

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
MESTRADO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

WELLINGTON CESAR DIAS

USO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA O DESENVOLVIMENTO
DE UM AMBIENTE AUTOMATIZADO PARA TESTES DE PLANTABILIDADE DE
SEMENTES DE MILHO

PONTA GROSSA

2013

WELLINGTON CESAR DIAS

USO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA O DESENVOLVIMENTO
DE UM AMBIENTE AUTOMATIZADO PARA TESTES DE PLANTABILIDADE DE
SEMENTES DE MILHO

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação
em Computação Aplicada da Universidade Estadual de
Ponta Grossa, como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Petraq Papajorgji

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Alaine Margarete Guimarães

PONTA GROSSA

2013

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

D541 Dias, Wellington Cesar
 Uso de processamento digital de imagens
 para o desenvolvimento de um ambiente
 automatizado para testes de plantabilidade
 de sementes de milho/ Wellington Cesar
 Dias. Ponta Grossa, 2013.
 49f.

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

 Orientador: Prof. Dr. Petraq
 Papajorgji.

 Co-Orientadora: Prof^a Dr^a Alaine
 Margarete Guimarães.

 1.Milho. 2.Processamento digital de
 imagens. 3.Teste de plantabilidade.
 I.Papajorgji, Petraq. II. Guimarães,
 Alaine Margarete. III. Universidade
 Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em
 Computação Aplicada. IV. T.

CDD: 006.3

TERMO DE APROVAÇÃO

Wellington Cesar Dias

**“USO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA O
DESENVOLVIMENTO DE UM AMBIENTE AUTOMATIZADO PARA TESTES DE
PLANTABILIDADE DE SEMENTES DE MILHO”.**

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

Orientador:


Dr.^a Elaine Margarete Guimarães
UEPG


Dr. José Carlos Ferreira da Rocha
UEPG


Dr. Emerson Fey
UNIOESTE

Ponta Grossa, 09 de setembro de 2013.

A meus pais, que sempre foram exemplo e
incentivo em minha caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Aos meus familiares que sempre apoiaram e incentivaram minhas caminhadas: Marli (mãe), Cesar (Pai), Thatiane (irmã), João Paulo (cunhado) e a pequena Marielle (sobrinha).

Ao “amigo-irmão” Rodrigo D’avila, que foi fundamental e importante para que essa empreitada fosse realizada com sucesso, muito obrigado meu “irmão”.

A minha namorada Taisa, pois é com ela que quero compartilhar os frutos do meu esforço por toda vida.

Ao Prof. Dr. Petraq Papajorgji, pela excelente orientação e por mostrar que o caminho do pesquisador é árduo, mas é louvável.

Em especial a Prof. Dra. Alaine Margarete Guimarães por acreditar no meu potencial quando eu mesmo não acreditei e pelos bons conselhos nos momentos de dificuldade.

Ao Prof. Dr. Altair Justino pela colaboração agrônômica no desenvolver do presente trabalho.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, pela oportunidade de cursar o Mestrado.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, pelo aprendizado e convivência científica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida

À SOCIDISCO, que foi parceira desta pesquisa auxiliando nos testes realizados.

RESUMO

Atualmente, o processo de determinação da distância longitudinal de sementes em um teste de plantabilidade é manual e propenso a falhas. Para a cultura do milho, a distribuição de sementes em distâncias inadequadas impede que cada planta tenha o espaço necessário para seu crescimento, propiciando a concorrência por nutrientes e luz, assim como plantas dispostas de forma muito distantes, propiciam espaço para o desenvolvimento de plantas daninhas. Considerando a importância do teste de plantabilidade e que este vem sendo feito de forma manual e propenso a falhas, este trabalho teve o objetivo de desenvolver um ambiente automatizado de análise de distribuição de sementes, composto por uma combinação de esteira de plantabilidade, câmera de filmagem e software. Foi utilizada uma esteira de plantabilidade com contador de sementes e com cobertura de carpete, à qual foi incorporado um inversor de frequência para possibilitar que a esteira trabalhasse em diferentes velocidades, os vídeos foram registrados utilizando a câmera Contour+, e o software foi desenvolvido em linguagem Java implementando técnicas de processamento digital de imagens adequadas ao problema em questão. Com o ambiente desenvolvido foi possível obter uma leitura precisa da distância entre as sementes, pela contagem do tempo decorrido entre cada detecção do momento em que cada semente cruza determinado ponto do vídeo e a velocidade da esteira. Foram realizados dois tipos diferentes de testes. Com o teste com distâncias previamente conhecidas, o maior erro obtido na medida das distâncias foi de 0,9 cm, que representa 2,25% em uma distância de 40 cm entre sementes, como é o caso do milho e a média de erro foi de 0,19 cm, que representa 0,48% em uma distância de 40 cm entre sementes. Os testes de medição longa com 500 sementes mostraram que o sistema detecta a maioria das sementes que passam na esteira, tendo como maior taxa de erro 1,26%. O ambiente proposto permite também a detecção das sementes em cores variadas, sendo que nesta pesquisa foram utilizadas sementes in-natura (amarelas, extraídas diretamente de uma espiga), avermelhadas e azuladas, de acordo com o tratamento recebido. Acredita-se que a solução pode auxiliar na seleção mais rápida e eficiente de discos dosadores ao longo dos testes de plantabilidade, e consequentemente, na obtenção de uma melhor disposição de plantas no campo, levando a uma maior produtividade.

Palavras-chave: milho, processamento digital de imagens, teste de plantabilidade.

ABSTRACT

Nowadays, the process of determining the longitudinal distance between seeds in a plantability test is manual and prone to failures. For maize, the seed distribution in inadequate distances prevents each plant has the space needed for their growth, providing competition for nutrients and light , as well as plants arranged far apart, provide space for the development of weed. Considering the importance of testing plantability and that it has been done manually and prone to failures, this study aimed to develop an automated environment analysis of seed distribution, consisting of a combination of mat plantability, movie camera and software. A treadmill plantability metered seed and topped with carpet, which was incorporated into a frequency inverter to allow the mat to work at different speeds, the videos were recorded using the camera Contour+, and the software was developed in Java, implementing techniques of digital image processing appropriate to the problem at hand. The environment developed made possible to obtain an accurate reading of the distance between seeds by counting the elapsed time between each detection time of each seed crosses a certain video point and the speed of the treadmill. There were performed two different types of tests. In the test with previously known distances, the largest error obtained in the measured distances was 0.9 cm, which represents 2.25% at a distance of 40 cm from seeds, such as maize and the mean error was 0.19 cm which represents 0.48% at a distance of 40 cm from seeds. The tests with long measuring 500 seeds showed that the system detects the most seeds passing the mat, with the highest error rate 1.26%. The proposed environment also allows the detection of seeds with different colors, as in this research were used in natura seeds (yellow, extracted directly from a spike), reddish and bluish, according to the treatment received. It is believed that the solution can assist in the selection of faster and more efficient dosing discs along the plantability tests and consequently in obtaining a better arrangement of plants in the field, leading to higher productivity.

Keywords: maize, digital image processing, plantability test.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificações de espaçamento.	13
Figura 2 - Disco Horizontal Perfurado.	15
Figura 3 - Esteira de plantabilidade.	15
Figura 4 - Solução apresentada por Oliveira e Pinto (2007).	17
Figura 5 - Teste do equipamento dosador por Ebrahimian et al. (2011).	18
Figura 6 - Esteira de plantabilidade SOCIDISCO.	23
Figura 7 - Contador de sementes.	24
Figura 8 - Câmera Contour+.	24
Figura 9 - Rotulação e cálculo de centroide.	27
Figura 10 - Centroide cruzando linha de cálculo de distância.	28
Figura 11 - Interface do software de análise de semeadura.	29
Figura 12 - Tabela com espaçamento e campos de resultados.	31
Figura 13 - Arquivo PDF com os resultados da análise.	31
Figura 14 - Sementes amarelas de milho utilizadas no teste com 500 sementes.	43
Figura 15 - Sementes avermelhadas de milho utilizadas no teste com 500 sementes.	44
Figura 16 - Sementes azuladas de milho utilizadas no teste com 500 sementes.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhes técnicos da esteira de plantabilidade.	23
Tabela 2 - Disposição das sementes no teste com distâncias conhecidas.	32
Tabela 3 - Distâncias obtidas no experimento com distâncias conhecidas (5,0km/h).	34
Tabela 4 - Distâncias obtidas no experimento com distâncias conhecidas (5,5 km/h).	35
Tabela 5 - Distâncias obtidas no experimento com distâncias conhecidas (6,0 km/h).	36
Tabela 6 - Distâncias obtidas no experimento com distâncias conhecidas (6,5 km/h).	37
Tabela 7 – Dados estatísticos do experimento com distância conhecida (5,0km/h).	38
Tabela 8 - Dados estatísticos do experimento com distância conhecida (5,5 km/h).	39
Tabela 9 - Dados estatísticos do experimento com distância conhecida (6,0 km/h).	40
Tabela 10 - Dados estatísticos do experimento com distância conhecida (6,5 km/h).	41
Tabela 11 - Teste com 500 sementes amarelas.	43
Tabela 12 - Teste com 500 sementes avermelhadas.	43
Tabela 13 - Teste com 500 sementes azuladas.	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES	13
3.2	DISCO HORIZONTAL PERFURADO	14
3.3	TESTE DE PLANTABILIDADE.....	15
3.3.1	TESTE DE PLANTABILIDADE MANUAL.....	16
3.3.2	TESTE DE PLANTABILIDADE AUTOMÁTICO	16
3.4	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM	19
3.4.1	CÁLCULO DO CENTRO DE MASSA	20
3.5	CONCLUSÃO	21
4	METODOLOGIA.....	22
4.1	EQUIPAMENTO DE SIMULAÇÃO DA SEMEADORA.....	22
4.2	CONTADOR DE SEMENTES DA ESTEIRA	23
4.3	SISTEMA DE CAPTURA DE IMAGENS.....	24
4.4	SOFTWARE DE ANÁLISE DE SEMEADURA.....	25
4.4.1	AQUISIÇÃO	25
4.4.2	LIMIARIZAÇÃO	26
4.4.3	ROTULAÇÃO	26
4.4.4	RASTREAMENTO.....	27
4.4.5	CÁLCULO DA(S) DISTÂNCIA(S)	28
4.4.6	INTERFACE DO SOFTWARE.....	29
4.5	TESTES COM A SOLUÇÃO DESENVOLVIDA.....	32
4.5.1	VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS E DA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA .	32
4.5.2	TESTE SOBRE A VARIAÇÃO DAS LEITURAS NO DECORRER DE UMA MEDIÇÃO LONGA	33

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1	CÁLCULOS E CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE	34
5.2	VARIAÇÃO DAS LEITURAS EM DE UMA MEDIÇÃO LONGA	42
5.3	SÍNTESE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	45
6	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	46
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

Na agricultura, a população de plantas, caracterizada pela sua densidade na linha de semeadura e pelo espaçamento entre linhas, é fator determinante para o crescimento de uma cultura (URBEN FILHO; SOUZA, 1993). O excesso de plantas e as falhas no espaçamento na linha de semeadura resultam na queda de rendimento em lavouras, sendo estas falhas derivadas de características relacionadas às semeadoras, ou pela interação de fatores relacionados às sementes e ao preparo do solo (TORRES; GARCIA, 1991).

