

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DAS DISTÂNCIAS MÉDIAS  
DOS CANAIS RGB NA CLASSIFICAÇÃO DE AMOSTRAS  
COM MAIS DE UM TIPO DE GRÃO**

**APPLICATION OF THE AVERAGE DISTANCE METHOD  
OF RGB CHANNELS IN THE CLASSIFICATION OF  
SAMPLES WITH MORE THAN ONE GRAIN TYPE**

DOI: <https://doi.org/10.31692/2595-2498.v3i2.493>

<sup>1</sup> Marteson Cristiano dos Santos Camelo  
Engenharia de Alimentos, [marteson.camelo@ufape.edu.br](mailto:marteson.camelo@ufape.edu.br), UFAPE

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, sendo a espécie arábica a mais produzida. A classificação desses grãos permite comercializar um produto de qualidade, identificando possíveis defeitos como a presença de grãos pretos, verdes ou ardidos, responsáveis por trazer prejuízos sensoriais à bebida e reduzir seu valor comercial. O uso de sistemas de visão computacional são alternativas para melhoria de processos dentro da indústria de alimentos, sendo o processo de classificação de alimentos uma das diversas possibilidades. O objetivo do trabalho foi desenvolver um programa de processamento digital de imagens aplicável ao processo de inspeção visual automática da qualidade de grãos de café arábica, quanto aos defeitos por cor. Para tal, foi realizada a aquisição de imagens adquiridos da Indústria & Comércio Café Ouro Verde LTDA, Garanhuns-PE, utilizando máquina fotográfica Nikon 5200 e aparelho celular iPhone 7 e iluminador LED circular de 8 polegadas Ring Light, a fim de manter a constância de luz. O processamento de imagens foi realizado a partir da elaboração de um código a partir da plataforma Matlab®. Os grãos foram classificados de acordo com o valor da menor distância média entre os pixels dos canais RGB das imagens teste com as imagens padrão. O código utilizou o método das distâncias médias dos canais RGB (Red, Green, Blue), onde foram utilizadas quatro imagens padrão, referentes aos grãos sadios, pretos, verdes e ardidos e 60 imagens teste. O código conseguiu classificar os grãos com alto valor de acurácia. No entanto, entre os grãos ardidos a acurácia foi de 73,3%, devido à classificação de quatro imagens que foram identificadas como sendo grão verde. O método das distâncias médias dos canais RGB mostrou-se eficaz na classificação dos grãos de café arábica e pode ser utilizado para determinar se o café analisado se encontra dentro dos padrões preconizados pela legislação, ao fazer a análise grão a grão, necessitando apenas de uma boa iluminação e posição da câmera no momento de aquisição das imagens, de modo a evitar interferência por sombras.

**Palavras-Chave:** Café arábica. Defeitos PVA. Processamento digital de imagens.

## ABSTRACT

Brazil is the largest producer and exporter of coffee in the world, with Arabica being the most produced. The classification of these grains allows marketing a quality product, identifying possible defects such as the presence of black, green or burned grains, responsible for bringing sensory damage to the drink and reducing its commercial value. The use of computer vision systems are alternatives for improving processes within the food industry, with the food classification process being one of several possibilities. The objective of this work was to develop a digital image processing program applicable to the process of automatic visual inspection of the quality of Arabica coffee beans, regarding defects by color. To this end, images were acquired from Indústria & Comércio Café Ouro Verde LTDA, Garanhuns-PE, using a Nikon 5200 camera and an iPhone 7 cell phone and an 8-inch Ring Light circular LED illuminator, in order to maintain the constancy of light. Image processing was carried out from the elaboration of a code from the MatLab

platform. The grains were classified according to the value of the smallest average distance between the pixels of the RGB channels of the test images with the standard images. The code used the method of the average distances of the RGB (Red, Green, Blue) channels, where four standard images were used, referring to the healthy, black, green and burned grains and 60 test images. The code was able to classify the grains with a high accuracy value. However, among the burned grains, the accuracy was 73.3%, due to the classification of four images that were identified as green grains. The method of average distances of the RGB channels proved to be effective in the classification of Arabica coffee beans and can be used to determine whether the coffee analyzed is within the standards recommended by the legislation, when carrying out the analysis grain by grain, requiring only a good lighting and camera position at the time of image acquisition, in order to avoid interference by shadows.

**Keywords:** Arabica coffee. PVA defects. Digital image processing.

## INTRODUÇÃO

O Brasil tem lugar de destaque como o maior produtor e exportador de café, sendo sua produção correspondente a 35% do consumo mundial. A produção de café arábica foi estimada entre 43,2 milhões a 45,98 milhões de sacas, o que dá uma média aproximada de 45 milhões de sacas, as quais equivalem a 75% da produção total estimada. Assim, a cada quatro sacas a serem colhidas três serão da espécie arábica (EMBRAPA, 2020).

A classificação do café é de grande importância comercial, uma vez que a qualidade dos grãos permite a agregação de valor ao produto. A classificação por tamanho e formato se torna relevante para a formação de lotes mais uniformes, possibilitando uma torrefação mais adequada. A determinação do percentual de defeitos em uma amostra de café também é importante, tendo em vista que grãos verdes, pretos e ardidos podem causar adstringência ao sabor do café afetando negativamente sua qualidade (DONADELLI et al., 2018).

De acordo com a Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003, o grão cru do café beneficiado é classificado em categoria, subcategoria, grupo, subgrupo, classe e tipo, segundo a espécie, formato e granulometria, aroma, sabor, cor e qualidade, respectivamente. Quanto à categoria são divididos em duas, sendo os provenientes da espécie *Coffea arabica* e da espécie *Coffea canephora*.

