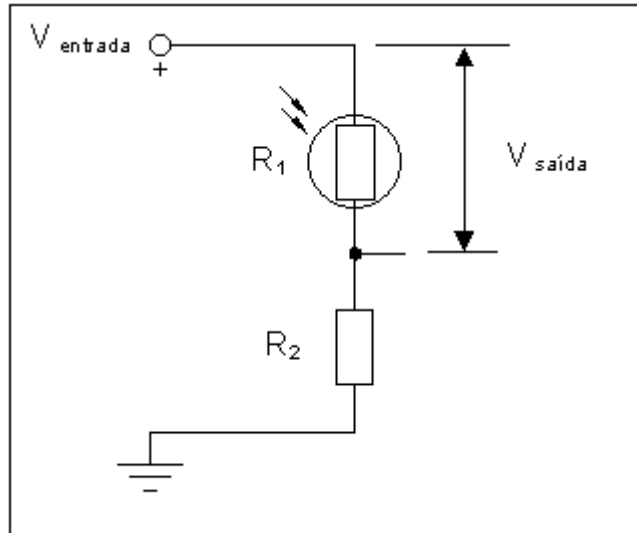


Figura 9 – Circuito divisor de tensão.

Considerando a clássica equação de cálculo dos circuitos divisores de tensão, ao ocorrer uma variação na intensidade da radiação global incidente ou refletida, ocorrerá uma variação na resistência do LDR (R_1) e na tensão de saída, proporcionalmente.

$$V_{saída} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} * V_{entrada} \quad (1)$$

3.2.1 Microcontrolador PIC 16F871

Para o controle dos processos lógicos, medidas de tensão de saída dos circuitos condicionadores e decisão, abertura e fechamento da válvula solenóide, foi utilizado o microcontrolador PIC 16F871, por possuir as seguintes características: 33 portas que podem ser configuradas, individualmente, como entrada ou saída; e 8 canais conversores analógico – digitais, 2 k bytes (2048) de palavras de 14 bits para programa de memória FLASH. Este microcontrolador apresenta as seguintes vantagens: pode ser apagado e regravado, automaticamente, pelos gravadores; possui 35 instruções de código de operação; possibilita trabalhar com frequência de clock de até 20 MHz; disponibiliza uma e grande quantidade de ferramentas e manuais para consulta.

3.2.2 Programa computacional

O programa computacional a ser executado pelo microcontrolador PIC 16F871 foi desenvolvido em linguagem assembly, utilizando o sistema de

programação MPLAB IDE for Windows/16 versão 5.30.00, que é uma ferramenta integrada, pois, no mesmo ambiente de trabalho, possui o gerenciamento de projetos, a compilação, a simulação, a emulação e a gravação do microcontrolador, estando disponível gratuitamente no site da Microchip.

3.3. Adaptação do pulverizador de tração humana para testes de campo

Foram adaptados, em um pulverizador de tração humana (Figura 10), duas barras (uma para fixação dos sensores e outra para as válvulas solenóides), um regulador de pressão para manter a vazão de calda constante, o protótipo do circuito eletrônico e uma bateria para alimentação do sistema eletrônico e para a válvula solenóide.

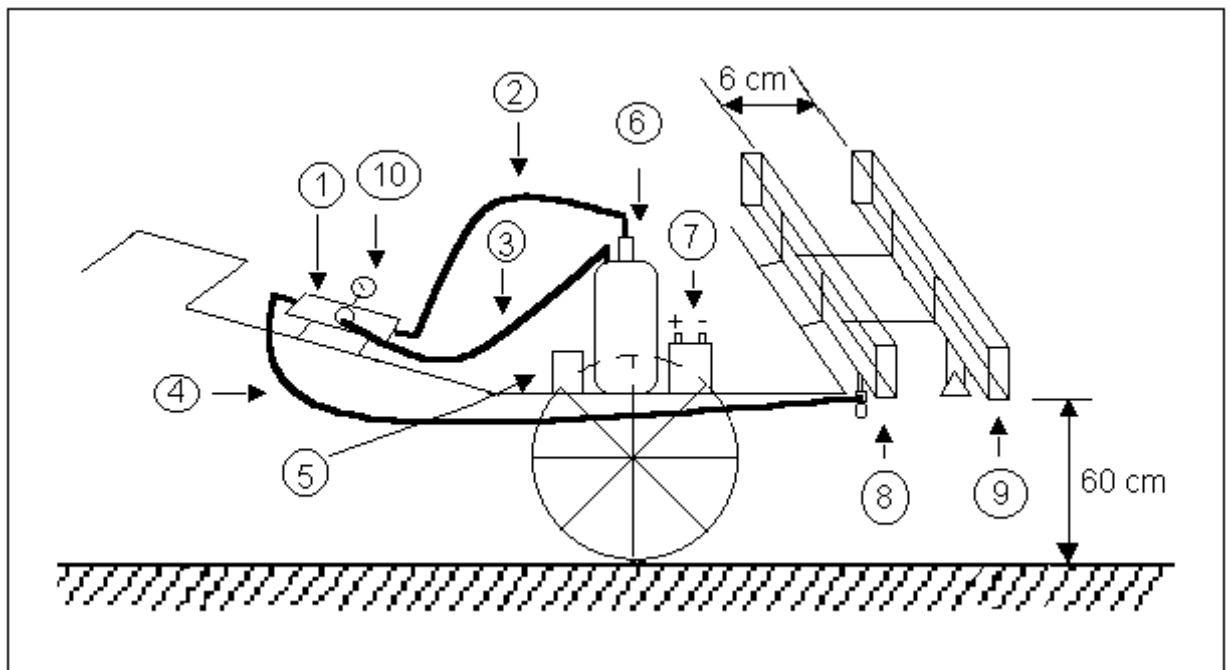


Figura 10 – Adaptação do pulverizador de tração humana.

1	Regulador de pressão	6	Reservatório
2	Mangueira de entrada	7	Bateria
3	Mangueira de retorno	8	Barra de pulverização
4	Mangueira de saída	9	Barra de sensores
5	Protótipo eletrônico	10	Regulador de pressão

3.3.1 Válvula solenóide

A válvula solenóide (Marca comercial Transoni) (Figura 11), adaptada para o desenvolvimento do protótipo, foi escolhida previamente por apresentar as seguintes características:

- Facilidade de aquisição (usada em eletrodomésticos, como máquina de lavar roupa e outros);
- Tem uma entrada simples e uma saída com diâmetro de 13,5 mm;
- Pressão de trabalho: 0,5 a 8,0 Kgf / cm²;
- Tensão de alimentação 127 / 220 V;
- Vida útil: mínimo 50.000 ciclos;
- Baixo custo de aquisição.

Em virtude do acionamento da válvula solenóide ser de tensão alternada (127 Vca), foi necessária a elaboração de um circuito conversor de tensão contínua (12 Vcc) para alternada.

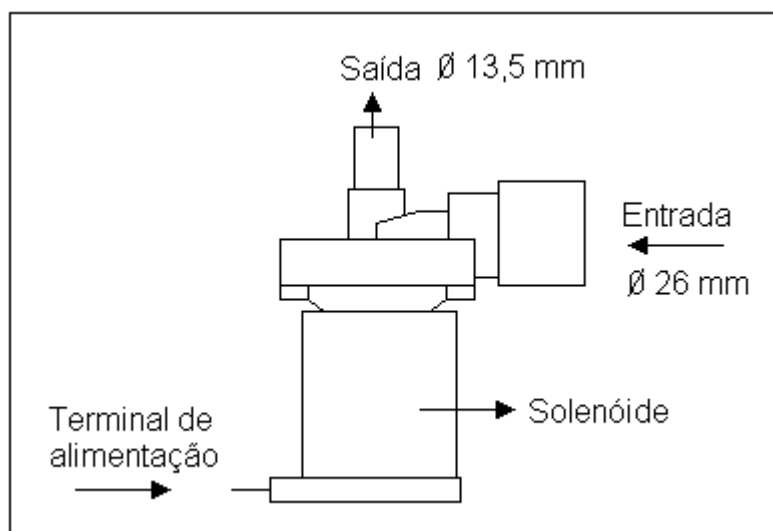


Figura 11 – Válvula solenóide (fora de escala).

3.4. Metodologia para realização dos testes de campo

Para aferição do sistema eletrônico, o pulverizador foi deslocado em uma área (Figura 12), dividida em três parcelas: uma sem vegetação (palhada e solo); e duas com vegetação, sendo uma com predominância da população da espécie de picão preto (dicotiledônea) com 210 g/m² de matéria seca, e a outra com predominância da espécie de tiririca (monocotiledônea) com 140 g/m² de matéria seca. Para obter estes tipo de vegetação e a área sem vegetação, foi realizada

uma capina manual. O teste foi repetido 13 vezes, para o filtro verde, e 35 vezes para o filtro transparente (maior número de repetições por apresentarem melhor área de resolução), enquanto dois observadores marcavam o número de vezes em que a válvula foi aberta. Para confirmação do resultado, foi utilizado o herbicida para dessecação de contato paraquat (Gramoxone), volume de calda 85 L/ha correspondendo a 340 kg/ha de Paraquat.

O pulverizador (Figura 13) foi deslocado com velocidade de 1,1 m/s, pressão de trabalho do bico hidráulico de 1,8 bar, bico utilizado jato plano (leque) $80^\circ - 0,15$, faixa de pulverização 0,90 m, volume de calda 85 L/ha, altura da barra de 0,60 m e espaçamento de 2m entre as faixas pulverizadas.

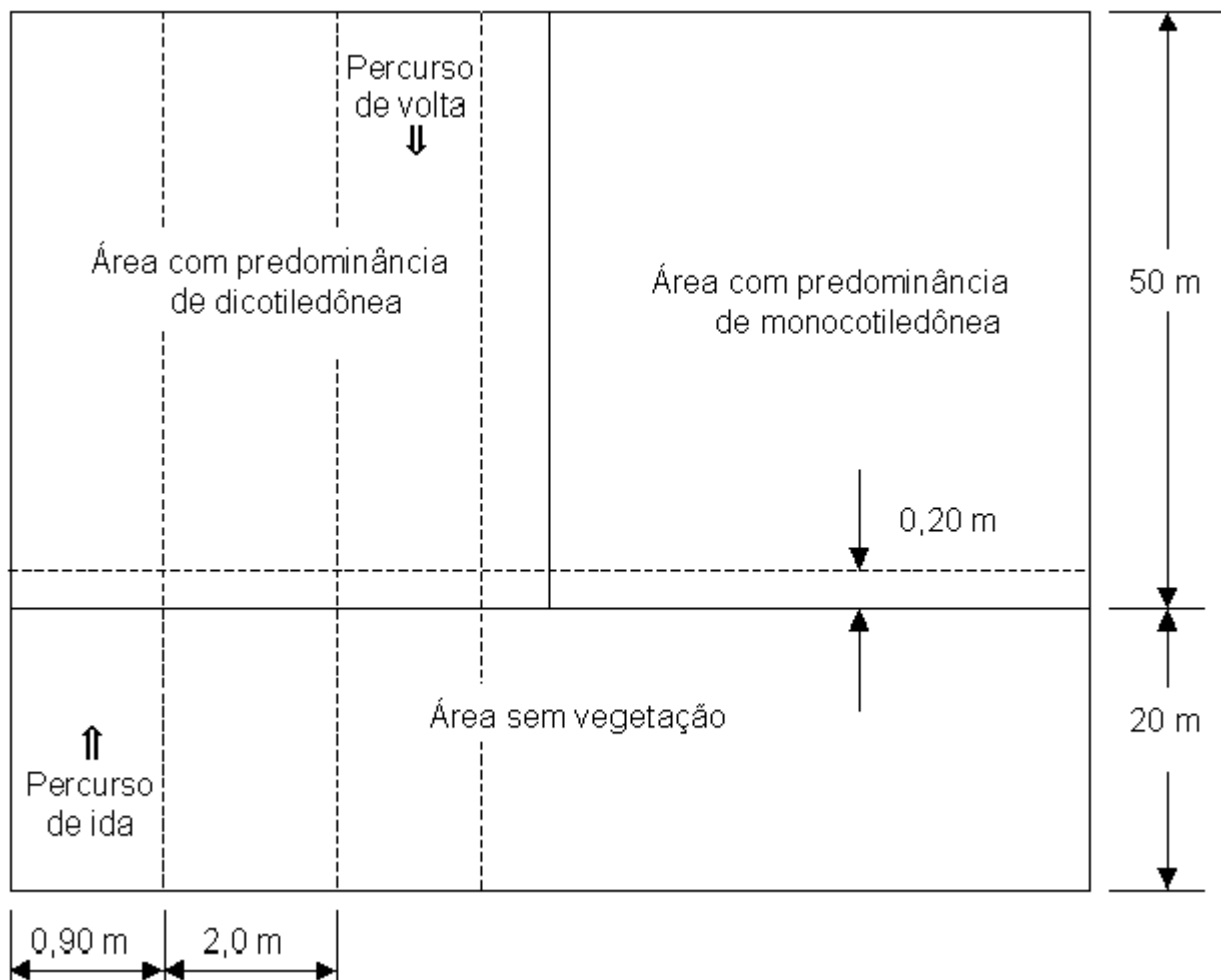


Figura 12 – Esquema da área para os testes de campo.