O planejamento do processo de semeadura e escolha adequada dos maquinários e equipamentos agrícolas é fundamental para obtenção de uma população de plantas satisfatória.

As semeadoras podem utilizar diferentes mecanismos dosadores de sementes, sendo os mais utilizados: disco horizontal perfurado, rotor acanalado, dedo prensor, copo distribuidor e dosador pneumático (KEMPSKI, 2006).

Segundo Francetto et al. (2012), o disco horizontal perfurado é o mais comum mecanismo dosador utilizado nas semeadoras de precisão e corresponde a 79,57% do total de mecanismos dosadores das semeadoras nacionais.

Para escolha do disco dosador ideal para determinado lote de sementes, são realizadas análises que simulam o plantio em laboratório verificando o espaçamento entre as sementes subsequentes. Vários discos dosadores são testados para o cultivar escolhido e aquele que apresentar melhor desempenho deve ser utilizado no ambiente de produção.

A análise dos discos dosadores é realizada, normalmente, de forma rudimentar e manual, pois um indivíduo observa a olho nu a distribuição das sementes e mede a distância entre elas com uma régua ou fita métrica, sendo, portanto um processo que está sujeito a falhas. Algumas tentativas de automatização têm sido desenvolvidas, porém não apresentam comportamento eficiente e satisfatório para serem efetivamente adotadas.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral desenvolver um ambiente para a automatização dos testes de plantabilidade provendo uma determinação eficiente do espaçamento longitudinal entre sementes de milho dosadas por disco dosador perfurado, utilizando técnicas de processamento digital de imagens.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos delimitados para esse trabalho foram: (i) identificar uma combinação de equipamentos que viabilize a análise automática de distribuição longitudinal de sementes, (ii) identificar as técnicas de processamento digital de imagens adequadas e desenvolver um software em ambiente portátil para análise automática de distribuição longitudinal de sementes baseado nessas técnicas e (iii) avaliar o ambiente proposto (combinação de equipamentos e software) em diferentes velocidades de simulação de distribuição longitudinal de sementes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES

Distribuição longitudinal de sementes caracteriza-se como a distância entre sementes subsequentes em uma mesma linha, em uma população de plantas. A homogeneidade dessa distribuição é fundamental para assegurar, além de um melhor aproveitamento do solo, refletido em uma maior produção, uma cobertura homogeneia. Essa homogeneidade garante que cada planta terá o espaço necessário para seu crescimento, prevenindo concorrência entre nutrientes e luz, ou evitando plantas dispostas de forma muito distante, o que propicia espaço para o desenvolvimento de plantas daninhas (TORRES; GARCIA, 1991).

Kurachi et al. (1989) classificam o espaçamento entre sementes de três formas: (a) Aceitável – 0,5 a 1,5 vez o espaçamento médio esperado; (b) Dupla – abaixo de 0,5 vez o espaçamento médio esperado; (c) Falha – acima de 1,5 vez o espaçamento médio esperado. A Figura 1 ilustra as três classificações de espaçamento, sendo que a letra *e* representa o espaçamento médio esperado.

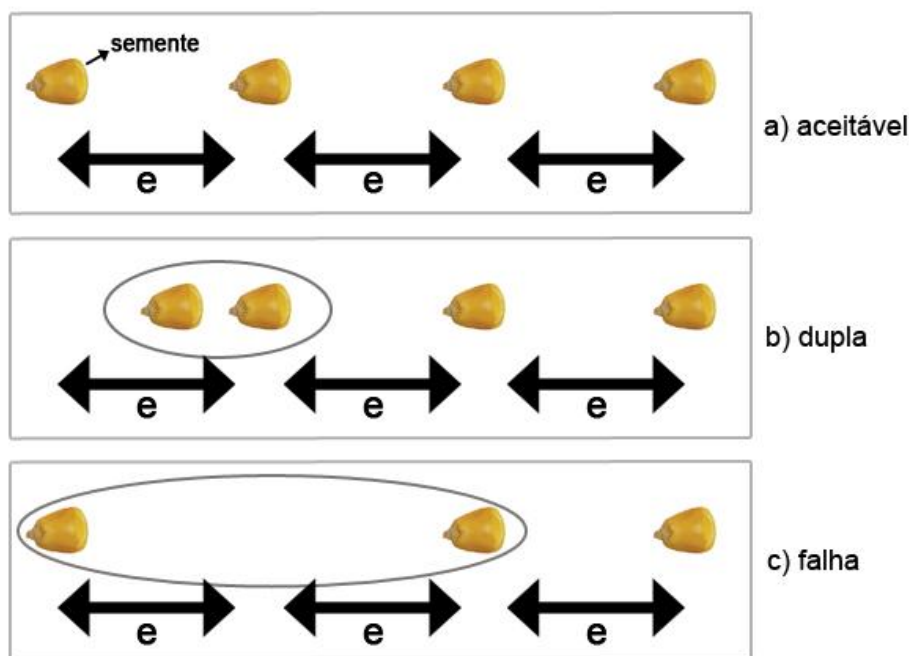


Figura 1 - Classificações de espaçamento.

Fonte: Do autor.

Segundo Silva (1992), a densidade de plantas é um dos fatores mais importantes para o sucesso da cultura do milho, pois pequenas alterações acarretam modificações relativamente grandes na produtividade de grãos. Sendo assim, a escolha do espaçamento é uma decisão que

deverá ser tomada de acordo com a disponibilidade dos equipamentos e da forma de condução da cultura.

Dias et al. (2009) relataram problemas quanto à homogeneidade das sementes, bem como sua adequação aos orifícios do disco dosador e problemas relativos à falta ou excesso de sementes, danos e distribuição longitudinal.

Um estudo elaborado por Weirich Neto et al. (2001) aponta a influência dos discos dosadores no processo de semeadura. Neste trabalho foi realizada uma análise do comportamento do disco perfurado horizontal operando em diferentes velocidades, associado com diversos tamanhos de sementes. Os autores concluíram que uma classificação rigorosa de sementes em conjunto com a melhor escolha do disco dosador é de fundamental importância no processo de semeadura.

Diante destes trabalhos observa-se que a classificação de sementes aliada a melhor escolha do disco dosador é de suma importância no processo de semeadura e pode impactar diretamente no sucesso de uma cultura. Observando-se ainda que as escolhas pelos discos dosadores são feitas de forma manual, entende-se que mecanismos que façam uma análise automática da distribuição de sementes tragam melhorias no processo de análise.

3.2 DISCO HORIZONTAL PERFURADO

O disco horizontal perfurado é um disco com os orifícios nas bordas, do qual os tamanhos e formatos são diferenciados para cada tipo de semente, a fim de proteger a semente contra danos e assegurar que apenas uma semente seja depositada ao solo de cada vez (OKOPNIK, 2012).

A distribuição correta de sementes depende da combinação entre um disco perfurado (Figura 2, A) e um anel (Figura 2, B). O disco perfurado gira enquanto a semeadora se desloca e cada orifício é preenchido com uma semente. O anel, posicionado abaixo do disco tem apenas um orifício e é fixo. Assim, enquanto o disco dosador gira, seus orifícios, preenchidos com sementes, alinham-se com o orifício do anel (Figura 2, C), e a semente então é conduzida ao solo.

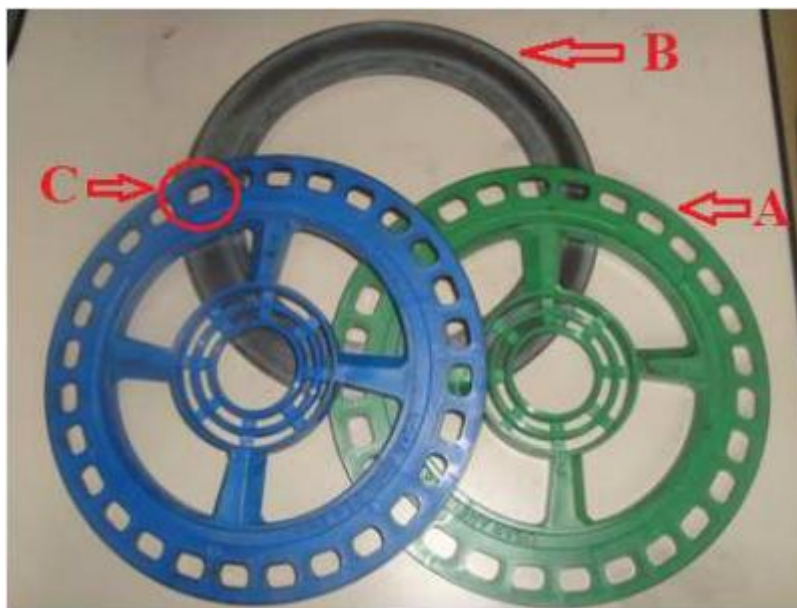


Figura 2 - Disco Horizontal Perfurado.
Fonte: Okopnik (2012).

3.3 TESTE DE PLANTABILIDADE.

O teste de plantabilidade tem por objetivo determinar o melhor disco dosador para cada lote de sementes (SCHUCH e PESKE, 2008). Por meio desse teste é possível obter dados estatísticos como espaçamento médio, desvio padrão, coeficiente de variação, entre outros, a fim de determinar a homogeneidade da distribuição de sementes (CELIK et al., 2007).

Para a realização do teste de plantabilidade utiliza-se um ambiente de simulação, constituído de uma esteira, na qual está acoplado o mesmo dispositivo dosador utilizado para semeadura no campo (Figura 3).



Figura 3 - Esteira de plantabilidade.
Fonte: Do autor.

As esteiras de plantabilidade são de borracha e podem ser revestidas de feltro de forração agulhado vertical, composto de fibra de poliéster, ou podem ser revestidas de uma camada de graxa para a fixação das sementes (JASPER et al., 2009).

O dispositivo de semeadura lança as sementes sobre a esteira e em seguida mede-se a distância entre as sementes, classificando de acordo com a distância que foram depositadas em comparação à distância ideal, obtendo como resultado a quantidade de sementes depositadas em distância aceitável para a cultura em questão, duplas e falhas (ABNT, 1996).

O teste de plantabilidade pode ser feito tanto manualmente quanto por métodos automatizados.

