

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
UNIDADE ESPECIALIZADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
TECNÓLOGO EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

Kleysson Arthur Medeiros da Silva

APLICAÇÃO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA A CLASSIFICAÇÃO DE
SEMENTES DE SOJA POR TAMANHO UTILIZANDO PROCESSAMENTO
DIGITAL DE IMAGENS

Macaíba

2017

Kleysson Arthur Medeiros da Silva

**APLICAÇÃO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA A CLASSIFICAÇÃO DE
SEMENTES DE SOJA POR TAMANHO UTILIZANDO PROCESSAMENTO
DIGITAL DE IMAGENS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado à Unidade Especializada em Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande
do Norte como requisito parcial para a obtenção
do título de Tecnólogo em Análise e
Desenvolvimento de Sistemas.

Orientadora: Profa. Dra. Alessandra Mendes
Pacheco Guerra Vale

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Dias Pereira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Rodolfo Helinski - Escola Agrícola de Jundiaí - EAJ

Silva, Kleysson Arthur Medeiros da.

Aplicação de Sistema Computacional para a Classificação de Sementes de Soja por Tamanho Utilizando Processamento Digital de Imagens / Kleysson Arthur Medeiros da Silva. - 2017.
54f.: il.

Monografia (Tecnólogo) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Unidade Especializada em Ciências Agrárias. Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Macaíba, 2017.

Orientador: Alessandra Mendes Pacheco Guerra Vale.

Coorientador: Márcio Dias Pereira.

1. Sementes - Monografia. 2. Classificação - Monografia. 3. Processamento Digital de Imagens - Monografia. I. Vale, Alessandra Mendes Pacheco Guerra. II. Pereira, Márcio Dias. III. Título.

RN/UF/BSPRH

CDU 631.53.02

Kleysson Arthur Medeiros da Silva

**APLICAÇÃO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA A CLASSIFICAÇÃO DE
SEMENTES DE SOJA POR TAMANHO UTILIZANDO PROCESSAMENTO
DIGITAL DE IMAGENS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Unidade Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Aprovado em: ____ de _____ de ____.

Prof^a. Dr^a. Alessandra Mendes Pacheco Guerra Vale - UFRN
Orientadora

Prof. Dr. Marcio Dias Pereira - UFRN
Coorientador

Prof^a. Dr^a. Laura Emmanuella Alves Dos Santos Santana De Oliveira - UFRN
Membro Interno

Prof. Msc. Emerson Moura De Alencar - UFRN
Membro Interno

Macaíba

2017

APLICAÇÃO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA A CLASSIFICAÇÃO DE SEMENTES DE SOJA POR TAMANHO UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Autor: Kleysson Arthur Medeiros da Silva

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Alessandra Mendes Pacheco Guerra Vale

Resumo

A classificação de sementes é uma forma de padronização de acordo com as regras formais indicadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Um lote de sementes padronizado torna mais prática a semeadura de forma automática. Este projeto tem como objetivo a classificação de sementes de soja por tamanho de forma automática através de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI). As imagens utilizadas foram divididas em 3 diferentes lotes de sementes de soja (L5, L7 e L8), fornecidas pelo Grupo de Estudos em Tecnologia de Sementes da Escola Agrícola de Jundiá (EAJ), cada lote composto de 2 repetições. Os dados coletados das medições manuais e classificação das sementes, feitas com o auxílio de paquímetro digital, foram comparados com os resultados de medição e classificação realizados pelo sistema. Os resultados foram obtidos utilizando os índices de Verdadeiro Positivo (VP), Verdadeiro Negativo (VN), Falso Positivo (FP), Falso Negativo (FN). A partir desses índices foi possível aferir a Acurácia do sistema. As medições obtiveram uma acurácia média de aproximadamente 97%. As classes das sementes de 5,0mm à 6,5mm obtiveram os melhores valores de acurácia. O sistema foi desenvolvido a partir dos padrões estabelecidos para a aquisição das imagens e classificação das sementes de soja.

Palavras-chave: Classificação, Sementes, Processamento Digital de Imagem.

APPLICATION OF COMPUTATIONAL SYSTEM FOR THE CLASSIFICATION OF SOYBEAN SEEDS BY SIZE USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

Author: Kleysson Arthur Medeiros da Silva

Advisor: Prof^a. Dr^a. Alessandra Mendes Pacheco Guerra Vale

Abstract

The classification of seeds is a kind of standardization according to the formal rules indicated by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA). A standardized lot of seeds makes automatic sowing more practical. This project aims to classify soybean seeds by size automatically using Digital Image Processing (PDI) techniques. The images used were divided into 3 different lots of soybean seeds (L5, L7 and L8) provided by the Seed Technology Study Group of the Escola Agrícola de Jundiaí (EAJ), each lot composed of 2 repetitions. The data collected from the manual measurements and seed classification, made using a digital pachymeter, were compared with the results of measurement and classification performed by the system. The results were obtained using the values of True Positive (VP), True Negative (VN), False Positive (FP), False Negative (FN). From these indices it was possible to gauge the accuracy of the system. The measurements obtained an average accuracy of approximately 97%. The classes of seeds from 5.0mm to 6.5mm obtained the best values of accuracy. The system was developed from the established standards for the acquisition of images and classification of soybean seeds.

Keywords: Classification, Seeds, Digital Image Processing.

Lista de figuras

Figura 1: Tipos de crivos de peneiras.....	13
Figura 2: Imagem matricial.....	15
Figura 3: Intensidade de um pixel em uma imagem colorida	16
Figura 4: Formas de representação de imagem.....	16
Figura 5: Etapas do Processamento Digital de Imagens	17
Figura 6: Exemplo de aquisição das imagens das sementes de soja	21
Figura 7: Imagem em seus canais individuais.....	23
Figura 8: Imagem resultado da subtração do canal B pelo canal R.....	23
Figura 9: Histograma da Imagem resultante	24
Figura 10: Análise do histograma	24
Figura 11: Limiarizada para pixels maiores que o limiar em branco	25
Figura 12: Limiarização para pixels maiores que o limiar em preto.....	26
Figura 13: Métrica adquirida na segmentação	27
Figura 14: Interface desenvolvida para o processamento das imagens	31
Figura 15: Semente segmentada.....	31
Figura 16: Medição manual e medição pelo sistema para o lote 5.....	32
Figura 17: Medição manual e medição pelo sistema para o lote 7.....	32
Figura 18: Medição manual e medição pelo sistema para o lote 8.....	32
Figura 19: Diferenças entre medições de sementes no limite da classe C3	34

Lista de tabelas

Tabela 1: Categorias de tamanhos de sementes	28
Tabela 2: Quantidade de sementes medidas manualmente em cada classe.....	30
Tabela 3: Resultados percentuais obtidos para a medição dos lotes para as repetições R1 e R2 e média dos resultados para todas as repetições: Verdadeiro Positivo (VP), Verdadeiro Negativo (VN), Falso Negativo (FN), Falso Positivo (FP) e Acurácia (AC)	33
Tabela 4: Matriz de confusão e acurácia geral para as classificações das cinco classes de sementes...	33
Tabela 5: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 5 Repetição 1	46
Tabela 6: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 5 Repetição 2	47
Tabela 7: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 7 Repetição 1	48
Tabela 8: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 7 Repetição 2	49
Tabela 9: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 8 Repetição 1	50
Tabela 10: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 8 Repetição 2	51

Lista de abreviaturas e siglas

EAJ – Escola Agrícola de Jundiaí

LAS – Laboratório de Análise de Sementes

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

PDI – Processamento Digital de Imagem

RAS – Regras para Análise de Sementes

SAP – Secretaria de Política Agrícola

Sumário

1	Introdução	9
1.1	Justificativa	10
1.2	Objetivos.....	10
1.2.1	Objetivo geral.....	10
1.2.2	Objetivos específicos	10
1.3	Organização do Trabalho.....	11
2	Referencial teórico	12
2.1	Qualidade de sementes	12
2.2	Classificação de sementes por seus atributos físicos	13
2.3	Processamento Digital de Imagens	14
2.3.1	Imagem digital	14
2.3.2	Etapas de processamento	16
2.3.2.1	Aquisição	17
2.3.2.2	Base de conhecimento	17
2.3.2.3	Pré-processamento.....	18
2.3.2.4	Segmentação.....	18
2.3.2.5	Representação e descrição	18
2.3.2.6	Reconhecimento e interpretação.....	18
2.4	Processamento Digital de Imagens na análise de sementes.....	19
3	Técnica desenvolvida.....	20
3.1	Aquisição	20
3.2	Base de conhecimento	21
3.2.1	Regiões de interesse por tamanho.....	21
3.2.2	Definição da métrica.....	22
3.2.3	Categorias de classificação das sementes	22

3.3	Pré-processamento	22
3.3.1	Extração dos canais R e B da imagem RGB	22
3.3.2	Subtração das imagens do canal R pelo canal B	23
3.3.3	Obtenção do histograma e cálculo do <i>MaiorPico</i> , <i>SegundoPico</i> e <i>Vale</i>	24
3.4	Segmentação	25
3.4.1	Segmentação frente e fundo	25
3.4.2	Segmentação dos objetos	26
3.5	Representação e descrição	26
3.6	Reconhecimento e interpretação	27
3.6.1	Rotulação dos objetos	27
3.6.2	Cálculo da medida real das sementes	28
3.6.3	Categorização da semente pela sua medida real	28
4	Resultados	30
4.1	Experimentos	30
4.2	Análise de Resultados	31
4.2.1	Medição	31
4.2.2	Classificação	33
4.3	Discussão	33
4.3.1	Classificação	34
5	Conclusão	35
5.1	Trabalhos Futuros	35
	Referências	36
	Apêndice A	40
	Apêndice B	46

1 Introdução

A soja é um componente essencial na fabricação de rações animais e para a alimentação humana. Ela pode ser usada na indústria de cosméticos, na fabricação de sabonetes e hidratantes, e para a fabricação do biodiesel (CAVINATTO; AMARAL, 2012). A soja apresenta, a cada ano, grande crescimento na produção e estima-se que se produzirá cerca de 102,5 milhões de toneladas desse grão nos próximos anos (CONAB, 2015). Estudos realizados pela Secretaria de Política Agrícola (SPA) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), indicam que a cidade de Sorriso em Mato Grosso, maior produtor de soja e milho no país, arrecadou aproximadamente 2,5 bilhões de reais em 2015 (“Soja e milho, âncoras da agricultura brasileira”, 2016).

A classificação de sementes é uma forma de padronização de acordo com as regras formais indicadas pelo MAPA. Um lote de sementes padronizado torna mais prática a semeadura de forma automática. Segundo Smith e Camper (1975), o tamanho das sementes é importante para atingir uma melhor uniformidade na distribuição de sementes pelas semeadoras e de plantas no campo, o que é um fator relevante para a obtenção de maior produtividade. Estudos apontam que, em algumas culturas, o tamanho e a forma das sementes influenciam no vigor e na emergência das plântulas no campo. Segundo Biruel et al. (2010), as sementes pequenas tendem a apresentar menores valores de germinação e vigor em comparação com as de tamanhos médio e grande. Carvalho e Nakagawa (2000) descrevem que as sementes de maior tamanho geralmente são mais bem nutridas, possuindo maior quantidade de substâncias de reserva e apresentando maior vigor.

A análise de sementes de soja através de imagens digitais vem sendo utilizada para avaliar os índices de vigor das plântulas por ser um método mais veloz e com resultados mais objetivos (BRANDANI, 2017). Alguns testes complementares para as pesquisas podem ser realizados tendo em vista que o processamento de imagens não danifica os grãos analisados (HENRIQUE; MONDO; CICERO, 2005).