Verificar a qualidade do produto por meio da inspeção visual é de extrema importância para maioria dos produtos agrícolas (MACEDO, MARQUES e ARAÚJO; 2018). É comum que tal inspeção seja realizada manualmente, o que além de demandar tempo e ser uma tarefa “tediosa”, é suscetível a falhas operacionais, gerando custos e apresentando dificuldades na padronização de resultados. O uso de ferramentas computacionais pode auxiliar a otimizar o processo garantindo maior confiabilidade nos resultados.

A visão computacional e o processamento de imagens são métodos precisos e confiáveis para classificação de defeitos em grãos de café, uma vez que o método já foi realizado com sucesso para identificação e classificação de plantas, folhas, flores e amostras de grãos a granel (SIDDAGANGAPPA e KULKARNI, 2014). Conforme Cardoso (2016), tais métodos ocupam um lugar de destaque, em pesquisas, por serem métodos rápidos, objetivos, pouco onerosos e que vêm sendo utilizados em variados

segmentos industriais, como por exemplo, na inspeção da qualidade de grãos de feijão (BELAN, 2019) e para classificação de grãos de aveia (PATRÍCIO, 2019).

Desse modo, esse trabalho tem como objetivo desenvolver um programa que viabilize a concepção de um sistema de visão computacional aplicável ao processo de inspeção visual automática da qualidade de grãos de café arábica, quanto aos defeitos preto, verde e ardido (PVA), por meio do processamento digital de imagens.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Beneficiamento do café arábica

O cafeeiro (*coffea sp*) pertence à família Rubiaceae da qual se conhece cerca de 103 espécies. É amplamente distribuído e cultivado em países tropicais, tornando-se uma commodity de grande importância econômica, sendo o *Coffea arabica* e *Coffea canephora* as espécies mais cultivadas, fazendo do Brasil o maior produtor e exportador de café do mundo (CONAB, 2019).

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento a produção de café arábica para o ano de 2020 obteve um aumento em comparação ao volume produzido na safra de 2019, entre 26% e 34,1%. A produção da espécie arábica está concentrada nos Estados de Minas Gerais, seguido por São Paulo, Espírito Santo e Bahia, sendo cultivado em altitudes entre 800 e 1200 m, permitindo ao consumidor degustar de uma bebida fina e de melhor qualidade (MAPA, 2018).

Para obtenção de um café de qualidade deve haver o planejamento desde a implementação do cafezal, com a escolha da variedade, condições de clima e solo da região escolhida até as condições técnicas de manejo. A matéria-prima deve ser 16 constituída por grãos que alcançaram a maturação, chamados cereja, que sejam sadios, graúdos e estejam em ramos vigorosos (MESQUITA, 2016).

Ainda de acordo com Mesquita (2016), durante a colheita do café, sendo esta manual ou mecanizada, devem-se evitar danos aos ramos e folhas a fim de preservar a produção seguinte bem como evitar ferimentos aos grãos para que não haja contaminação por agentes patogênicos e deteriorantes.

Após a colheita, os frutos podem passar por duas vias de processamento diferentes: a via seca e a via úmida (BORÉN et al. 2012). Um modo adicional é o processamento conhecido como via semi úmida ou semi seca, uma variável do processo pela via úmida.

De acordo com Durán et al (2017) os frutos são colhidos em diferentes graus de maturação e durante a lavagem são separados, onde os grãos cereja, ainda em contato com a água, tem sua casca removida mecanicamente, etapa do processo semi úmido ou semi seco. Em seguida, esses grãos serão submetidos à secagem em secadores ou terreiro aberto. Para o processo por via seca, os frutos são secos por processo mecânico ou em terreiros abertos sem haver uma seleção prévia dos frutos. Os grãos devem alcançar um teor de umidade entre 10,5 e 11,5%, pois valores abaixo do estimado podem ocasionar a quebra dos grãos e valores elevados podem ocasionar o branqueamento (MESQUITA, 2016). Os grãos seguirão para o descascamento, sendo armazenados em seguida.

O café pode ser armazenado na propriedade produtora ou em armazéns especializados. Na propriedade, é ideal que os grãos sejam armazenados beneficiados, devido à segurança e manutenção da qualidade.

### **Classificação dos grãos de café**

A Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003 discorre sobre o processo de classificação dos grãos de café, onde é feita a contagem de defeitos em uma amostra de 300 g de café beneficiado. Os defeitos surgem devido a diferentes causas e são chamados intrínsecos, quando são inerentes ao próprio grão, ou que tenha sofrido alterações, a exemplo dos grãos concha, quebrados, brocados e verdes. Também existe a classificação para defeitos extrínsecos, que ocorrem devido à presença de elementos estranhos presentes no café beneficiado, como por exemplo, as pedras, paus e cascas. A classificação ocorre de acordo com a coloração do grão, sendo caracterizados como verde azulado e verde cana (características do café despulpado ou degomado), verde, amarelada (indica sinais de envelhecimento do produto), amarela, marrom, chumbado, esbranquiçada e discrepante (mistura de cores oriundas de ligas de safras ou cores diferentes).

A classificação do café quanto ao tipo é feita por meio da contagem do número de grãos imperfeitos ou da quantidade de impurezas contidas numa amostra de 300g, seguindo o que especifica as Tabelas da Instrução Normativa 08/2003. Essa classificação apresenta sete tipos numerados de 2 a 8. A cada tipo corresponde ao maior ou menor número de defeitos existentes no café, como grãos pretos, ardidos, verdes, preto-verdes, quebrados, brocados, conchas, chochos, cocos e marinheiros e impurezas. O café será considerado fora do tipo quando mais de 300 defeitos, com exceção dos grãos quebrados, mal granados, conchas, miolos de concha e os brocados limpos. Para os defeitos PVA (Preto, Verde e Ardido), o café é tido como fora do tipo quando apresenta mais de 50

grãos pretos ou mais de 100 grãos ardidos ou mais de 100 grãos preto verde numa amostra de 300g (BRASIL, 2003).