Figura 13 - Pulverizador de tração humana na área de teste.

3.5. Critérios técnicos para avaliação do sistema

3.5.1 Resolução do sistema

Resolução de um sistema é a menor variação do valor de um sinal de saída, possível de ser detectado. No presente caso, foi definida como sendo a menor área foliar que sensibiliza o sensor.

Para determinação da menor área capaz de sensibilizar o sensor, o pulverizador percorreu uma pista (Figura 14) contendo 7 regiões distintas, com diferentes áreas de vegetação, cada uma correspondendo a um percentual de infestação, calculado em relação à área de visão do sensor ($100\% \Leftrightarrow 1.320 \text{ cm}^2$). O grau de infestação e, conseqüentemente, a área foliar, foram determinados através de fotografia e programa computacional usados, originalmente, para quantificação de doenças de plantas.

O teste foi repetido 10 vezes. O sensor e o bico pulverizador encontravam-se afastados pelos extremos das barras e o reservatório do pulverizador continha água e corante. Essas sete regiões estão caracterizadas na Tabela 1.

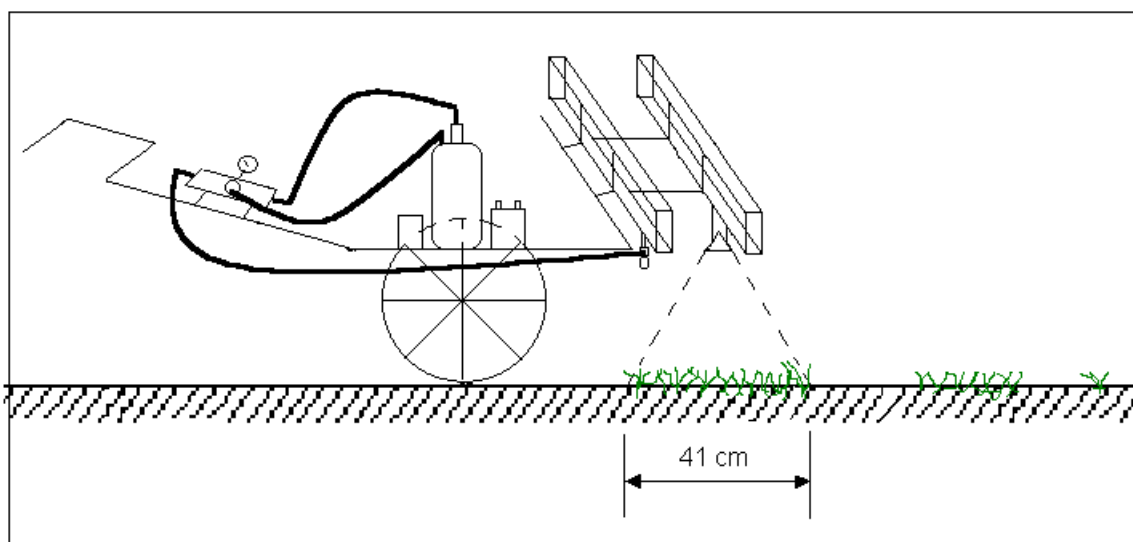


Figura 14 – Esquema do pulverizador de tração humana para determinação da resolução do sistema.

Regiões ou níveis de infestação	Área com vegetação (cm ²)	% de infestação
1	0,0	0,0
2	172,0	13,0
3	290,0	22,0
4	633,0	48,0
5	963,0	73,0
6	1.095,0	83,0
7	1.320,0	100,0

Tabela 1 - Área com vegetação no campo de visão do sensor e a respectiva porcentagem de infestação.

3.5.2 Tempo de resposta do sistema

É o intervalo de tempo entre uma mudança no nível de sinal captado pelo sensor e a abertura ou fechamento da válvula, necessário para dimensionar a distância entre as barras de pulverização e o sensor. Foi determinado, medindo-se a distância entre o início da parcela com vegetação até o início da área efetivamente controlada pelo herbicida.

3.6. Testes realizados em laboratório

3.6.1 Temperatura

O protótipo em funcionamento foi colocado em 3 temperaturas diferentes, isto é 50°C, 25°C e 3°C (estufa, temperatura ambiente e geladeira, respectivamente), funcionando por 24 horas em cada uma dessas temperaturas. Este teste verificou tanto o efeito da temperatura nas junções da solda quanto o comportamento dos componentes eletrônicos nessas temperaturas.

3.6.2 Umidade relativa

O protótipo foi colocado em uma câmara climática, com umidade relativa de 90% \pm 1 e temperatura de 25°C, funcionando por 72 horas. Neste teste, foi verificado o efeito da umidade relativa sobre o funcionamento do aparelho.

3.6.3 Poeira

O protótipo foi colocado em uma caixa, vedada, com volume de 0,05168 m³, em que 38,48 kg/m³ de solo de textura Franco-argilo-arenoso tamizado em peneira de 2 mm, com teor de umidade de 5%, eram movimentados, mantendo-se flutuando por meio de um fluxo de ar, obtido através da adaptação de dois ventiladores de computador. O protótipo funcionou, neste ambiente por um período de 24 horas. Este teste simulou o efeito, causado pela poeira do campo, sobre o funcionamento do protótipo.

3.7. Análise dos resultados

Na análise dos resultados estáticos dos diversos tipos de superfície estudadas, utilizou-se a planilha eletrônica Excel, versão 7.0, para obter as regressões lineares entre a radiação global incidente e refletida e a menor resolução do sistema.

4 – Resultados e discussão

A luz transmitida através dos acrílicos verde e transparente foi medida em um espectrofotômetro. O acrílico verde (Figura 15) apresentou, para o comprimento de onda de 518 nm, um pico de transmitância de 40% em relação ao ar, enquanto no acrílico transparente (Figura 16) a transmitância média foi de 92%.

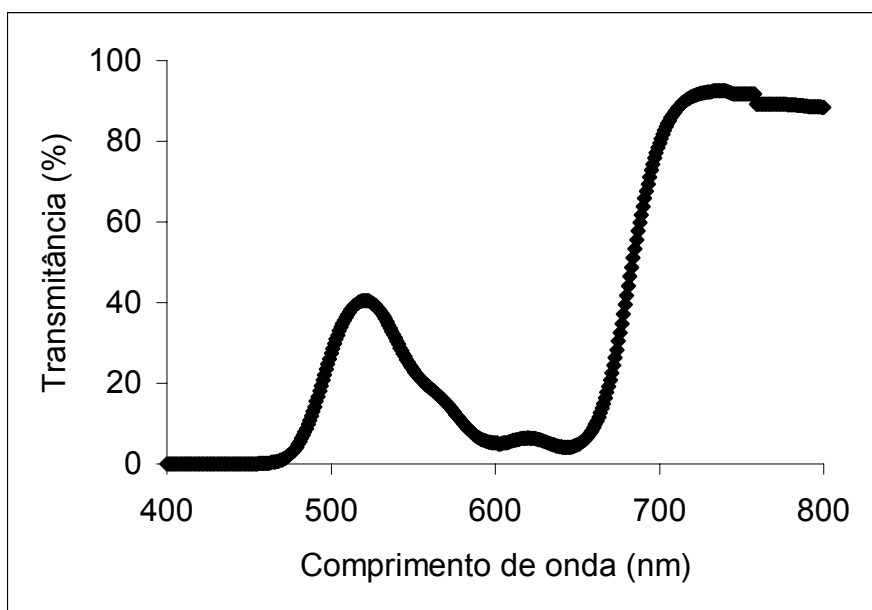


Figura 15 – Curva de transmitância do acrílico verde.

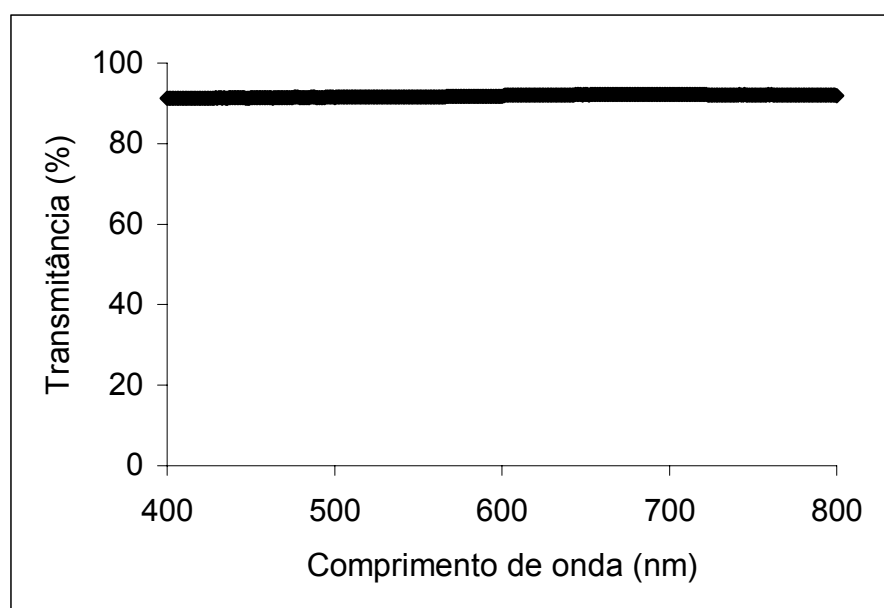


Figura 16 – Curva de transmitância do acrílico transparente.

A utilização dos acrílicos teve a finalidade de reter comprimentos de ondas, específicos no sensor. Para o acrílico verde (Figura 15), o sensor foi mais sensível à região entre o amarelo e verde, para o espectro da luz visível e próximo da região do infravermelho próximo. O acrílico transparente (Figura 16) é sensível a todo espectro visível e infravermelho próximo.

A resposta espectral do LDR foi medida em um espectrofotômetro, onde foi variado o comprimento de onda da luz incidente sobre o componente dentro do espectro visível, com a intensidade de luz e o aclaramento sempre constante para todos os comprimentos de onda, sendo medida a corrente elétrica no LDR submetido a uma tensão constante proveniente de uma pilha com 1,45 V. Nessas condições, o eixo vertical (Figura 17) indica a sensibilidade espectral do sensor.

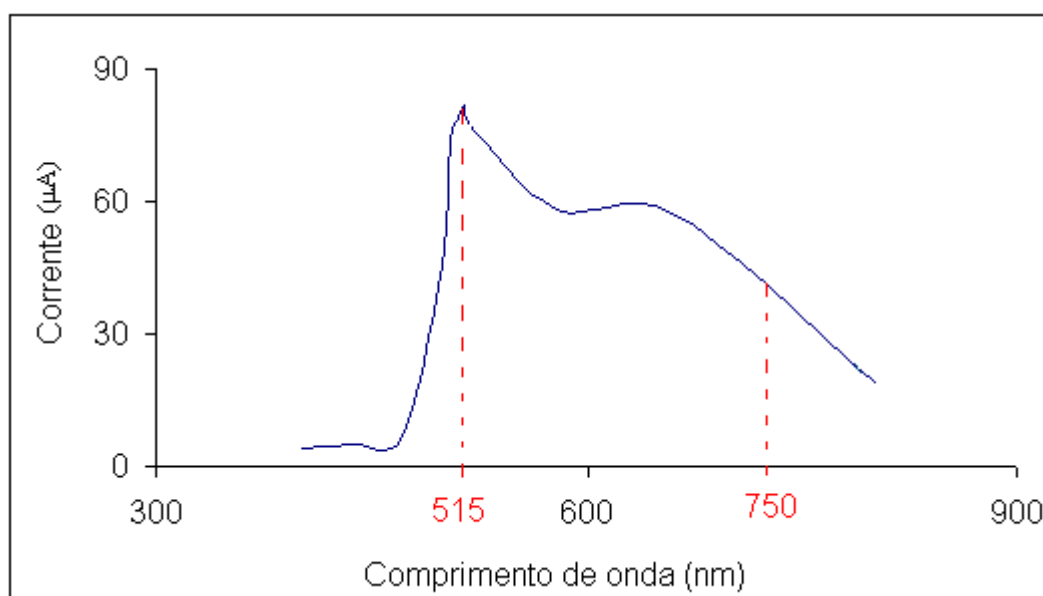


Figura 17 – Sensibilidade espectral do LDR de Cds.

