

# Segmentação de amêndoas de cacau em imagens digitais de tábuas de corte

Patrick S. Ferraz<sup>1</sup>, Prabhát K. de Oliveira<sup>1</sup>, Marta Magda Dornelles<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ciência da Computação – Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)  
45662-900 – Ilhéus – BA – Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) – 45662-900 – Ilhéus – BA – Brasil

patrick.ferraz@outlook.com, {bartkolveira, mmbertoldi}@uesc.br

**Abstract.** This paper describes the process of segmentation of the different classes of cocoa beans with the development of an algorithm using the concepts of computer vision with the OpenCV open source library.

**Resumo.** A prova de corte é uma inspeção visual e olfativa realizada sobre 300 amêndoas cortadas longitudinalmente, escolhidas ao acaso em um lote de amêndoas de cacau, dispostas individualmente em uma tábua. O resultado final desta análise qualifica o lote de cacau, indicando se o mesmo pode ser usado para a fabricação de cacau gourmet, por exemplo. Neste artigo é proposta uma metodologia para segmentação de amêndoas de cacau em tábua de corte utilizando os conceitos de processamento de imagens. As amêndoas segmentadas poderão ser utilizadas em um processo posterior de classificação de sua qualidade visual. A metodologia foi implementada e testada, mostrando-se promissora.

## 1. Introdução

O cacau se tornou um fruto popular, sendo um dos alimentos mais apreciados do mundo [Anuário Brasileiro do Cacau 2016]. Uma das causas desta popularidade é a comercialização de chocolate, em que sua qualidade pode ser sentida ao mordê-lo e depende de alguns fatores relacionados às amêndoas de cacau, nomenclatura dada às sementes do cacau, como as características físicas de salubridade, produção de material comestível e características da manteiga de cacau [Ferreira et al. 2013]. Seu notório sabor, apesar dos atributos genéticos, devem-se também às modificações que ocorrem durante sua primeira etapa de produção, o beneficiamento, que se estende desde o seu cultivo, colheita, abertura dos frutos, retirada das sementes, extração da polpa ou do mel, fermentação das sementes, secagem e armazenamento das amêndoas [Efraim et al. 2010].

Existem metodologias que podem ser aplicadas em cada fase do beneficiamento para melhorar a qualidade da amêndoa final. Essa qualidade pode ser verificada pela prova de corte, que é a inspeção visual e olfativa sobre amêndoas de cacau extraídas de um lote de amêndoas. O objetivo é avaliar se o beneficiamento foi realizado corretamente e em que fase do processo ocorreram problemas [Feitosa 2016a]. Além disso, a prova de corte fornece uma classificação para o respectivo lote, indicando a qualidade das amêndoas.

Em Ilhéus-BA A CEPLAC, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, realiza a prova de corte

que é executada de forma manual em que a inspeção visual demora em torno de 90 minutos para ser realizada. O resultado está sujeito a erros humanos e percepções individuais do especialista.

Existe um equipamento que realiza a medição da cor de alimentos, é o espectrofotômetrocolorímetro, que poderia auxiliar na inspeção visual das amêndoas, mas o seu custo é elevado (ESPECTROFOTÔMETRO MODELO CM-5, MARCA KONICA MINOLTAQUAL - VALOR R\$ 166.796,42 em 2017) e a CEPLAC não dispõem de recursos para sua aquisição.

Com a intenção de auxiliar o especialista na análise visual sem a necessidade de equipamento específico para tal, dando maior confiabilidade ao resultado do processo, está em desenvolvimento uma proposta de sistema computacional para a inspeção visual da prova de corte. A primeira etapa deste projeto é a aquisição de uma imagem digital, mediante celular, das amêndoas disposta sobre uma tábua de corte e, a partir dessa imagem, deve-se realizar a extração de cada amêndoa para posterior classificação. O objetivo deste texto é propor uma metodologia para a segmentação das amêndoas.

## 2. Referencial teórico

### 2.1. Prova de corte

Normalmente a prova de corte é utilizada para: mensurar o grau de fermentação das amêndoas baseado na coloração; avaliar o aroma das amêndoas antes do corte como fumaça, por exemplo, que pode desqualificar a utilização das amêndoas; verificar infestação de pragas, presença de fungos, quantidade de amêndoas germinadas, achata-das, entre outros. A avaliação resulta na classificação do lote, do qual as amêndoas foram extraídas, em tipo 1, tipo 2, tipo 3 ou fora de tipo [Silva et al. 2013a], de acordo com a instrução normativa nº 38/2008 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 38/2008), que define o padrão oficial de classificação de amêndoas de cacau. Tipo 1 é a melhor classificação dada a um lote.