Uma das formas de realizar a análise de imagem digital é utilizando o Processamento Digital de Imagens (PDI). O processamento digital de imagens, como o próprio nome indica, é o processamento de imagens digitais através de um computador digital. O PDI envolve processos onde as entradas e saídas são imagens e engloba processos de extração de atributos e reconhecimento de objetos individuais.

1.1 Justificativa

Com a constante competitividade no setor agrícola, as empresas procuram sempre oferecer os melhores produtos para o consumidor. Através da classificação de sementes é possível informar o peso de mil sementes e a partir disso a quantidade de sementes na embalagem, melhorando assim o marketing além de melhorar a aparência do produto (CAMILO, 2003). O beneficiamento de semente é realizado pelas empresas produtoras e analisadas por laboratórios especializados para comparação dos resultados descritos na embalagem.

O processo de análise e classificação de sementes demanda de um elevado tempo e custo, gerando assim despesas extras para o produtor. Para o pequeno produtor isso tem um forte impacto em sua produção. Uma das alternativas para isso são os sistemas automáticos. Os sistemas de processamento de imagens estão sendo utilizados para pesquisas em comparação com os métodos tradicionais (MARCHI; CICERO, 2016). Tendo em vista o tempo e o custo desse processo, os sistemas de análise de imagens tornam a classificação mais rápida e possui um custo mais baixo.

1.2 Objetivos

As seções seguintes descrevem o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema computacional para a classificação de sementes por tamanho a partir de imagens de sementes de soja, utilizando técnicas de PDI.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Estudar os padrões formais para a classificação de sementes de soja por peneiras;
- Elaborar um padrão para a aquisição das imagens de sementes de soja que serão analisadas pelo sistema;

- Elaborar um sistema de medição automática das sementes, independentemente das posições que ocupam na imagem e seguindo o padrão de aquisição;
- Construir um sistema computacional para a classificação automática por peneiras de acordo com valores das peneiras previamente estabelecidos;
- Realizar a análise comparativa entre os resultados automáticos produzidos pelo sistema e os resultados manuais obtidos pelo especialista.

1.3 Organização do Trabalho

Os conteúdos dos capítulos estão divididos da seguinte forma:

- **Capítulo 1:** Apresenta uma introdução sobre o trabalho;
- **Capítulo 2:** Apresenta o referencial teórico para o este trabalho;
- **Capítulo 3:** Apresenta o desenvolvimento do sistema de classificação e os algoritmos criados para o processamento e classificação das sementes;
- **Capítulo 4:** Apresenta os resultados obtidos com o sistema desenvolvido;
- **Capítulo 5:** Apresenta as conclusões do projeto proposto e as propostas de trabalhos futuros.

2 Referencial teórico

Esse capítulo aborda a fundamentação teórica e o estado da arte relacionado ao objetivo do trabalho e está dividido em:

- **Qualidade de sementes:** apresenta as técnicas para a análise de sementes e a importância da classificação das sementes.
- **Classificação de sementes por seus atributos físicos:** apresenta trabalhos relacionados à classificação de acordo com os atributos físicos das sementes e os testes que auxiliam nessa classificação.
- **Processamento Digital de Imagens:** apresenta as etapas do processamento digital de imagem e alguns trabalhos desenvolvidos.
- **Processamento Digital de Imagens na análise de sementes:** apresenta os trabalhos relacionados a análise e classificação de sementes utilizando técnicas de PDI.

2.1 Qualidade de sementes

A qualidade das sementes é um dos fatores responsáveis por uma boa lavoura e para aquisição de um produto ideal para comercialização. As sementes podem ser classificadas de acordo com os seus atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (AGROLINK, 2016).

As normas e procedimentos para a análise de sementes são descritas no sistema de Regras para Análise de Sementes (RAS) e o controle de qualidade é realizado nos Laboratórios de Análise de Sementes (LAS). As RAS definem as metodologias de análise para os testes de pureza, germinação, umidade, tetrazólio, entre outros (AGROLINK, 2016).

A partir da seleção das sementes é possível quantificar as matérias estranhas, impurezas, problemas nas sementes como rachaduras, entre outras. A partir da classificação é possível examinar o aparecimento de pragas ou a situação da colhedeira. As empresas que adquirem as sementes podem descontar o valor da saca se as sementes apresentarem algum defeito ou má formação, que são indícios da qualidade do produto.

A separação de sementes é feita de acordo com o seu tamanho. Para uma melhor uniformidade do lote, são utilizadas peneiras de diferentes tamanhos. Cada tipo de separação utiliza peneiras com crivos e tamanhos diferentes. Para a separação de semente pela largura são utilizadas peneiras de crivos redondos e para a separação pela espessura usam-se peneiras de crivos oblongos, como ilustrados na Figura 1. A separação de semente pelo comprimento é feita pelo separador de cilindro alveolado, também conhecido como *trieur*.

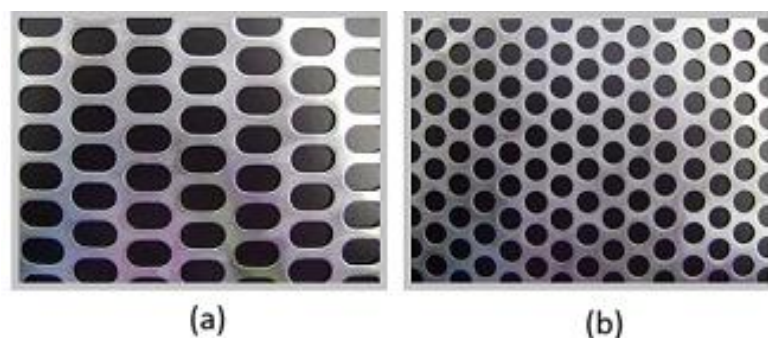


Figura 1: Tipos de crivos de peneiras: a) crivos oblongos, b) crivos redondos. Fonte: (AGROFIOR, 2015).

Para a realização da separação por peneiras, é retirada uma amostra do lote e colocadas em uma máquina que contém peneiras colocadas umas sobre as outras. Essa máquina agita as peneiras para que as sementes caiam. Após isso, é feita a contagem da quantidade de sementes retidas em cada peneira e de acordo com esses valores é aferido o tamanho médio das sementes. O *trieur* é composto por um cilindro metálico onde a sua superfície apresenta alvéolos de mesmo tamanho por toda a sua extensão, uma calha e uma espiral. As sementes mais curtas se alojam nos alvéolos e são levantadas para a parte superior onde são despachadas na calha e transportadas para uma saída da máquina. As sementes maiores não se alojam nos alvéolos e permanecem na parte inferior do cilindro onde são transportadas para outra saída da máquina. (CICERO, 2017).

2.2 Classificação de sementes por seus atributos físicos

A classificação de sementes de soja por tamanho contribui para uma boa plantabilidade, diminuindo a ocorrência de falhas e melhorando a distribuição, enriquecendo assim os ajustes na densidade de semeadura (RODRIGUES, 2012).

Camilo (2003) avaliou a influência da classificação de sementes de soja em peneiras planas de perfuração redonda. Utilizou peneiras de 5,0 a 7,0mm e constatou que a soja pode ser classificada em peneiras de planas de perfuração redonda e que a classificação aumenta a confiabilidade na determinação do peso de mil sementes.

Alguns estudos foram feitos sob a influência do tamanho das sementes como o realizado por Vinhal-Freitas et. al (2011), que avaliaram o vigor e a germinação de sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. Utilizaram sementes de diâmetros de 5,0mm à 7,0mm classificados em peneiras circulares e observaram que sementes maiores apresentaram maior qualidade fisiológica na maioria dos testes realizados.

Vazquez et. al (2012) examinaram a influência do tamanho e da forma da semente na produtividade de grãos de milho e verificaram que o tamanho interfere no desenvolvimento inicial das plantas.

2.3 Processamento Digital de Imagens

De acordo com Gonzalez e Woods (2010) o campo do PDI se refere ao processamento de imagens digitais por um computador digital. O interesse nos métodos de PDI provém de duas áreas principais de aplicação: melhora das informações visuais para a interpretação humana e processamento de dados de imagens para armazenamento, transmissão e representação, considerando a percepção automática por máquinas. Nesse tipo de processamento, os métodos de entrada são sempre imagens, mas as saídas podem ser imagens e/ou atributos extraídos dessas imagens.

O processamento digital de imagem pode ser utilizado em várias áreas, como na biometria, medicina, meteorologia, entre outras (EMJEL, 2016). O processamento digital de imagem contém elementos de outras áreas, como a Física e Matemática, e nas suas aplicações usa princípios de álgebra, estatística, teoria dos grafos, entre outros (QUEIROZ; GOMES, 2001).

2.3.1 Imagem digital

Existem duas categorias de imagens digitais: as imagens vetoriais e as imagens matriciais. As imagens vetoriais utilizam, na sua criação, formas geométricas como linhas, pontos e curvas. A partir de fórmulas matemáticas são definidos os pontos que marcam o início, o fim e a curvatura das linhas da imagem, por exemplo. Já as imagens matriciais utilizam agrupamentos de pixels para a sua formação, onde cada pixel representa uma cor ou intensidade, como exemplificado na Figura 2. Dentre as diferenças que marcam estas categorias de imagens, a principal é que as imagens vetoriais não perdem qualidade quando são redimensionadas, enquanto que as matriciais têm pixels retirados ou adicionados no redimensionamento (“Entenda o que são desenhos vetoriais”, 2016). Neste trabalho serão utilizadas somente imagens matriciais.



Figura 2: Imagem matricial. Fonte: ("As diferenças entre arquivos Bitmap e Vetor", 2013).

O menor elemento de uma imagem matricial é chamado de *pixels* (*picture element*). As localizações de cada *pixel* da imagem são definidas por pares de coordenadas (x,y) e os valores em cada coordenada representam a intensidade de cada pixel, variando de 0 a 255.

Os computadores armazenam dados em forma de bits, cada um podendo assumir um dentre dois valores: 0 ou 1. A partir do agrupamento de 8 bits, tem-se uma palavra, chamada *byte*. Como um *byte* pode representar 2^8 valores diferentes, variando de 0 a 255, as intensidades de cada pixel em uma imagem em tons de cinza são definidas por 1 *byte*. Assim, uma imagem digital pode ser descrita como um conjunto de *pixels* formando uma matriz de coordenadas (x,y) com valores que variam de 0 a 255. Os valores representam a intensidade de branco que o *pixel* apresenta na imagem, onde o 0 é a ausência de branco e o 255 é a presença total de branco, formando assim uma imagem em tons de cinza.

Uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional, $f(x, y)$, em que x e y são coordenadas espaciais (plano), e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x, y) é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto. Quando x, y e os valores de intensidade de f são quantidades finitas e discretas, chamamos de imagem digital (GONZALEZ; WOODS, 2010, p. 1).

Uma imagem colorida pode ser representada através de diversos modelos de cor. Um dos principais modelos de cores é o RGB. O modelo RGB é um sistema de cores aditivo onde cada cor é formada da combinação de três canais de cor: vermelho (R - *Red*), verde (G -

Green) e azul (B - Blue). Esse modelo é utilizado em equipamentos que emitem luz como monitores, televisores, entre outros.

Uma imagem digital colorida RGB é formada por um conjunto de três matrizes, onde cada matriz corresponde a um canal de cores do modelo. Um *pixel* z de uma imagem colorida armazena a intensidade em cada uma das camadas do modelo como ilustrado na Figura 3. Cada camada armazena as intensidades da sua respectiva cor, ou seja, uma imagem colorida é formada por 256^3 combinações de cores totalizando 16.777.216 cores diferentes.

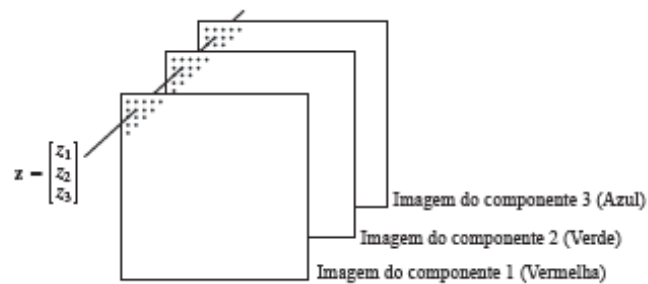


Figura 3: Intensidade de um pixel em uma imagem colorida. Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2010).