Observa-se, na Figura 17, que o LDR é mais sensível a um pico de 515 nm, dentro da região da luz visível do espectro, correspondente à luz verde, além de ser também sensibilizado próximo à região do infravermelho próximo (acima de 750 nm).

4.1 Coleta de dados estática

Para caracterizar o LDR utilizado como sensor de radiação, a variação de sua resistência elétrica foi estudada em função da radiação global incidente. O LDR superior apresenta uma resistência elétrica, que diminui com a radiação global incidente, conforme Figura 18.

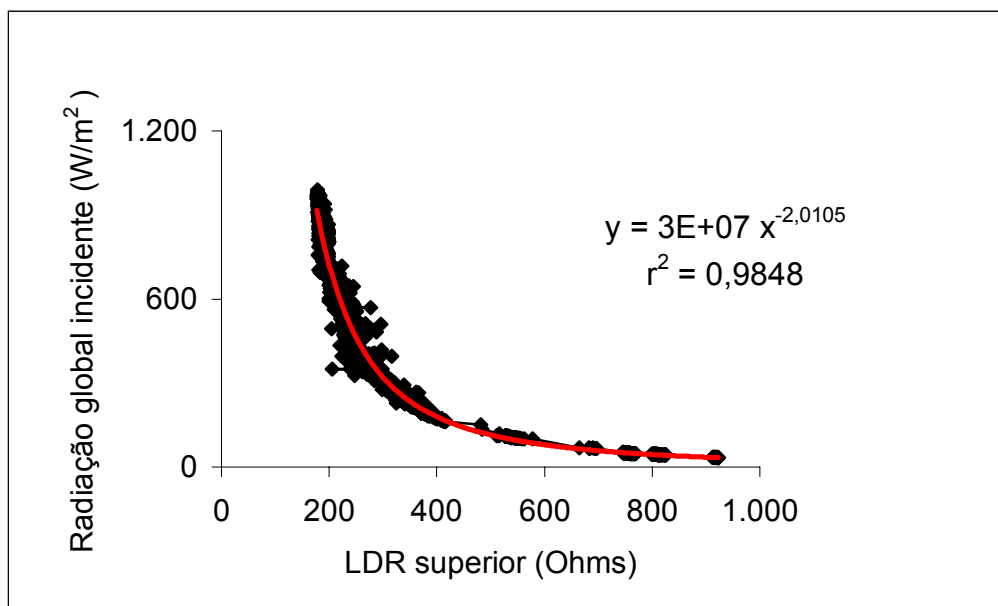


Figura 18 – Radiação global incidente, em função da resistência do sensor de luz incidente.

A variação da radiação global incidente foi de 30 a 1.100 w/m² e a variação da resistência do LDR superior foi de 193 a 1.207 Ω com 1.256 dados coletados, correspondente aos dias de coleta para superfície recoberta com plantas daninhas dicotiledôneas.

A equação mostrada na Figura 18 pode ser utilizada para o cálculo da radiação incidente, a partir da resistência do LDR superior. A Figura 19 mostra a correlação entre a radiação global incidente, assim calculada, e a medida com o solarímetro.

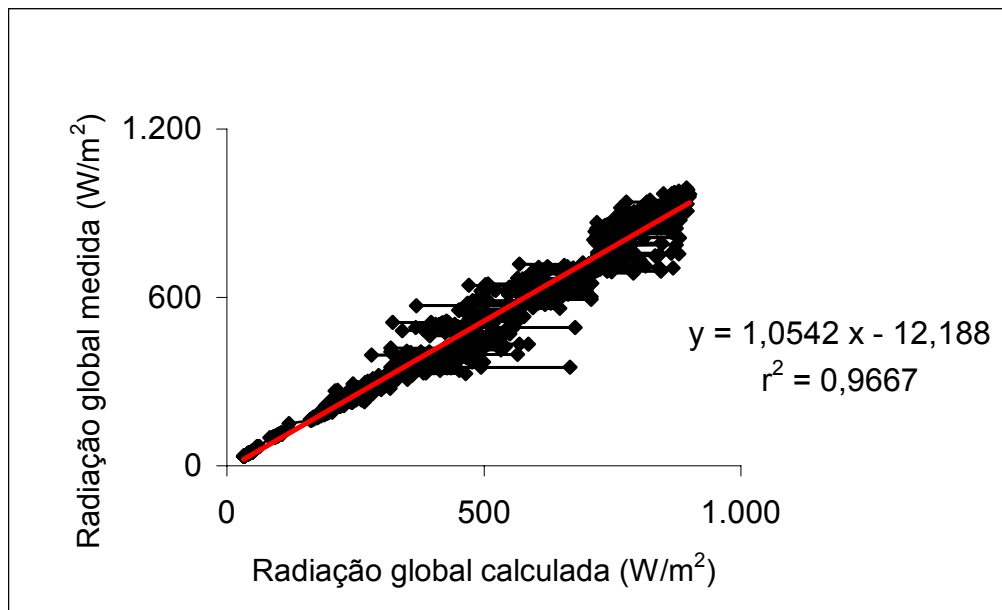


Figura 19 – Radiação global incidente medida, em função da radiação global calculada.

4.1.1 Superfície recoberta com plantas daninhas dicotiledôneas

A planta daninha, que recobria a superfície coberta com folhas largas, foi caracterizada como sendo da espécie de picão preto (*Bidens pilosa L.*), e seu estágio de desenvolvimento de 2 a 3 pares de folhas por planta (folhas largas)..

Os dados foram coletados em intervalos de 2 minutos, no período de 05 a 14 de setembro de 2001, no horário de 8:30 às 16:30 h, resultando na equação mostrada na Figura 20.

Nas Figuras 20 a 23, X representa o LDR – Superior (Ω), que recebe a radiação global incidente, e Y representa o LDR – Refletido (Ω) que recebe a radiação global refletida.

As diferenças obtidas nas equações de regressão linear, para o acrílico verde e transparente, devem-se ao fato de o acrílico verde reter os comprimentos de onda refletidos pela superfície, correspondendo ao espectro da luz visível, na região do amarelo e vermelho e conseqüentemente, uma menor quantidade de luz incide sobre o sensor.

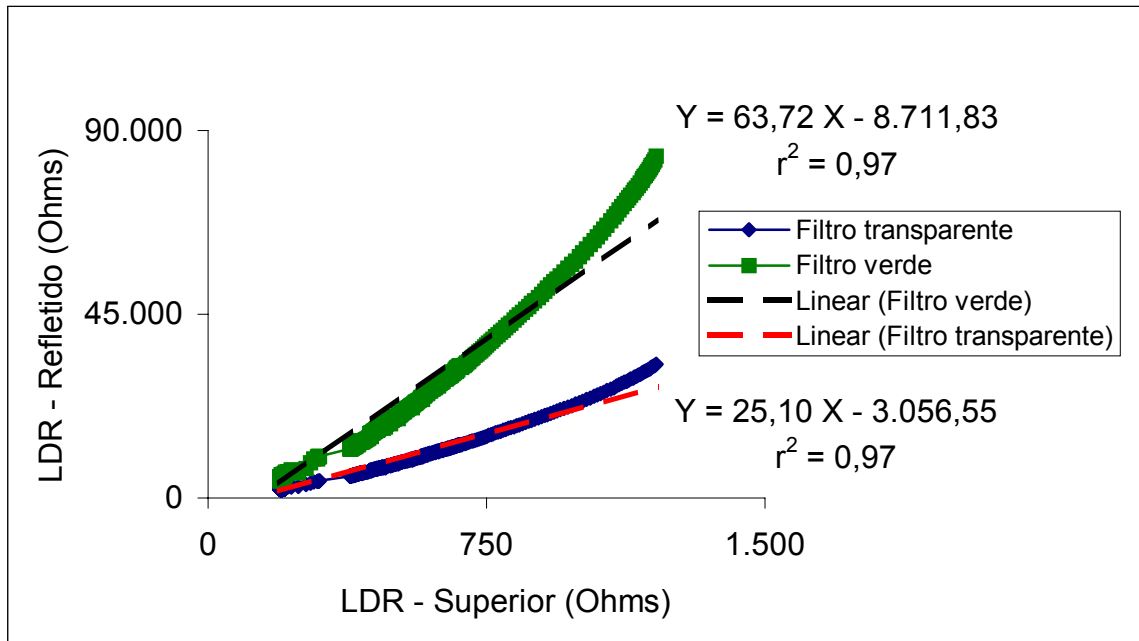


Figura 20 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para plantas daninhas dicotiledôneas.

Durante os ensaios, a variação na radiação global incidente foi de 30 a 1.100 w/m², enquanto a variação na resistência do LDR refletido foi de 2.173 a 32.839 Ω, para o filtro transparente e de 4.680 a 83.700 Ω para o filtro verde e 1.256 dados coletados.

4.1.2 Superfície recoberta com plantas daninhas monocotiledôneas

A planta daninha que recobria a superfície foi caracterizada como sendo da espécie de grama - seda (*Cynodon dactylon L.*), com altura média de 20 cm.

Os dados foram coletados em intervalos de 2 minutos, no período de 04 a 12 de julho de 2001, no horário de 8:30 às 16:30 h, resultando na equação mostrada na Figura 21.

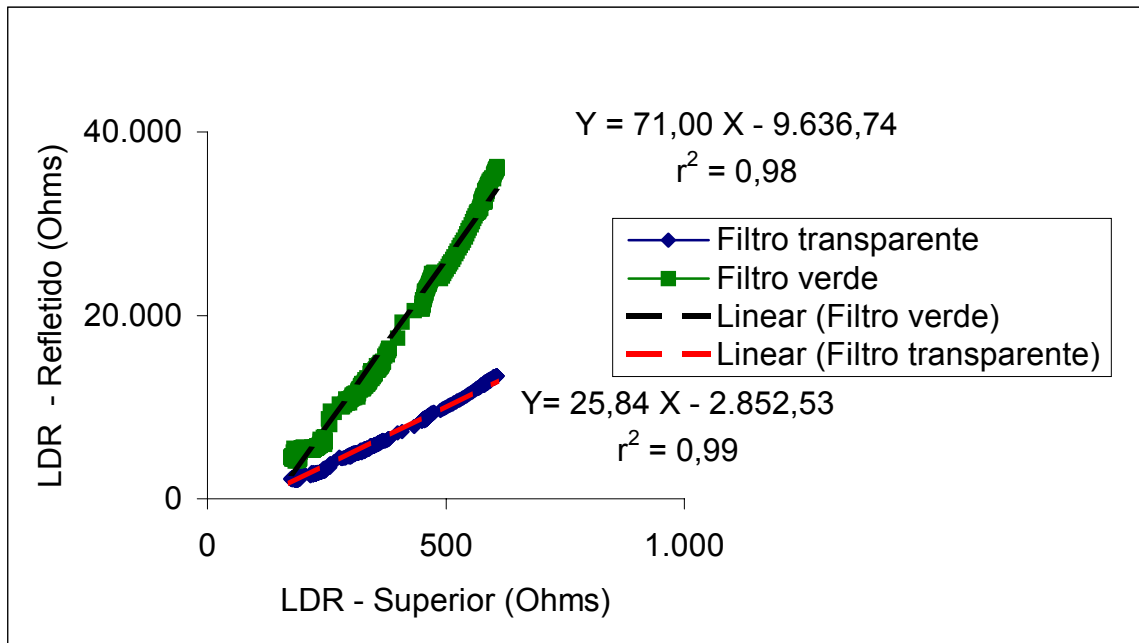


Figura 21 - Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para grama-seda.

Durante os ensaios, a variação na radiação global incidente foi de 50 a 980 w/m², enquanto a variação na resistência do LDR refletido foi de 2.135 a 13.389 Ω, para o filtro transparente e de 4.511 a 36.111 Ω para o filtro verde e 1.282 dados coletados.

4.1.3 Superfície recoberta com palha

A superfície coberta com palha foi caracterizada como restos de palhada de trigo e altura média de 5 cm.

Os dados foram coletados em intervalos de 2 minutos, no período de 01 a 10 de outubro de 2001, no horário de 8:30 às 16:30 h, resultando na equação mostrada na Figura 22.