3.3.1 TESTE DE PLANTABILIDADE MANUAL

O método manual consiste em duas pessoas posicionadas no fim da esteira, cada uma com um contador manual em mãos, um para a quantidade de distâncias consideradas falhas e outro para a quantidade de distâncias duplas. A contagem destas distâncias é feita com a esteira de um ambiente de simulação em movimento e através de avaliação visual somente, sem a utilização de equipamento qualquer para medir as distâncias (JASPER et al, 2006). Por se tratar de uma avaliação visual, a avaliação é comprometida porque a percepção visual é diferente para cada indivíduo.

A avaliação manual também pode ser realizada com apenas uma pessoa. Essa pessoa fica posicionada ao fim da esteira com um contador manual em cada mão. Em uma mão conta as duplas e na outra mão conta as falhas. A vantagem nesse caso é que, por se tratar de uma só pessoa fazendo o teste, tem-se uma única percepção visual. Entretanto, também deixa o teste mais difícil de ser executado pelo operador, necessitando mais atenção e destreza, por ter que conferir ambos os problemas e saber exatamente qual dos contadores deverá ser utilizado para anotar a ocorrência de espaçamentos duplos e de falhas.

3.3.2 TESTE DE PLANTABILIDADE AUTOMÁTICO

Raheman e Singh (2003) desenvolveram um sensor baseado em uma técnica de interferência de luz para detectar as sementes no momento em que estas caíam do plantador. O seu sistema poderia avaliar o desempenho do dosador em trigo e milho com erro de 18% e 10%, respectivamente. Este erro era devido à incapacidade do sensor para detecção de sementes múltiplas num curto período de tempo.

Utilizando sensores ópticos, Oliveira e Pinto (2007) utilizaram um sensor do Kit Lego MINDSTORMS 9793 para efetuar a leitura da passagem das sementes, conforme elas se deslocavam em uma esteira miniatura, funcionando a 0,73 km/h. Essa pesquisa obteve um erro médio na medida das distâncias de 4,3%, com um percentual de sementes não detectadas que variou de 5% a 20%, em testes com 63 a 210 sementes. A Figura 4 apresenta esta solução, com os dispositivos do kit lego e a esteira miniatura utilizada.



**Figura 4 - Solução apresentada por Oliveira e Pinto (2007).
Fonte: Oliveira e Pinto (2007)**

Ainda utilizando sensores, Okopnik (2012) desenvolveu uma solução microcontrolada para ser adicionada em uma esteira de plantabilidade. O microcontrolador usado na solução foi um Atmega 328, parte de um kit Arduino. A detecção das sementes foi feita utilizando um sensor industrial infravermelho fixo, modelo DFRobot RB-DFR-49, com distância sensora regulável, de forma perpendicular sobre a esteira. O experimento foi realizado a uma velocidade de 3,6 km/h em uma quantidade de 1500 sementes. Os resultados obtidos mostraram uma média de erro de 2,4% quando comparados às medidas originais. Considerando que os outros valores foram muito próximos ao da distância levantada nas medições manuais, esta diferença justificase pela imprecisão na hora de colar as sementes e medir suas distâncias, além de um possível atraso entre a semente passar na frente do sensor e o mesmo detectá-la. Esse trabalho não foi capaz de detectar sementes encostadas umas nas outras e também não foi realizado usando-se uma velocidade semelhante à adotada em campo, o que poderia ter afetado o resultado obtido.

Ebrahimian et al. (2011) realizaram um trabalho onde utilizaram uma câmera digital para avaliar a distribuição de sementes enquanto essas eram depositadas sobre uma esteira que simulava o solo. A câmera ficava posicionada de forma que conseguia filmar as sementes ainda caindo sobre a esteira conforme a Figura 5.

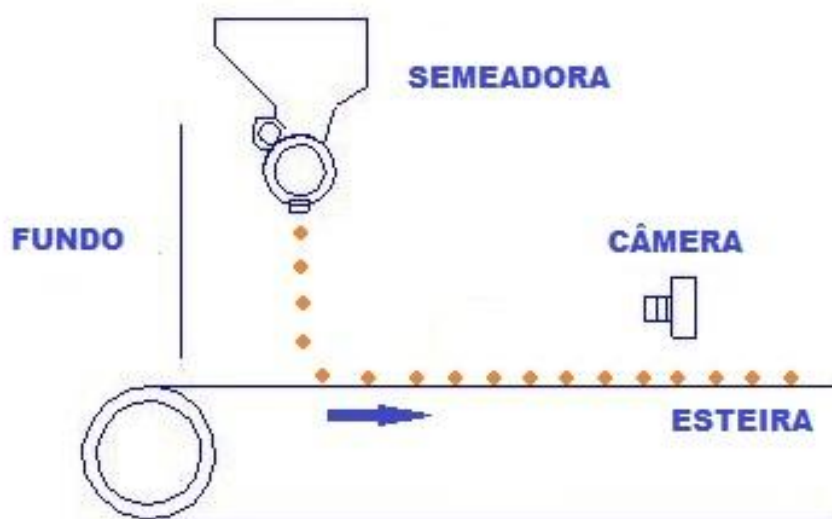


Figura 5 - Teste do equipamento dosador por Ebrahimian et al. (2011).
Fonte: Ebrahimian et al. (2011)

Esse sistema identificou com sucesso os espaçamentos entre sementes de tomate com uma média de erro de 5%, comprovando que o processamento de imagens é uma ferramenta viável para a avaliação de distribuição de sementes, porém constatou-se que não obteve sucesso em capturar a imagem de sementes quebradas, devido à variação de cor.

Alchanatis et al. (2002) desenvolveram um sistema de alta resolução óptica para avaliação da uniformidade no espaçamento entre sementes por semeadora pneumática. O objetivo da pesquisa foi determinar se um sistema de processamento de imagem digital com base em uma câmera de varredura de linha pode ser usado de forma confiável, a fim de obter uma rápida avaliação quantitativa da uniformidade no espaçamento de sementes, bem como a falta de sementes e índices de desempenho. O sistema óptico foi testado com sementes de salsa, que são sementes pequenas, com largura média de 1,2 milímetros. O plantador foi operado para dosar 200 sementes por metro, a uma velocidade de deslocamento do dosador de 3 km/h. O sistema desenvolvido mostrou resultados confiáveis dos parâmetros estatísticos da distribuição de sementes para as sementes testadas, porém devido ao tamanho das sementes, o sistema não se mostrou eficiente ao detectar sementes muito próximas ou encostadas.

3.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Segundo Marques e Vieira (1999), entende-se por Processamento Digital de Imagens (PDI) qualquer forma de processamento de dados no qual a entrada e saída são imagens tais como fotografias ou quadros de vídeo.

O objetivo de se usar Processamento Digital de Imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros recursos para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

Duff (1986) afirma que o PDI pode ser classificado, quanto ao nível de abstração, em três níveis distintos: baixo, médio e alto. No processamento de baixo nível, os dados de entrada são pixels da imagem original e os dados de saída representam propriedades da imagem, na forma de valores numéricos associados a cada pixel. No processamento de nível médio este conjunto de valores produz como resultado uma lista de características. O processamento de alto nível produz, a partir dessas características, uma interpretação do conteúdo da imagem.

Segundo Gonzales e Woods (2000), o processamento digital de imagens é descrito da seguinte forma:

- **Aquisição e digitalização:** o primeiro passo no processo é a aquisição da imagem, isto é, adquirir uma imagem digital. Para isso, é necessário um sensor para imageamento e a capacidade de digitalizar o sinal produzido pelo sensor. O sensor pode ser uma câmera de TV monocromática ou colorida que produza uma imagem inteira do domínio do problema. O sensor de imageamento também pode ser uma câmera de varredura por linha que produza uma única linha de imagem por vez. A imagem de um sensor é transformada em uma imagem digital sobre a forma de uma tabela de valores discretos inteiros chamados pixels.
- **Pré-processamento:** esta etapa permite corrigir certo número de defeitos e imperfeições que ocorrem durante a aquisição da imagem, que podem ter como causa características físicas do sistema, as condições deficientes de iluminação, entre outros.
- **Segmentação:** consiste em dividir uma imagem em partes constitutivas. Em uma imagem natural, a segmentação é afetada pela detecção de descontinuidades (contornos) e/ou de similaridades (regiões) da imagem.

- **Representação:** o objetivo da representação é transformar os objetos em uma forma adequada de representação para o subsequente processamento computacional. Essa etapa também pode ser chamada de seleção de características, e deve enfatizar as características relevantes da imagem e representá-las de forma quantitativa ou de algum outro modo que faça a discriminação entre as classes do objeto.
- **Interpretação:** é a parte do processo que atribui um rótulo a um objeto, baseado na informação fornecida pelo seu descritor. A interpretação envolve a atribuição de significado a um conjunto de objetos reconhecidos.

Dentro da etapa de segmentação é importante ressaltar a importância da limiarização (*Thresholding*). A limiarização consiste na identificação, em uma imagem, de um limiar de intensidade em que o objeto melhor se distinga do fundo. A escolha deste limiar pode assumir um critério subjetivo de um operador humano. Entretanto, existem na literatura métodos para escolha automática do limiar, desde baseados em critérios entrópicos ou estatísticos da imagem (AHUJA; ROSENFELD, 1978), (BEGHDADI et. al., 1995), (BRINK, 1996) e (OTSU, 1978) até os que utilizam algum mecanismo de busca capaz de limiarizar a imagem em função de diferentes tons de cinza como Cheng e Chen (1999), Chun e Yang (1996), Jawahar et. al. (2000), Yin (1999) e Yin, (2002).

Quando se deseja encontrar objetos que se destaquem do fundo em uma imagem faz-se a utilização de um algoritmo de rotulação (*labeling*). Imagens são formadas por componentes conexos que, por sua vez, são formados de pixels conectados. Segundo Gonzales e Woods (2000), a conectividade entre pixels é um conceito importante usado no estabelecimento de bordas de objetos e componentes de regiões em uma imagem. Rotulação de componentes conexos é o procedimento de atribuição de um único rótulo a cada objeto (ou componente conexo) da imagem (WU; OTOO; SUZUKI, 2008). O algoritmo transforma uma imagem binária em uma simbólica que representa os objetos conectados. Essa imagem simbólica pode ser destacada na imagem por meio da demarcação de suas bordas ou de uma coloração específica.

3.4.1 CÁLCULO DO CENTRO DE MASSA

Tendo-se um objeto rotulado em uma imagem é possível calcular o centro de massa

do mesmo. O centroide de um objeto pode ser calculado da seguinte forma para uma imagem binária (GONZALES e WOODS, 2000):

$$X_c = 1/A * \sum_{i=1}^N X_i$$

$$Y_c = 1/A * \sum_{i=1}^N Y_i$$

Onde X_c e Y_c são centroides, A é a área do objeto, N é o número de pixels do objeto e X_i e Y_i são as coordenadas do i -ésimo pixel do objeto.