A Figura 4 apresenta diversas formas de se representar uma mesma imagem, indo da imagem colorida (modelo RGB), mostrando as suas camadas individualmente, à imagem em preto e branco.



Figura 4: Formas de representação de imagem: a) colorida, b) escala de cinza, c) preto e branco, d) canal R, e) canal G, f) canal B. Fonte: (VALE, 2014).

2.3.2 Etapas de processamento

Como descrito na Figura 5, o PDI subdivide-se em algumas etapas incrementais. Estas etapas seguem uma sequência pré-determinada na qual para prosseguir à etapa seguinte faz-se

necessário o cumprimento da etapa anterior. Entretanto, de acordo com Gonzalez & Woods (2010), não necessariamente todos os sistemas de PDI utilizam todas as etapas pois tal utilização depende da aplicação que está sendo desenvolvida e do seu propósito. Por exemplo, aplicações que tem como objetivo o realce de características não precisam chegar até a fase de segmentação, pois o pré-processamento já satisfaz a sua necessidade.



Figura 5: Etapas do Processamento Digital de Imagens. Fonte: GONZALES; WOODS, 2000).

2.3.2.1 Aquisição

A primeira etapa é responsável pela obtenção das imagens. A aquisição pode ser gerada a partir de vários equipamentos, como: raios-x, *scanners*, câmeras digitais, entre outros, ou já receber uma imagem digital. A aquisição obedece a padrões que são estabelecidos para cada aplicação visando uma melhor qualidade para o processamento. As imagens adquiridas podem ser coloridas ou em tons de cinza.

2.3.2.2 Base de conhecimento

A compreensão sobre o problema e as suas particularidades são descritas em uma base de conhecimento. Essa base de conhecimento pode ser simples, como a delimitação da área onde as informações da imagem podem ser encontradas, ou complexa como uma lista interconectada de informações de possíveis problemas em uma inspeção de materiais. Essa base gerencia as etapas do processamento da imagem, assim como a comunicação entre elas para a resolução do problema.

2.3.2.3 Pré-processamento

O pré-processamento, responsável pelo tratamento da imagem para que a torne mais adequada para a aplicação, visa a correção de falhas causadas no processo de aquisição da imagem. Essa etapa engloba várias técnicas, como o redimensionamento, compressão, filtragem e processamento de imagens coloridas.

2.3.2.4 Segmentação

Para entender melhor a segmentação faz-se necessário conhecer os conceitos de histograma e limiarização. O histograma de uma imagem descreve a quantidade de pixels por intensidade (níveis de cinza) na imagem. A limiarização consiste em agrupar os níveis de cinza de uma imagem que satisfazem um determinado critério de similaridade e/ou de um valor pré-definido de intensidade (limiar). Nessa técnica, todos os pixels do histograma da imagem são rotulados como sendo do objeto de frente ou de fundo. A limiarização pode ser definida pela fórmula:

$$g(x, y) = \begin{cases} \text{objeto se } f(x, y) > \text{limiar} \\ \text{fundo se } f(x, y) \leq \text{limiar} \end{cases} \quad (1)$$

A segmentação é uma das etapas mais difíceis da aplicação. Em geral, é feita a separação dos objetos de interesse e do fundo da imagem e, na sequência, é feita a separação dos objetos entre si para que sejam processados individualmente. Para realizar uma segmentação de forma automática são utilizadas técnicas de limiarização que analisam o histograma da imagem em busca do melhor valor de limiar.

2.3.2.5 Representação e descrição

A partir da segmentação são extraídos os dados da imagem que representam os seus objetos. Os dados coletados são transformados para que se possa realizar o processamento computacional. Tais dados são chamadas de descritores e contém as características que diferenciam as classes dos objetos obtidos.

2.3.2.6 Reconhecimento e interpretação

É a última etapa do processamento onde a imagem é rotulada conforme os seus descritores e é atribuído um significado para esses objetos rotulados. A saída dessa etapa são

as informações que puderam ser extraídas da imagem a partir dos dados coletados nas outras etapas.

2.4 Processamento Digital de Imagens na análise de sementes

O PDI pode ser usado para analisar os atributos físicos e fisiológicos das sementes. Vieira-Junior et al (1999) analisam os atributos físicos de comprimento a largura de sementes de milho usando imagens de scanner e a sua usabilidade em relação a outros métodos preestabelecidos. As imagens foram capturadas em diferentes resoluções e processadas com o auxílio de alguns softwares em algumas etapas do processamento.

Silva et al (2014) analisam a morfologia interna das sementes de abóbora por meio de imagens de raios-x para investigar a relação da forma interna da semente com a sua germinação. O teor de água contida nas sementes influencia na qualidade das imagens de raios-x, por isso é necessária uma padronização da umidade das sementes que serão analisadas. O aparelho de raios-x é configurado de acordo com a espessura, densidade, composição da semente e do aparelho a ser utilizado para a obtenção das imagens.

Teixeira et al (2007) analisaram a uniformidade de sementes de milho através de imagens de scanner, observando as medidas de comprimento e largura das sementes. As sementes foram dispostas sobre o scanner com o maior eixo, relativo ao comprimento, perpendicular ao maior lado da superfície do scanner. As sementes foram dispostas separadas umas das outras por aproximadamente 0,2 centímetros e sem o fechamento da tampa do scanner com resolução de 1000 x 1000 dpi.

O objetivo do trabalho é o desenvolvimento de um único sistema para a classificação das sementes, sendo necessário, para a aquisição das imagens, uma máquina fotográfica digital (câmera digital ou aparelho celular) onde as sementes precisam apenas estar separadas umas das outras sem um padrão de distância e posição.

3 Técnica desenvolvida

Este capítulo descreve os passos para o desenvolvimento do sistema computacional para a classificação de sementes de soja por tamanho especificando os passos feitos em cada etapa do processamento digital de imagem e as suas respectivas saídas.

3.1 Aquisição

Esta é a etapa inicial do sistema, na qual as imagens são capturadas e entregues para o processamento. As sementes utilizadas para a aquisição foram obtidas a partir da colheita de soja de 2016, na região de Unaí – MG. Foram obtidas amostras de 100 sementes de 3 lotes diferentes de soja (L5, L7 e L8), totalizando 300 sementes para análise. Cada lote foi subdividido em 2 repetições (R1 e R2) contendo 50 sementes em cada repetição.

A RAS descreve que para a uniformização do lote, são necessárias 2 repetições com 100g de sementes em cada repetição para cada lote. Por não haver uma quantidade suficiente de sementes em cada lote analisado para realizar a separação das repetições pelo peso das sementes foram utilizados valores de quantidade de sementes para realizar a divisão das repetições de cada lote.

As sementes foram medidas por um dos especialistas em análise de sementes com o auxílio de um paquímetro digital, salvando os valores de largura, comprimento e a média das duas medidas de cada semente em uma planilha.

As sementes foram dispostas em um EVA de cor azul juntamente com uma identificação (de cor amarela) do lote e repetição a qual pertence as sementes que serão fotografadas e uma moeda de 10 centavos de real dourada (medindo aproximadamente 20,0mm de diâmetro). A identificação do lote é o maior objeto da imagem e é fotografada para que seja possível saber a qual lote e repetição as sementes pertencem. Foi escolhido o EVA por ser um material fosco e de cor uniforme, reduzindo assim a presença de manchas causadas pela luminosidade do ambiente. A cor azul foi utilizada por ser uma cor difícil de ser encontrada na natureza e que contrasta muito bem com a cor das sementes de soja. A moeda servirá de referência métrica para que sejam calculados os valores da largura e comprimento de cada semente.



Figura 6: Exemplo de aquisição das imagens das sementes de soja.

As imagens foram capturadas por uma câmera digital, com resolução de 4160 x 2336, sem o auxílio de flash. As fotos foram tiradas de cima para baixo em um ângulo de 90 graus em relação ao fundo. As imagens adquiridas foram encaminhadas para as demais etapas de processamento, interagindo com a base de conhecimento sempre que necessário.

3.2 Base de conhecimento

A *base de conhecimento* contém o conhecimento especialista sobre a classificação de sementes de acordo com seu tamanho. Foram definidos três parâmetros indispensáveis para a base de conhecimento que proporcionarão uma tomada de decisão durante o processamento das imagens:

- Regiões de interesse;
- Definição da métrica;
- Categorias de classificação das sementes;

3.2.1 Regiões de interesse por tamanho

Uma imagem pode conter vários objetos e nem todos são importantes dependendo do domínio da aplicação. Dessa forma é necessária a extração de características que diferenciem os objetos de interesse dos demais. Várias características podem ser extraídas, como a forma, a cor e a textura dos objetos. Neste trabalho são utilizados alguns dos descritores de forma: *área*, *comprimento*, *largura* e *diâmetro médio* e um descritor de cor para diferenciar os objetos de interesse e o fundo da imagem. O descritor de *área* é utilizado para definir se o objeto em questão é uma semente, se é a marcação, a métrica ou algum ruído que restou na

imagem após o pré-processamento. Os descritores de *comprimento*, *largura* e *diâmetro médio* foram utilizados na etapa de representação e descrição para informar as medidas da semente, em *pixels*.

3.2.2 Definição da métrica

Após a extração da métrica é calculada o diâmetro que ela possui, em *pixels*. A base de conhecimento deve “saber” quanto a métrica mede no mundo real para que seja possível calcular a medida real das sementes presentes na imagem. Essa é uma parte crucial para o resultado do processamento.

3.2.3 Categorias de classificação das sementes

A base de conhecimento guarda as informações da quantidade de categorias que serão classificadas as sementes e as dimensões de cada categoria. É importante saber a medida de cada semente para agrupá-las em classes de acordo com o seu tamanho, objetivo principal do trabalho. As sementes de soja são classificadas em categorias de tamanhos, essas categorias podem sofrer alterações de acordo com a semente e o descritor que será utilizado para a classificação. Neste trabalho foram usadas 5 classes de tamanho utilizados por Camilo (2003): 5,0mm, 5,5mm, 6,0mm, 6,5mm e 7,0mm.

3.3 Pré-processamento

A etapa de pré-processamento é a responsável por tratar a imagem para que possa ser realizada a segmentação. Essa etapa recebe como entrada a imagem obtida a partir da aquisição e os passos do seu processamento podem ser descritos como:

- **Passo 1:** Extração dos canais R e B da imagem RGB;
- **Passo 2:** Subtração das imagens do canal R pelo canal B;
- **Passo 3:** Extração do histograma da imagem resultante do passo 2;
- **Passo 4:** Cálculo dos dois picos relevantes do histograma (*MaiorPico* e *SegundoMaiorPico*);
- **Passo 5:** Obtenção do vale entre o *MaiorPico* e o *SegundoPico*.

3.3.1 Extração dos canais R e B da imagem RGB

Considerando que as imagens capturadas estejam no mesmo padrão de cor, sendo representadas por um conjunto de três matrizes $A_{m \times n \times 3}$, no modelo RGB, optou-se por utilizar

as camadas R e B (Figura 7a e 7b). A camada R foi escolhida por apresentar uma melhor visualização dos objetos em relação ao fundo e a camada B para ser usada como complemento para reduzir a presença de ruído e uniformizar a intensidade de cor de cada objeto.