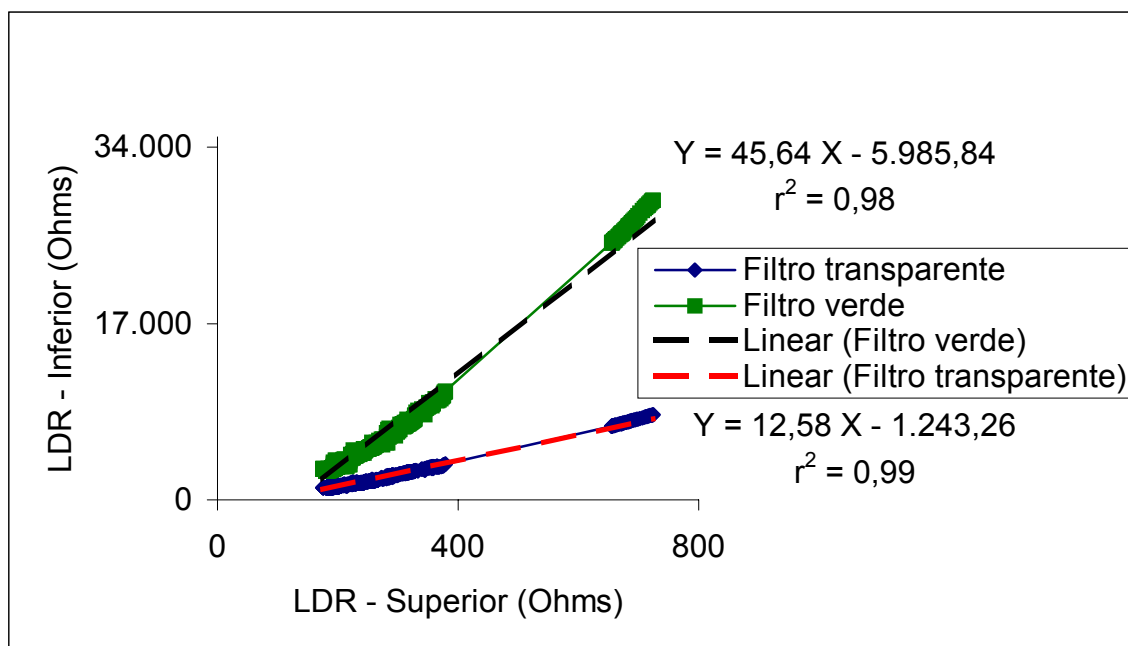


Figura 22 - Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para palhada de trigo.

Durante os ensaios, a variação na radiação global incidente foi de 35 a 990 w/m², enquanto a variação na resistência do LDR refletido foi de 1.195 a 8.198 Ω, para o filtro transparente e de 2.994 a 28.891 Ω para o filtro verde e 1.233 dados coletados.

4.1.4 Superfície sem cobertura

O solo em cuja superfície foram realizadas as leituras era um Argissolo, cuja superfície estava sem nenhuma cobertura, com teor de umidade de, aproximadamente, 13,0% à profundidade de 5 cm.

Os dados foram coletados em intervalos de 2 minutos, no período de 01 a 08 de agosto de 2001, no horário de 8:30 às 16:30 h, resultando na equação mostrada na Figura 23.

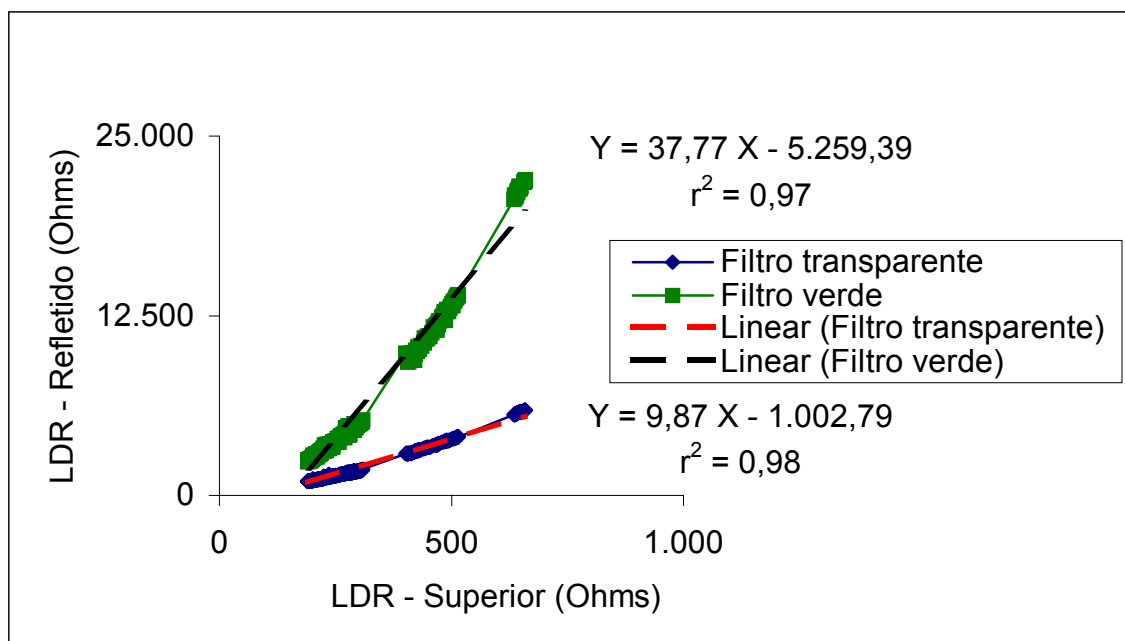


Figura 23 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para o solo sem cobertura.

Durante os ensaios, a variação na radiação global incidente foi de 42 a 973 w/m^2 , enquanto a variação na resistência do LDR refletido foi de 998 a 5.934 Ω , para o filtro transparente e de 2.396 a 21.952 Ω para o filtro verde e 1.313 dados coletados.

Na Figura 24, são apresentadas todas as informações contidas nas Figuras 20 a 23, para o sensor com filtro transparente. Observa-se que a palhada e o solo refletem mais luz do que as coberturas vegetais sobre o sensor. Com o aumento da intensidade de luz refletida no LDR, um número maior de elétrons na estrutura tem seu nível de energia aumentado, devido à aquisição da energia entregue pelos fótons. O resultado é o aumento de elétrons livres disponíveis para condução elétrica, ocorrendo uma diminuição na resistência elétrica do LDR.

Para uma dada radiação incidente ou para um determinado valor da resistência do LDR superior a diferença na resistência do LDR refletido vai do simples ao dobro.

A Figura 25 resume as informações contidas nas Figuras 20 a 23, para o sensor com filtro verde. Também, neste caso, observa-se que a palhada e o solo refletem mais a luz verde do que a própria cobertura vegetal.

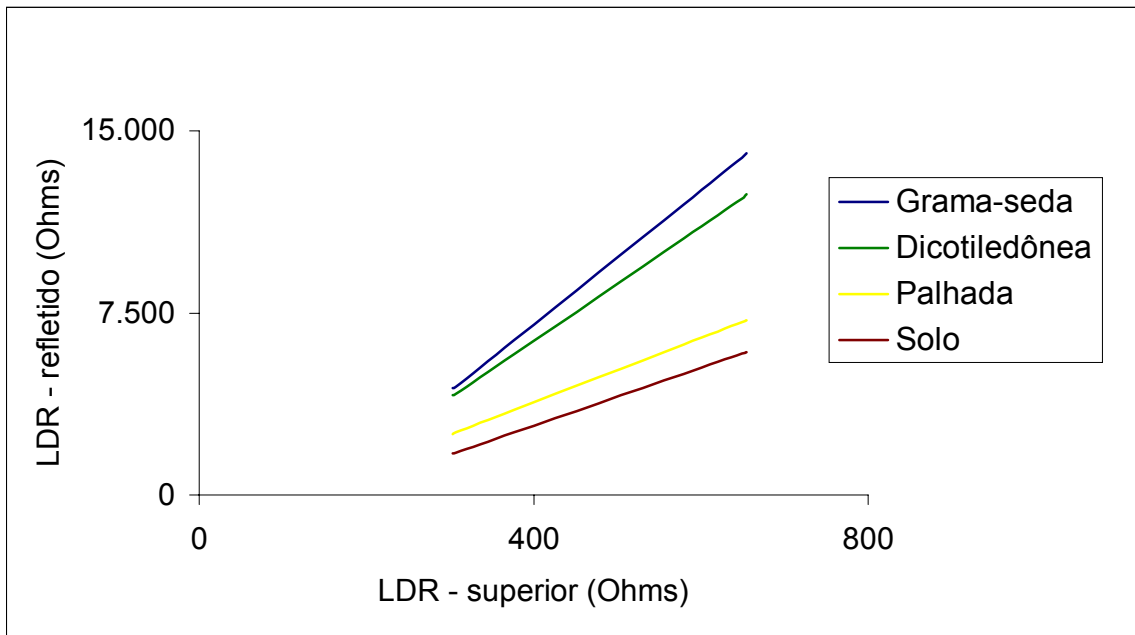


Figura 24 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para o filtro transparente.

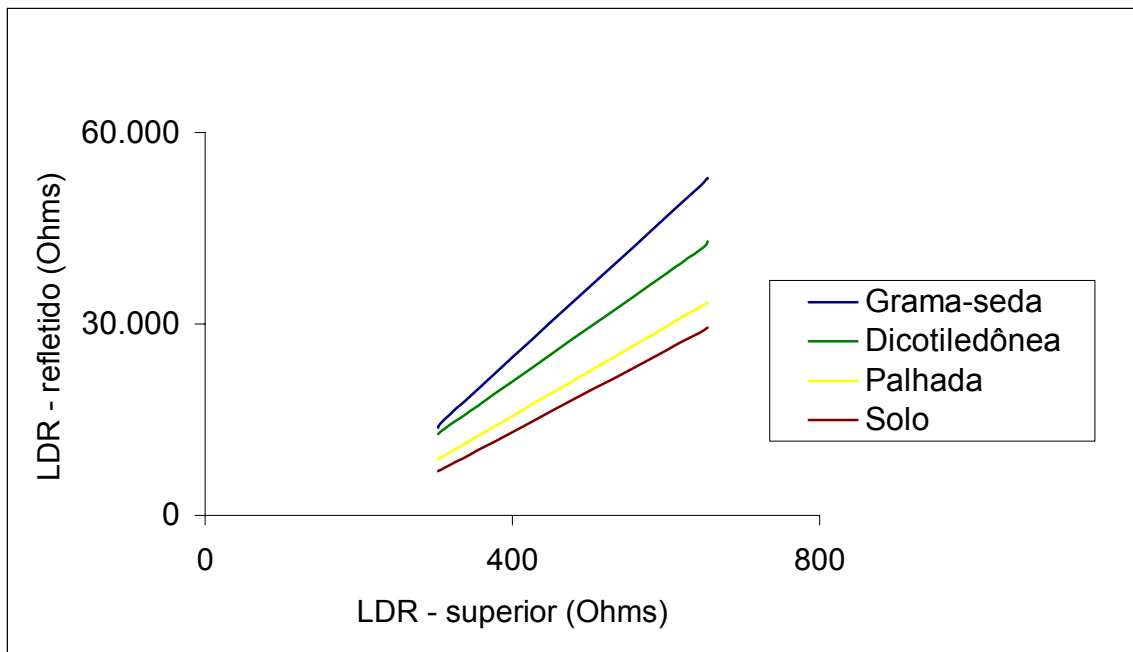


Figura 25 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para o filtro verde.

4.2 Resolução da área de visão do sensor

A Figura 26 apresenta o desempenho do sistema, que abriu a válvula do pulverizador para graus de infestação superiores a 22%, para filtros transparentes ou superiores a 73% para filtro verde.

O melhor desempenho do sistema, que utiliza o filtro transparente, é evidente, pois, este sensor é capaz de identificar e resolver graus de infestação pequenos como 22%.

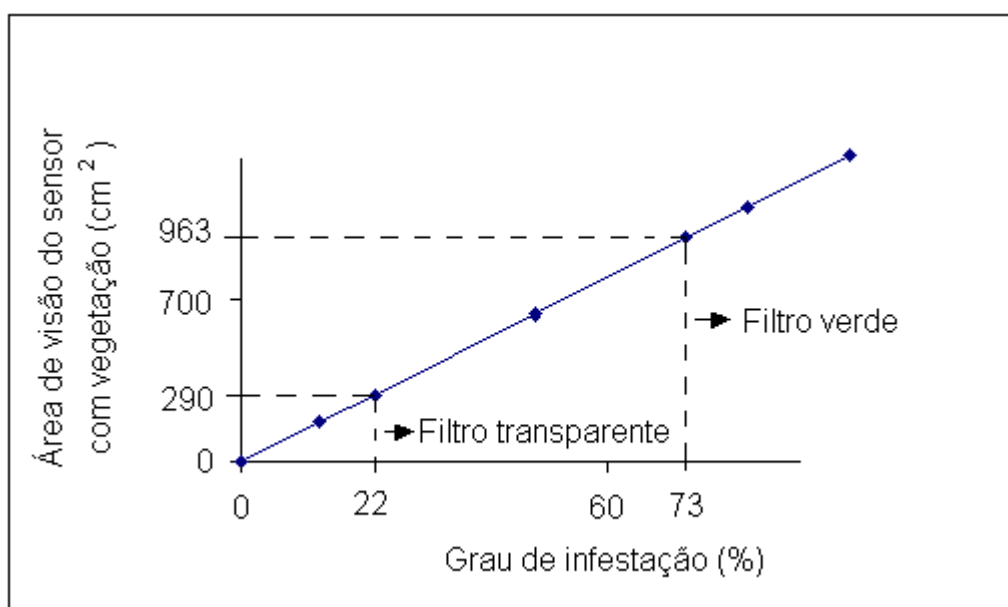


Figura 26 – Área com vegetação dentro do campo de visão do sensor em função do grau correspondente de infestação, mostrando o limite mínimo de operação dos dois filtros.