Dentre os defeitos intrínsecos dos grãos de café, a cor tem grande importância econômica, podendo sofrer uma grande desvalorização quanto ao preço de mercado se apresentar tais defeitos (RIBEIRO, 2013). Essa característica é, portanto, decisiva na comercialização e no processo de aceitação ou rejeição do produto pelo comprador. O grão verde é um grão imaturo e sua cor deve-se, provavelmente, à clorofila (SILVA, 2005). Ainda de acordo com o autor, a colheita realizada em uma única etapa e a prensa por iniciá-la podem explicar a alta porcentagem de grãos verdes em cafés brasileiros, que além de causar danos à qualidade da bebida, irá trazer prejuízos no momento da classificação. Quando não é feita a separação dos grãos verdes e o processamento é mal conduzido, sob condições que propiciam a fermentação, a película desse grão que antes era prateada, passa a ser de cor escura e brilhante assemelhando-se com grãos ardidos e com aspecto enrugado, dando origem ao defeito preto-verde (REZENDE, 2013).

O café, como bebida, pode ser classificado como tradicional, superior e gourmet, de acordo com o Regulamento Técnico do Programa de Qualidade do Café (PQC) da ABIC. A norma PQC de 26 de junho de 2018 define como café tradicional o que é composto por grãos arábicas, conilon ou blindados, possuindo grãos tipo 8 ou melhores com até 20% em peso de defeitos PVA. Para cafés superiores serão utilizados grãos arábica ou blends de arábica com conilon, sendo utilizados grãos tipo 6 ou melhores com até 10% em peso de defeitos PVA. O café gourmet também irá utilizar grãos arábicas ou blends com conilon, no entanto, deverá ser constituído por grãos tipo 2 a 4, com ausência de defeitos PVA.

Segundo Gonçalves (2006), grãos ardidos são comuns em cafés brasileiros e possuem um sabor azedo. Em sua pesquisa com a literatura o autor relata que a presença de alguns grãos ardidos prejudicou o sabor de 50g de café suave. Também foi colocado pelo autor que a presença de grãos ardidos e pretos foi responsável por aumentar valores de acidez. O defeito preto é considerado o pior tanto em relação aos aspectos físicos como sensoriais. Na tabela de classificação da Instrução Normativa nº 08/2003, a proporção 20 de grãos de grãos pretos e número de defeitos é de 1:1, ou seja, cada grão preto é considerado como um defeito. Segundo Silva (2005), porcentagens de grãos pretos entre 5,16% e 14,11%, fizeram com que cafés considerados estritamente moles (sabor muito suave e adocicado) obtivessem características de duro (sabor adstringente, gosto áspero).

Quantidades de grãos pretos acima de 14% deixaram a mesma bebida com característica de café riado e rio (sabor forte e desagradável).

### **Processamento digital de imagens**

Uma imagem digital é a representação de uma imagem bidimensional, que utiliza de números binários que permitem seu processamento, podendo ser compreendida como uma matriz de linha (x) e colunas (y), numeradas de (1,1) iniciando no canto superior esquerdo até o canto inferior direito (n, m) (GALLON, 2012).

O processamento digital de imagens vem sendo utilizado para diversas finalidades na indústria alimentícia, tendo seu uso para verificação de qualidade de alimentos. Neste escopo observa-se na literatura diversos trabalhos, como por exemplo, a criação de um sistema de visão computacional para classificação de melão amarelo de acordo com o formato (CALIXTO et al., 2016), a identificação da maturação de frutos da macaúba por meios de características óticas (COSTA, 2015), desenvolvimento e avaliação de um sistema para classificar grãos de culturas anuais por processamento de imagem digital (GALLON, 2012).

Podemos definir uma imagem digital como sendo uma função discreta bidimensional  $f(x, y)$ , onde x e y são valores inteiros que irão representar as coordenadas espaciais e o valor de f informará a intensidade da imagem na coordenada de entrada, pelo seu número de linhas e colunas (MAIA, 2014).

O principal sistema de cores utilizado em processos digitais é o RGB (Red, Green, Blue), onde cada pixel é caracterizado por um espaço espectro tridimensional, contendo cada uma das três cores e a interpolação delas resultará em uma cor por pixel. Cada pixel pode apresentar uma variação de cor em 256 tonalidades diferentes, possibilitando assim a obtenção de mais de 16,7 milhões de cores (BARBOSA et al., 2015).

Para que o reconhecimento de padrões seja realizado é necessário que seja feita a aquisição, pré-processamento, segmentação e a análise das imagens. Primeiro é necessário obter as imagens a serem processadas e em seguida pode ser realizado um pré-processamento para adequar e melhorar a qualidade. A segmentação é responsável por identificar as regiões similares, enquanto a análise e reconhecimento são etapas de interpretação das informações (SIQUEIRA, 2010).

Para análise de reconhecimento de imagem, o procedimento é realizado por meio de algoritmos computacionais, desenvolvidos de modo a encontrar resultados práticos que atendam aos interesses e aplicação desejada. Segundo Barbosa et al. (2015), o principal programa para interpretação de imagens com ampla dimensão espectral é o

Matlab®. O Matlab® é um programa utilizado para o desenvolvimento de algoritmos, análise de dados, visualização e computação numérica. O software trabalha com 22 matrizes e inclui bibliotecas de funções relacionadas ao processamento de imagens. (MATHWORKS, 2020a).