3.5 CONCLUSÃO

Considerando a importância da análise prévia de distribuição de sementes por meio de simulação, visando a maior produtividade no campo por meio da escolha adequada do dosador, além da dificuldade em se realizar essa análise manualmente, fica evidente a necessidade de buscar um método automático e eficiente para realizar este processo. Com a revisão bibliográfica foram identificados trabalhos visando solucionar esse problema, porém todos os trabalhos identificados possuem alguma deficiência, entre elas: dificuldade ao analisar sementes de cores diferentes, analisar a distância entre sementes muito próximas e analisar a distribuição longitudinal de sementes nas velocidades utilizadas em campo.

4 METODOLOGIA

Para desenvolvimento da solução proposta, foi utilizado um ambiente de simulação e análise do processo de semeadura que contempla o seguinte processo: um equipamento de simulação de semeadura é inicializado e uma filmadora, posicionada adequadamente, capta o vídeo que é transferido diretamente para o computador por meio de uma entrada USB (*Universal Serial Bus*) ou via *Bluetooth*. A partir do vídeo são extraídos quadros de imagens, e identificados os espaçamentos entre sementes, através de um sistema de processamento de imagens. Com os valores dos espaçamentos obtidos, o mesmo software realiza a análise da uniformidade dos espaçamentos.

4.1 EQUIPAMENTO DE SIMULAÇÃO DA SEMEADORA

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizada uma esteira para testes de plantabilidade desenvolvida pela empresa SOCIDISCO (Figura 6). Essa esteira opera com 110 V e possui um motor de 0,5 CV de 4 polos com redutor monofásico, para efetuar o movimento de uma lona revestida com feltro, pois segundo Jasper et al. (2009) a utilização da esteira de borracha revestida com feltro com dobra em formato de sulco no ponto de deposição das sementes é eficiente para a coleta e a fixação das sementes.

Os resultados indicam que a utilização da esteira de borracha revestida com feltro com dobra em formato de sulco no ponto de deposição das sementes é eficiente para a coleta e a fixação das sementes, fator indispensável para testes dessa natureza, segundo o Projeto de Norma ABNT (1996). A esteira revestida com feltro apresenta a vantagem de facilitar o trabalho, já que dispensa a remoção manual das sementes da graxa.

A velocidade de deslocamento da esteira é regulável, sendo que para os testes executados foram adotadas as velocidades de 5,0 km/h, 5,5 km/h, 6,0 km/h e 6,5 km/h, sendo essas velocidades compatíveis com a velocidade de semeadura em campo (SOCIDISCO, 2012).



Figura 6 - Esteira de plantabilidade SOCIDISCO.
Fonte: (2012)

Essa esteira de plantabilidade possui um dispositivo que simula o dosador de sementes de uma semeadora, onde é possível acoplar os discos dosadores perfurados. O dispositivo lança as sementes sobre a esteira e em seguida pode-se medir a distância longitudinal entre sementes lançadas. Algumas especificações e medidas da esteira usada neste trabalho estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Detalhes técnicos da esteira de plantabilidade.

Comprimento Aberta	3.750 mm
Comprimento Fechada	1.200 mm
Largura	350 mm
Altura	600 mm
Área útil da esteira (tubo à ponta)	2.650 mm
Profundidade do Sulco	80 mm

4.2 CONTADOR DE SEMENTES DA ESTEIRA

A esteira utilizada possui contador de sementes (Figura 7), a fim de que seja possível configurar um teste com determinado número de sementes. Para isso, ele utiliza de um anel, com marcadores correspondentes ao número de furos do disco dosador, que vai rodando conforme o disco dosador gira. A contagem de sementes é incrementada de uma unidade cada vez que os orifícios de ambos os discos ficam alinhados, que é quando a semente cai para o solo. O sistema esteira-contador está configurado de maneira que, ao se chegar a quantidade desejada de sementes no contador, a esteira é desligada completamente.



Figura 7 - Contador de sementes.
Fonte: Do autor.

Com essa abordagem é possível obter uma contagem aproximada das sementes, porém, ela não leva em consideração a ausência de semente no orifício do disco dosador, contando como uma semente quando ocorre uma falha. Da mesma forma, quando duas ou mais sementes passam de uma vez só pelos orifícios (duplas) é contada uma só semente.

Além dessa divergência de contar os orifícios do disco e não realmente a quantidade de sementes lançadas, esse contador desliga automaticamente a esteira assim que alcança a quantidade de sementes desejada, sem que, necessariamente, todas tenham percorrido completamente o caminho na esteira, o que gera uma diferença entre as sementes lançadas e as consideradas pelo software.

4.3 SISTEMA DE CAPTURA DE IMAGENS

Os vídeos foram registrados utilizando a câmera Contour+ da empresa Contour EU (Figura 8). O fator determinante para escolha dessa câmera foi que ela captura em uma velocidade de sessenta frames por segundo (60 *fps*). Outras câmeras que capturam com um *fps* mais baixo (30 *fps*) foram testadas, porém a velocidade de 30 *fps* não se mostrou satisfatória para capturar os vídeos nas velocidades de 5,0 km/h a 6,5 km/h.



Figura 8 - Câmera Contour+.
Fonte: Do autor.

Os vídeos foram transferidos diretamente via USB para um microcomputador Intel Core i3 com 4Gb de RAM e sistema operacional Windows 7.

4.4 SOFTWARE DE ANÁLISE DE SEMEADURA

O programa implementado teve por objetivo capturar os filmes da distribuição das sementes, analisar as imagens extraídas dos mesmos e fornecer dados estatísticos sobre a distribuição.

Esse sistema foi desenvolvido em linguagem de programação Java devido sua portabilidade e possibilidade de reuso de código. Nesse software foi utilizada a biblioteca JavaCV, que é uma interface Java para a biblioteca OpenCV (Open Source Computer Vision Library). A OpenCV é implementada na linguagem de programação C e possui módulos de processamento de imagens e vídeo, estrutura de dados, álgebra Linear, GUI (Interface Gráfica do Usuário) básica com sistema de janelas independentes, controle de mouse e teclado, além de mais de 350 algoritmos de visão computacional como: filtros de imagem, calibração de câmera, reconhecimento de objetos, análise estrutural e outros (BRADSKY; KAEHLER, 2008).

Os blocos funcionais executados pelo software implementado foram: “Aquisição”, “Limiarização”, “Rotulação”, “Rastreamento”, “Cálculo da(s) distância(s)”, “Cálculo do(s) espaçamento(s)” e “Armazenamento em arquivo”.

4.4.1 AQUISIÇÃO

No primeiro bloco funcional do software foi implementada uma função denominada *listenerGrabber*. Essa função tem a responsabilidade de ficar recebendo os frames do vídeo e envia-los um a um ao bloco funcional “Limiarização”.

Para aquisição de vídeos diretamente de uma câmera, a biblioteca JavaCV disponibiliza a classe *OpenCVFrameGrabber*. Essa classe possui o método *grab()* que recupera o próximo frame do vídeo. Assim através de uma iteração simples é possível captar cada frame do vídeo.

4.4.2 LIMIAZIZAÇÃO

Inicialmente esse bloco funcional implementa uma função denominada *setLimit*. Essa função é responsável por remover das imagens as partes que não correspondem ao tapete da esteira.

Após removidas as bordas que não interessam a análise, esse bloco funcional implementa uma função de limiarização denominada *getThreshold*, baseada no algoritmo de Otsu (1978). Optou-se por utilizar o método de Otsu por sua natureza não paramétrica e não supervisionada de seleção de limiar e esse método tem as seguintes vantagens desejáveis: (1) o processo como um todo é muito simples; e (2) são utilizados somente os momentos cumulativos zero e de primeira ordem do histograma de níveis de cinza. Ou seja, como as variações das colorações da esteira e das sementes são mínimas, esse método atende com eficiência as necessidades deste trabalho.

4.4.3 ROTULAÇÃO

Após realizada a etapa de limiarização, onde as sementes são destacadas do fundo da imagem, foi criada uma função denominada *findContour*. Essa função implementa um algoritmo de *labeling* afim de identificar e classificar as sementes uma a uma. Esse algoritmo de *labeling* funciona da seguinte forma:

- 1- Num primeiro momento é feita uma varredura na imagem buscando o primeiro *pixel* do objeto (*pixel* com valor 1).
- 2- O valor desse *pixel* é alterado para o valor de um índice I.
- 3- O valor desse índice I é incrementado ($I=I+1$).
- 4- É feita uma varredura nos *pixels* vizinhos a esse, de modo, que toda a vez que um *pixel* vizinho é encontrado o seu valor é alterado para o valor do índice e o índice I é incrementado.
- 5- Esse processo se repete até que não se encontrem mais *pixels* vizinhos. Quando isso ocorre o valor do último índice é armazenado em um vetor e volta-se ao

passo 1 enquanto houver *pixels* não analisado na imagem.

Também foi criada a função *findCenterOfContoure* e nessa função foi aplicado um algoritmo para localizar o centroide de cada semente, onde através desses centroides será possível posteriormente calcular a distância entre cada semente. A imagem 9 exibe um exemplo rotulação e de cálculo de centroide.

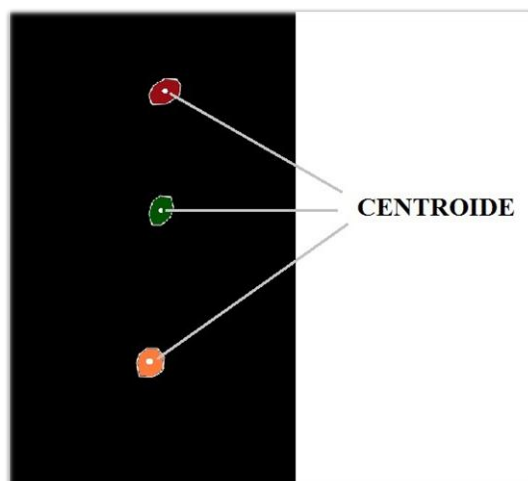


Figura 9 - Rotulação e cálculo de centroide.
Fonte: Do autor.

A fim de identificar sementes muito próximas umas às outras foi implementada uma rotina neste bloco funcional que analisa a área (quantidade de pixels) de cada semente identificada. A cada nova semente identificada é calculada a média das áreas de todas as sementes analisadas e através de um método de observação determinou-se um limite de 40% acima do tamanho da área média das sementes para considerar que existem duas sementes coladas.

4.4.4 RASTREAMENTO

Como a aquisição das imagens é realizada por meio de um vídeo, além de localizar e rotular as sementes nos quadros desse vídeo é necessário rastrear essas sementes por todo tempo que essa semente estiver dentro do campo de visão da câmera. Para que o rastreamento de cada semente fosse possível foi utilizada uma janela

temporal de cinco amostras por quadro e a partir da análise dessas amostras foi determinada a continuidade da mesma semente a cada amostra.