4.3 Teste de Campo

4.3.1 Teste de Campo

A válvula permaneceu fechada toda vez que o pulverizador encontrava-se em uma área sem vegetação; mas ao entrar em uma área com vegetação, após um determinado tempo, a válvula era acionada pelo sistema e permanecia aberta durante o tempo todo em que o pulverizador permanecia sobre esta área. Foi observado um controle de 100%, nas áreas infectadas com plantas daninhas.

4.3.2 Tempo de resposta

O tempo de resposta calculado foi determinado, medindo-se a velocidade de trabalho do pulverizador 1,1 m/s e um comprimento de 0,20 m entre o início da parcela com vegetação até o início da vegetação pulverizada. Considerando que o sensor tem uma resolução mínima de 22% (Figura 27), f é calculado empregando-se as equações (3 e 4): o pulverizador percorre $f = 0,11$ m para que o sensor seja sensibilizado. Desta forma, o tempo de resposta do sistema é estimado em 0,08 segundos.

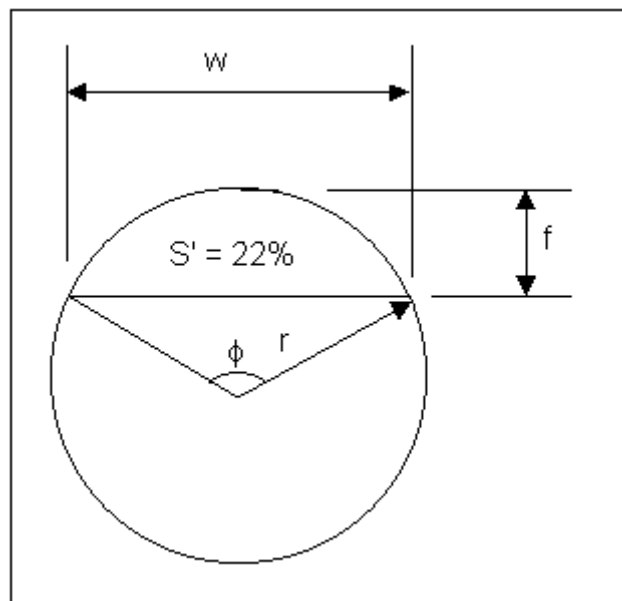


Figura 27 – Cálculo da flecha para a área de resolução mínima de 22%.

$$S' = \frac{1}{2} r^2 \left(\delta \frac{\ddot{o}}{180} - \text{sen} \ddot{o} \right) \quad (3)$$

$$f = 2 r \text{sen}^2 \frac{\ddot{o}}{4} \quad (4)$$

em que:

f = flecha, o menor dos dois segmentos do diâmetro de uma circunferência, determinados por uma corda perpendicular;

w = corda, segmento de uma secante compreendido entre dois pontos de interseção; e

S' = área do segmento circular.

4.4 Programação do microcontrolador

Na bancada de teste, foi montado um circuito divisor de tensão. O LDR foi substituído por resistores com valores ôhmicos dentro da faixa de variação observada nos testes estáticos (de 0 a 60 kΩ).

Para cada resistor, foi medida a tensão que também era ligada na entrada do conversor analógico – digital. O número binário correspondente foi, então, transformado em decimal. A Figura 28 mostra os valores da resistência, em função do binário correspondente. A Figura 29 mostra a correlação entre a tensão e o binário correspondente.

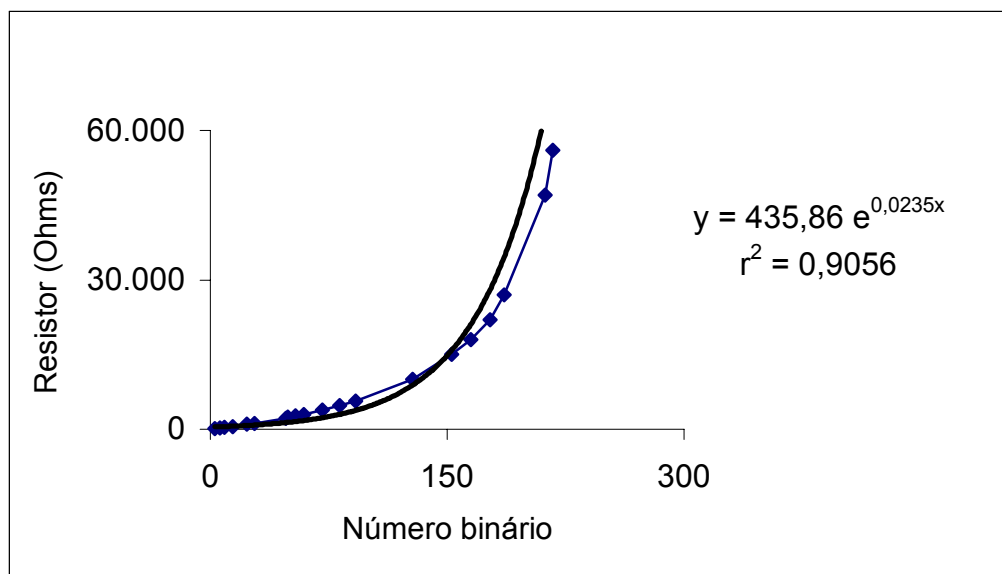


Figura 28 – Número binário em função da resistência.

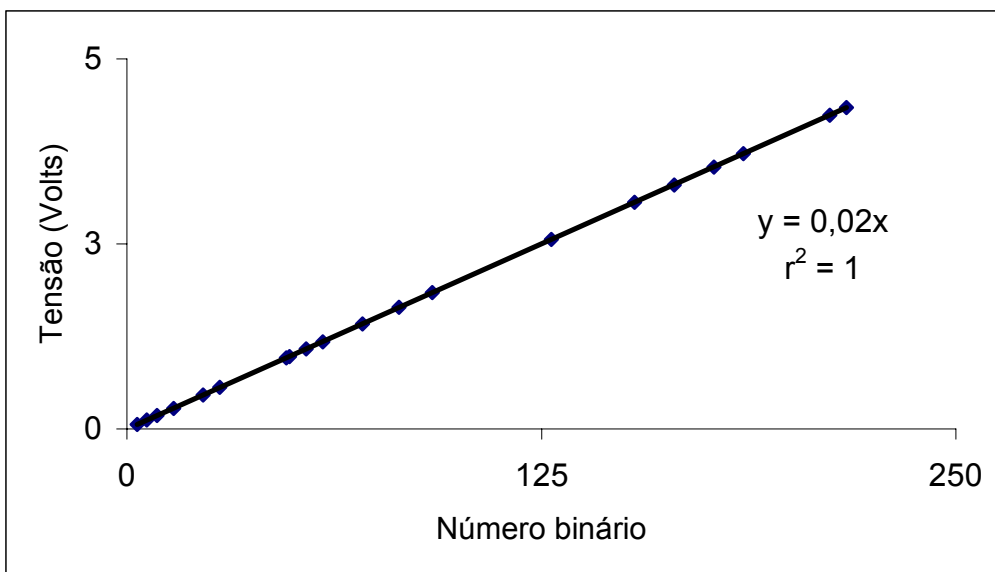


Figura 29 – Número binário em função da tensão.

A curva exponencial mostrada na Figura 28 foi dividida em 3 intervalos: de 100Ω a 1.200Ω (Figura 30), correspondente ao valor encontrado no LDR superior de 2.200Ω a 22.000Ω (Figura 31), e de 22.000Ω a 56.000Ω (Figura 32), sendo os dois últimos correspondentes aos LDR refletidos. Em cada intervalo foi feita uma regressão linear para ser utilizada na programação em assembly do microcontrolador.

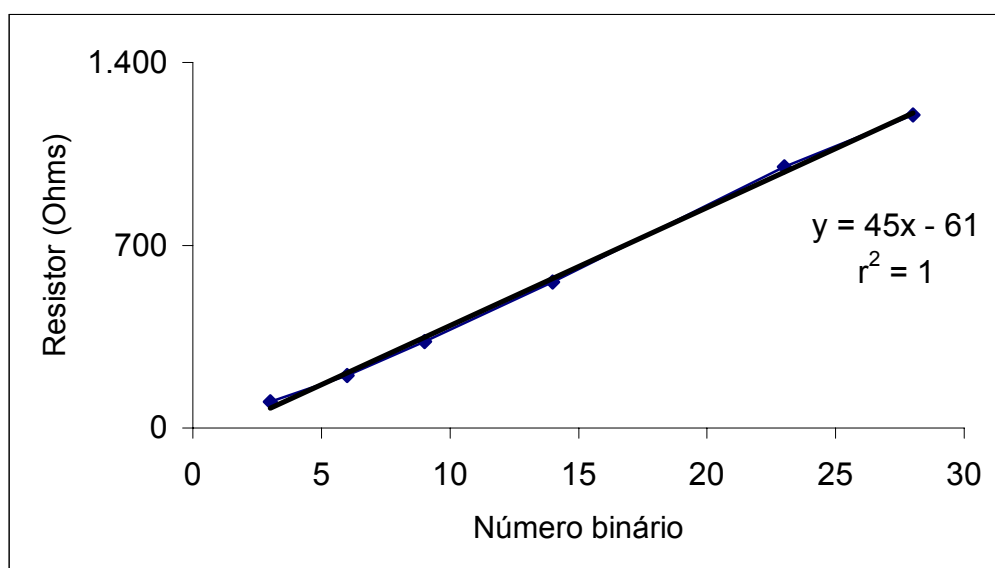


Figura 30 – Número binário em função da resistência para intervalo de valores de 100Ω a 1.200Ω .

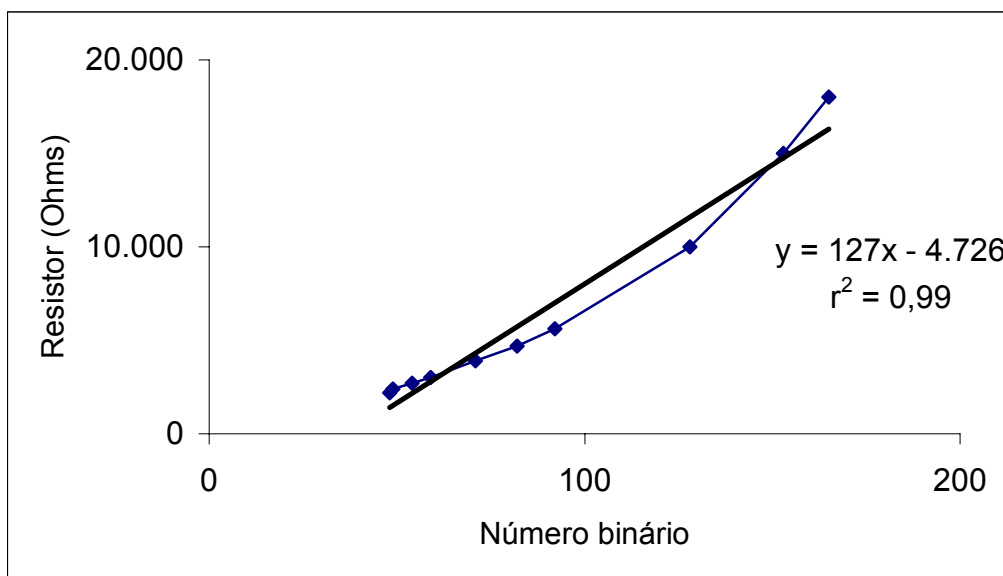


Figura 31 - Número binário em função da resistência para intervalo de valores de 2.200 Ω a 22.000 Ω .