A prova de corte envolve a inspeção visual e olfativa sobre 300 amêndoas de cacau, selecionadas ao acaso em um lote de amêndoas, cortadas longitudinalmente. Após o corte, uma metade é descartada e a outra é inspecionada e disposta em uma tábua contendo 300 orifícios 4.



**Figura 1. Exemplo de tábua de corte sem amêndoas.**

Na inspeção das amêndoas elas são classificadas nas seguintes categorias:

**Amêndoa tipo violeta** - parte interna da amêndoa com cor escura, resistente ao corte.

Não possui sabor característico de chocolate sendo normalmente muito adstringente .

**Amêndoa tipo ardósia** - possui cor purpúrea (cinza-enverdeado) e geralmente é chapaada, sem compartimentação. Não possui sabor característico de chocolate sendo normalmente muito adstringente.

**Amêndoa tipo parcialmente marrom** - possui cor amarronzada. Normalmente é proveniente de cacau bem fermentado, mas a variação na intensidade do cacau pode caracterizar uma variação no grau de fermentação.

**Amêndoa tipo marrom** - possui cor marrom escura . Normalmente é proveniente de cacau bem fermentado.

**Amêndoa tipo germinada** - apresentam a casca furada pelo desenvolvimento do embrião.

**Amêndoa tipo brocada/inseto** - característica de amêndoa estocada em local infestado de insetos. Seu interior apresenta-se carcomido pela ação dos insetos.

**Amêndoa tipo achatada** - caracterizada por seu tamanho pequeno e, geralmente, a amêndoa é seca.

**Amêndoa mofada** - caracterizada por mofo.

**Amêndoa albina** - caracterizada pela cor branca.

A porcentagem de cada categoria de amêndoa na tábua estabelece a qualidade do lote, de acordo com os tipos 1, 2, 3 e sem tipo. Quando a amêndoa apresentar mais de um defeito, será computado apenas o mais prejudicial de acordo com a ordem de gravidade estabelecida na IN-38/2008.

## 2.2. Trabalhos correlatos

Muitos trabalhos relacionados ao cacau focam a caracterização das amêndoas, analisando seus compostos físico-químicos como é o caso de [Cruz 2012] e [Silva et al. 2013b]. Não foi encontrada nenhuma pesquisa que se assemelhasse ao projeto em que este trabalho se encaixa. O trabalho de [Feitosa 2016b] realiza uma investigação visual microscópica sobre as amêndoas cortadas. A ideia é interessante, mas levaria um tempo superior aos 90 minutos da prova de corte além da necessidade de um equipamento específico.

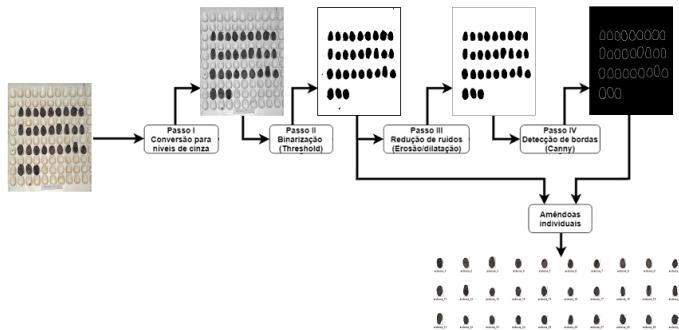
## 3. Metodologia para segmentação das amêndoas

Após estudos e experimentos realizados com alguns algoritmos de segmentação, é proposta uma metodologia para extrair as amêndoas de uma tábua de corte conforme os passos apresentados na Figura 2.

## 4. Material e Métodos

### 4.1. Ambiente e equipamento

Uma das proposta do algoritmo de segmentação é ser capaz de realizar o processamento de imagens obtidas em ambientes não controlados, aproveitando a característica multiplataforma da biblioteca OpenCV, subseção 4.2, para que seja possível a sua portabilidade, utilizando-o em sistemas operacionais Linux, Windows, Mac OS, iOS e Android.