A matriz de cores tem o mesmo número de linhas e colunas da imagem de entrada e o valor de cada posição representa a cor de um pixel. Para imagens binárias, os valores da matriz de cores são restritos a zero e um, que representam as cores preta e branca, respectivamente. Para imagens coloridas, a matriz apresenta três dimensões relativas ao espaço RGB, com valores inteiros no intervalo [0 255]. Essas matrizes podem ser manipuladas através de operações matriciais básicas de soma, subtração e multiplicação, ou funções específicas do processamento de imagens, como dilatação e alteração de contraste. A partir da obtenção das imagens, tratamento e criação do algoritmo, será realizada sua classificação de acordo com o que foi estabelecido no processo de decisão. Segundo Gallon (2012) um grupo de pixels é definido como pertencente à determinada classe temática, de acordo com o respectivo valor digital, sendo assim realizado o reconhecimento dos padrões de pixels na imagem com base em indicações definidas pelo próprio analista.

No processo de segmentação e extração de bordas são utilizados os conceitos de vizinhança, conectividade e distâncias métricas. A vizinhança de pixels é baseada na propriedade de adjacência entre eles, onde haverá o compartilhamento de uma borda ou de um vértice. Se um pixel, por exemplo, tem uma vizinhança de 4 ( $N_4(p)$ ), as coordenadas de seus vizinhos serão:  $(x+1, y)$ ,  $(x-1, y)$ ,  $(x, y+1)$  e  $(x, y-1)$  (ARAUJO, 2010).

A conectividade define quais pixels estão conectados a outros pixels, ou seja, quando suas bordas ou cantos se tocarem. Esse conceito é utilizado para estabelecer fronteiras entre objetos numa imagem digital. Em imagens bidimensionais, dois pixels adjacentes fazem parte do mesmo objeto se ambos estiverem ligados e conectados na 23 direção horizontal, vertical ou diagonal. Já para imagens com conectividades tridimensionais, as direções (cima, baixo, direita, esquerda, dentro, fora) e suas combinações, também serão levadas em consideração. De acordo com Araujo (2010), os principais tipos de distâncias são a Euclidiana, City-Block e Chessboard. A distância City-Block é obtida pelo cálculo dos pixels que estão na horizontal e vertical. A Chessboard, por sua vez, calcula os pixels na horizontal, vertical e diagonal.

A distância Euclidiana, utilizada no presente estudo, é um procedimento de classificação supervisionada que associa um pixel a uma determinada classe (BORGES, SILVA e CASTRO, 2007). Seu cálculo se baseia em uma medida entre os objetos em um sistema de coordenadas cartesianas, calculado entre as parcelas dos histogramas de imagens diferentes. A distância Euclidiana é calculada pela Eq. 1.

$$d_{Euclid} (q, d) = \sum_{i=0}^M \sqrt{(q [i] - d [i])^2}, \quad (\text{Eq.1})$$

A segmentação de imagem é utilizada para subdividir uma imagem em objetos ou regiões que a formam, de modo que os pixels de cada região possuem propriedades ou atributos idênticos, como níveis de contraste, valores espectrais ou propriedades relacionadas à textura (FARIA, 2010).

Operações de segmentação são utilizadas para identificar regiões nas imagens, ou seja, recebe uma imagem e gera como resultado um conjunto de regiões e contornos, que permite a avaliação de diversas características (PATRÍCIO, 2019).

A segmentação pode envolver a separação do primeiro plano do fundo ou agrupamento de regiões de pixels com base em semelhanças de cor ou forma (MATHWORKS, 2020b). Assim, é possível fazer a detecção de pontos e linhas, detecção de contornos e operações de gradiente, por meio de filtros que são utilizados para extrair as derivadas das imagens.

O uso de filtros é uma técnica amplamente utilizada no realce de imagens digitais, na eliminação de ruídos e redução de largura de banda de informação a fim de facilitar o transporte e armazenamento de imagens, mantendo sua compatibilidade com a percepção visual humana (OLIVEIRA E MAGALHÃES, 2005). As técnicas de filtragem podem ser divididas em dois grandes grupos principais: filtragem no domínio espacial e filtragem no domínio da frequência (MARRACINI, 2017).

Ainda de acordo com Marracini (2017), a filtragem no domínio espacial ocorre por meio de manipulação direta nos pixels da imagem original, como transformações de intensidade e filtragem espacial, baseando-se na utilização de máscaras (janelas de convolução), enquanto que a filtragem no domínio da frequência, possibilita a manipulação separada das altas e baixas frequências.

A manipulação da imagem utilizando as técnicas de filtragem no domínio espacial, só é possível se conhecer a posição de cada pixel. Para isso, existem dois tipos de filtros: lineares e os não lineares. Os lineares funcionam por meio de vizinhanças, escolhendo

um determinado ponto, onde x representa a linha e y a coluna. Esses filtros suavizam e realçam os detalhes, reduzem o ruído e mantêm a média da imagem. Alguns dos filtros desta categoria são o passa-baixa, o passa-alta e os filtros de realce (ARAUJO, 2010). Ainda conforme o autor, os filtros não-lineares também realçam e suavizam as bordas, reduzem os ruídos da imagem, porém alteram sua média.

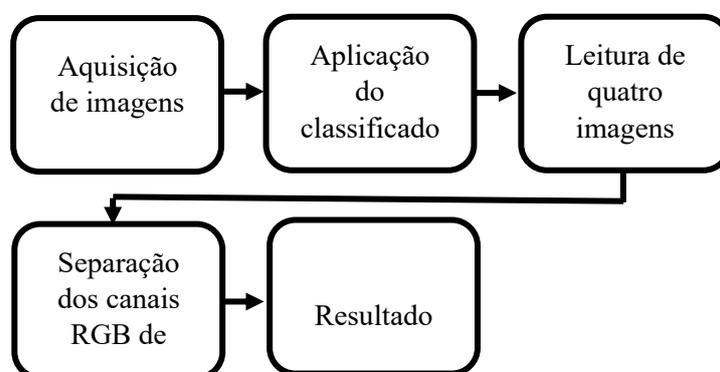
## METODOLOGIA

Os grãos de café arábica foram doados pela Indústria & Comércio Café Ouro Verde LTDA, Garanhuns-PE, previamente separados e categorizados pelo funcionário responsável, quanto aos defeitos preto, verde e ardido. Os grãos são provenientes do Espírito Santo, do lote recebido no dia 17 de dezembro de 2019.