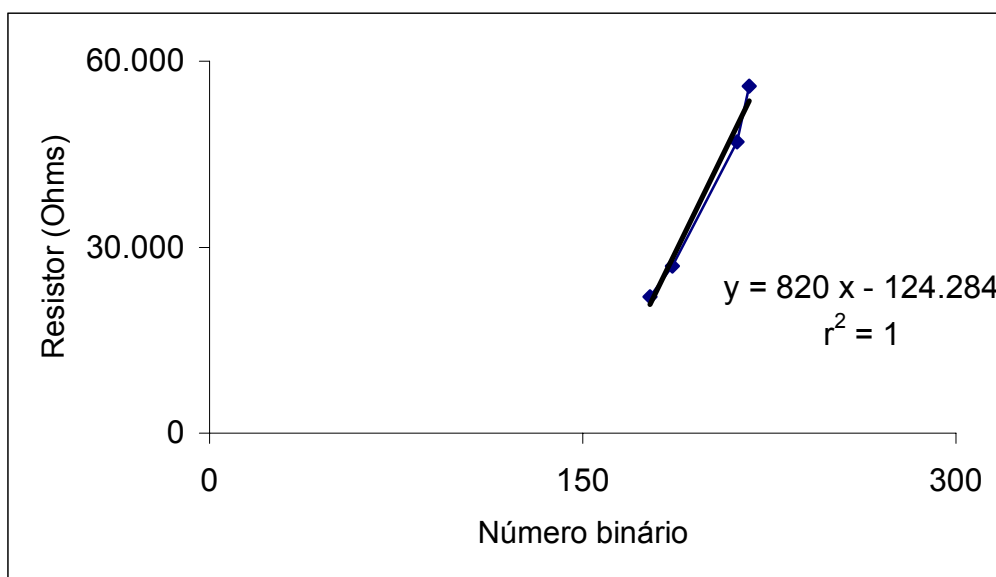


Figura 32 – Número binário em função da resistência para intervalo de valores de 22.000 Ω a 56.000 Ω .

A equação escolhida, para ser introduzida no programa, foi a da palhada de trigo (Figura 22). Essa escolha foi feita porque a palhada reflete mais luz do que as folhas e menos que o Argissolo. A equação foi dividida em dois intervalos

para o filtro verde (Figuras 33 e 34), e para o filtro transparente em um único intervalo, por não apresentarem valores maiores que 22.000 Ω (Figura 35).

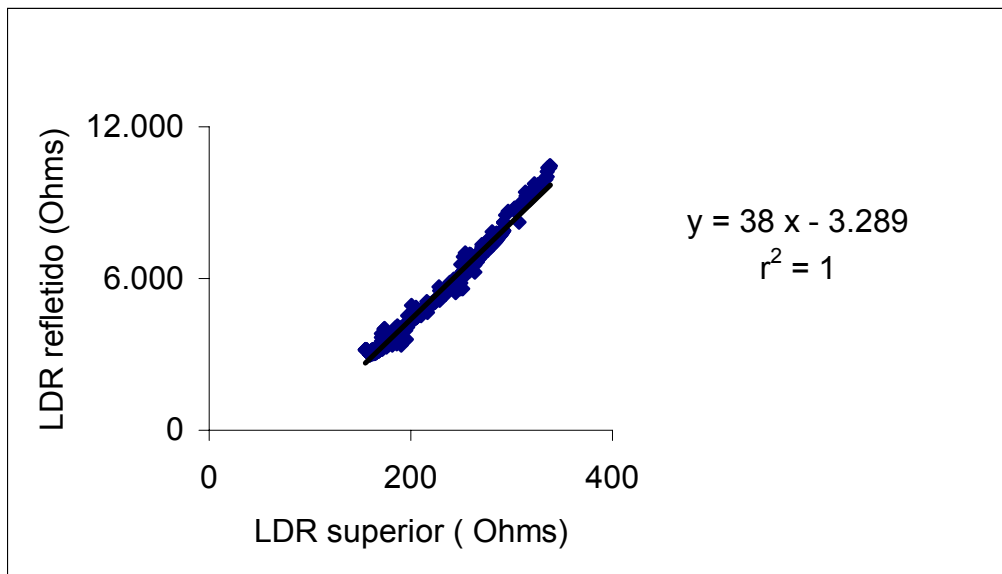


Figura 33 - Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para palhada correspondente ao intervalo de 2.200 Ω a 22.000 Ω para o filtro verde.

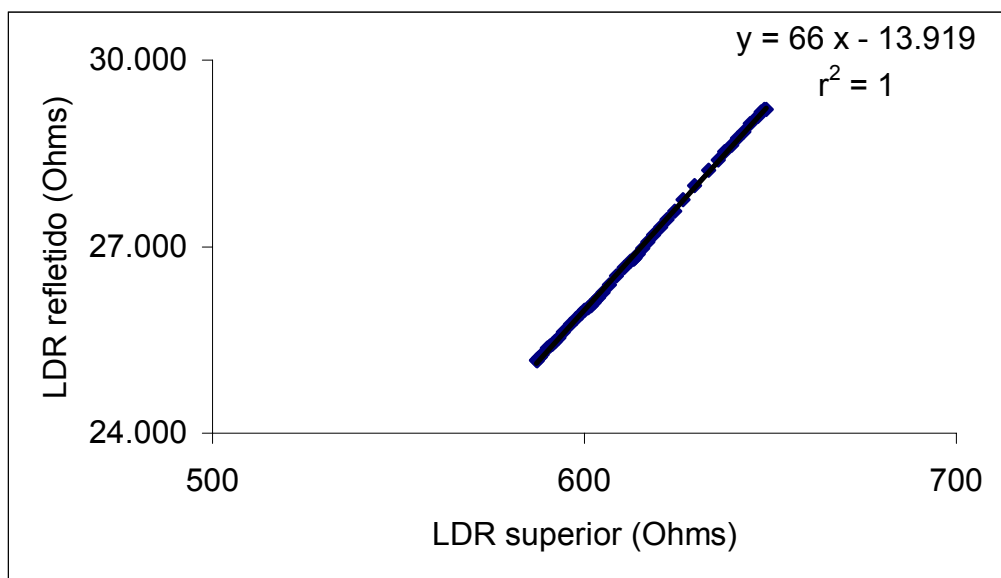


Figura 34 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para palhada correspondente ao intervalo de 22.000 Ω a 56.000 Ω para o filtro verde.

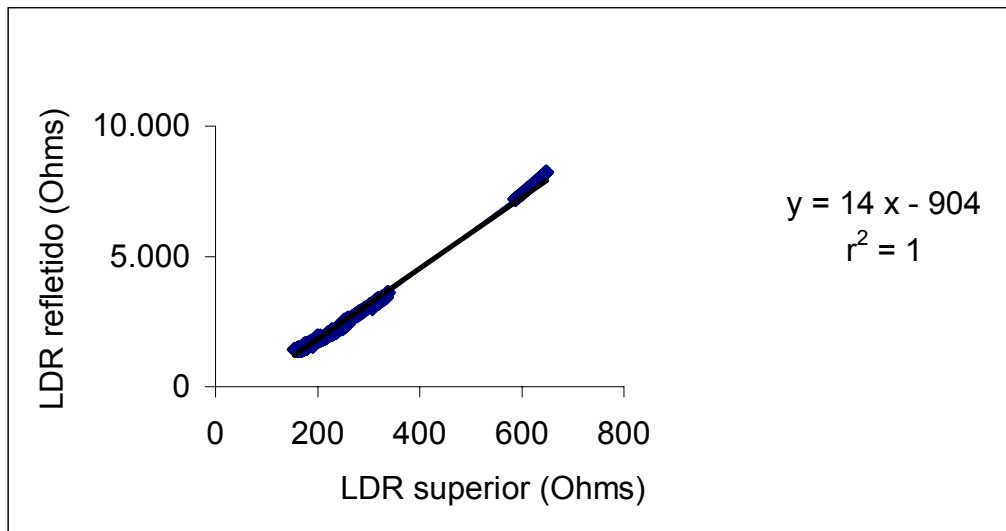


Figura 35 – Resistência do sensor de luz refletida, em função da resistência do sensor de luz incidente, para palhada correspondente ao intervalo de 2.200 Ω a 22.000 Ω para o filtro transparente.

As Figuras 36 e 37 mostram o fluxograma utilizado na programação do microcontrolador, para o filtro transparente e filtro verde, respectivamente.

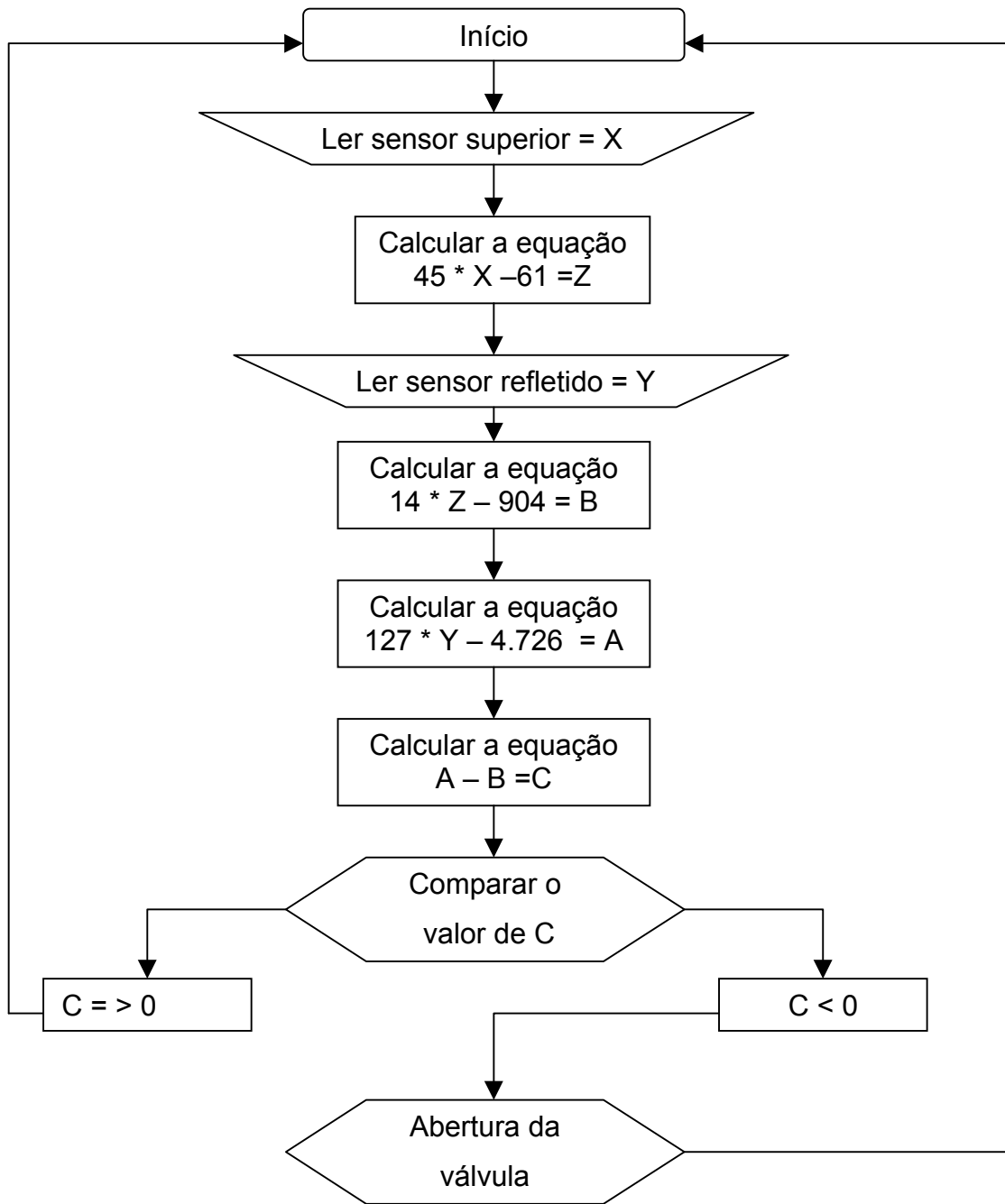


Figura 36 – Fluxograma para programação do microcontrolador com o filtro transparente.