**Figura 2. Passos da metodologia proposta.**

O algoritmo de segmentação foi desenvolvido utilizando as linguagens C++ e Python em ambiente Linux. Para tal, foi necessário o uso de alguns recursos físicos e lógicos afim de obter as imagens e posterior tratamento com visão computacional, sendo descritos abaixo:

- Recursos físicos
  - Corte longitudinal das amêndoas do espaço amostral
  - Tábua branca contendo espaço para 300 amostras de amêndoas
  - Celular com câmera para capturar a imagem da tábua com as amêndoas
  - Computador
- Recursos lógicos
  - Sistema operacional Debian GNU/Linux 9 Stretch 64bits
  - Compilador para C++ (gcc 6.3.0)
  - Interpretador para Python (python3.5)
  - Biblioteca OpenCV 3.4.1

Ressalta-se que, embora o desenvolvimento tenha sido realizado em ambiente Linux, o mesmo código foi compilado, para C++, e executado, para C++ e Python, em Windows 10 64bits obtendo resultado equivalente. O mesmo vale para a construção dos algoritmos. Foram utilizados as funções de visão computacional equivalentes do OpenCV para linguagem C++ e Python.

#### 4.2. OpenCV

O OpenCV (Open Source Computer Vision) é uma biblioteca de código aberto e multiplataforma desenvolvida inicialmente pela Intel, utilizada para visão computacional, processamento de imagem, aprendizagem de máquina e operações em tempo real com aceleração de GPU. É liberada sob uma licença de BSD e foi escolhida devido a grande presença em uso acadêmico e comercial. Embora tenha sido inicialmente desenvolvida em C/C++, também oferece suporte para utilização nas linguagens Java, Python e sistemas operacionais Windows, Mac OS, iOS e Android [Passarelli 2017]. Conta com uma grande presença em aplicações de tempo real e processamento *multi-core*, sendo adotada em todo o mundo com mais de 47 mil pessoas da comunidade e número estimado de downloads superior a 14 milhões [OpenCV 2018].

Visão computacional é o estudo da extração de informação de uma imagem; mais especificamente, é a construção de descrições explícitas e

claras dos objetos em uma imagem . Difere do processamento de imagens porque, enquanto ele se trata apenas da transformação de imagens em outras imagens, ela trata explicitamente da obtenção e manipulação dos dados de uma imagem e do uso deles para diferentes propósitos. [Rios 2010]

A segmentação de imagens, utilizando o OpenCV, podem ser adquiridas das seguintes formas:

1. Thresholding: O *threshold* se baseia na diferença de tons de cinza que compõem diferentes objetos na imagem. A partir das características dos objetos que se quer isolar (obtidos por meio de um histograma por exemplo), a imagem será segmentada em dois grupos: os que possuem níveis de cinza abaixo do valor estabelecido, e os que possuem níveis de cinza acima do valor estabelecido. Para a geração de uma imagem limiarizada, atribui-se um valor fixo para todos os *pixels* de um mesmo grupo. A imagem gerada será binária, ou seja, terá apenas dois valores possíveis para cada *pixel*.
2. Detecção de bordas: Primeiro aplica-se o método da morfologia matemática para detecção de bordas, que podem ser o de Sobel, Canny, Laplaciana, Prewit ou Roberts. Em seguida é feita um agrupamento de *pixels* detectados como bordas, a partir de um algoritmo de união ou realce de bordas, que permite determinar de maneira mais precisa o contorno dos objetos de uma imagem.
3. Regiões: Um conjunto de *pixels* que possuem determinado grau de similaridade, são tidos como regiões. No método de segmentação baseado em regiões, cada região é composta por *pixels* com um valor similar, baseado em um critério de similaridade.
4. Divisória (Watershed): Esses algoritmos estão baseados na morfologia matemática, que permite extrair as bordas que existem na imagem. Também é considerada uma técnica de segmentação baseada em regiões. Os *pixels* são classificados de acordo com suas proximidades espaciais, gradiente de seus níveis de cinza e homogeneidade de suas texturas. O objetivo principal desse algoritmo é encontrar as linhas divisórias em uma imagem para separar as diferentes regiões. A ideia é imaginar que os valores dos *pixels* de uma imagem como sendo um gráfico topográfico em 3D, onde “x” e “y” denotam as coordenadas do plano, e “z” denota o valor do *pixel* (altura do terreno). O algoritmo começa por preencher o gráfico topográfico com água desde a bacia mais baixa (valor mínimo local) até o pico mais alto. Nesse processo, os objetos resultantes da segmentação correspondem aos mínimos do gradiente morfológicos e aos contornos das linhas divisórias [Chipana and Iano 2012].