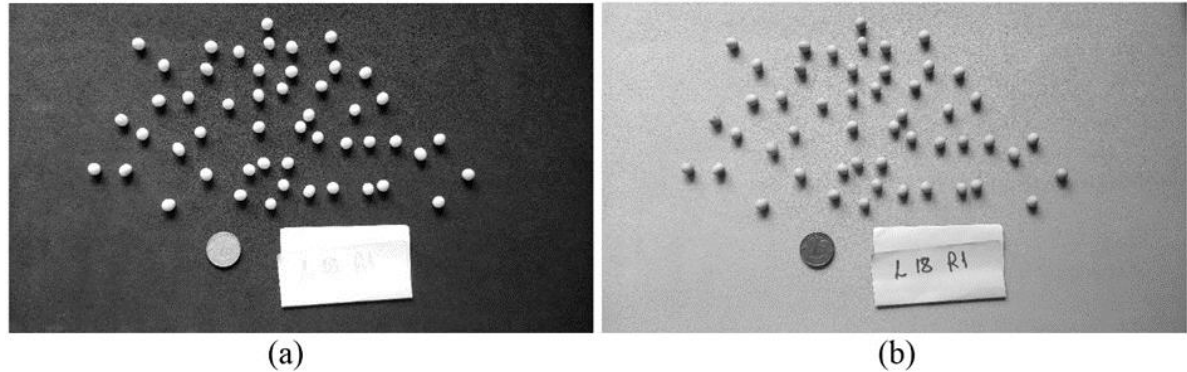


Figura 7: Imagem em seus canais individuais: a) canal R, b) canal B.

3.3.2 Subtração das imagens do canal R pelo canal B

De posse das matrizes R e B é feita uma operação de subtração *pixel a pixel* da camada B pela camada R resultando em uma imagem um pouco mais escura (

Figura 8). Dessa forma todos os objetos de interesse são representados com a mesma intensidade de cor, nesse caso apresentando a cor preta, e o ruído causado pelo fundo e a iluminação do ambiente é reduzido tornando a cor do fundo mais uniforme. Essa operação visa melhorar o histograma para a obtenção do limiar que será utilizado na segmentação. Após a uniformização da imagem, são construídos o histograma e os dois picos mais relevantes, *MaiorPico* e *SegundoPico*.

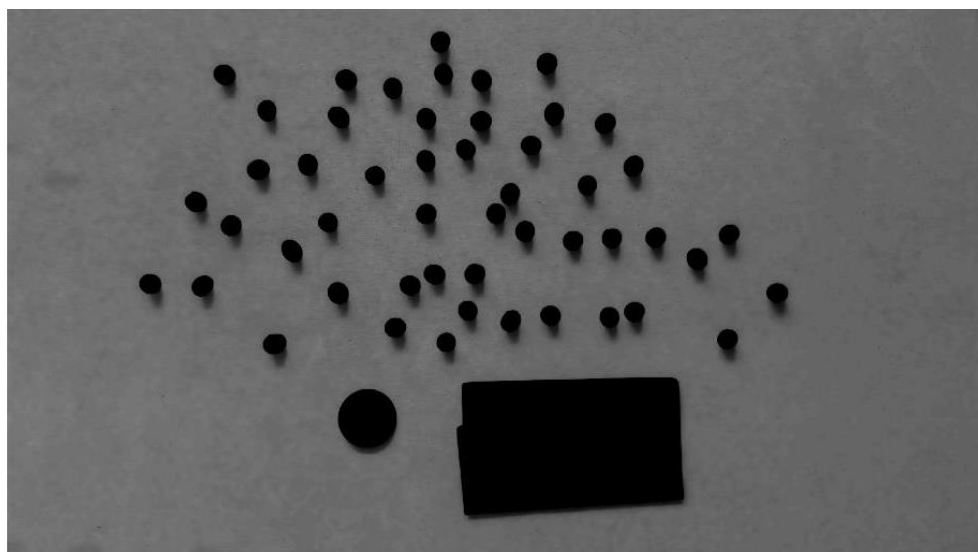


Figura 8: Imagem resultado da subtração do canal B pelo canal R.

3.3.3 Obtenção do histograma e cálculo do *MaiorPico*, *SegundoPico* e *Vale*

Para o cálculo dos picos relevantes da imagem, é considerado um vetor de h de 256 posições representando os níveis de cinza da imagem (de 0 a 255) onde é armazenada a quantidade de *pixels* que apresentam cada nível de cinza (Figura 9). Ao percorrer o vetor, o primeiro elemento, o índice 0, representa um dos dois maiores valores do vetor e é considerado como o *MaiorPico* (Figura 10a) já que ele guarda a quantidade de *pixels* com o nível de cinza que representa os objetos de interesse. Após obter-se o *MaiorPico*, é percorrido as outras posições do vetor e guarda-se a posição do maior valor encontrado, a posição desse valor é considerado como o *SegundoPico* (Figura 10b).

Para a obtenção do limiar que será usado na etapa de segmentação, é necessário percorrer novamente o vetor do histograma da imagem resultante. O vetor será percorrido da posição do *MaiorPico* à posição do *SegundoPico* e retirada a posição do *vale*, que é o menor valor encontrado entre eles no vetor das intensidades (Figura 10c). A posição desse valor mínimo é a referência que será utilizada na segmentação da imagem.

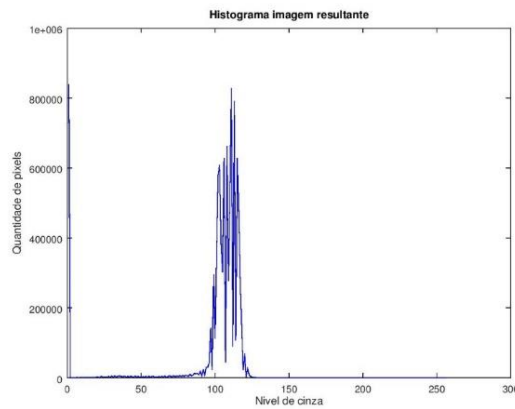


Figura 9: Histograma da Imagem resultante.

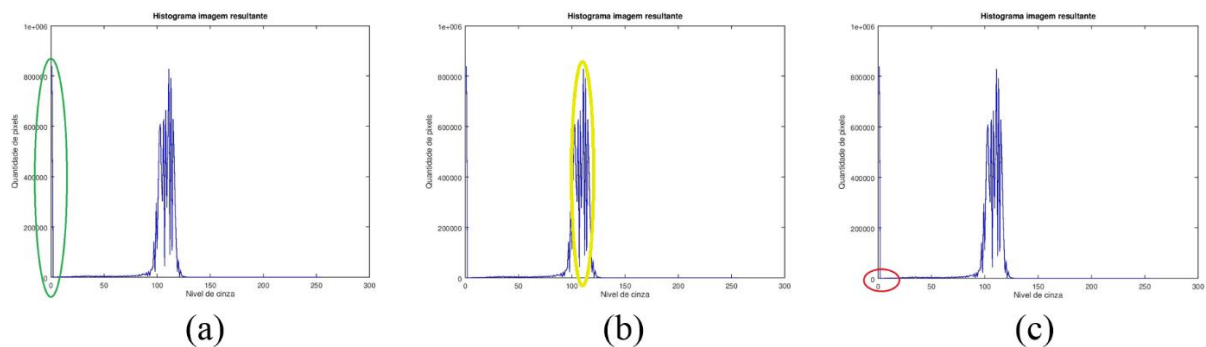


Figura 10: Análise do histograma: a) *MaiorPico*, b) *SegundoPico*, c) *Vale* entre os picos.

3.4 Segmentação

A segmentação é a etapa onde os objetos de interesse são separados para que sejam possíveis a extração de características e o agrupamento em cada categoria estabelecida pela base de conhecimento. O algoritmo de segmentação pode ser descrito em alguns passos:

- **Passo 1:** Segmentação dos objetos de interesse e o fundo da imagem;
- **Passo 2:** Segmentação dos objetos individualmente.

3.4.1 Segmentação frente e fundo

Para realizar a segmentação da imagem em duas regiões, frente e fundo, os pixels que antes armazenavam 1 byte (0 a 255), passam a armazenar agora apenas 1 bit (0 ou 1). Essa transformação faz com que a imagem apresente apenas duas tonalidades: preto e branco. Essa transformação é feita utilizando um limiar como delimitador. Os pixels da imagem que possuem intensidade maior que o limiar, recebem o valor 1 e os pixels que possuem intensidade menor que o limiar, recebem valor 0, como exibido na (Figura 11).

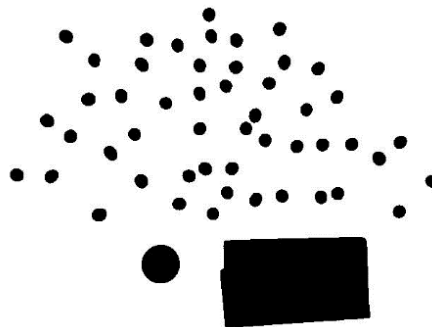


Figura 11: Limiarizada para pixels maiores que o limiar em branco.

As sementes após o pré-processamento apresentam uma coloração escura. Aplicando-se a limiarização utilizando o limiar como sendo o vale entre os dois picos do histograma, na imagem pré-processada, adquire-se uma imagem onde as sementes apresentam a cor preta e o fundo a cor branca. Para o algoritmo da etapa de representação e descrição, as sementes devem estar representadas em branco e o fundo em preto. Nesse caso a limiarização atribui aos pixels com intensidade maior que o limiar o valor 0 (preto) e os pixels menores que o limiar o valor 1 (branco), como ilustrado na Figura 12.

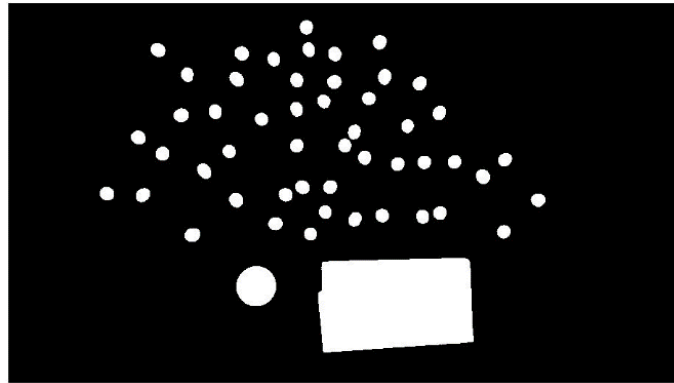


Figura 12: Limiarização para pixels maiores que o limiar em preto.

3.4.2 Segmentação dos objetos

Com a imagem segmentada em duas regiões, é preciso separar os objetos individualmente para que sejam extraídas as informações de área, comprimento, largura e calculado o diâmetro médio de cada objeto. Os objetos são separados de cima para baixo, indo da esquerda para a direita. É atribuído aos objetos brancos um valor único que o diferencia dos demais. O primeiro objeto mais acima e à esquerda é identificado como o primeiro objeto e o mais abaixo e à direita é identificado como o último objeto. Após a separação é realizado o cálculo da área dos objetos. O objeto da imagem que contém a segunda maior área é separado para ser processado isoladamente, pois esse objeto é considerado como a métrica, de acordo com o padrão de aquisição.

3.5 Representação e descrição

Após a segmentação é realizada a extração das características dos objetos da imagem. Essas características, denominadas descritores, são obtidas nesta etapa para que possa ser realizada a classificação em suas devidas categorias: semente, métrica ou marcação. Os descritores mais utilizados para a extração das medidas dos objetos são os de forma. Neste trabalho os descritores de forma analisados são: área, comprimento e largura. Esses descritores são utilizados para calcular o diâmetro médio dos objetos para que seja possível realizar a medição.

Os descritores de comprimento e largura dos objetos da imagem são obtidos e processados na etapa de reconhecimento e interpretação. O descritor de diâmetro médio é calculado a partir da seguinte fórmula:

$$dM = \frac{(\text{comprimento} + \text{largura})}{2} \quad (2)$$

O diâmetro médio será usado como referência durante o processo de medição e classificação das sementes. O descritor de comprimento representa o comprimento do maior eixo do objeto e o descritor de largura representa o comprimento do menor eixo do objeto. O diâmetro médio da métrica, objeto que apresenta a segunda maior área na imagem, será usado para aferir o valor real do diâmetro das sementes.