As etapas utilizadas no desenvolvimento do código computacional para a classificação dos grãos pelo método das distâncias médias dos canais RGB são apresentadas na Figura 1.

A aquisição de imagens foi realizada utilizando iluminador LED, câmera fotográfica e aparelho celular. Para isso foram utilizadas amostras de grãos de café arábica sadios com pretos, sadios com verdes e sadios com ardidos, bem como, imagens da mistura dos grãos com defeitos PVA com grãos sadios. Também foi feita a aquisição de imagens dos grãos individuais, para cada tipo estudado. As imagens padrão foram feitas a partir de uma amostra contendo vários grãos sadios, pretos, verdes e ardidos, separadamente. Para um experimento piloto foram definidos novos padrões de imagem, contendo a combinação entre os grãos sadios e cada defeito PVA.

**Figura 1** - Fluxograma da metodologia aplicada na classificação de defeitos preto, verde e ardido em grãos de café arábica utilizando o método das distâncias médias dos canais RGB.



Fonte: Própria.

Para aquisição de imagens foi definido um protocolo a fim de garantir a padronização. Foi utilizado um iluminador LED circular de 8 polegadas Ring Light RGB, a fim de manter a constância de luz, fundo branco para todas as imagens e distância de 40 a 45cm da lente da câmera ao grão de café. As imagens foram obtidas por meio de máquina fotográfica Nikon 5200 com lente de 50mm e do aparelho celular iphone 7, com câmera de 12 megapixels e abertura de f/1.8, o que permite captar melhor a luz. O processamento das imagens foi feito por meio do software Matlab® 2014, onde foram utilizados filtros de melhoramento do brilho e nitidez.

Cada imagem, definida como padrão, foi lida e teve seus canais de cores RGB (Red, Green, Blue) separados. Em seguida foi calculada a média entre os valores obtidos dos canais em vermelho, verde e azul de cada imagem, utilizando o código desenvolvido. Depois de definidos os padrões e calculado a distância média de cada canal de cor, foi realizada a leitura de 60 imagens, divididas entre os quatro tipos de grãos. As imagens do diretor, utilizadas no experimento, foram nomeadas com números de 1 a 60 para que fossem classificadas automaticamente e de forma simultânea pelo programa.

Os grãos ardidos estão renomeados de 1 a 15, os pretos de 16 a 30, sadios de 31 a 45 e verdes de 46 a 60. Os valores obtidos das distâncias e de sua respectiva codificação, responsável por categorizar as cores, foram armazenados numa matriz (60 x 2) na área de trabalho do Matlab®. A acurácia dos resultados foi calculada pela divisão entre a quantidade de grãos classificados corretamente e a quantidade total, referente a cada classe.

Um experimento final foi realizado de modo a avaliar o método conforme o que preconiza a Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003, onde para amostras contendo mais de 50 grãos pretos ou mais de 100 ardidos ou mais de 100 verdes, é classificada como fora do tipo. Para isso foi definido um novo padrão de imagem, agora com a combinação dos grãos de café, analisando imagens com uma quantidade maior de grãos e não apenas de forma unitária, como descrito anteriormente.

Foi realizado um experimento piloto de forma a verificar a classificação de cada defeito PVA quando combinados com grãos sadios. Assim, as novas imagens padrão foram de grãos de café arábica sadio com preto, sadio com verde e sadio com ardido. Para as imagens do teste foi feita a mesma combinação, variando apenas na quantidade de grãos utilizados.

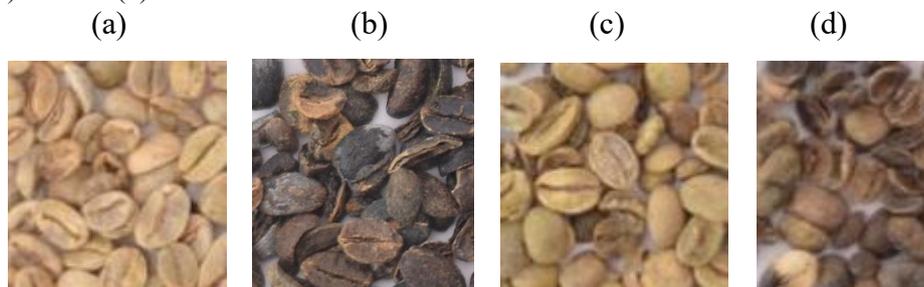
Foram utilizadas 15 imagens no experimento sendo divididas entre três categorias de classificação. Combinação de grãos sadios com verdes, grãos sadios com ardidos e

grãos sadios e pretos. Duas amostras de cada combinação continham um maior quantitativo de grãos sadios e as demais apresentavam uma maior quantidade de grãos pretos, verdes ou ardidos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