4.4.5 CÁLCULO DA(S) DISTÂNCIA(S)

Com o bloco funcional “Rastreamento” tornando possível acompanhar cada semente por todo tempo que a mesma estiver presente no vídeo, torna-se possível calcular a distância entre uma semente e a próxima semente. Para obter-se essa distância foi implementada uma função denominada *interceptor*. Nessa função determina-se uma linha de cálculo de distância sobre determinado ponto por onde as sementes passam nos vídeos e quando o centroide de uma semente passa exatamente sobre essa linha (Figura 10), é capturado o horário do computador e armazenado em milissegundos.

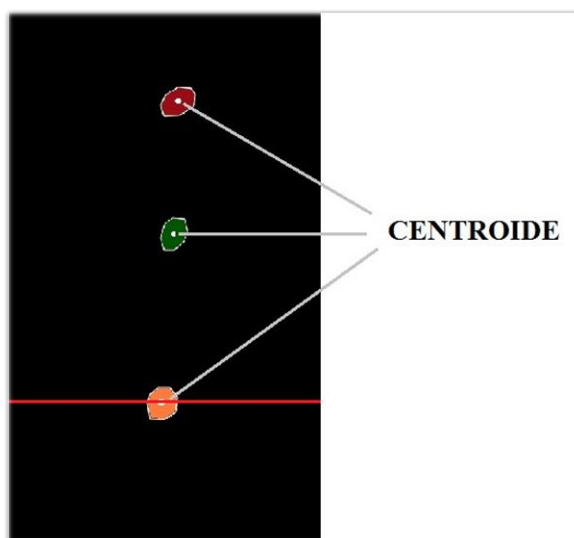


Figura 10 - Centroide cruzando linha de cálculo de distância.
Fonte: Do autor.

Quando a próxima semente passa sobre a linha de cálculo, o tempo desta também é capturado. Tendo-se o tempo em que essas duas sementes cruzaram a linha de cálculo, é obtida a diferença entre esses dois tempos e em seguida essa diferença (milissegundos) é convertida em centímetros, obtendo-se assim a distância entre essas sementes. Esse processo é repetido para cada nova semente capturada no vídeo.

Sabendo-se as distâncias entre as sementes analisadas é possível calcular a

quantidade de duplas e falhas. Dentre os campos de preenchimento do software existe o campo “Espaçamento médio (cm)”. Multiplicando-se o valor do campo por 0,5 obtém-se o limite mínimo aceitável e multiplicando-se o valor do campo por 1,5 obtém-se o limite máximo aceitável. As distâncias abaixo do limite mínimo aceitável são contabilizadas como duplas e as distâncias acima do limite máximo aceitável são contabilizadas como falhas.

4.4.6 INTERFACE DO SOFTWARE

O software implementado é constituído de uma única tela onde existe as seguintes ações: iniciar análise (botão Iniciar), parar análise (botão Parar), limpar informações (botão Limpar) e salvar resultados da análise (botão Salvar), conforme a Figura 11.

Figura 11 - Interface do software de análise de semeadura.
Fonte: Do autor.

Inicialmente o usuário deverá preencher os campos obrigatórios que são:

- Cultura: campo texto para preenchimento do nome da cultura das sementes a serem analisadas;
- Cultivar: campo texto para preenchimento do nome do cultivar das sementes analisadas;
- Espaçamento médio (cm): campo texto (numérico) para preenchimento do espaçamento médio padrão para o cultivar a ser analisado;
- Disco: campo texto para preenchimento do modelo do disco dosador utilizado na análise;
- Velocidade (km/h): campo do tipo *combobox* utilizado para selecionar a velocidade em que a esteira estará funcionando durante a análise. Os valores possíveis são: 5,0 km/h, 5,5 km/h, 6,0 km/h e 6,5 km/h. O valor padrão é 5,0 km/h.

Após o preenchimento dos campos o usuário deverá clicar no botão iniciar para começar a análise do vídeo. Conforme as sementes forem passando sobre a linha de cálculo, as distâncias poderão ser visualizadas na tabela (Figura 12, A) e as informações referentes a quantidade de sementes, duplas e falhas serão exibidas nos campos de visualização que ficam sobre a tabela (Figura 12, B).

Análise de semeadura

Cultura: Espaço médio (cm):

Cultivar: Disco:

Velocidade (km/h):

Qtd. sementes:

Qtd. falhas:

Qtd. duplas:

% falhas:

% duplas:

Código	Espaçamento
1	0.0
2	32.2
3	23.03
4	16.73
5	1.26
6	22.96
7	17.92
8	21.91
9	19.11
10	2.59
11	18.06
12	21.35
13	21.84

Figura 12 - Tabela com espaçamento e campos de resultados.
Fonte: Do autor.

Para finalizar o processamento o usuário deverá clicar no botão “Parar”. Com o processamento finalizado é possível salvar os resultados em um documento PDF (Figura 13) clicando no botão “Salvar”.

Análise de semeadura
 Cultura: TESTE
 Cultivar: TESTE
 Disco: TESTE
 Espaçamento médio (cm): 20
 Velocidade (km/h): 5.0
 Qtd. sementes: 19
 Qtd. falhas: 2
 Qtd. duplas: 2
 % falhas: 10.53
 % duplas: 10.53

Figura 13 - Arquivo PDF com os resultados da análise.
Fonte: Do autor.

4.5 TESTES COM A SOLUÇÃO DESENVOLVIDA

Foi estabelecido um conjunto de testes a serem aplicados na solução desenvolvida, a fim de validar tanto a forma de seu funcionamento como os resultados obtidos pela mesma.

4.5.1 VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS E DA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

O primeiro tipo de teste elaborado tem a finalidade de demonstrar se o sistema é capaz de ler corretamente distâncias previamente conhecidas. Para esse teste foram coladas na esteira trinta sementes dispostas conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Disposição das sementes no teste com distâncias conhecidas.

SEMENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
DISTÂNCIA (cm)	0	5	5	10	8	6	3	1	5	1	20	8	5	2	5

Continuação Tabela 3 - Disposição das sementes no teste com distâncias conhecidas.

SEMENTE	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DISTÂNCIA (cm)	9	5	5	3	1	6	8	3	10	1	5	8	1	3	5

Para a colocação das sementes nessas distâncias, de forma manual, utilizou-se de uma régua simples, graduada em milímetros. A opção de colar as sementes na esteira foi para garantir que ficassem imóveis, mesmo quando a mesma fosse ligada e desligada.

Uma distância muito utilizada para a cultura do milho é entre 40 cm a 45 cm entre as linhas (REZENDE, VON PINHO e VASCONCELOS, 2003), principalmente por ser a mesma distância utilizada na soja, o que permite que o equipamento de semeadura seja utilizado sem a necessidade de modificações. Nesses casos, a distância entre plantas na mesma linha é de 40 cm, a fim de garantir que a densidade por hectare mantenha-se praticamente a mesma. Porém nos experimentos com distâncias previamente conhecidas realizados nesse trabalho optou-se por utilizar como espaçamento máximo 20 cm. Isso devido ao fato do comprimento da esteira ser 3.750 mm. Se fosse utilizado como espaçamento máximo 40 cm a quantidade de sementes utilizadas no teste seria reduzida.

Após a disposição das sementes na esteira, o ambiente foi configurado para efetuar um teste, para então acionar a esteira. Foram realizadas cinco repetições em cada uma das seguintes velocidades: 5,0 km/h, 5,5 km/h, 6,0 km/h e 6,5 km/h.

Na análise dos resultados foi avaliado se o dispositivo usou de forma correta a configuração, e qual a variação obtida entre os valores conhecidos e os valores lidos pelo equipamento.

4.5.2 TESTE SOBRE A VARIAÇÃO DAS LEITURAS NO DECORRER DE UMA MEDIÇÃO LONGA

O segundo teste executado foi criado a fim de verificar como a solução desenvolvida se comportava em um teste mais longo, de quinhentas sementes. Para esse teste foi configurado o contador de sementes para que esse parasse a esteira quando a contagem estivesse em quinhentos. Em seguida o ambiente foi devidamente configurado e por fim foi ligada a esteira, dando início à coleta dos dados. Foram realizadas três repetições com quinhentas sementes.

Como o contador de sementes não provê a quantidade exata de sementes lançadas sobre a esteira, foi colocada uma bacia ao fim da esteira onde as sementes caíam após percorrer toda a esteira. Em seguida foi feita uma contagem manual da quantidade de sementes contidas dentro da bacia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram obtidos por meio da execução do conjunto de testes estabelecidos.

5.1 CÁLCULOS E CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE

O teste sobre os cálculos e a configuração do ambiente foi executado de acordo com a seção 4.5.1. A seguir são apresentadas as distâncias obtidas nos experimentos realizados com distâncias conhecidas nas velocidades de 5,0 km/h, 5,5 km/h, 6,0 km/h e 6,5 km/h, nas Tabelas 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

Tabela 4 - Distâncias obtidas no experimento com distâncias conhecidas (5,0km/h).

SEMENTE	CONTAGEM MANUAL (cm)	REPETIÇÃO 1 (cm)		REPETIÇÃO 2 (cm)		REPETIÇÃO 3 (cm)		REPETIÇÃO 4 (cm)		REPETIÇÃO 5 (cm)	
		VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	5,2	0,2	5,1	0,1	5,1	0,1	5,2	0,2	5	0
3	5	5	0	5,2	0,2	5,2	0,2	5,1	0,1	5,1	0,1
4	10	10	0	10,4	0,4	10,3	0,3	10,5	0,5	10,4	0,4
5	8	8,6	0,6	8,5	0,5	8,4	0,4	8,6	0,6	8,6	0,6
6	6	6	0	5,7	0,3	5,7	0,3	5,5	0,5	5,6	0,4
7	3	3	0	2,9	0,1	2,8	0,2	2,9	0,1	3	0
8	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
9	5	5,4	0,4	5,3	0,3	5,5	0,5	5,3	0,3	5,5	0,5
10	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
11	20	20,7	0,7	20,8	0,8	20,6	0,6	20,9	0,9	20,7	0,7
12	8	8,3	0,3	8,4	0,4	8,2	0,2	8,2	0,2	8,2	0,2
13	5	5	0	5,1	0,1	5	0	5,2	0,2	5,2	0,2
14	2	1,9	0,1	2	0	2,1	0,1	2	0	2,1	0,1
15	5	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
16	9	9,4	0,4	9,5	0,5	9,5	0,5	9,3	0,3	9,6	0,6
17	5	5,3	0,3	5,3	0,3	5	0	5	0	5,1	0,1
18	5	5	0	5,3	0,3	5	0	5,2	0,2	5	0
19	3	3,1	0,1	3	0	3	0	3,1	0,1	3	0
20	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
21	6	5,7	0,3	6	0	6,2	0,2	6,1	0,1	6	0
22	8	8,3	0,3	8,3	0,3	8,6	0,6	8,2	0,2	8,4	0,4
23	3	2,9	0,1	3,2	0,2	3,1	0,1	3	0	3	0
24	10	10,8	0,8	10,7	0,7	10,7	0,7	10,6	0,6	10,9	0,9
25	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
26	5	5,1	0,1	5	0	5	0	5	0	5,1	0,1
27	8	7,7	0,3	8	0	7,6	0,4	7,7	0,3	7,5	0,5
28	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
29	3	3,1	0,1	3	0	3	0	3,2	0,2	3	0

30	5	5,3	0,3	5,2	0,2	4,9	0,1	4,9	0,1	5	0
SÍNTESE DO EXPERIMENTO											
MÍNIMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MÁXIMO	20	20,7	0,8	20,8	0,8	20,6	0,7	20,9	0,9	20,7	0,9
MÉDIA	5,23	5,36	0,18	5,40	0,19	5,35	0,18	5,36	0,19	5,37	0,19

Tabela 5 - Distâncias obtidas no experimento com distâncias conhecidas (5,5 km/h).