3.6 Reconhecimento e interpretação

Na etapa de reconhecimento e interpretação, os objetos são rotulados como semente, métrica, marcação do lote ou objetos descartáveis a partir do descritor de área. O algoritmo desenvolvido para essa funcionalidade segue os seguintes passos:

- **Passo 1:** Rotulação dos objetos de acordo com a área, detalhado na subseção 3.6.1;
- **Passo 2:** Cálculo da medida real de cada semente, detalhado na subseção 3.6.2
- **Passo 3:** Classificação da semente pela sua medida real, detalhado na subseção 3.6.3;

3.6.1 Rotulação dos objetos

Os objetos segmentados são organizados em ordem decrescente de acordo com o descritor de área. O maior objeto é descartado visto que o mesmo representa a identificação do lote e da repetição analisada. O segundo maior objeto é rotulado como a métrica e é calculado o seu diâmetro médio a partir dos descritores de comprimento e largura (Figura 13).



Figura 13: Métrica adquirida na segmentação.

Após a categorização da métrica, é realizada uma média da área dos objetos restantes que servirá de base para a identificação dos mesmos, descartando as áreas do maior objeto e do segundo maior objeto da imagem, conforme expressão 3.

$$AreaMedia = \frac{\sum_{i=3}^n A_i}{(n - 2)} \quad (3)$$

Os objetos que possuem área maior ou igual a 65% da área média, são rotulados como sementes. Os objetos que possuem área inferior a esse valor não são analisados nos próximos passos, pois se tratam de objetos que não conseguiram ser retirados no pré-processamento.

3.6.2 Cálculo da medida real das sementes

Para realizar a medição real das sementes é necessário inicialmente calcular o diâmetro médio da métrica. De posse desse valor, é consultada a base de conhecimento para obter o conhecimento de quanto mede a métrica no mundo real. A medida da métrica então é calculada a partir da divisão do diâmetro médio pelo valor real da métrica, conforme a expressão 4.

$$medida = \frac{dMMetrica}{valor\ real\ da\ métrica} \quad (4)$$

A medida da métrica é a quantidade de pixels que representa 1 centímetro no mundo real e é utilizada para calcular a medida real das sementes.

Os descritores de comprimento e largura, assim como o diâmetro médio, das sementes são convertidos para expressar os valores do mundo real, valores esses, expressados em milímetros. Essa conversão é feita a partir da divisão de cada descritor pela medida da métrica, seguindo a expressão 5:

$$medidaReal = \left(\frac{descriptor}{dMMetrica} \right) * 10 \quad (5)$$

3.6.3 Categorização da semente pela sua medida real

Após a medição das sementes, elas são classificadas de acordo com as regras da base de conhecimento. A base de conhecimento informa a quantidade de categorias e o intervalo de valores entre cada categoria. Neste trabalho foram utilizadas 5 classes que variam de 5,0mm à 7,0mm com intervalos de 0,5mm entre cada uma, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Categorias de tamanhos de sementes.

Classes	Faixa de valores
C1	Acima de 7,0mm
C2	6,5mm - 6,99mm
C3	6,0mm - 6,49mm
C4	5,5mm - 5,99mm
C5	5,0mm - 5,49mm

As sementes são agrupadas em suas classes de acordo com a medida real do seu diâmetro médio, calculada em milímetros. Após a criação do vetor de classes, a porcentagem da quantidade de sementes contida em cada classe é calculada.

4 Resultados

Neste capítulo são apresentados os experimentos realizados e os resultados obtidos pelo de sistema proposto. Apresentando os índices de acurácia encontrados nas medições das sementes e em sua classificação.

4.1 Experimentos

Foram analisadas 6 imagens de lotes de sementes de soja contendo em cada imagem uma repetição de um lote, totalizando 300 amostras de tamanhos variados. As sementes foram classificadas manualmente e obtiveram-se os dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Quantidade de sementes medidas manualmente em cada classe.

Classe	L5R1	L5R2	L7R1	L7R2	L8R1	L8R2	Total
C1	1	0	24	11	20	20	76
C2	13	8	25	34	29	29	138
C3	23	25	1	5	1	1	56
C4	12	16	0	0	0	0	28
C5	1	1	0	0	0	0	2

A aplicação foi desenvolvida utilizando o software GNU Octave 4.2.1 contendo os algoritmos de cada etapa do PDI (pré-processamento, segmentação, representação e descrição e reconhecimento e interpretação) e uma interface gráfica para o processamento das imagens (Figura 14). O sistema carrega uma imagem adquirida seguindo os padrões estabelecidos para o trabalho, sementes dispostas em um fundo azul, com a métrica e a marcação do lote e repetição. As imagens adquiridas são pré-processadas e segmentadas (Figura 15) para a extração das medidas. A interface gráfica apresenta a imagem carregada pelo sistema e os resultados de medição e classificação das sementes em forma de gráfico. Um arquivo em formato *CSV (Comma-Separated Values)* é gerado contendo os dados de medição de cada semente e a sua respectiva classificação.

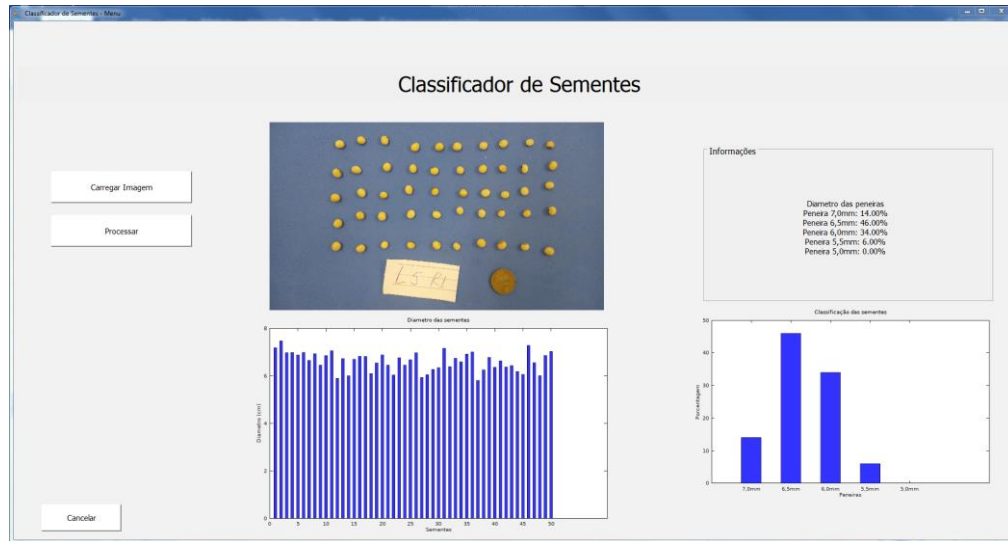


Figura 14: Interface desenvolvida para o processamento das imagens.

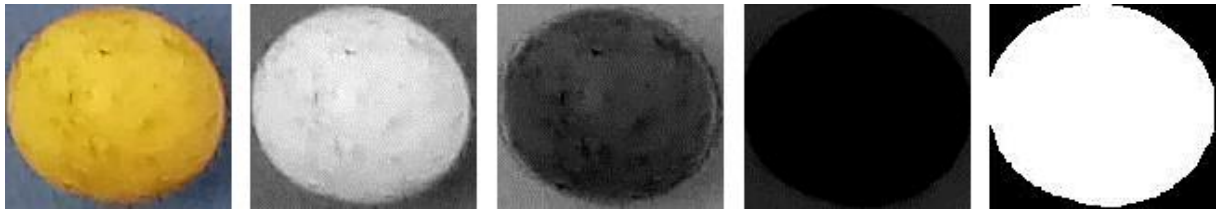


Figura 15: Semente segmentada.

4.2 Análise de Resultados

Os resultados são apresentados separadamente para a medição das sementes e para a classificação nas categorias definidas.

4.2.1 Medição

Todas as imagens foram processadas e seus resultados foram comparados com as medições manuais (Figuras 16, 17 e 18). As medições manuais foram realizadas com o auxílio de paquímetro digital. Foram considerados os índices de Verdadeiro Positivo (VP), Falso Positivo (FP), Verdadeiro Negativo (VN) e Falso Negativo (FN). Os dados adquiridos manualmente foram comparados com os dados gerados pelo sistema. Quando a medição automática alcança o valor medido no paquímetro então a medição recebe um percentual de 100% de VP e o excedente, se houver, é considerado como FP. Os índices de FN e VN são obtidos a partir da diferença entre o percentual de VP e FP respectivamente. O índice de Acucária (AC) foi calculada a partir dos índices de VP, VN, FP e FN conforme a expressão 6.

$$AC = \left(\frac{VP + VN}{VP + FN + VN + FP} \right) * 100 \quad (6)$$

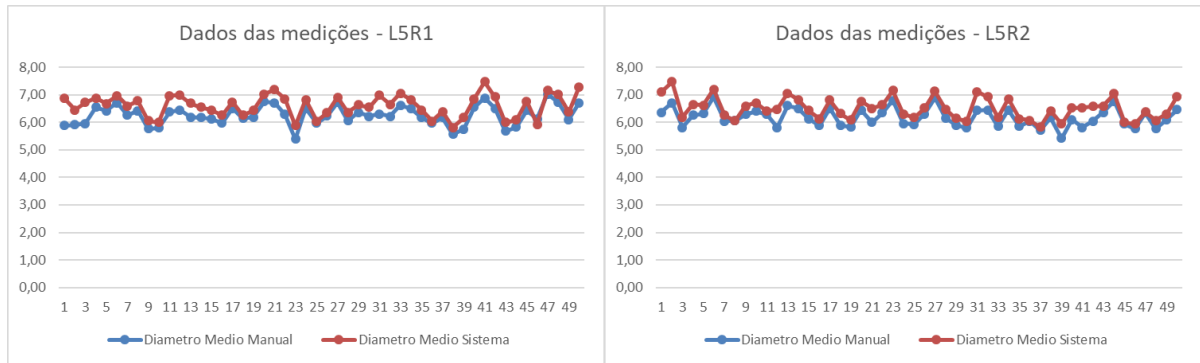


Figura 16: Medição manual e medição pelo sistema para o lote 5.

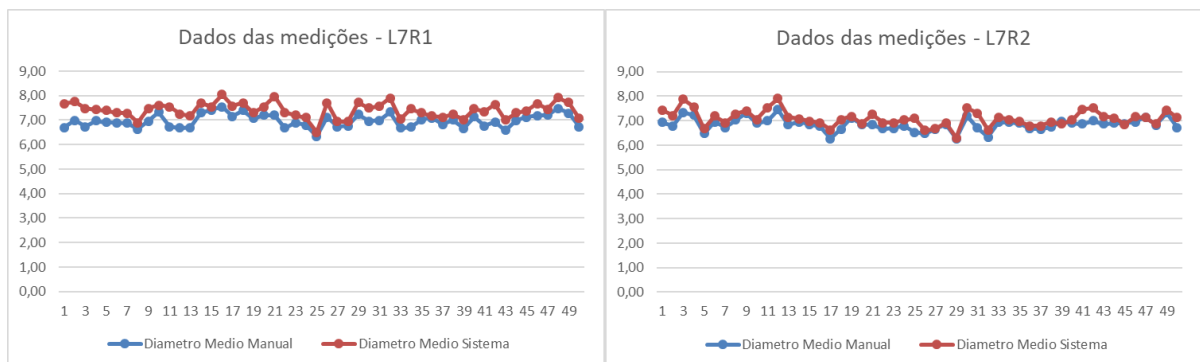


Figura 17: Medição manual e medição pelo sistema para o lote 7.