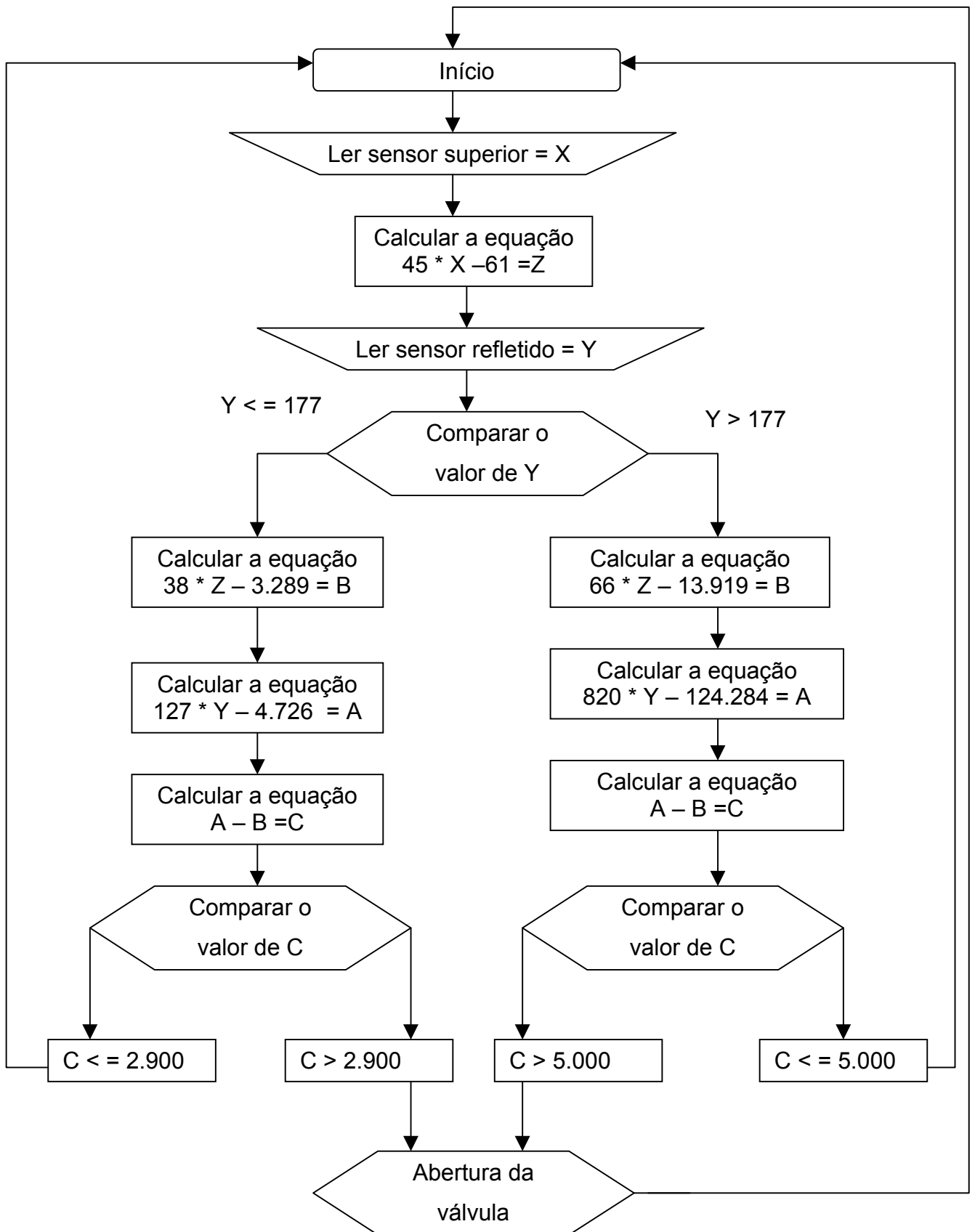


Figura 37 – Fluxograma para programação do microcontrolador com o filtro verde.

Na Figura 36, a tensão do sensor superior é transformada no número binário X, enquanto a resistência ôhmica (Z) é calculada conforme Figura 30. O valor de Z é o valor da resistência ôhmica do sensor incidente e está relacionado à intensidade instantânea da radiação global. A seguir, a partir do número binário Y, correspondente à tensão do sensor refletido, é calculada a resistência ôhmica (B) conforme Figura 35.

O valor de B é o valor da resistência que seria obtida, caso o sensor refletido estivesse sobre a palhada. A seguir, o binário Y é usado para o cálculo da resistência A do sensor refletido, conforme Figura 31. Finalmente, os valores de A e B são comparados: se $A \geq B$, ocorre a abertura da válvula, se $A < B$ volta ao início.

De forma similar ao fluxograma da Figura 36, o da Figura 37 mostra o caso do filtro verde. Devido à filtragem ocorrida, a intensidade de luz refletida que atinge o sensor é menor, ocasionando maiores valores de sua resistência. Neste caso, ao invés de usarmos apenas uma aproximação linear, a Figura 28 foi dividida em duas regiões, $R < 22 \text{ k}\Omega$ e $R > 22 \text{ k}\Omega$, sendo feita uma aproximação linear para cada faixa de valores de R.

A tensão do sensor superior, expressa no binário X, serve para o cálculo da resistência Z, relacionada à radiação incidente.

Conforme o valor do binário Y (relacionado com a resistência A do sensor refletido), há bifurcação de acordo com a aproximação linear considerada. A seguir, é calculada as resistências B da palhada, e A do sensor refletido.

Se a diferença ($A - B$) for superior a um certo valor (determinado experimentalmente), ocorre a abertura da válvula.

O fato dos valores 2.900 e 5.000, determinados experimentalmente, não terem sido otimizados, pode estar relacionado à baixa resolução do filtro verde em função do grau de infestação (a abertura da válvula ocorre somente no caso de infestações superiores a 73%).

4.4.1 Circuito eletrônico

O circuito eletrônico desenvolvido para o protótipo apresentado na Figura 38, é constituído, por:

- regulador de tensão (A);
- circuito oscilador, 4 MHz (B);
- circuito divisor de tensão (C);
- circuito de controle de saída, foi utilizado um relé de 6V (D); e
- circuito microcontrolador (E).

A corrente consumida pelo protótipo foi 0,011 A, sem o acionamento do relé, e 0,052 A com o acionamento, com uma alimentação de 5 V. Para a alimentação do protótipo, foi utilizada uma bateria de 12V 120 AH.

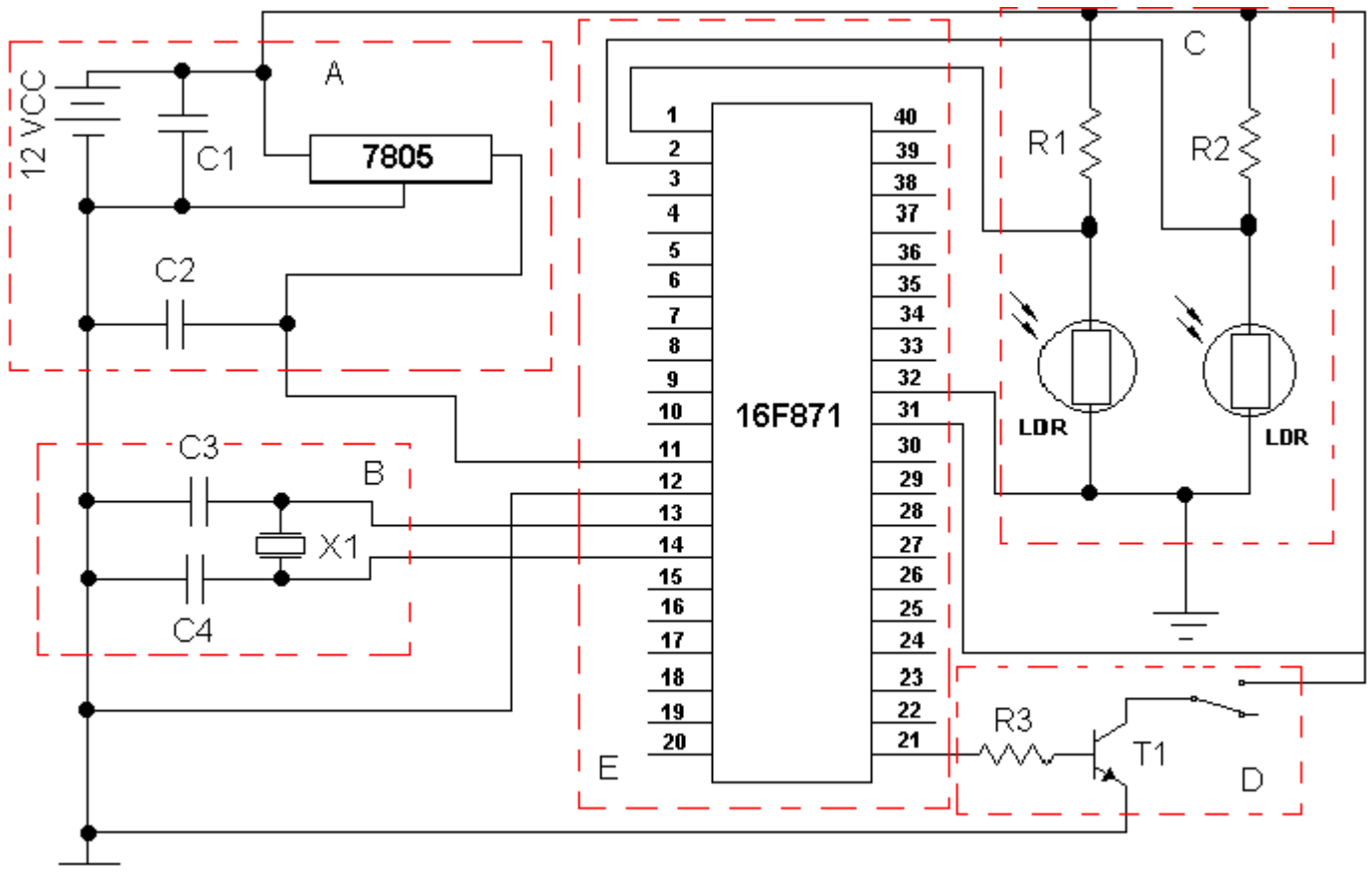


Figura 38 – Circuito eletrônico para detecção de plantas daninhas e o controle da aplicação de herbicidas.

Em que:

C1 e C2 = 100 nF;

C3 e C4 = 18 pF;

R1 e R2 = 10k Ω ;

R3 = 1k Ω ; e

X1 = 4MHz;

T1 = BC547.

(A) O regulador de tensão (LM 7805) utilizado é um estabilizador de tensão. No seu terminal de entrada, é aplicada a tensão proveniente da bateria (12 VCC), que fornece, em seu terminal de saída, uma tensão de 5 VCC para o funcionamento do circuito microcontrolador, divisores de tensão e controle de saída.

(B) O circuito oscilador de 4MHZ fornece sinal de clock, para sincronizar todas as atividades do microcontrolador.

(C) No circuito divisor de tensão, os resistores R1 e R2 limitam a potência dissipada no LDR, evitando que o componente seja danificado, em razão do aumento da intensidade de luz incidente no LDR.

(D) No circuito de controle de saída, o microcontrolador envia um sinal para a base do transistor, quando o sensor está sobre uma região com vegetação, acionando o relé, que passa do estado de normalmente aberto para fechado, abrindo a válvula.

(E) O circuito microcontrolador é responsável pela aquisição e processamento dos sinais de entrada, através do programa interno, e é responsável pelo acionamento da válvula.

Os componentes utilizados para o desenvolvimento do circuito eletrônico, para detecção da presença de plantas daninhas e o controle da aplicação de herbicidas, são de fácil aquisição, podendo ser encontrados em qualquer loja especializada, ao custo aproximado de R\$30,00.

4.4.2 Válvula

Para o funcionamento da válvula, foi construído um circuito conversor de corrente contínua para alternada (Figura 39), sendo que a corrente consumida pela válvula foi 0,097 A com alimentação de 97 V e potência de dissipação de 9,4 W. A válvula foi submetida ao teste, na bancada: em um intervalo de 1 segundo, ela permanecia aberta, e 0,5 segundo fechada. Durante duas horas, não ocorreu anormalidade em seu funcionamento.