SEMENTE	CONTAGEM MANUAL (cm)	REPETIÇÃO 1 (cm)		REPETIÇÃO 2 (cm)		REPETIÇÃO 3 (cm)		REPETIÇÃO 4 (cm)		REPETIÇÃO 5 (cm)	
		VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	5,1	0,1	5,1	0,1	5,4	0,4	5,2	0,2	5,2	0,2
3	5	5	0	5,3	0,3	5,3	0,3	5,1	0,1	5,2	0,2
4	10	10,2	0,2	10	0	10,2	0,2	10	0	10,3	0,3
5	8	8,5	0,5	8,4	0,4	8,4	0,4	8,2	0,2	8,4	0,4
6	6	5,7	0,3	5,6	0,4	5,6	0,4	5,6	0,4	5,7	0,3
7	3	3	0	3	0	2,9	0,1	2,9	0,1	3	0
8	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
9	5	5,2	0,2	5,1	0,1	5,3	0,3	5,1	0,1	5,3	0,3
10	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
11	20	20,6	0,6	20,6	0,6	20,5	0,5	20,6	0,6	20,7	0,7
12	8	8	0	8,2	0,2	8,2	0,2	8,1	0,1	8,2	0,2
13	5	5,2	0,2	5,3	0,3	5,1	0,1	5	0	4,9	0,1
14	2	1,9	0,1	2	0	2	0	2	0	2,1	0,1
15	5	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
16	9	9,1	0,1	9,2	0,2	9,2	0,2	9,5	0,5	9,4	0,4
17	5	5,3	0,3	5,3	0,3	5,1	0,1	5	0	5,2	0,2
18	5	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
19	3	3	0	3	0	3	0	3	0	3,1	0,1
20	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
21	6	5,9	0,1	6	0	6,2	0,2	6	0	6,1	0,1
22	8	8,3	0,3	8,3	0,3	8,6	0,6	8,2	0,2	8,4	0,4
23	3	2,9	0,1	3,1	0,1	3,1	0,1	3	0	3	0
24	10	10,8	0,8	10,7	0,7	10,7	0,7	10,6	0,6	10,9	0,9
25	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
26	5	5,1	0,1	5,1	0,1	5	0	5	0	5,1	0,1
27	8	7,7	0,3	8	0	7,6	0,4	7,7	0,3	7,5	0,5
28	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
29	3	3,1	0,1	3	0	3	0	3,1	0,1	3	0
30	5	5,2	0,2	5,1	0,1	5	0	5	0	5	0
SÍNTESE DO EXPERIMENTO											
MÍNIMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MÁXIMO	20	20,6	0,8	20,6	0,7	20,5	0,7	20,6	0,6	20,7	0,9
MÉDIA	5,23	5,33	0,15	5,35	0,14	5,35	0,17	5,30	0,12	5,36	0,18

Tabela 6 - Distâncias obtidas no experimento com distâncias conhecidas (6,0 km/h).

SEMENTE	CONTAGEM MANUAL (cm)	REPETIÇÃO 1 (cm)		REPETIÇÃO 2 (cm)		REPETIÇÃO 3 (cm)		REPETIÇÃO 4 (cm)		REPETIÇÃO 5 (cm)	
		VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	5,3	0,3	5,1	0,1	5,1	0,1	5,2	0,2	5,3	0,3
3	5	5	0	5,5	0,5	5,2	0,2	5,1	0,1	5,1	0,1
4	10	10	0	10,4	0,4	10,3	0,3	10,5	0,5	10,4	0,4
5	8	8,6	0,6	8,3	0,3	8,4	0,4	8,3	0,3	8,6	0,6
6	6	6,2	0,2	5,7	0,3	5,7	0,3	5,8	0,2	5,6	0,4
7	3	3	0	3	0	2,7	0,3	2,9	0,1	3	0
8	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
9	5	5,3	0,3	5,3	0,3	5,5	0,5	5,3	0,3	5,6	0,6
10	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
11	20	20,5	0,5	20,6	0,6	20,6	0,6	20,9	0,9	20,7	0,7
12	8	8,3	0,3	8,4	0,4	8,2	0,2	8,2	0,2	8,2	0,2
13	5	5	0	5,1	0,1	5	0	5,2	0,2	5,2	0,2
14	2	2	0	2	0	2,1	0,1	2	0	2	0
15	5	5,2	0,2	5,1	0,1	5,3	0,3	5,3	0,3	5,1	0,1
16	9	9,4	0,4	9,6	0,6	9,5	0,5	9,4	0,4	9,6	0,6
17	5	5,1	0,1	5,2	0,2	5,4	0,4	5	0	5,4	0,4
18	5	5,1	0,1	5	0	5	0	5	0	5,2	0,2
19	3	3,1	0,1	3	0	3	0	3,1	0,1	3	0
20	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
21	6	5,8	0,2	6,1	0,1	6,2	0,2	6,1	0,1	6	0
22	8	8	0	8,2	0,2	8,1	0,1	8	0	8,2	0,2
23	3	3	0	3,1	0,1	3,1	0,1	3	0	3	0
24	10	10,6	0,6	10,7	0,7	10,7	0,7	10,6	0,6	10,6	0,6
25	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
26	5	5,1	0,1	5,1	0,1	5	0	5,2	0,2	5,1	0,1
27	8	7,9	0,1	8	0	7,8	0,2	7,9	0,1	7,8	0,2
28	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
29	3	3,1	0,1	3	0	3	0	3,1	0,1	3	0
30	5	5,1	0,1	5,2	0,2	5	0	4,8	0,2	5	0
SÍNTESE DO EXPERIMENTO											
MÍNIMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MÁXIMO	20	20,5	0,6	20,6	0,7	20,6	0,7	20,9	0,9	20,7	0,7
MÉDIA	5,23	5,36	0,14	5,39	0,18	5,36	0,18	5,36	0,17	5,39	0,20

Tabela 7 - Distâncias obtidas no experimento com distâncias conhecidas (6,5 km/h).

SEMENTE	CONTAGEM MANUAL (cm)	REPETIÇÃO 1 (cm)		REPETIÇÃO 2 (cm)		REPETIÇÃO 3 (cm)		REPETIÇÃO 4 (cm)		REPETIÇÃO 5 (cm)	
		VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO	VALOR	ERRO
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	5,4	0,4	5,6	0,6	5,1	0,1	5,3	0,3	5,2	0,2
3	5	5,3	0,3	5,2	0,2	5,2	0,2	5,4	0,4	5,5	0,5
4	10	10,4	0,4	10,6	0,6	10,7	0,7	10,5	0,5	10,8	0,8
5	8	8,5	0,5	8,4	0,4	8,4	0,4	8,6	0,6	8,6	0,6
6	6	6	0	5,6	0,4	5,7	0,3	5,6	0,4	5,4	0,6
7	3	3,1	0,1	2,9	0,1	2,8	0,2	2,9	0,1	3,2	0,2
8	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
9	5	5,4	0,4	5,3	0,3	5,5	0,5	5,3	0,3	5,5	0,5
10	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
11	20	20,3	0,3	20,8	0,8	20,6	0,6	20,9	0,9	20,7	0,7
12	8	8,3	0,3	8,4	0,4	8	0	8,2	0,2	8,6	0,6
13	5	5,4	0,4	5,1	0,1	5,3	0,3	5,2	0,2	5,2	0,2
14	2	1,9	0,1	2	0	2,1	0,1	2	0	2,1	0,1
15	5	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
16	9	8,7	0,3	9,4	0,4	9,6	0,6	9,3	0,3	9,5	0,5
17	5	5,3	0,3	5,3	0,3	4,8	0,2	5	0	5,1	0,1
18	5	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
19	3	3,3	0,3	3	0	3	0	3,2	0,2	3	0
20	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
21	6	5,6	0,4	6,2	0,2	6,2	0,2	6,1	0,1	6,2	0,2
22	8	8,2	0,2	8,6	0,6	8,6	0,6	8,2	0,2	8,3	0,3
23	3	2,9	0,1	3,2	0,2	3,1	0,1	3	0	3	0
24	10	10,4	0,4	10,7	0,7	10,8	0,8	10,6	0,6	10,9	0,9
25	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
26	5	5,3	0,3	5	0	4,8	0,2	5	0	5,3	0,3
27	8	7,6	0,4	8,1	0,1	7,6	0,4	7,8	0,2	7,3	0,7
28	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
29	3	3,2	0,2	3,2	0,2	3,1	0,1	3,2	0,2	3,4	0,4
30	5	5,3	0,3	5,5	0,5	4,9	0,1	4,9	0,1	5,2	0,2
SÍNTESE DO EXPERIMENTO											
MÍNIMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MÁXIMO	20	20,3	0,5	20,8	0,8	20,6	0,8	20,9	0,9	20,7	0,9
MÉDIA	5,23	5,36	0,21	5,44	0,24	5,36	0,22	5,37	0,19	5,43	0,29

Com relação aos valores obtidos pelo sistema, as médias de erro nos piores casos nos experimentos com as velocidades de 5,0 km/h, 5,5 km/h, 6,0 km/h e 6,5 km/h foram, respectivamente, 0,19 cm, 0,18 cm, 0,20 cm e 0,29 cm. O erro, no pior caso, foi de 0,9 cm em todos os experimentos, que representa 2,25% em uma distância de 40 cm entre sementes, como é o caso do milho.

A média de erro obtida nos experimentos com as velocidades de 5,0 km/h, 5,5 km/h, 6,0 km/h e 6,5 km/h foram respectivamente 0,19 cm, 0,15 cm, 0,17 cm e 0,23 cm, resultando em uma média geral de erro de 0,19 cm, que representa 0,48% em uma distância de 40 cm entre sementes, como é o caso do milho.