## 5. Resultados

### 5.1. Testes de parâmetros e algoritmos

As amêndoas estão divididas em 7 classes, sendo elas: achatada, ardósia, germinada, inseto, marrom, parcialmente marrom e violeta, mostrada na Figura 3.

Foram realizados testes com diferentes algoritmos de segmentação, e para cada um, uma variação nos parâmetros para comprovar quais se mostrariam as melhores escóllhas para a segmentação de amêndoas.



**Figura 3. Amêndoas divididas em classes. Achatada, ardósia, germinada, inseto, marrom, parcialmente marrom e violeta, respectivamente.**



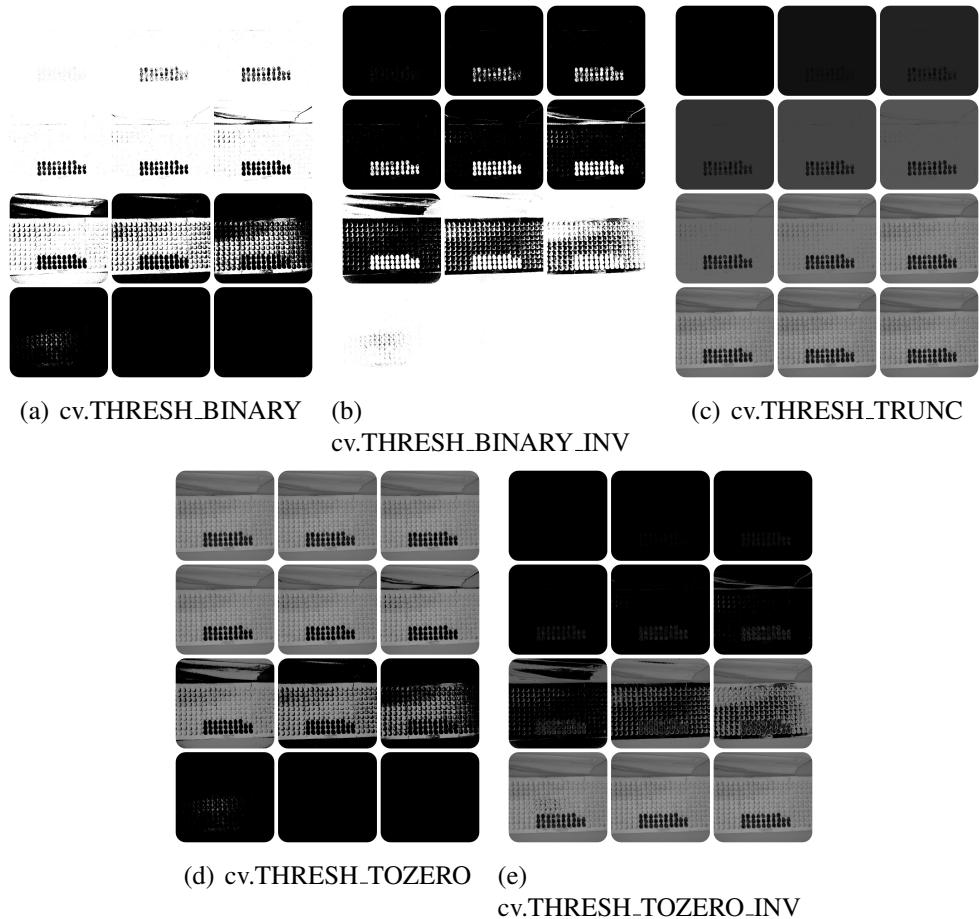
**Figura 4. Exemplares na tábua de corte para testes dos algoritmos.**

Para estes testes foi utilizado a Figura 4. O primeiro passo foi testar o algoritmo *threshold* com diferentes estilos de limiar da biblioteca OpenCV:

- cv.THRESH\_BINARY
- cv.THRESH\_BINARY\_INV
- cv.THRESH\_TRUNC
- cv.THRESH\_TOZERO
- cv.THRESH\_TOZERO\_INV

Os parâmetros de valor limite para classificar os valores de *pixel* do *threshold* foram variados de 0 a 255, em passos de 17, gerando assim 15 imagens. Porém, as imagens com o valor acima de 200 não apresentaram variação visual significativa, então foram mantidas apenas 12 imagens (variação de 0 a 204). Resultados presentes na Figura 5.