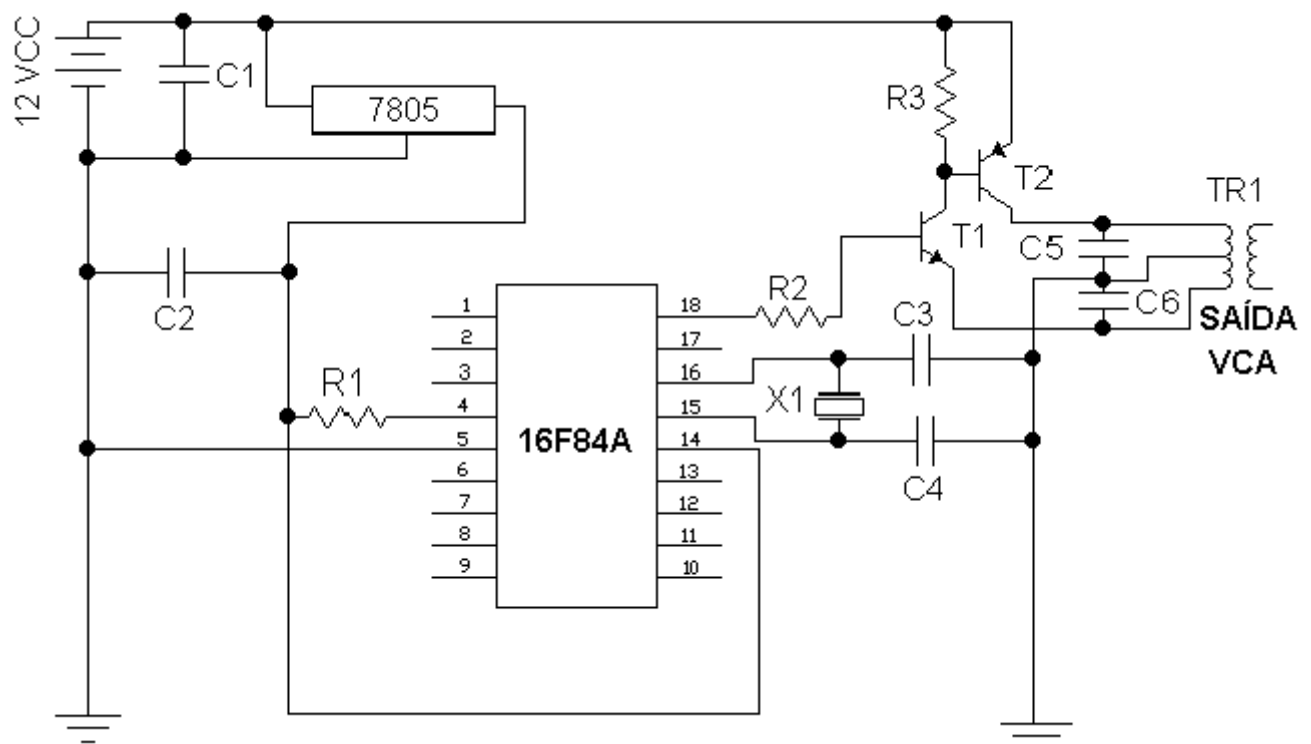


Figura 39 – Circuito conversor de corrente contínua para alternada.

em que:

C1, C2, C5 e C6 = 100 nF;

C2 e C3 = 18 pF;

R1 = 10 k Ω ;

R2 e R3 = 1 k Ω ;

T1 = BC 547;

T2 = BD 136; e

X1 = 4 MHz;

TR1 = transformador 110/220V 500mA.

Para o desenvolvimento do circuito conversor de corrente contínua para corrente alternada, foi desenvolvido um programa em linguagem assembly para controlar a frequência de oscilação do circuito conversor.

A potência do circuito conversor é, aproximadamente, 48,5 W, que é suficiente para alimentar até 5 válvulas solenóides, simultaneamente, a um custo aproximado de R\$ 25,00.

4.5 Teste de laboratório

Os resultados dos testes realizados, seguindo-se as normas da ASAE EP 455 JUL 91, para verificar a influência da temperatura, da umidade relativa e

poeira sobre o funcionamento do protótipo, mostraram que não ocorreram anormalidades no funcionamento do protótipo.

4.5.1 Temperatura

Na faixa de temperatura, em que o protótipo funcionou por 24 horas, não foi observada influência da temperatura nos valores medidos. Neste teste, verificou-se o efeito das temperaturas sobre as junções da solda, bem como o comportamento dos componentes eletrônicos nessas temperaturas: Na faixa estudada, verificou-se que o protótipo funcionou sem problemas.

4.5.2 Umidade relativa

A umidade relativa máxima recomendada pela ASAE é 96%, sendo o máximo valor obtido de $90\% \pm 1$, a 25° C. O valor máximo não foi obtido por limitações da câmara climática. Nessa câmara, o controlador da pressão de vapor, para evitar a condensação, não permitia maior valor para a umidade relativa, e o aparelho funcionou por 24 horas. Nesse teste, foi verificado o efeito da umidade no aparelho, não havendo condensação sobre o circuito e não ocorrendo anormalidade em seu funcionamento.

4.5.3. Poeira

No teste de poeira, durante o qual o protótipo funcionou por 72 horas, não foi observada nenhuma influência da poeira que ficou aderida à placa, não ocorrendo fuga de corrente. Esse teste simulou o efeito causado pela poeira do campo sobre o funcionamento do protótipo.

5 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Um sistema eletrônico foi desenvolvido para detecção da presença de plantas daninhas, obtendo sucesso no campo.

O sensor (LDR) e o circuito utilizados conseguiram detectar, com 100% de acerto, a diferença entre uma área com 100% de vegetação e outra sem vegetação.

O filtro transparente apresentou melhor desempenho para a detecção de áreas com infestação superior a 22% (filtro verde, 73%). Esta diferença deve-se à não otimização das equações da coleta estática e à atenuação da radiação ocasionada pelo filtro verde.

O custo total do protótipo foi da ordem de R\$30,00 (US\$1,00 = R\$2,34, em 25/05/2001). O microcontrolador utilizado (16F871), já obsoleto, pode ser substituído por outro da mesma família 16F877, ou de outras famílias.

Os testes conduzidos sob as condições de temperatura, umidade relativa e poeira, conforme as normas recomendadas pela ASAE, não mostraram erros.

O presente trabalho evidencia que é possível, e economicamente viável, a utilização deste equipamento para aplicação de herbicidas para dessecação.

5.2 – Considerações finais

No entanto futuros estudos devem ser realizados considerando:

- o estágio de desenvolvimento das plantas daninhas, para várias espécies diferentes;
- tipos de solo, teor de umidade e matéria orgânica do solo;
- palhadas de cobertura diferentes;
- alturas de coletas diferentes;
- ensaios de campo, em situação real, estudando-se o número de sensores e circuitos por conjunto de bicos pulverizadores, em função do tempo de resposta do sistema e da velocidade da máquina;
- para uso dos herbicidas aplicados em pós-emergência, deve-se adequar um suporte para o sensor, limitando o ângulo de visão do LDR para a área entre as linhas da cultura.

5- LITERATURA CITADA

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Environmental considerations in development of mobile agricultural electrical/electronic components. – ANSI/ASAE EP445. In: -. **ASAE STANDARDS 1994**; standards engineering practices data. 41. ed. St. Joseph: 1994. p.293-299.
- ANTUNIASSI, U. R. , GADANHA JUNIOR, C. D. ; Aplicação localizada de produtos fitossanitários. In: Borén, A. et al. (Ed.). Agricultura de Precisão. Viçosa: UFV, 2000. p 181 – 202.
- BENGTSON, R.L., SOUTHWICK, L.M., WILLIS,G.H., CARTER, C.E. The of subsurface drainage practices on herbicide losses. **Transactions of the ASAE**. V. 33, n.2, p7-10,1985.
- CANZIAN, E., SARAIVA A. M., CUGNASCA, C. E., Projeto de um monitor de semeadora com GPS para pesquisa em agricultura de precisão. **Agrosoft 97**. 24/7/98 (<http://www.agrosoft.com.br/ag97/papers/c4a1630.htm>).
- CAPPELLI, N. L. Agricultura de precisão - novas tecnologias para o processo produtivo. 25/6/1999 (<http://www.cria.org.br/gip/gipap/capelli.htm>)
- CHRISTENSEN, S.; WALTER, A. M.; HEISEL, T. The patch treatment of weeds in cereals. In: The 1999 Brighton Conference Weeds, 1999, Brighton. **Proceedings...**, Brighton, UK, 1999. V. 2, p. 591 – 600.
- CROWE, T.G., DELWICHE, M.J. Real-time defect detection in fruit - part 1: design concepts and development of prototype hardware. **Transactions of the ASAE**, v.39, n.2, p. 2299-2308,1996.
- CRUCIANI, D.E., BAPTISTA, G.C., CHRISTOFFOLETP, MINAMI, K. Comportamento de herbicida em solo de várzea com drenagem subterrânea. **Sciencia Agrícola**. v.53, n.2/3, p. 316-323, 1996.

DIAS, G. P., VITÓRIA, E.L., REIS, E. F., KHOURY JÚNIOR, J. K Sistema para controle da vazão em aplicação localizada de agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas, MG: SBEA, 1998. p. 118.

HAGGAR, R. J., STENT, C. J., ISSAC, S. A prototype hand-held patch sprayer for killing weeds, activated by spectral differences in crop weed canopies. **J. Agric. Eng Res**, v.28, p.349-358, 1983.

HELLING, C.S., ZHUARY, W., GISH, M.T.J., COFFMAN, M.D., WOODWARD, M.D. Persistence and leaching of atrazine, alachlor, and cyanazine under no-tillage practices. **Chemosphere**. v. 17, p. 175-187, 1988.

HOOPER, A. W., HARRIES, G. O., AMBLER, B. A photoelectric sensor for distinguishing between plant material and soil. **J. Agric. Eng. Res.**, v.21, p.145-155, 1976.

JAKELAITIS, A. **Dinâmica populacional de plantas daninhas nos plantios convencional e direto da cultura do milho**. Viçosa, MG:UFV, 2001. 79p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.

JOHN DEERE. **The precision-farming guide for agriculturists: the nuts and bolts guide to "getting up to speed" fast and effectively with this exciting new management tool**. Illinois: Deere Company, 1997.117p. (Agricultural Primer Series). (Catalog).

JURY, W.A, ELABD, H., RESKETO, M., Field study of napropamide movement through unsaturated soil. **Water Resources Research**. v.22, n.5, p.749-755, 1986.

LOPES, A.; **Opto eletrônica prática**. São Paulo: Editora Fittipaldi LTDA; 1996 p79.

MANTOVANI, E. C., QUEIROZ, D. M., DIAS, G. P. Máquinas e operação utilizadas na agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Mecanização e agricultura de precisão, 27,1998, Poços de Caldas, MG. **[Anais]**. Lavras, MG; UFLA, SBEA, 1998. Cap.4, p.109-158.

PAZ, S. M., CUGNASCA, E. C., SARAIVA A. M., Programa de simulação de um receptor GPS, para testes de equipamentos usados em agricultura de precisão. Agrosoft 97(<http://www.agrosoft.com.br/ag97/papers/c2t1430.htm>).

PITELLI, R. A. Estudos fitossociológicos em comunidades infestantes de agroecossistemas. **Jornal Conserb**. V.1, n. 2, p. 1-7, 2000.

RITTER, W. F., SCARBOROUGH, R. W., CHIRNSIDE, E. M., Herbicide leaching in coastal plain soil. **Jornal of Irrigation and Drainage Engineering**. v. 120, n.3, p.634-649, 1994.

SARAIVA, A. M., CUGNASCA, C. E., Sistema para agricultura de precisão: equipamentos e programas. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Mecanização e agricultura de precisão, 27,1998, Poços de Caldas, MG. **[Anais]**. Lavras, MG: UFLA, SBEA, 1998. Cap.5, p.159-202.

SILVA, A. A., SILVA, J. F., FERREIRA, F. A., FERREIRA, L. R., JÚNIOR, R. S. O., VARGAS, L. **Manejo de plantas daninhas**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa:1999. 209p.

SILVA JÚNIOR, V. P. **Microcontroladores PIC: Teoria e prática**. São Paulo: 1997 140 p.

SINDAG 2002 – Sindicato Nacional da Indústria para Defesas Agrícolas - <http://www.sindag.com.br/index.php3> – 13/02/2002 , 21:49 h

TIAN, L. Precision chemical application system (smart sprayer project).
31/05/1999 (<http://www. age. uiuc. edu/faculty/lft/sprayer.htm>).

TRANSONI - <http://transoni.vilabol.uol.com.br/> - 13/02/2002, 21:30 h.

WALDMAN,G., WOOTTON, J. **Electro – Optical Systems Performance Modeling**. Boston: Artech House, 1993. 241p.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1 – Lista de materiais para sistema eletrônico, para detecção da presença de plantas daninhas e o controle da aplicação de herbicidas dessecantes

Quan.	Descrição	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
02	LDR 4,2 mm	1,00	2,00
04	Capacitor cerâmico	0,11	0,44
01	Cristal oscilador 4MHz	1,00	1,00
01	Regulador de tensão 7805	1,50	1,50
03	Resistor de filme carbono	0,012	0,036
01	Micro relê 6 Vcc	2,50	2,50
01	Transistor BC 547	0,10	0,10
01	Circuito integrado	12,580	12,580
01	Válvula solenóide	5,50	5,50
		TOTAL	25,65

APÊNDICE B

Quadro 2 – Lista de materiais para o circuito conversor de corrente continua para alternada

Quan.	Descrição	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
06	Capacitor cerâmico	0,11	0,66
01	Cristal oscilador 4MHz	1,00	1,00
01	Regulador de tensão 7805	1,50	1,50
03	Resistor de filme carbono	0,012	0,036
01	Transistor BD 136	0,80	0,80
01	Transistor BC 547	0,10	0,10
01	Transformador		
	110/220V- 500 mA	7,00	7,00
01	Circuito integrado 16F84	13,00	13,00
		TOTAL	24,00