Para cada experimento demonstrado nas Tabelas 3 a 6 foram obtidos dados estatísticos como média geral, desvio padrão, variância, variância da média, erro padrão da média e coeficiente de variação. As Tabelas 7 a 10 apresentam os resultados estatísticos para os testes com distâncias conhecidas nas velocidades de 5,0 km/h, 5,5 km/h, 6,0 km/h e 6,5 km/h.

Tabela 8 – Dados estatísticos do experimento com distância conhecida (5,0km/h).

SEMENTE	Média Geral (cm)	Desvio Padrão (cm)	Variância (cm)	Variância da Média (cm)	Erro padrão da Média (cm)	Coeficiente de Variação (%)
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	5,100	0,089	0,007	0,000	0,016	1,754
3	5,100	0,089	0,007	0,000	0,016	1,754
4	10,267	0,216	0,039	0,001	0,039	2,104
5	8,450	0,235	0,046	0,002	0,043	2,775
6	5,750	0,207	0,036	0,001	0,038	3,606
7	2,933	0,082	0,006	0,000	0,015	2,784
8	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	5,333	0,186	0,029	0,001	0,034	3,491
10	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	20,617	0,319	0,085	0,003	0,058	1,547
12	8,217	0,133	0,015	0,000	0,024	1,618
13	5,083	0,098	0,008	0,000	0,018	1,934
14	2,017	0,075	0,005	0,000	0,014	3,733
15	5,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	9,383	0,214	0,038	0,001	0,039	2,277
17	5,117	0,147	0,018	0,001	0,027	2,877
18	5,083	0,133	0,015	0,000	0,024	2,615
19	3,033	0,052	0,002	0,000	0,009	1,702
20	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	6,000	0,167	0,023	0,001	0,031	2,789
22	8,292	0,186	0,029	0,001	0,034	2,237
23	3,033	0,103	0,009	0,000	0,019	3,405
24	10,617	0,319	0,085	0,003	0,058	3,003
25	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	5,033	0,052	0,002	0,000	0,009	1,026
27	7,750	0,207	0,036	0,001	0,038	2,676
28	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	3,050	0,084	0,006	0,000	0,015	2,743
30	5,050	0,164	0,023	0,001	0,030	3,254
Síntese do Experimento						
Mínimo	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	20,62	0,32	0,08	0,00	0,06	3,73
Média	5,53	0,12	0,02	0,00	0,02	1,99

Tabela 9 - Dados estatísticos do experimento com distância conhecida (5,5 km/h).

SEMENTE	Média Geral (cm)	Desvio Padrão (cm)	Variância (cm)	Variância da Média (cm)	Erro padrão da Média (cm)	Coefficiente de Variação (%)
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	5,167	0,137	0,016	0,001	0,025	2,644
3	5,150	0,138	0,016	0,001	0,025	2,677
4	10,117	0,133	0,015	0,000	0,024	1,314
5	8,317	0,183	0,028	0,001	0,033	2,206
6	5,700	0,155	0,020	0,001	0,028	2,718
7	2,967	0,052	0,002	0,000	0,009	1,741
8	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	5,167	0,121	0,012	0,000	0,022	2,344
10	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	20,500	0,253	0,053	0,002	0,046	1,234
12	8,117	0,098	0,008	0,000	0,018	1,211
13	5,083	0,147	0,018	0,001	0,027	2,896
14	2,000	0,063	0,003	0,000	0,012	3,162
15	5,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	9,233	0,186	0,029	0,001	0,034	2,016
17	5,150	0,138	0,016	0,001	0,025	2,677
18	5,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	3,017	0,041	0,001	0,000	0,007	1,353
20	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	6,033	0,103	0,009	0,000	0,019	1,712
22	8,292	0,186	0,029	0,001	0,034	2,237
23	3,017	0,075	0,005	0,000	0,014	2,495
24	10,617	0,319	0,085	0,003	0,058	3,003
25	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	5,050	0,055	0,002	0,000	0,010	1,085
27	7,750	0,207	0,036	0,001	0,038	2,676
28	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	3,033	0,052	0,002	0,000	0,009	1,702
30	5,050	0,084	0,006	0,000	0,015	1,657
Síntese do Experimento						
Mínimo	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	20,50	0,32	0,08	0,00	0,06	3,16
Média	5,50	0,10	0,01	0,00	0,02	1,61

Tabela 10 - Dados estatísticos do experimento com distância conhecida (6,0 km/h).

SEMENTE	Média Geral (cm)	Desvio Padrão (cm)	Variância (cm)	Variância da Média (cm)	Erro padrão da Média (cm)	Coefficiente de Variação (%)
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	5,167	0,121	0,012	0,000	0,022	2,344
3	5,150	0,187	0,029	0,001	0,034	3,633
4	10,267	0,216	0,039	0,001	0,039	2,104
5	8,367	0,225	0,042	0,001	0,041	2,690
6	5,833	0,225	0,042	0,001	0,041	3,859
7	2,933	0,121	0,012	0,000	0,022	4,129
8	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	5,333	0,207	0,036	0,001	0,038	3,873
10	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	20,550	0,302	0,076	0,003	0,055	1,468
12	8,217	0,133	0,015	0,000	0,024	1,618
13	5,083	0,098	0,008	0,000	0,018	1,934
14	2,017	0,041	0,001	0,000	0,007	2,024
15	5,167	0,121	0,012	0,000	0,022	2,344
16	9,417	0,223	0,041	0,001	0,041	2,367
17	5,183	0,183	0,028	0,001	0,033	3,540
18	5,050	0,084	0,006	0,000	0,015	1,657
19	3,033	0,052	0,002	0,000	0,009	1,702
20	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	6,033	0,137	0,016	0,001	0,025	2,265
22	8,083	0,098	0,008	0,000	0,018	1,216
23	3,033	0,052	0,002	0,000	0,009	1,702
24	10,533	0,266	0,059	0,002	0,049	2,524
25	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	5,083	0,075	0,005	0,000	0,014	1,481
27	7,900	0,089	0,007	0,000	0,016	1,132
28	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	3,033	0,052	0,002	0,000	0,009	1,702
30	5,017	0,133	0,015	0,000	0,024	2,649
Síntese do Experimento						
Mínimo	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	20,55	0,30	0,08	0,00	0,06	4,13
Média	5,53	0,12	0,02	0,00	0,02	1,93

Tabela 11 - Dados estatísticos do experimento com distância conhecida (6,5 km/h).

SEMENTE	Média Geral (cm)	Desvio Padrão (cm)	Variância (cm)	Variância da Média (cm)	Erro padrão da Média (cm)	Coefficiente de Variação (%)
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	5,267	0,216	0,039	0,001	0,039	4,102
3	5,267	0,175	0,026	0,001	0,032	3,325
4	10,500	0,283	0,067	0,002	0,052	2,694
5	8,417	0,223	0,041	0,001	0,041	2,648
6	5,717	0,240	0,048	0,002	0,044	4,201
7	2,983	0,147	0,018	0,001	0,027	4,934
8	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	5,333	0,186	0,029	0,001	0,034	3,491
10	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	20,550	0,339	0,096	0,003	0,062	1,650
12	8,250	0,235	0,046	0,002	0,043	2,843
13	5,200	0,141	0,017	0,001	0,026	2,720
14	2,017	0,075	0,005	0,000	0,014	3,733
15	5,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	9,250	0,339	0,096	0,003	0,062	3,666
17	5,083	0,194	0,031	0,001	0,035	3,818
18	5,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	3,083	0,133	0,015	0,000	0,024	4,311
20	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	6,050	0,235	0,046	0,002	0,043	3,876
22	8,308	0,229	0,044	0,001	0,042	2,756
23	3,033	0,103	0,009	0,000	0,019	3,405
24	10,567	0,327	0,089	0,003	0,060	3,091
25	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	5,067	0,197	0,032	0,001	0,036	3,881
27	7,733	0,294	0,072	0,002	0,054	3,807
28	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	3,183	0,133	0,015	0,000	0,024	4,175
30	5,133	0,242	0,049	0,002	0,044	4,718
Síntese do Experimento						
Mínimo	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	20,55	0,34	0,10	0,00	0,06	4,93
Média	5,55	0,16	0,03	0,00	0,03	2,68

Com relação aos valores obtidos pelo sistema, as médias dos coeficientes de variação nos experimentos com as velocidades de 5,0 km/h, 5,5 km/h, 6,0 km/h e 6,5 km/h foram respectivamente 1,99%, 1,61%, 1,93% e 2,68%. O coeficiente de variação, no pior caso, foi de 4,93 % no experimento com a velocidade de 6,5 km/h, sendo que os outros valores foram muito próximos ao da distância levantada nas medições manuais. Esta diferença justifica-se pelo fato de que o aumento da velocidade pode gerar uma pequena diferença de tempo entre a captura da imagem e o processamento da mesma.

Pimentel-Gomes (1985) afirma que o coeficiente de variação pode ser utilizado para demonstrar a precisão de experimentos. Levando em consideração coeficientes comumente encontrados em experimentos agrícolas, o resultado obtido classifica-se como baixo, estando abaixo dos 10%, limite desta categoria. Esse resultado demonstra ainda que o ambiente desenvolvido é preciso o suficiente para um teste de plantabilidade de sementes de milho, representando uma variância constante e sem grandes flutuações durante o teste.

Com este teste, pode-se ainda verificar que os cálculos internos feitos pelo sistema são precisos, representando os valores reais obtidos durante a colocação das sementes na esteira, evidenciando que o algoritmo elaborado para a determinação das distâncias está correto.

Foram realizados experimentos com velocidades superiores a 6,5 km/h, porém a câmera utilizada mostrou-se incapaz de realizar as análises com tais velocidades. Para realizar tais experimentos com sucesso seria necessária uma câmera com capacidade de captação maior do que 60 *fps*.

5.2 VARIAÇÃO DAS LEITURAS EM UMA MEDIÇÃO LONGA

Para validação do teste de medição longa, foram realizadas três repetições de quinhentas sementes com a esteira funcionando a uma velocidade de 5,0 km/h, cada repetição utilizando um tipo de semente diferente. Foram utilizados três tipos de sementes para avaliar o desempenho do sistema ao analisar sementes de cores diferentes.

Na primeira repetição o contador foi configurado para lançar 500 sementes e lançou apenas 469 sementes. Dessas 469 o software desenvolvido foi capaz de identificar todas, ou seja, 100% das sementes, conforme a Tabela 11.

Tabela 12 - Teste com 500 sementes amarelas.

Teste com 500 sementes amarelas (experimento 01)	
Total manual	469
Total sistema	469
Diferença (quantidade)	0
Diferença (%)	0,00

Nesta primeira repetição foram utilizadas sementes de milho amarelas, conforme Figura 14.

**Figura 14 - Sementes amarelas de milho utilizadas no teste com 500 sementes.**

Fonte: Do autor.