Foram testados também algoritmos de detecção de borda, como: Canny, Sobel e Laplacian, mas o último não apresentou resultados significativos para esta segmentação.

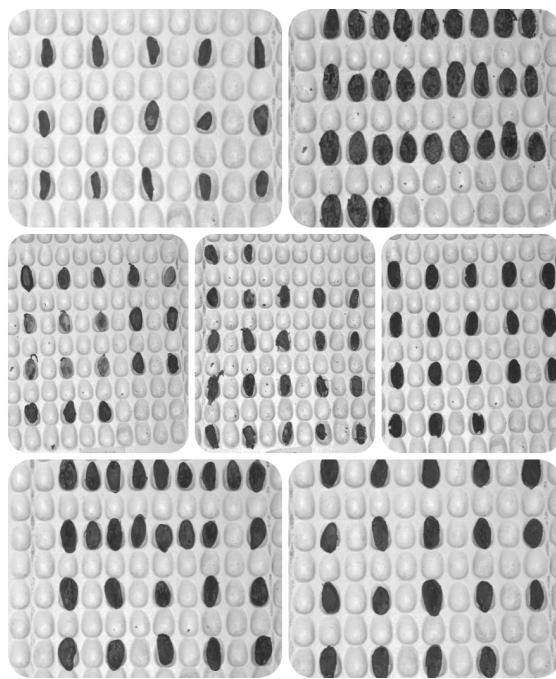


**Figura 5. Resultados dos valores de pixels para threshold com diferentes limiar.**

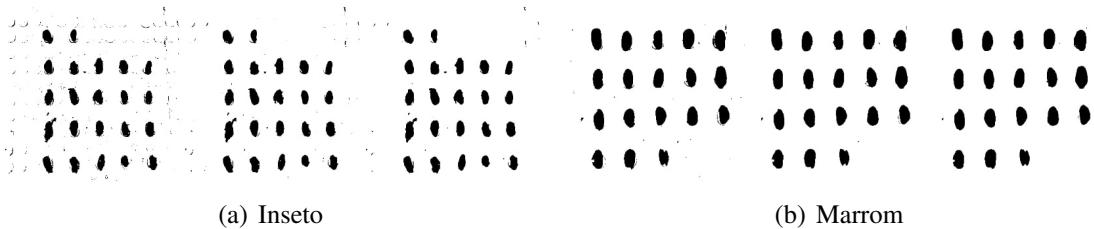
## 5.2. Passo a passo do algoritmo de segmentação

1. O algoritmo inicia o processamento em uma imagem de escolha, para este caso, uma das imagens apresentadas na Figura 3, e faz uma transformação para escala de cinza utilizando a função `cv2.cvtColor` do pacote OpenCV. Esta função recebe como parâmetro a imagem de entrada e o modo de cor de saída (`cv2.COLOR_BGR2GRAY` nesse caso). Resultados em Figura 6.
2. É realizado, a partir das imagens obtidas em Figura 6, a técnica do *thresholding*, mas constatou-se que a imagem apresentava “corpos estranhos” que não faziam parte das amêndoas, então viu-se a necessidade de utilizar uma técnica para reduzir ou remover esses “ruídos” da imagem. Primeiramente foi utilizado a função `GaussianBlur`, que recebe a imagem e o *kernel* como parâmetro. Para testar qual o melhor *kernel* (sendo necessário positivo e ímpar), foram variados de 1 a 5, respectivamente. A Figura 7 ilustra os resultados obtidos com a classe inseto e marrom.

Nota-se que o *kernel* (5,5) foi o que apresentou melhores resultados, para todos os casos, mas ainda assim não eliminou todos os ruídos. Portanto, foi utilizado as funções de erosão e dilatação, respectivamente, com variação na quantidade de iterações. As iterações variam de 1 a 3, onde primeiro fixa-se 1 para erosão, depois fixa-se 2 para erosão, e 3, variando os 3 valores para dilatação em cada