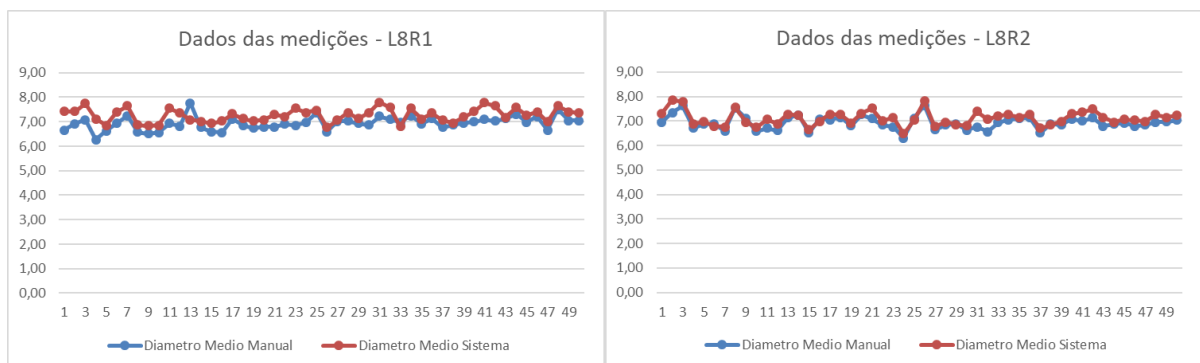


Figura 18: Medição manual e medição pelo sistema para o lote 8.

A Tabela 3 apresenta os valores percentuais dos índices de VP, VN, FP, FN e AC das medições das duas repetições (R1 e R2) e a média de cada índice para cada um dos lotes processados (L5, L7 e L8). O erro médio foi de 0.32 milímetros na medição

Tabela 3: Resultados percentuais obtidos para a medição dos lotes para as repetições R1 e R2 e média dos resultados para todas as repetições: Verdadeiro Positivo (VP), Verdadeiro Negativo (VN), Falso Negativo (FN), Falso Positivo (FP) e Acurácia (AC).

Lote	Repetição	VP (%)	VN (%)	FN (%)	FP (%)	AC (%)
L5	R1	99,93	94,40	5,60	0,07	97,17
	R2	100,00	94,66	5,34	0,00	97,33
	Média	99,97	94,53	5,47	0,03	97,25
L7	R1	100,00	93,80	6,20	0,00	96,90
	R2	99,95	96,58	3,42	0,05	98,26
	Média	99,97	95,19	4,81	0,03	97,58
L8	R1	99,78	94,99	5,01	0,22	97,38
	R2	99,85	97,26	2,74	0,15	98,56
	Média	99,82	96,12	3,88	0,18	97,97

4.2.2 Classificação

Após a medição as sementes foram classificadas em uma das 5 classes de tamanho definidas na base de conhecimento. Para a análise dos resultados da classificação foram utilizados os índices de VP, VN, FN, FP e calculado a acurácia em relação a classificação manual das sementes (Tabela 5). Os índices foram calculados utilizando os valores de porcentagem de sementes contidas em cada grupo, por lote, por repetição. Os resultados podem ser vistos na matriz de confusão apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz de confusão e acurácia geral para as classificações das cinco classes de sementes.

Classes		C1	C2	C3	C4	C5	Acurácia
Automática	C1	75	86	3	0	0	70,00
	C2	1	52	33	3	0	59,00
	C3	0	0	19	22	0	80,33
	C4	0	0	1	3	2	90,67
	C5	0	0	0	0	0	99,33

4.3 Discussão

Diferentes imagens de sementes foram processadas nesse trabalho objetivando a classificação automaticamente. Foram obtidas taxas significantes de AC nas medições indicando um percentual de sucesso na medição das sementes. As classes C3, C4 e C5

apresentaram os maiores valores de acurácia em relação a classificação das sementes por haverem menos sementes contidas nessas três classes.

4.3.1 Classificação

Os índices de acurácia apresentaram um percentual de acerto diferente para cada classe, pois sementes que apresentaram o seu diâmetro próximo ao limite da classe a qual pertence na análise manual, após passarem pela medição do sistema, sofreram variação no seu resultado. Esta variação pode causar a alteração quanto à sua classificação. Uma das possíveis causas desse comportamento é pelo cálculo da métrica ser feito em centímetros e a medição das sementes ser realizado em milímetros com duas casas decimais, necessitando assim da conversão do valor obtido.

A Figura 19 ilustra a situação na qual as sementes que apresentaram valores de aproximadamente 5,87mm, o que as colocam na classe C4 (de 5,5mm a 5,99mm), na medição automática esse valor aumenta para próximo de 6,11mm o que as classifica na classe de sementes C3 (de 6,00mm a 6,49mm).

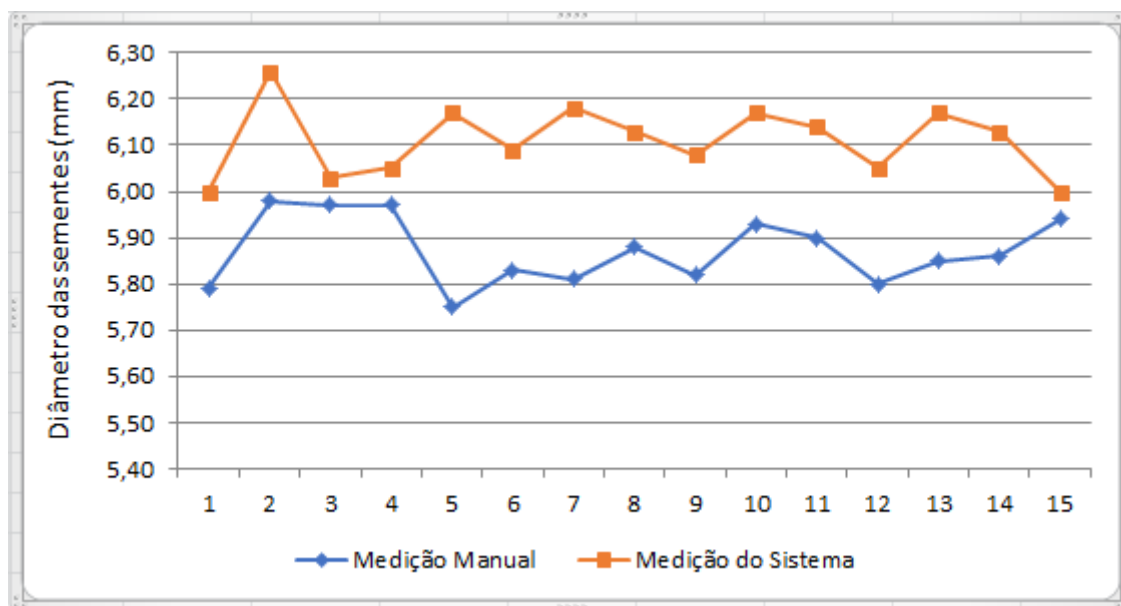


Figura 19: Diferenças entre medições de sementes no limite da classe C3.

5 Conclusão

Foi desenvolvido um sistema de classificação de sementes de soja através da análise de imagens baseadas no padrão de aquisição elaborado. Os resultados de medição e classificação mostraram resultados acima da média. A partir das medidas dos objetos presente na imagem é possível realizar a classificação das sementes de acordo com categorias de tamanho estabelecidas para a uniformização de lotes de soja.

5.1 Trabalhos Futuros

Outras técnicas podem ser incorporadas ao sistema para auxiliar na classificação das sementes visando à obtenção de melhores resultados. A adoção de mais classes ou uma forma diferente de delimitação de cada classe pode ser utilizada como uma possível solução, ou a utilização de lógica *Fuzzy* para complementar o método de classificação desenvolvido.

Referências

AGROFIOR. **Tabela de peneiras para Seleccionador de Grãos SL-2020/ SL-4040/ SL-8080**. Disponível em: < <http://www.agrofior.com.br/peneiras.html> >. Acesso em: 3 nov. 2017.

AGROLINK. **Tecnologia de sementes – Análise**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/sementes/tecnologia-sementes/analise_361340.html>. Acesso em: 10 out. 2017.

AGROLINK. **Tecnologia de sementes – Qualidade**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/sementes/tecnologia-sementes/qualidade_361339.html>. Acesso em: 10 out. 2017.

As diferenças entre arquivos Bitmap e Vetor. Disponível em: <<https://www.printi.com.br/blog/diferencas-entre-arquivos-bitmap-e-vetor>>. Acesso em: 2 nov. 2017.

BIRUEL, R.P.; PAULA, R.C.; AGUIAR, I.B. **Germinação de sementes de *Caesalpinia leiostachya* (Benth.) Ducke (pau-ferro) classificadas pelo tamanho e pela forma**. Revista Árvore, v. 34, p. 197-204, 2010.

BRANDANI, E. B. **ANÁLISE DE IMAGENS NA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE SOJA**. 2017.

CAMILO, P. **Classificação de sementes de soja em peneiras planas de perfuração redonda**. 2003. 20f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

CAVINATTO, J. P.; AMARAL, L. **Soja: o brilho do grão de mil e uma utilidades**. Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br/noticias/soja--o-brilho-do-grao-de-mil-e-uma->

utilidades_148113.html>. Acesso em: 2 set. 2017.

CICERO, S. M. **Beneficiamento de sementes**. Disponível em:

<<http://lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/processamento%20%282%29.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2017

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Safra 2015. **Monitoramento Agrícola**, 2015.

Entenda o que são desenhos vetoriais. Disponível em: <<https://saga.art.br/entenda-o-que-sao-desenhos-vetoriais/>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

EMJEL. **Aplicacoes do Processamento Digital de Imagens**. Disponível em:

<<http://www.emjel.ufpr.br/aplicacoes-do-pdi/>>. Acesso em: 11 out. 2017.

GATTASS, M. **Processamento de Imagens**. Disponível em: <<http://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/~mgattass/fcg/trb13/DavidsonFellipe/t1.html>>. Acesso em: 6 nov. 2017.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. (2010). **Processamento Digital de Imagens**. 3ª ed. São Paulo: Pearson, 2010.

HENRIQUE, V.; MONDO, V.; CICERO, S. M. Análise De Imagens Na Avaliação Da Qualidade De Sementes De Milho Localizadas Em Diferentes Posições Na Espiga. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 9–18, 2005.

MARCHI, J. L. DE; CICERO, S. M. Use of the software Seed Vigor Imaging System (SVIS ®) for assessing vigor of carrot seeds. *Sci. Agric.* v.74, n.6, p.469-473, 2017.

Ministério da Agricultura, P. e. (2009). **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Assessoria de Comunicação Social.

QUEIROZ, J. E. R. DE; GOMES, H. M. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. *Rita*, v. 8, n. 1, p. 1–31, 2001.

RODRIGUES, C. Plantabilidade de sementes de soja classificadas por largura. 2012. 73f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

SMITH, T.J.; CAMPER, H.M. **Effect of seed size on soybean performance**, Agron. J., Madison, v. 67, n. 5, p. 681-684, 1975.

Soja e milho, âncoras da agricultura brasileira. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/noticias/soja-e-milho-ancoras-da-agricultura-brasileira>>.

Acesso em: 30 ago. 2017.

SILVA, P. P. et al. Análise de imagens no estudo morfológico e fisiológico de sementes de abóbora. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 210–214, 2014.

SILVA, V. N.; CICERO, S. M. Análise de imagens de plântulas para avaliação do potencial fisiológico de sementes de berinjela. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 145–151, 2014.

TEIXEIRA, E. F. et al. **Análise da Uniformidade de Sementes de Milho via Processamento de Imagens Digitais**. Uruguaiana, v.14, n.1, p. 14-24, 2007.