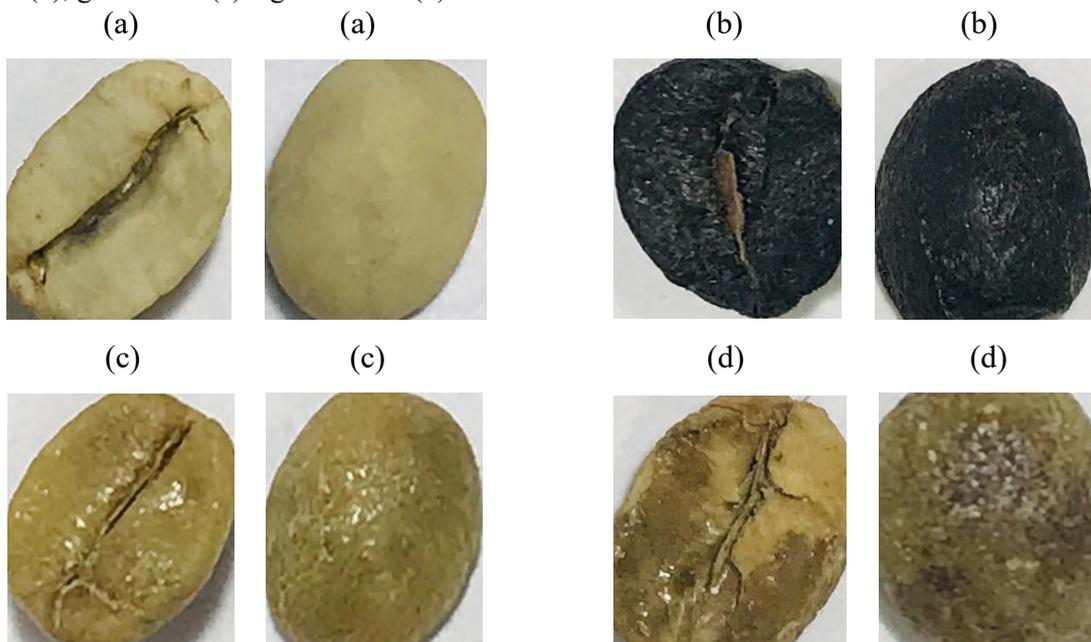
As imagens utilizadas no experimento, obtidas tanto da câmera fotográfica quanto do aparelho celular, utilizando a mesma intensidade de luz, não apresentaram diferença nos resultados durante a classificação. As imagens de café arábica utilizadas como padrão e as amostras empregadas no experimento estão representadas por meio das Figuras 2 e 3, respectivamente.

**Figura 2** – Imagens utilizadas como padrão na classificação dos grãos de café arábica: sadio (a), preto (b), verde (c) e ardido (d).



Fonte: Própria

**Figura 3** – Imagens dos grãos de café arábica empregadas no experimento: grão sadio (a), grão preto (b), grão verde (c) e grão ardido (d).



Fonte: Própria

Na Tabela 1 é apresentado o erro obtido na classificação do café para a classificação das 60 amostras analisadas. Como pode ser observado, o programa computacional desenvolvido conseguiu classificar os grãos sadios, pretos e verdes, com base na distância média dos canais RGB, com 100% de acurácia. No entanto, entre os grãos ardidos a acurácia foi de 73,3%, devido à classificação de quatro imagens que foram identificadas como sendo grão verde.

**Tabela 1** – Acurácias para cada tipo de grão de café arábica classificados conforme o método da distância média dos canais RGB.

<b>Classificação</b>	<b>Acurácia (%)</b>
Sadio	100
Preto	100
Verde	100
Ardido	73,3

Fonte: Própria

A diferença entre os grãos sadios e defeituosos comparando com o grão verde, é que este tem sua cor característica e pode apresentar também uma película prateada aderida, enquanto o ardido possui a coloração marrom, podendo aparecer em diferentes tons, a depender da ação de processos fermentativos (OLIVEIRA, 2015). Assim, os grãos que foram confundidos pelo programa certamente apresentaram características próximas à imagem padrão definida para o grão verde.

Estudo utilizando as médias dos canais RGB foi realizado por SARINO et al (2019) para classificação do grau de torrefação de grãos de café, obtendo com o método valores de acurácia acima de 95%. Outro estudo desenvolvido por Santos et al (2020) apresentou acurácia de 100% na classificação de grãos pretos de café. O autor afirma que o bom resultado é devido a cor que o distingue dos outros tipos de grãos. Ainda de acordo com Santos et al (2020), grãos de café ardidos, que variam de marrom claro ao escuro, dificultam sua classificação, quando comparados aos grãos pretos.

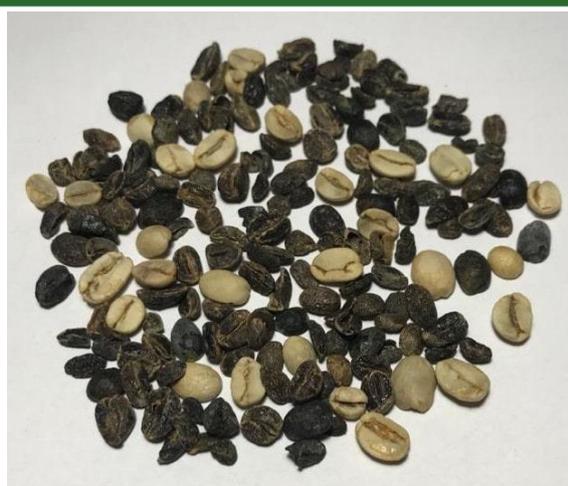
Em estudo realizado por Belan (2019) na classificação de grãos de feijão usando métodos de visão computacional, foi visto que erros similares podem ocorrer na classificação, neste caso, devido à presença de estrias marrom escuras no grão de feijão carioca, tornando-o semelhante ao feijão mulato. Conforme OYAMA et al (2011), num estudo sobre classificação de café por cor, os grãos perfeitos tiveram uma baixa taxa de

acerto, pois foram classificados como “secador”. No entanto, mesmo não sendo preciso, o experimento foi considerado bem sucedido, devido às semelhanças entre os grãos, indicando que houve um bom reconhecimento do padrão. O método das distâncias médias dos canais RGB mostrou-se eficaz na classificação dos grãos de café arábica e pode ser utilizado para determinar se o café analisado se encontra dentro dos padrões preconizados pela legislação, ao fazer a análise grão a grão.

Após analisar a eficácia do programa em classificar as amostras de café separadamente foi testado a aplicação do método das distâncias médias dos canais RGB na classificação de amostras com mais de um tipo grão. No experimento piloto foram utilizadas duas amostras contendo a combinação entre grãos sadios e pretos, sendo uma com a maior quantidade de grãos sadios e outra com um quantitativo maior de grãos pretos. Seguiu-se o mesmo procedimento para os grãos verdes e ardidos. As imagens utilizadas no experimento para classificação quanto ao defeito preto são apresentadas na Figura 4.