**Figura 6.** Conversão para escala de cinza.

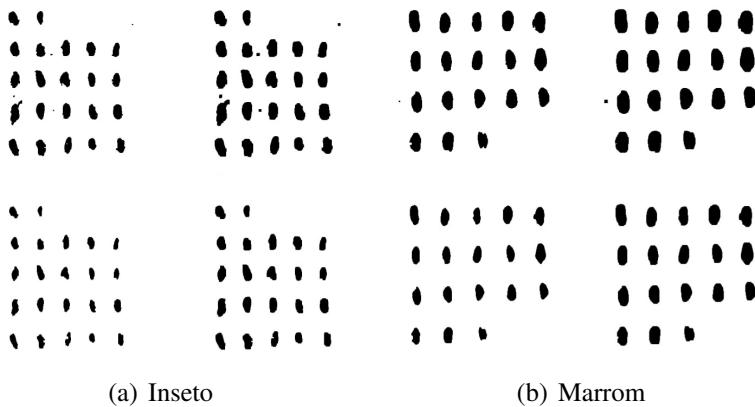


**Figura 7.** Resultados obtidos após aplicação do Gaussian blur com *kernel* 1, 3 e 5, respectivamente.

caso. A Figura 8 expõe os resultados obtidos no pior e melhor caso das classes inseto e marrom.

Foi escolhido 3 iterações para erosão, e 3 para dilatação, que foram os valores que apresentaram os melhores resultados para todos os casos.

3. O passo seguinte foi utilizar o algoritmo de detecção de borda Canny, utilizando, como entrada, as imagens obtidas na Figura 8. Como já foi visto, o algoritmo de Canny possui parâmetros variáveis, e foi realizado testes com estes parâmetros para identificar a melhor opção. A seguir será apresentado apenas os testes para classe achatada, devido a semelhança entre os resultados das outras classes, e o resultado das demais classes, para o melhor caso, que foi escolhido para ser usada no passo seguinte. Os dois parâmetros variam de 0 a 255, sendo assim, o passo de 17, gera 16 imagens para apenas um parâmetro fixo, com um total de 256 imagens. Para exemplificar os testes, serão utilizadas apenas 16 dessas.
4. Posteriormente, os resultados de borda obtidos da Figura 9(b) foram aplicados como máscara na função cv2.findContours, que analisa a imagem e encontra os contornos, para assim destacar as amêndoas encontradas na imagem original, con-



**Figura 8. Resultados obtidos após aplicação da erosão e dilatação para cada classe, no pior caso (cima), erosão 1 e dilatação 1, e no melhor caso (baixo), erosão 3 e dilatação 3, respectivamente.**

forme demonstrado na Figura 10.

Embora as amêndoas tenham sido destacadas na imagem original, ainda é necessário a segmentação completa e individual das mesmas, para que possa ser extraído, posteriormente, suas características. Foi utilizado então as imagens resultantes da Figura 8, invertendo-se as cores, onde a silhueta das amêndoas passariam a ter a cor branca, e o plano de fundo a cor preta. Assim, com essa máscara obtida, aplicou-se a função cv2.bitwise\_and junto a imagem original, resultando em amêndoas destacadas com as cores originais e todo o fundo convertido a branco (Figura 11).

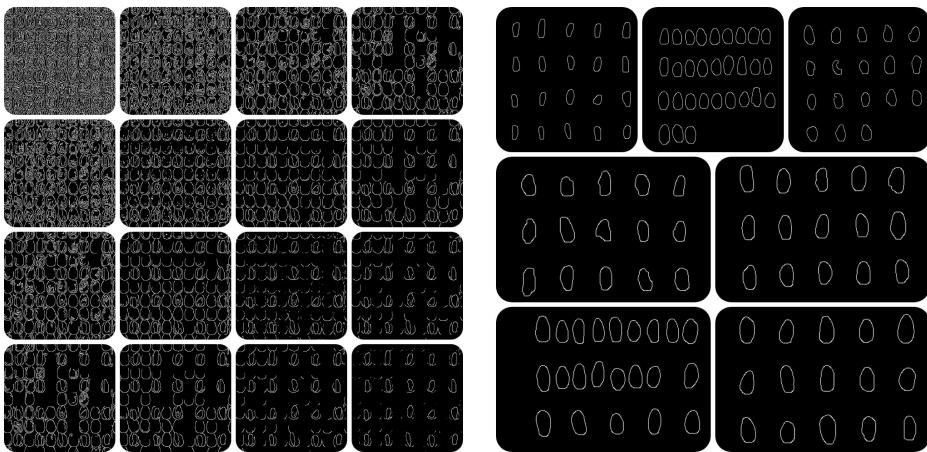
Por fim, foi utilizado os contornos obtidos na Figura 10 para extrair cada amêndoas individualmente, gerando amostras para posterior extração das características e podendo ser utilizadas para classificação das amêndoas.