Trabalho de Imagem. Disponível em: <<http://www.inf.puc-rio.br/~asouza/FCG/imagem.html>>. Acesso em: 11 out. 2017.

VALE, A. M. P. G. **Técnica para segmentação automática de imagens microscópicas de componentes sanguíneos e classificação diferencial de leucócitos baseada em lógica fuzzy**. 2014. 100f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

VAZQUEZ, G. H. et al. Influência Do Tamanho E Da Forma Da Semente De Milho Sobre O Desenvolvimento Da Planta E a Produtividade De Grãos. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 16-24, p. 16–24, 2012.

VIEIRA-JUNIOR, P. A. et al. Emprego da técnica de análise de imagens na determinação do comprimento e da largura de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 2,

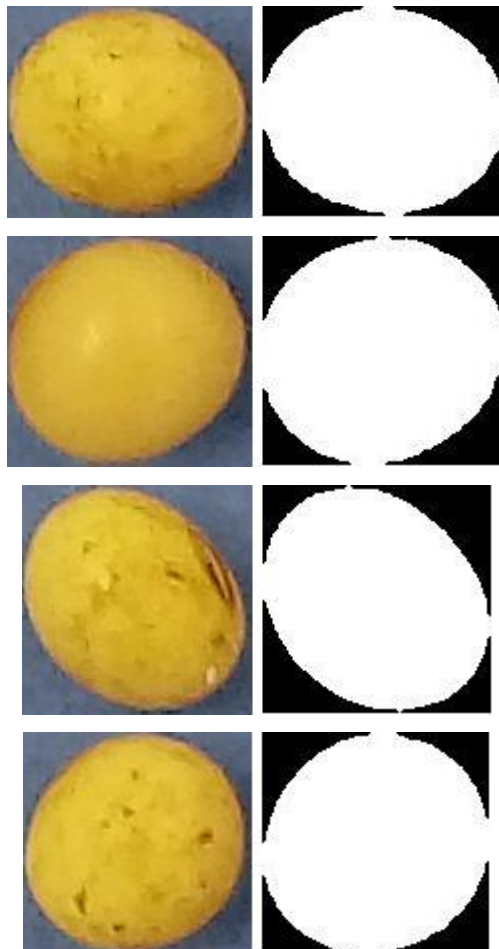
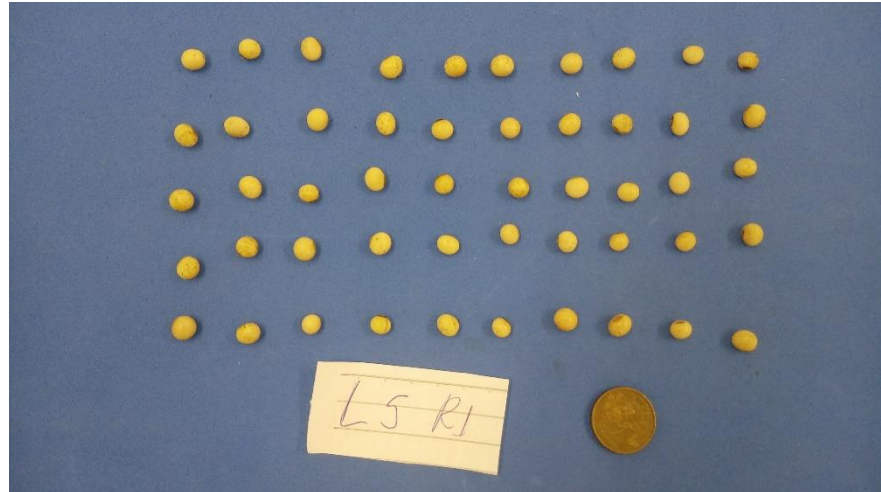
p. 110–119, 1999.

VINHAL-FREITAS, Isabel Cristina et al. **Germinação e vigor de sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos**. Agropecuária Técnica, v. 32, n. 1, p. 108-114, 2011.

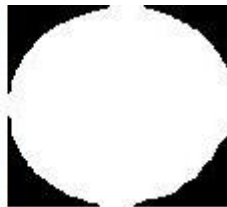
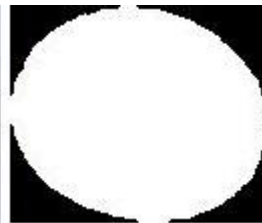
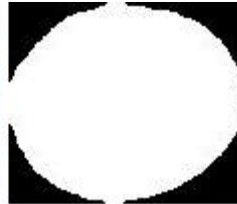
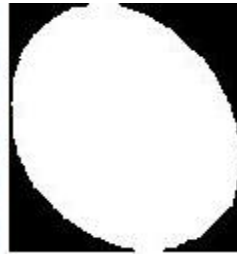
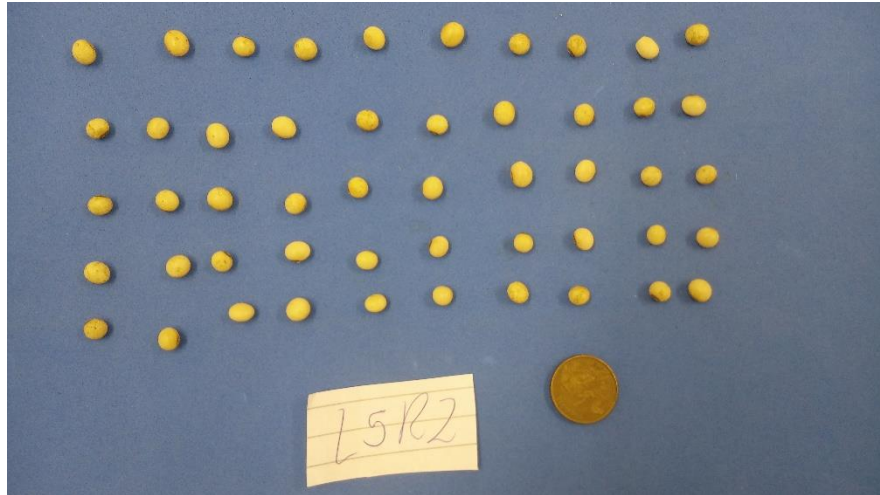
Apêndice A

Segue as imagens adquiridas e algumas imagens de sementes segmentadas e processadas.