**Figura 4** – Imagens utilizadas para verificação do método das distâncias médias dos canais RGB em amostras com mais de um tipo de grão: (a) padrão para o grão sadio, (b) padrão para o grão preto (c) amostra com maior quantidade de grãos sadios e (d) amostra com maior quantidade de grãos pretos.





Fonte: Própria

De acordo com a Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003, a classificação do grão cru de café, quanto ao tipo, é feita de acordo com o percentual de defeitos encontrados, sendo o PVA um deles. Foi definido pela legislação que para ser contabilizado como um defeito é preciso ser encontrado numa amostra de 300g um grão preto ou dois grãos ardidos ou cinco grãos verdes. Para que a amostra seja considerada como fora do tipo, é preciso que apresente mais de 50 grãos pretos ou mais de 100 grãos ardidos ou mais de 100 grãos pretos verdes. Também é considerada fora do tipo a amostra que contenha mais de 300 defeitos, estando os PVA inseridos. De acordo com a norma, para que seja contabilizado como um defeito é preciso ter pelo menos um grão preto ou dois ardidos ou cinco grãos verdes (BRASIL, 2003). O experimento foi realizado de modo a verificar a viabilidade do código em classificar as amostras de acordo com a maior quantidade de grãos defeituosos. Na imagem onde o quantitativo de grãos sadios é maior era esperado que o código indicasse como “Normal” e nas imagens em que grãos pretos estão em maior quantidade era esperado que retornasse como “Preto”. Os resultados obtidos na análise estão expressos na Tabela 2.

**Tabela 2** – Experimento piloto para classificação de grãos de café arábica a partir da combinação de grãos sadios com pretos, sadios com verdes e sadios com ardidos.

Amostra	Classificação Real	Classificação RGB	Distância
1	Verde	Normal	8,859
2	Normal	Normal	4,718
3	Verde	Normal	8,307
4	Verde	Normal	8,044

5	Normal	Normal	4,470
6	Ardidos	Normal	7,606
7	Ardidos	Normal	11,856
8	Ardidos	Normal	10,432
9	Normal	Normal	8,174
10	Normal	Normal	14,578
11	Preto	Normal	15,535
12	Preto	Normal	12,884
13	Normal	Normal	19,436
14	Normal	Normal	20,426
15	Preto	Normal	19,654

Fonte: Própria

Na combinação entre os grãos sadios e verdes, as amostras 2 e 5 contêm um maior quantitativo de grãos sadios, enquanto as 1, 3 e 4 apresentam os grãos verdes em sua maioria. Entre os grãos sadios e ardidos, as três primeiras amostras possuem um maior número de ardidos e as duas últimas, de grãos sadios. Para a combinação de grãos sadios e pretos, as amostras 13 e 14 possuem uma maior quantidade de grãos sadios, enquanto 11, 14 e 15, são maioria de grãos pretos. Todas as amostras foram classificadas como “Normal” nesse experimento. Na análise entre grãos sadios e verdes é possível perceber que o valor da distância média dos grãos, que teoricamente deveriam ser classificados como verde, apresentam média próxima de 8, enquanto para as outras amostras, com maior número de grãos sadios a média ficou em torno de 4.

No experimento entre os grãos sadios e pretos, a média das amostras 13 e 14, análise que apresenta em sua maioria grãos sadios, são maiores. No entanto para a amostra 15, mesmo apresentando maior percentual de grãos pretos, o valor de sua média se aproxima das amostras 13 e 14 e não das amostras 11 e 12, como esperado. Para os grãos sadios e ardidos os valores de média obtidos não seguiram um padrão nos resultados, como percebido para os grãos verdes e pretos. Por meio do experimento piloto foi possível concluir que a classificação utilizando o código para as distâncias médias dos canais RGB não é eficaz quando aplicada na combinação de diferentes tipos de grãos numa mesma imagem.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método das distâncias médias dos canais RGB mostrou-se eficaz para realizar a identificação dos defeitos PVA nos grãos de café individualmente, com alto valor de acurácia na classificação de cada amostra. No entanto, não é eficiente em analisar imagens com um alto quantitativo de grãos e que contenham mais de um tipo, necessitando fazer o procedimento grão a grão. Uma alternativa, para estudos posteriores, é o uso do código aplicado a um sistema de automação, onde o grão seja transportado por esteiras e em um dado momento seja feita a aquisição automática de suas imagens para avaliação.

## REFERÊNCIAS

ABIC. Norma de qualidade recomendável e boas práticas de fabricação de cafés torrados em grão e cafés torrados e moídos. Norma do Programa de Qualidade de Café (PQC), 26 de junho de 2018. Disponível em:

(<https://www.abic.com.br/wpcontent/uploads/2018/04/Norma-PQC-26-06-2018-rev-30.pdf>). Acesso em: novembro de 2022.

ARAUJO, A. F. Método para extração e caracterização de lesões de pele usando difusão anisotrópica, crescimento de regiões, watersheds e contornos ativos. Dissertação em Ciências da Computação, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto – SP, 2010.

BARBOSA, J. Z.; CONSALTER, R.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. Revista de Ciências Agrárias, v. 39, n. 1, 2015.

BELAN, P. A. Sistema de visão computacional para inspeção da qualidade de grãos de feijão. Tese de doutorado em Informática e Gestão do Conhecimento, Universidade Nove de Julho, São Paulo – SP, 2019

BORÉN, F. M.; OLIVEIRA, P. D.; ISQUIERDO, E. P.; GIOMO, G. S.; SAATH, R.;

CARDOSO, R. A. Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café submetidos a diferentes formas de processamento e secagem. Revista Coffee Science, Lavras, v. 8, n. 2, 2013.