Na segunda repetição o contador configurado para lançar 500 sementes lançou 468 sementes. Dessas 468 o software identificou 464, que representa aproximadamente 99,1% de acerto, conforme a Tabela 12.

Tabela 13 - Teste com 500 sementes avermelhadas.

Teste com 500 sementes avermelhadas (experimento 02)	
Total manual	468
Total sistema	464
Diferença (quantidade)	4
Diferença (%)	0,85

Nesta segunda repetição foram utilizadas sementes de milho avermelhadas, conforme Figura 15.



Figura 15 - Sementes avermelhadas de milho utilizadas no teste com 500 sementes.

Fonte: Do autor.

Por fim, na terceira repetição de 500 sementes o contador lançou 478 sementes. Dessas 478 sementes o sistema identificou 472, que representa 98,7% de acerto, conforme a Tabela 13.

Tabela 14 - Teste com 500 sementes azuladas.

Teste com 500 sementes (experimento 03)	
Total manual	478
Total sistema	472
Diferença (quantidade)	6
Diferença (%)	1,26

Nesta terceira repetição foram utilizadas sementes de milho azuladas, conforme Figura 16.



Figura 16 - Sementes azuladas de milho utilizadas no teste com 500 sementes.

Fonte: Do autor.

5.3 SÍNTESE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com os testes realizados foi possível notar que há uma variação na medida das sementes, mesmo em distâncias fixas lidas repetidamente. Essa variação pode ser justificada pelo tempo necessário para que o software realize todo o processamento das imagens, sendo que esta variação é regular, tendo-se 0,9 cm como maior diferença entre a medição manual e a calculada pelo sistema, conforme resultados apresentados na seção 5.1.

Os testes de medição longa permitiram uma melhor caracterização da solução desenvolvida juntamente com a esteira. Nesse caso, o sistema detecta a maioria das sementes que passam na esteira, tendo como maior taxa de erro 1,26 %.

O equipamento utilizado permite também a detecção das sementes em cores variadas, sendo que nesta pesquisa foram utilizadas sementes in-natura (amarelas, extraídas diretamente de uma espiga), avermelhadas e azuladas, de acordo com o tratamento recebido.

Quando comparados com os métodos existentes para determinação da distribuição longitudinal de sementes, é possível notar que a solução desenvolvida apresenta algumas vantagens. O software desenvolvido neste trabalho obteve sucesso em testes com as velocidades de 5,0 km/h, 5,5 km/h, 6,0 km/h e 6,5 km/h, diferente do trabalho apresentado por Okopnik (2012) que testou apenas numa velocidade de 3,6 km/h e Oliveira e Pinto (2007) que realizaram seus testes a uma velocidade de 0,73 km/h. Alchanatis, Brikman e Kashti (2002) e Okopnik (2012) relataram problemas na identificação de sementes muito próximas ou encostadas, diferente do presente trabalho que detectou sementes encostadas. Quando comparado com os resultados obtidos por Okopnik (2012), a solução proposta neste trabalho apresentou uma perda de detecção menor. Enquanto Okopnik (2012) não detectou 1,6% do total de sementes disponíveis durante o teste de medição longa, no sistema aqui desenvolvido a maior perda de detecção de sementes foi de 1,26%.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Com o desenvolvimento desta pesquisa pode-se concluir que a cultura do milho pode se beneficiar de pesquisas que vão além do campo. Com o desenvolvimento de ambientes integrando equipamentos e software que permitam simulações mais precisas, é possível obter melhorias em campo levando ao consequente aumento de produtividade.

O ambiente desenvolvido traz benefícios relevantes para o domínio de aplicação do mesmo, visto ter desempenho satisfatório nas diferentes velocidades testadas, as quais condizem com aquelas praticadas em campo. As técnicas de PDI empregadas permitiram que o software trate sementes de diferentes cores e formatos, o que também traz um diferencial ao mesmo atendendo a uma demanda de solução até o momento não vista em outros trabalhos. Outra solução importante que o ambiente traz é a capacidade do software diferenciar sementes justapostas, tratando-as como uma ocorrência de dupla, sendo que nas soluções apresentadas em literatura as sementes com essa disposição eram tratadas com uma só semente ao invés de dupla.

Os resultados obtidos nos testes realizados mostram que o ambiente desenvolvido é preciso o suficiente para ser utilizado nos testes de plantabilidade, apresentando níveis de erro aceitáveis e considerados muito baixos, quando comparados com as alternativas encontradas na literatura.

O projeto apresenta ainda algumas oportunidades de pesquisas futuras, a fim de melhorar seu funcionamento ou adicionar funcionalidades ao mesmo. Entre elas tem-se: utilização de uma câmera que capture em uma velocidade mais rápida que 60 *fps* para que testes possam ser realizados com a esteira funcionando em velocidades superiores, quando necessário; adaptar o presente software para que o mesmo possa ser executado em uma plataforma móvel.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de Norma 04:015:06-010. Semeadora e distribuidoras de fertilizantes e corretivos- terminologia: definições**. São Paulo, 23p, 1996.
- AHUJA, N.; ROSENFELD, A. A Note on the Use of Second-Order Gray-Level Statistics for Threshold Selection, **IEEE Trans. Systems Man Cybernet.**, (8), p895-899, 1978.
- ALCHANATIS, V.; BRIKMAN, R.; KASHTI, Y. A Machine Vision System for Evaluation of Planter Seed Spatial Distribution. **Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development**. v.4, 10p, April, 2002.
- BEGHDADI, A.; NÉGRATE, A.L.; DE LESEGNO, P.V. Entropic Thresholding Using a Block Source Model. **CVGIP: Graphical Models and Image Processing**, (57), p197-205, 1995.
- BRINK, A.D. Using spatial information as an aid to maximum entropy image threshold selection. **Pattern Recognition Letters**, (17), p29-36, 1996.
- BRADSKY, G. R.; KAEHLER, A. **Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library**. O'Reilly, 2008.
- CELIK, A. et al. **Effects of Various Planters on Emergence and Seed Distribution Uniformity of Sunflower**. In Applied Engineering in Agriculture. V. 23, n. 1:57-61, 2007.
- CHENG, H. D.; CHEN, Y. H. Fuzzy partition of two-dimensional histogram and its application to thresholding. **Pattern Recognition**, (32), p825-843, 1999.
- CHUN, D. N.; YANG, H. S. Robust image segmentation using genetic algorithm with a fuzzy measure. **Pattern Recognition**, (29), p1195-1211, 1996.
- DIAS, O.V. et al. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, p.1.721-1.728, 2009.
- DUFF, A. J. B. **Intermediate-level Image Processing**. Academic Press, 1986.
- EBRAHIMIAN, S. et al. Laboratory evaluation of seed metering device using image processing method. **Australian Journal of Agricultural Engineering**, v.1, p.1-4, 2011.
- FRANCETTO, T. R. et al. **Mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes presentes nas semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil**. XLI Congresso brasileiro de engenharia agrícola - CONBEA 2012. Londrina - PR, 2012
- GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. 1ª reimpressão – 2003. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 509p, 2000.
- JAWAHAR, C.V.; BISWAS, P.K.; RAY, A.K. Analysis of fuzzy thresholding schemes. **Pattern Recognition**, (33), p1339-1349, 2000.
- JASPER, R., JASPER, M., GARCIA, L. C. **Seleção de Sementes de Milho Durante a Simulação da Semeadura com Disco Perfurado Horizontal**. in Eng. Agrícola Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 434-441, maio-ago, 2006.
- JASPER, R. et al. **Comparação de bancadas simuladoras do processo de semeadura em milho**. Eng. Agríc. [online]. vol.29, n.4, pp. 623-629, 2009.

KEMPSKI, L. A. **Construção de uma bancada de ensaio para avaliação de mecanismos dosadores de sementes.** 2006. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavél, PR.

KURACHI, S. A. et al. **Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaio e regularidade de distribuição longitudinal de sementes.** Campinas: Bragantia, v.48, n.2, 1989.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens.** Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

OLIVEIRA, R. C.; PINTO, T.P.S. **Análise de Distribuição de Sementes por Meio da Utilização de Sensores,** Ponta Grossa, PR: UEPG, 84p, 2007.

OKOPNIK, D. L.; **Solução eletrônica microcontrolada para determinação da distribuição longitudinal de sementes de milho.** 2012. 78f. Dissertação (Mestrado em computação Aplicada). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR.

OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histogram. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, p 62-66, 1978.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental.** São Paulo: USP/ESALQ, 467p, 1985.

RAHEMAN, H. SINGH, U. **A Sensor for Seed Flow from Seed Metering Mechanisms.** IE (I) Journal - AG. vol. 84, n.1, p. 6-8, 2003.

REZENDE, S. G.; VON PINHO, R. G; VASCONCELOS, R.C. **Influência do Espaçamento entre linhas e densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho.** In Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 2:34-42, 2003.

SCHUCH, L., PESKE, S. O. **Falhas e duplos na produtividade.** In: Revista SEED News, Pelotas, ano XII, n. 6. Nov-dez, 2008.

SILVA, P. R. F. Densidade e arranjo de plantas em milho. Congresso nacional de milho e sorgo, 19, 1992. Porto Alegre – RS, **Anais...** Porto Alegre – RS: SAA; SCT; ABMS; EMATER – RS, p291-294, 1992.

SOCIDISCO. **SOCIDISCO – Esteira de Plantabilidade.** Disponível em <<http://www.socidisco.com.br/esteira.html>>. Acesso em 10 jul. 2012.

TORRES, E.; GARCIA, A. **Uniformidade de distribuição de plantas em lavouras de soja.** Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 9p. Comunicado Técnico, 48. 1991.

URBEN FILHO, G.; SOUZA, P.I.M. **Manejo da cultura da soja sob cerrado: época, densidade e profundidade de semeadura.** In: ARANTES, N. E. ; SOUZA, P.I.M. (Ed.) **Cultura da soja nos cerrados.** Piracicaba: POTAFOS, p.267-298, 1993.

WIECHETECK, L.; INOUE, R. **Automação de um dispositivo de análise de distribuição de sementes.** 2005. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Computação) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. Orientador: Elaine Margarete Guimarães.

WEIRICH NETO, P. H. et al. **Distribuição de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), classificadas dimensionalmente, utilizando mecanismo dosador tipo perfurado horizontal.** PUBLICATIO UEPG – Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias: v. 7, n. 1, p. 7 – 20, 2001.

WU, K.; OTOO, E.; SUZUKI, K. Optimizing two-pass connected-component labeling algorithms, **Pattern Anal.** 2008.

YIN, P.Y. A Fast Scheme for Optimal Thresholding Using Genetic Algorithms. **Sinal Processing**, (72), p85-95, 1999.

YIN, P.Y. Maximum Entropy-Based Optimal Threshold Selection Using Deterministic Reinforcement Learning With Controlled Randomization. **Sinal Processing**, (82), p993-1006, 2002.