## 6. Conclusão

Conforme discutido, o cacau é um fruto de vital importância para economia, principalmente por conta da produção do chocolate. A prova de corte para classificação das amêndoas, apesar de ser um procedimento trivial, evolviu inúmeros cuidados para atestar a qualidade da amêndoas. Ressalta-se que, embora os resultados obtidos através da visão computacional com OpenCV, que originou o algoritmo de segmentação aplicado aos processos descritos, tenham trazido os resultados esperados, gerando imagens individuais e de qualidade de cada amêndoas, estamos apenas no início do objetivo que se deseja alcançar. Tais resultados proporcionarão a implementação de métodos de baixo custo, também utilizando a visão computacional, para classificação dessas amêndoas, acarretando na autonomia e maior produtividade para as empresas de classificação de médio e pequeno porte, que muitas vezes, ainda realizam as atividades de forma manual ou não possuem recursos para compra de equipamentos que garantam a sua presença competitiva no mercado.

## Referências

Anuário Brasileiro do Cacau (2016). Anuário brasileiro do cacau 2016. Editora Gazeta.



(a) Testes na variação dos parâmetros do Canny Edge na classe achatada, sendo o pri- (255,255), nas classes achatada, ardósia, meiro o par (0,0) e o ultimo o par (255,255) (b) Resultados para o melhor caso para as classes achatada, ardósia, germinada, inseto, marrom, parcialmente marrom e violeta, respectivamente.

**Figura 9. Aplicação do Canny Edge na classe achatada (esquerda) e do melhor caso nas demais classes (direita).**

Chipana, F. E. A. and Iano, Y. (2012). Segmentação de imagens: abordagens para reconhecimento de placas de veículos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP.

Cruz, J. F. M. (2012). Caracterização das sementes de variedades à vassoura de bruxa durante a fermentação e após a secagem. Master's thesis, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.

Efraim, P., Pezoa-García, N. H., Jardim, D. C. P., Nishikawa, A., Haddad, R., and Eberlin, M. N. (2010). Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. In *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. SciELO Analytics.

Feitosa, R. (2016a). Avaliação microscópica de características internas em amêndoas de cacau. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus - BA.

Feitosa, R. (2016b). Avaliação microscópica de características internas em amêndoas de cacau.

Ferreira, A. C. R., Ahnert, D., de Melo Neto, B. A., and Mello, D. L. N. (2013). Guia de beneficiamento de cacau de qualidade. Instituto Cabruca.

OpenCV (2018). Open source computer vision library. <https://opencv.org>. Online; acessado 18 de Junho de 2018.

Passarelli, L. (2017). Aplicação de visão computacional com opencv. <https://www.embarcados.com.br/aplicacao-de-visao-computacional-com-opencv/>. Online; acessado 18 de Junho de 2018.

Rios, L. R. S. (2010). Visão computacional. Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA.



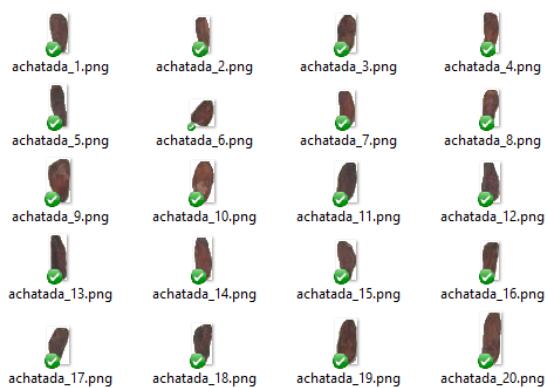
**Figura 10. Amêndoas segmentadas e destacadas na imagem original.**



**Figura 11. Amêndoas segmentadas e destacadas na imagem original com fundo branco.**

Silva, A. R. d. A. et al. (2013a). Caracterização de amêndoas e chocolate de diferentes variedades de cacau visando a melhoria da qualidade tecnológica.

Silva, A. R. d. A. et al. (2013b). Caracterização de amêndoas e chocolate de diferentes variedades de cacau visando a melhoria da qualidade tecnológica.



**Figura 12. Exemplo de pasta contendo amêndoas extraídas da Figura 11, da classe achatada.**