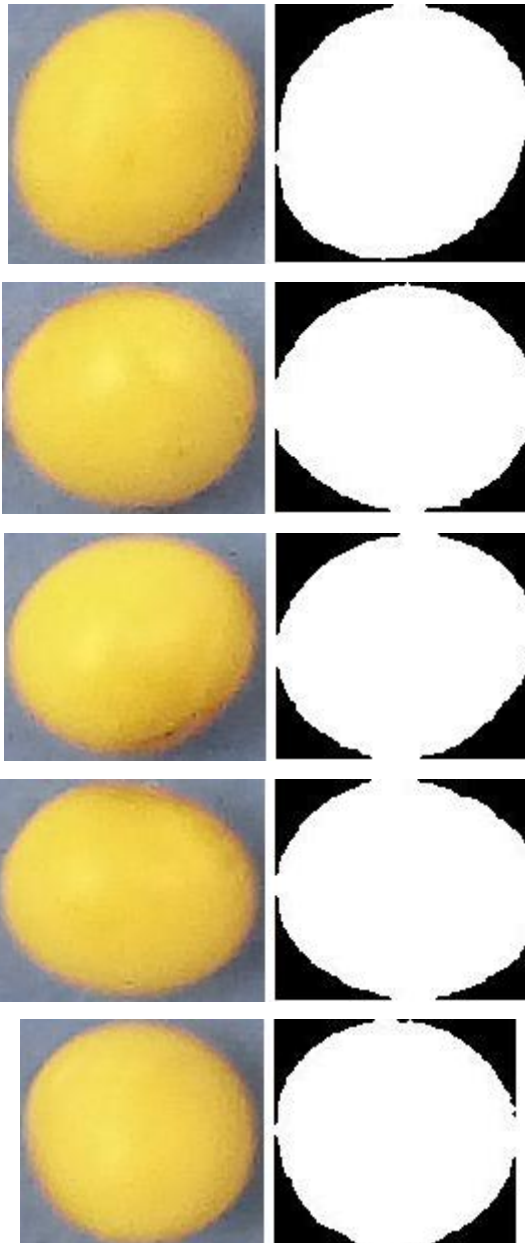
1 Lote 5 Repetição 1

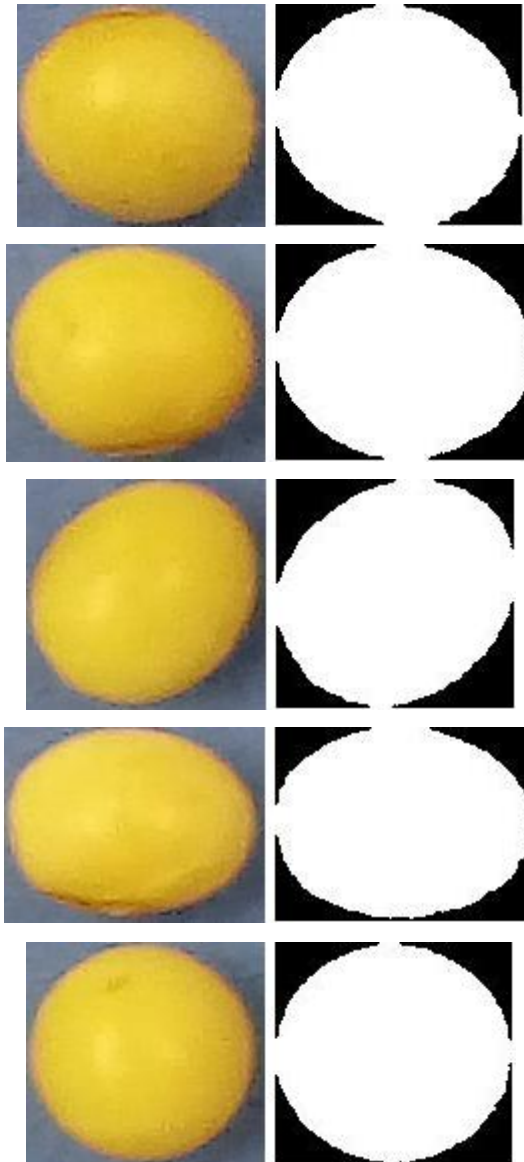


2 Lote 5 Repetição 2

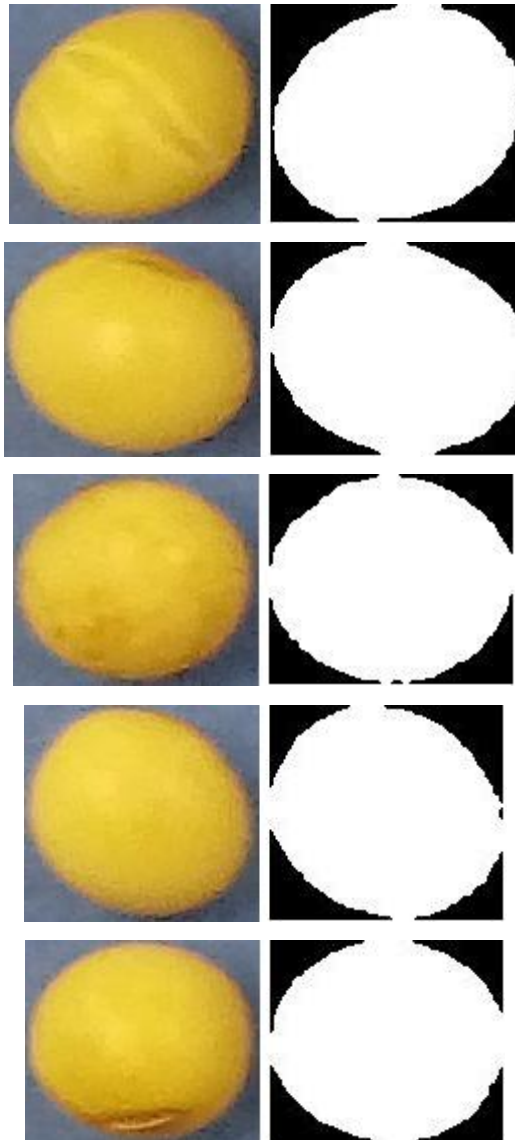
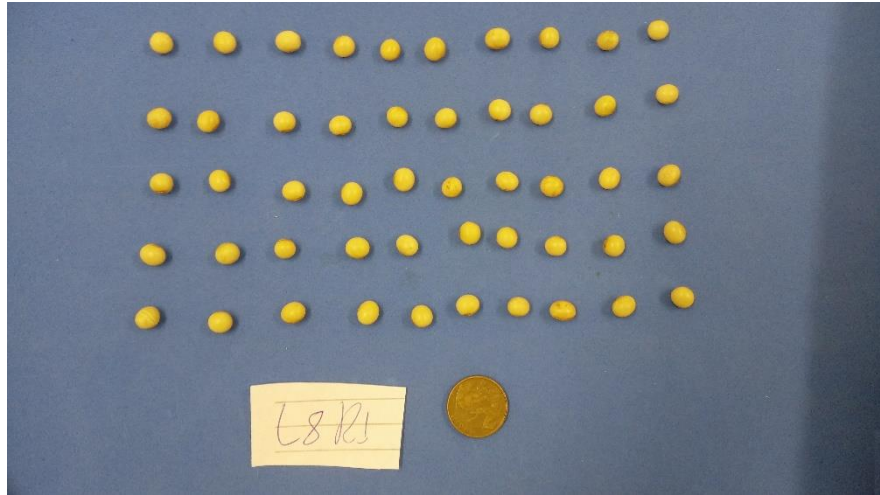


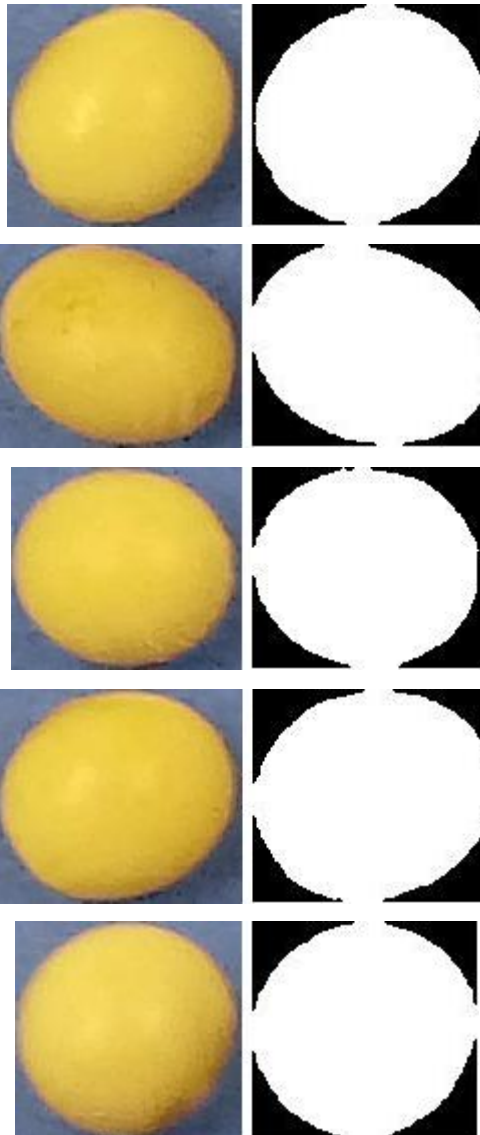
3 Lote 7 Repetição 1



4 Lote 7 Repetição 2

5 Lote 8 Repetição 1



6 Lote 8 Repetição 2

Apêndice B

Tabelas com os resultados da medição manual das sementes e os resultados da medição realizada pelo sistema para as duas repetições de cada lote.

Tabela 5: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 5 Repetição 1

Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema	Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema
1	5,88	6,88	26	6,24	6,34
2	5,91	6,45	27	6,72	6,91
3	5,96	6,72	28	6,06	6,36
4	6,55	6,88	29	6,36	6,63
5	6,42	6,68	30	6,21	6,55
6	6,71	6,97	31	6,31	6,98
7	6,26	6,59	32	6,21	6,64
8	6,41	6,77	33	6,62	7,05
9	5,76	6,06	34	6,49	6,81
10	5,79	6,00	35	6,18	6,45
11	6,37	6,97	36	5,97	6,05
12	6,45	6,98	37	6,17	6,38
13	6,19	6,70	38	5,56	5,80
14	6,17	6,54	39	5,75	6,17
15	6,12	6,44	40	6,55	6,85
16	5,98	6,26	41	6,89	7,47
17	6,51	6,73	42	6,50	6,93
18	6,15	6,25	43	5,68	6,00
19	6,19	6,43	44	5,83	6,09
20	6,75	7,02	45	6,43	6,76
21	6,71	7,18	46	6,13	5,93
22	6,29	6,85	47	7,03	7,16
23	5,39	5,89	48	6,72	7,00
24	6,50	6,82	49	6,11	6,37
25	5,97	6,03	50	6,70	7,28

Tabela 6: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 5 Repetição 2

Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema	Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema
1	6,36	7,09	26	6,30	6,51
2	6,71	7,48	27	6,89	7,13
3	5,81	6,18	28	6,15	6,47
4	6,26	6,65	29	5,90	6,14
5	6,32	6,62	30	5,80	6,05
6	6,92	7,19	31	6,43	7,11
7	6,04	6,26	32	6,45	6,92
8	6,05	6,05	33	5,85	6,17
9	6,29	6,59	34	6,45	6,86
10	6,41	6,70	35	5,86	6,13
11	6,29	6,41	36	6,04	6,08
12	5,82	6,47	37	5,71	5,83
13	6,61	7,05	38	6,18	6,42
14	6,51	6,82	39	5,42	5,94
15	6,12	6,43	40	6,11	6,52
16	5,88	6,13	41	5,82	6,54
17	6,50	6,80	42	6,04	6,58
18	5,89	6,31	43	6,37	6,59
19	5,82	6,08	44	6,76	7,03
20	6,44	6,77	45	5,94	6,00
21	6,00	6,50	46	5,76	5,94
22	6,35	6,64	47	6,34	6,37
23	6,79	7,15	48	5,77	6,07
24	5,96	6,30	49	6,11	6,30
25	5,93	6,17	50	6,47	6,94

Tabela 7: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 7 Repetição 1

Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema	Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema
1	6,70	7,67	26	7,12	7,70
2	7,00	7,75	27	6,73	6,94
3	6,74	7,47	28	6,76	6,94
4	6,98	7,42	29	7,24	7,71
5	6,91	7,40	30	6,95	7,49
6	6,90	7,30	31	7,00	7,57
7	6,88	7,28	32	7,34	7,89
8	6,63	6,89	33	6,69	7,04
9	6,96	7,49	34	6,71	7,46
10	7,34	7,62	35	7,03	7,31
11	6,74	7,55	36	7,08	7,17
12	6,68	7,25	37	6,84	7,12
13	6,69	7,17	38	7,00	7,24
14	7,30	7,71	39	6,67	7,03
15	7,42	7,54	40	7,13	7,46
16	7,55	8,05	41	6,77	7,35
17	7,16	7,58	42	6,92	7,63
18	7,40	7,70	43	6,59	7,01
19	7,07	7,31	44	7,00	7,30
20	7,21	7,54	45	7,12	7,39
21	7,20	7,96	46	7,19	7,67
22	6,68	7,32	47	7,20	7,44
23	6,89	7,19	48	7,48	7,91
24	6,80	7,10	49	7,29	7,73
25	6,35	6,50	50	6,74	7,07

Tabela 8: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 7 Repetição 2

Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema	Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema
1	6,94	7,43	26	6,48	6,60
2	6,79	7,21	27	6,67	6,67
3	7,35	7,88	28	6,86	6,91
4	7,23	7,56	29	6,27	6,30
5	6,48	6,67	30	7,20	7,51
6	6,95	7,19	31	6,71	7,30
7	6,72	6,91	32	6,33	6,62
8	7,04	7,27	33	6,94	7,15
9	7,31	7,41	34	6,93	7,05
10	6,90	7,04	35	6,90	6,97
11	7,00	7,53	36	6,68	6,79
12	7,46	7,90	37	6,66	6,79
13	6,84	7,15	38	6,74	6,94
14	6,96	7,08	39	6,98	6,86
15	6,85	6,98	40	6,90	7,03
16	6,77	6,91	41	6,88	7,47
17	6,27	6,63	42	7,00	7,52
18	6,67	7,04	43	6,87	7,18
19	7,12	7,18	44	6,90	7,11
20	6,86	6,88	45	6,89	6,85
21	6,84	7,26	46	6,96	7,16
22	6,67	6,92	47	7,15	7,12
23	6,69	6,92	48	6,83	6,87
24	6,80	7,04	49	7,32	7,43
25	6,52	7,10	50	6,72	7,13

Tabela 9: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 8 Repetição 1

Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema	Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema
1	6,67	7,42	26	6,60	6,77
2	6,92	7,42	27	7,02	7,06
3	7,08	7,75	28	7,03	7,37
4	6,28	7,11	29	6,94	7,12
5	6,63	6,85	30	6,88	7,37
6	6,94	7,39	31	7,22	7,79
7	7,24	7,65	32	7,10	7,58
8	6,57	6,87	33	6,98	6,81
9	6,52	6,83	34	7,25	7,54
10	6,56	6,85	35	6,92	7,12
11	6,93	7,54	36	7,13	7,36
12	6,82	7,35	37	6,77	7,06
13	7,76	7,09	38	6,87	6,96
14	6,78	7,02	39	6,96	7,19
15	6,59	6,93	40	7,01	7,43
16	6,57	7,04	41	7,10	7,77
17	7,12	7,32	42	7,04	7,65
18	6,85	7,13	43	7,13	7,18
19	6,74	7,03	44	7,32	7,58
20	6,78	7,08	45	6,99	7,26
21	6,78	7,30	46	7,21	7,40
22	6,90	7,21	47	6,67	7,00
23	6,86	7,56	48	7,51	7,66
24	6,96	7,38	49	7,06	7,40
25	7,37	7,48	50	7,05	7,36

Tabela 10: Medição manual e medição automática pelo sistema no Lote 8 Repetição 2

Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema	Semente	Diâmetro Médio Manual	Diâmetro Médio Sistema
1	6,96	7,31	26	7,64	7,82
2	7,35	7,87	27	6,64	6,77
3	7,62	7,78	28	6,84	6,96
4	6,72	6,90	29	6,89	6,86
5	6,89	6,97	30	6,64	6,82
6	6,87	6,80	31	6,76	7,39
7	6,60	6,76	32	6,56	7,06
8	7,54	7,56	33	6,94	7,21
9	7,11	6,95	34	7,06	7,26
10	6,59	6,74	35	7,10	7,16
11	6,71	7,07	36	7,16	7,27
12	6,62	6,88	37	6,52	6,70
13	7,14	7,28	38	6,89	6,84
14	7,26	7,23	39	6,84	6,99
15	6,52	6,65	40	7,08	7,29
16	7,09	7,00	41	7,01	7,36
17	7,05	7,29	42	7,14	7,49
18	7,16	7,27	43	6,80	7,16
19	6,82	6,92	44	6,87	6,95
20	7,27	7,31	45	6,92	7,08
21	7,11	7,53	46	6,80	7,03
22	6,84	7,00	47	6,84	6,99
23	6,76	7,15	48	6,96	7,27
24	6,30	6,48	49	6,98	7,15
25	7,12	7,03	50	7,03	7,24