BORGES, R. O.; SILVA, R. A. A.; CASTRO, S. S. Utilização da classificação por distância euclidiana no mapeamento dos focos de arenização no setor sul da alta bacia do Rio Araguaia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais. Florianópolis – SC: INPE, 2007.

BRASIL. Instrução Normativa nº8, de 11 de junho de 2003. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade para Classificação do Café Beneficiado Grão Cru.

CALIXTO, R. R.; ARAGÃO, M; F.; RODRIGUES, A. B.; PINHEIRO NETO, L. G.;

CAVALCANTE, T. S. Sistema de visão computacional para classificação de melão 49 amarelo de acordo com o formato. In: XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2016, Santarém. Anais. Santarém – PA: SBrT, 2016.

CARDOSO, D.B. Estudos para a disponibilização de metodologias de avaliação da qualidade de grãos de café. Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). ISSN 2318-7913.

Acompanhamento safra brasileira de café, v. 6. Safra 2020, n. 1. Primeiro levantamento, Brasília, 2020.

DONADELLI, J.P.L.; COIMBRA, B.M.; MORELLO, O.F.; BETTIOL, J.V.T.; FILLA, V.A.; CAVALCANTE, A.G.; LEMOS, L.B. Qualidade dos grãos de cultivares de café arábica de porte baixo produzidos no município de Jaboticabal-SP. SBICafé, 2018.

DURÁN, C. A. A.; TSUKUI, A.; SANTOS, F. K. F; MARTINEZ, S. T.; BIZZO, H. R.; REZENDE, C. M. Café: aspectos gerais e seu aproveitamento para além da bebida. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 1. 2017.

EDDINS, S. The Watershed Transform: Strategies for Image Segmentation. Artigos técnicos e boletins informativos do mathworks, 2002.

EMBRAPA. Estimativa da safra dos Cafés do Brasil para 2020 prevê que de cada quatro sacas três serão da espécie arábica e uma de conilon. 2020.

FARIA, D. Análise e processamento de imagem. Porto - Portugal: FEUP, 2010.

GALLON, R. A. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para classificar grãos de culturas anuais por processamento de imagem digital. Dissertação de mestrado em Agricultura Tropical, Universidade Federal de Mato Grosso Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Cuiabá- MT, 2012. 50

GONÇALVES, A. M. O. Influência dos defeitos dos grãos de café na percepção das características sensoriais da bebida pelo consumidor. Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2006.

MATHWORKS. Notícias e histórias do mathworks. Centro de ajuda Matlab®. Disponível em:

(<https://www.mathworks.com/company/newsroom/mathworksannounces-release-2014a-of-the-Matlab®-and-simulink-product-families.html>). Acesso em: novembro de 2022.

MATURANA, P. S. Algoritmos de detecção de bordas implementados em FPGA. Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira - SP 2010.

MESQUITA, C. M.; REZENDE, J. E.; CARVALHO, J. S.; JÚNIOR, M. A. F.; MORAES, N. C.; DIAS, P. T.; CARVALHO, R. M.; ARAÚJO, W. G. Manual do café: colheita e preparo (Coffea arábica L.). Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. MAIA, D. S. Detecção e reconhecimento de face utilizando o Matlab®. Trabalho de conclusão de curso em ciência da computação, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, 2014.

MACEDO, R.A.G; MARQUES, W.D.; ARAÚJO, S. Inspeção visual automática da qualidade de grãos na agroindústria 4.0. In: XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2018, Maceió. Anais. Maceió – AL: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Café no Brasil.

OLIVEIRA, B. F. S.; MAGALHÃES, S. T. A. Filtragem de imagens fixas. Porto Portugal: FEUP, 2005.

OLIVEIRA, E. M. Sistema de visão computacional para avaliação física de cafés (*Coffea arabica* L.) de diferentes colorações. Dissertação de mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2015.

OYAMA, P. I. C.; JORGE, L. A. C.; GOMES, C. C. Sistema de Visão Computacional para Classificação de Grãos de Café por Cor e Forma. In: VII Workshop de Visão Computacional.

2011, Curitiba. Anais. Curitiba – PR: Universidade Federal do Paraná, 2011.

REZENDE, J. E. Defeitos do café. Série tecnológica cafeicultura, Emater-MG, 2013.

PATRÍCIO, D. I. Seedflow: sistema de visão computacional para classificação de grãos de aveia. Dissertação de mestrado em Computação, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS, 2019.

RIBEIRO, F. C. Métodos alternativos para armazenamento de café especiais. Tese de doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2013.

SANTOS, F. F. L.; ROSAS, J. T. F.; MARTINS, R. N.; ARAÚJO, G. M.; VIANA, L. A.; GONÇALVES, J. P. Quality assessment of coffee beans through computer vision and machine learning algorithms. *Revista Coffee Science*, v. 15, ISSN 1984-3909, 2020.

SARINO, J. N. C.; BAYAS, M. M.; ARBOLEDA, E. R.; GUEVARA, E. C.; DELLOSA, R. M. Classification of coffee bean degree of roast using image processing and neural network. *International Journal of Scientific & Technology Research*, v. 8, ISSN 2277- 8616, 2019.

SIDDAGANGAPPA, M.R; KULKARNI, A.H. Classification and quality analysis of food grains. *Journal of Computer Engineering*, Índia, v. 16, n. 4, 2014.

SIQUEIRA, M. L. Reconhecimento automático de padrões em imagens ecocardiográficas. Tese de doutorado em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre- RS, 2010.

SILVA, V. A. Influência dos grãos defeituosos na qualidade de café orgânico. Dissertação de mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2005.

Submetido em: 21/08/2024

Aceito em: 23/08/2024

Publicado em: 25/09/2024

Avaliado pelo sistema *double blind review*